



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

**HÍBRIDOS DE *Jatropha curcas* L. COM POTENCIAL PARA
ESTABILIZAÇÃO BIOTÉCNICA DE SOLOS**

OLAVO JOSÉ MARQUES FERREIRA

2019



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

OLAVO JOSÉ MARQUES FERREIRA

**HÍBRIDOS DE *Jatropha curcas* L. COM POTENCIAL PARA
ESTABILIZAÇÃO BIOTÉCNICA DE SOLOS**

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
2019

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

F383h Ferreira, Olavo José Marques
Híbridos de *Jatropha curcas* L. com potencial para estabilização biotécnica de solos / Olavo José Marques Ferreira; orientadora Renata Silva-mann. – São Cristóvão, SE, 2019.
88 f. : il.

Tese (Doutorado em Agricultura e Biodiversidade) – Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Biodiversidade, Universidade Federal de Sergipe, 2019.

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Renata Silva-Mann

1. Pinhão-manso. 2. Pinhão-manso – Sementes – Qualidade. 3. Pinhão-manso – Raízes (Botânica). 4. Bioengenharia – Solos. I. Silva-Mann, Renata, oriente. II. Título.

CDU: 582.682.1

OLAVO JOSÉ MARQUES FERREIRA

**HÍBRIDOS DE *Jatropha curcas* L. COM POTENCIAL PARA
ESTABILIZAÇÃO BIOTÉCNICA DE SOLOS**

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 19 de julho de 2019.

Prof. Dr. Francisco Sandro H. Rodrigues
UFS

Prof. Dr. Renisson Neponuceno de A. Filho
UFT

Prof^a. Dr^a. Allívia Rouse Carregosa Rabbani
IFBA

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

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

SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE – BRASIL

*Ao meu filho Eduardo, muito importante na
minha vida. Sem você nenhuma conquista tem
sentido.*
Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela saúde e força para superar as dificuldades.

À minha família pelo encorajamento nos momentos que precisei. À minha esposa Vivianne Jardim, pelo fortalecimento de meu espírito. Ao meu querido filho Eduardo, pelos momentos felizes que me faziam esquecer dos problemas.

Aos amigos, colegas de trabalho, pela amizade e questionamentos para enriquecer o trabalho.

Aos colegas do Grupo de Pesquisa em Conservação, Melhoramento e Gestão de Recursos Genéticos – Genaplant, pela divisão de trabalhos e suporte às atividades.

Ao Grupo de Pesquisa do Laboratório de Erosão e Sedimentação, em especial ao Prof. Francisco Sandro Holanda Rodrigues e ao Engenheiro Agrônomo José Antônio dos Santos Gomes.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Biodiversidade e seus docentes pela oportunidade e ensinamentos.

À professora Renata Silva-Mann, pela orientação e por ter aceitado me guiar nesta tarefa.

Enfim, agradeço a todos que contribuíram nesta etapa da vida.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iii
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS	v
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1. Pinhão-mansô (<i>Jatropha curcas</i> L.), sua origem e distribuição geográfica.....	2
2.2. Botânica.....	2
2.3. Propagação	3
2.3.1. Propagação seminífera.....	4
2.3.2. Propagação por estacas	5
2.4. Qualidade de sementes e uso de teste de raios-X.....	5
2.5. Acúmulo de reservas nas sementes	6
2.6. Técnica de bioengenharia de solos.....	7
2.7. Uso de pinhão-mansô como potencial biotécnico.....	8
2.8. Resistência do solo à penetração e resistência de raízes de pinhão-mansô.....	9
2.9. Taludes	11
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	13
4. ARTIGO 1: Prospecção do gênero <i>Jatropha</i> com foco em Bioengenharia de solos	23
RESUMO.....	23
ABSTRACT.....	24
4.1. Introdução	25
4.2. Metodologia.....	25
4.3. Resultados e Discussão.....	26
4.4. Conclusões	30
4.5. Referências bibliográficas.....	31
5. ARTIGO 2: Análise de imagens e classificação de sementes de pinhão-mansô quanto ao grau de maturação dos frutos	32
RESUMO.....	32
5.1. Introdução	34
5.2. Material e Métodos	34
5.3 Resultados e Discussão	36
5.4 Conclusões	39
5.5 Referências Bibliográficas	40
6. ARTIGO 3: Índice e divergência genética de plantas de híbridos de <i>Jatropha curcas</i> (L.) para uso em técnicas de bioengenharia de solos.....	42

RESUMO.....	42
ABSTRACT.....	43
6.1. Introdução	44
6.2. Materiais e métodos	45
6.3. Resultados e Discussão	47
6.4. Conclusões	52
6.5. Referências Bibliográficas	53
7. ARTIGO 4 Comportamento do sistema radicular de <i>Jatropha curcas</i> na estabilização de taludes	56
RESUMO.....	56
ABSTRACT.....	57
7.1. Introdução	58
7.2. Material e Métodos	59
7.3. Resultados e Discussão	62
7.4. Conclusões	69
7.5. Referências Bibliográficas	70

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1

Figura		Página
1	Distribuição dos depósitos de patentes por países maiores detentores de patentes para os descritores avaliados nas bases WIPO e EPO. UFS, São Cristóvão-SE, 2019.....	27
2	Classificação Internacional de Patentes (CIP) encontradas nas bases WIPO e EPO para os termos indexados na pesquisa. UFS, São Cristóvão-SE, 2019..	28
3	Distribuição dos periódicos e número de publicações dos últimos 10 anos de acordo com os termos da pesquisa na base de dados Science Direct. UFS, São Cristóvão-SE, 2019	29

ARTIGO 2

Figura		Página
1	Frutos em diferentes estádios de maturação de pinhão-manso (<i>Jatropha curcas</i> L.) Estádio I (A); estágio II (B). UFS, São Cristóvão-SE, 2017.	35
2	Morfologia interna e imagens tridimensionais de sementes de <i>Jatropha curcas</i> L. Da esquerda para a direita - (a) cheias e bem formadas; (b) com espaço e bem formadas; (c) com espaço e malformadas; (d) manchadas ou com danos e (e) vazias. UFS, São Cristóvão-SE, 2017	36

ARTIGO 3

Figura		Página
1	Obtenção de estacas de <i>Jatropha curcas</i> (L.) para avaliação da qualidade de plantas para uso em bioengenharia de solos. Estaca coletada (A); Plantio (B); Muda para coleta de dados (C). UFS, São Cristóvão-SE, 2017	46
2	Desenvolvimento de híbridos de pinhão-manso (<i>Jatropha curcas</i> L.) para a relação entre massa seca da parte aérea e massa seca das raízes. UFS, São Cristóvão-SE, 2017.....	59
3	Desenvolvimento de híbridos de pinhão-manso (<i>Jatropha curcas</i> L.) para a relação entre altura de plantas e diâmetro de caule. UFS, São Cristóvão-SE, 2017.	51
4	Método hierárquico de agrupamento do vizinho mais próximo para dados morfológicos de plantas híbridas de <i>Jatropha curcas</i> (L.) UFS, São Cristóvão-SE, 2017.....	51

ARTIGO 4

Figura		Página
1	Esquema do monólito e dimensões para coleta de amostras de raízes de <i>Jatropha curcas</i> (L.), de acordo com a profundidade do solo por camada e medidas. UFS, São Cristóvão-SE, 2018	59
2	Monólito utilizado para coleta de raízes de <i>Jatropha curcas</i> (L.), com detalhe do corte realizado por camada e medidas. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.	60
3	Teste com raízes de <i>Jatropha curcas</i> (L.) Raiz antes do rompimento (A); Raiz pós-rompimento (B). UFS, São Cristóvão-SE, 2018	61
4	Média da Resistência Mecânica do Solo à penetração em profundidade no local próximo às plantas e entre plantas de pinhão-manso na Estação Experimental do Campus Rural. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.....	63

5	Massa Seca da Parte Aérea (MSPA) e do Sistema Radicular (MSR) dos três indivíduos de <i>Jatropha curcas</i> (L.) UFS, São Cristóvão-SE, 2018.....	64
6	Volume de raiz no solo (VR) em diferentes profundidades para os três híbridos analisados. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.....	64
7	Densidade radicular (DR) de plantas de pinhão-manso no solo em diferentes profundidades. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.....	65
8	Densidade do Comprimento Radicular (DCR) de plantas de pinhão-manso no solo em diferentes profundidades. UFS, São Cristóvão-SE, 2018	66
9	Média da densidade de raiz de três plantas de pinhão-manso. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.....	66
10	Resistencia à deformação da raiz em diferentes diâmetros. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.....	67
11	Carga máxima suportada pelas amostras de raízes em diferentes diâmetros. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.....	67
12	Crescimento de raízes de estacas de pinhão-manso em profundidade pelo método do cilindro. UFS, São Cristóvão-SE, 2018	68

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

Tabela		Página
1	Descritores e números de competências tecnológicas nas bases de dados. UFS, São Cristóvão-SE, 2019.	26
2	Descritores e número de artigos científicos publicados em bases de dados. UFS, São Cristóvão-SE, 2019.	29

ARTIGO 2

Tabela		Página
1	Genótipos de <i>Jatropha curcas</i> (L.), teor de água e óleo das sementes. UFS, São Cristóvão-SE, 2017.	35
2	Porcentagem de sementes categorizadas em cheias e bem formadas (CBF), com espaço e bem formadas (EBF), com espaço e malformadas (EMF), com manchas e danos (MD) e vazias (Vz), obtidas em plantas híbridas de <i>Jatropha curcas</i> (L.), a partir de frutos em diferentes estádios de maturidade (I e II). UFS, São Cristóvão-SE, 2017.	37
3	Primeira Contagem (PC), Germinação (G), índice de velocidade de germinação (IVG), Plântulas normais (PN) em <i>Jatropha curcas</i> (L.), de frutos em diferentes estádios de maturação. UFS, São Cristóvão-SE, 2017..	38
4	Plântulas normais (PN), Plântulas anormais (PA) e Sementes deterioradas (DE) de <i>Jatropha curcas</i> (L.), de frutos em dois estádios de maturação, UFS, São Cristóvão-SE, 2017.	39
5	Correlação de Pearson entre germinação e ocorrência de plântulas normais em dois estádios de maturação de frutos de <i>Jatropha curcas</i> (L.). UFS, São Cristóvão – SE, 2017	39

ARTIGO 3

Tabela		Página
1	Híbridos de <i>Jatropha curcas</i> (L.), empregados na avaliação de plantas para uso em bioengenharia de solos. UFS, São Cristóvão-SE, 2017.	45
2	Valores da taxa de sobrevivência (TS) e Índice de Qualidade de Dickson (IQD) dos híbridos de pinhão-manso nos três períodos de avaliação. UFS, São Cristóvão-SE, 2017.	47
3	Quadrados médios e significância para número de brotos (NB), número de ramos (NR), número de folhas (NF), Altura de plantas (AP), massa seca de raízes (MSR) e comprimento médio de raízes (CMR) de dez mudas de híbridos de <i>Jatropha curcas</i> (L.). UFS, São Cristóvão-SE, 2017.	48
4	Médias obtidas para número de brotações (NB), número de folhas (NF), altura de plantas (AP) de híbridos de pinhão-manso (<i>Jatropha curcas</i> L.). UFS, São Cristóvão-SE, 2017.	49
5	Médias obtidas para número e volume de raízes (NR e VR), estimativas de variância genotípica (σ_g^2), ambiental (σ_e^2) e fenotípica (σ_f^2) e herdabilidade no sentido amplo (h^2) em híbridos de pinhão-manso (<i>Jatropha curcas</i> L.). UFS, São Cristóvão, SE, 2017	49

ARTIGO 4

Tabela

- 1 Valores da umidade do solo (%) até 60 cm de profundidades em dois diferentes locais. UFS, São Cristóvão-SE, 2017. 62

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

TAG	Triacilgliceróis
PEP	Fosfoenolpiruvato
CoA	Coenzima A
ACP	Proteína carregadora de acila
<i>J. curcas</i>	<i>Jatropha curcas</i>
WIPO	World Intellectual Property Organization
EPO	European Patent Office
USPTO	United States Patent and Trademark Office
ISTA	International Seed Testing Association
DAF	Dias após o florescimento
DAE	Dias após o estaqueamento
PN	Plântulas normais
PA	Plântulas anormais
IVG	Índice de velocidade de germinação
CBF	Cheias e bem formadas
EBF	Espaço e bem formadas
EMF	Espaço e malformadas
MD	Manchas e Danos
VZ	Vazias
IQD	Índice de Qualidade de Dickson
Kv	Quilovolts
B.O.D.	Biochemical oxygen demand
PSA	Peso seco da parte aérea
PFA	Peso fresco da parte aérea
NB	Número de brotos
NR	Número de raízes
NF	Número de folhas
VR	Volume de raízes
TS	Taxa de sobrevivência
RPAR	Relação entre massa seca da parte aérea e massa seca das raízes
RAD	Relação entre a altura de plantas e diâmetro do colo
DR	Densidade de raízes
V	Volume
DCR	Densidade do comprimento de raízes
VR	Volume radicular
MSPA	Massa seca da parte aérea
MSR	Massa seca de raízes
N	Newton
m	Metros

RESUMO

FERREIRA, Olavo José Marques. **Híbridos de *Jatropha curcas* (L.) com potencial para estabilização biotécnica de solos.** São Cristóvão: UFS, 2019. 88p. (Tese – Doutorado em Agricultura e Biodiversidade).*

Diversas utilidades motivaram a expansão da cultura do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) a partir do seu centro de origem nas Américas. Entre os atributos desta espécie estão a resistência ao estresse hídrico, resistência ao ataque de pragas, o baixo custo de produção e a possibilidade de cultivo em áreas degradadas. A morfologia do sistema radicular tem despertado interesse em pesquisas para proteção do solo contra impactos negativos que podem causar a erosão. Esse conjunto de características é vantagem significativa para uso em regiões que necessitam de culturas sustentáveis. Desta forma, de posse de plantas híbridas de pinhão-manso, foram realizadas as seguintes pesquisas: i) a prospecção tecnológica para o gênero *Jatropha*, com vistas aos processos tecnológicos, técnica de bioengenharia de solos e técnicas de propagação; ii) análise de imagens e classificação de sementes de pinhão-manso quanto ao grau de maturação dos frutos; iii) índice e divergência genética de plantas de híbridos de *Jatropha curcas* (L.) para uso em técnicas de bioengenharia dos solos e iv) comportamento do sistema radicular de *Jatropha curcas* na estabilização de taludes. A prospecção foi realizada em bancos de dados de pesquisa científica, tecnológica e de patentes. Encontrou-se um grande volume de publicações científicas e depósitos de patentes envolvendo o termo *Jatropha curcas*. Entretanto, não há inovações tecnológicas depositadas nas bases de dados para *Jatropha* com uso em bioengenharia de solos. Visando a eficiência na propagação dos híbridos, a qualidade de sementes foi realizada por meio da análise de raios-X. O uso de teste de raios-X e a categorização das sementes de *Jatropha curcas* permite identificar híbridos com maior produção de sementes bem formadas e classificadas como cheias. Foram utilizados dez híbridos com sementes obtidas de frutos em diferentes estádios de maturação. O híbrido JCUFS-04xJCUFS-05 apresentou a melhor qualidade fisiológica. Para os híbridos JCUFS-04xJCUFS-13 e JCUFS-01xJCUFS-13 existe correlação positiva para as imagens de raios-X, a porcentagem de germinação e a ocorrência de plantas normais. Visto que há uma grande necessidade de identificação de plantas com potencial biotécnico, foi aplicado o índice de qualidade de Dickson em mudas produzidas a partir de estacas vivas de *Jatropha curcas*. As mudas foram analisadas em diferentes tempos de avaliação para identificar plantas com maior potencial biotécnico. Os híbridos JCUFS-01xJCUFS-05, JCUFS-01xJCUFS-13 e JCUFS-04xJCUFS-05 apresentam maior potencial biotécnico, com maior capacidade de desenvolvimento. O pinhão-manso apresenta alta taxa de sobrevivência, sendo o melhor índice observado aos 60 dias após o estaqueamento. O comportamento do sistema radicular das plantas de *Jatropha curcas* foi determinado pelo método do monólito e do cilindro com ensaios de tração em raízes submetidas ao esforço para determinação da tensão de ruptura. O volume, a densidade e a distribuição de raiz diminuíram com o aumento da profundidade no solo, ocorrendo uma forte correlação negativa entre os índices e a profundidade do solo de ocorrência das raízes. Pelo método do cilindro, as raízes alcançaram profundidades superiores a 2 m. Os híbridos com maior potencial biotécnico na contenção de solos são JCUFS-01xJCUFS-05, JCUFS-01xJCUFS-13 e JCUFS-04xJCUFS-05.

Palavras-chave: pinhão-manso, qualidade de sementes, resistência radicular, bioengenharia de solos.

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

ABSTRACT

FERREIRA, Olavo José Marques. ***Jatropha curcas* (L.) hybrid with potential for soil biotechnical stabilization.** São Cristóvão: UFS, 2019. 88p. (Thesis - Doctor of Science in Agriculture and Biodiversity).*

Several uses motivated the Physic nut (*Jatropha curcas* L.) cultivation expansion from its origin center in the Americas. Among the attributes of this species there are resistance to water stress, resistance to pest attack, low cost production and the possibility of cultivation in degraded areas. The root system morphology has aroused the research interest to protect the soil against negative impacts that may cause erosion. This set of features is a significant advantage for use in regions that require sustainable cultivation. Thus, with possession of *jatropha* hybrid plants, the following researches were conducted: i) the technological prospection for the *Jatropha* genus with a view to technological processes, soil bioengineering technique and propagation techniques; ii) *Jatropha* seeds image analysis and classification according to the ripeness of the fruit degree; iii) index and *Jatropha curcas* (L.) hybrids genetic divergence for use in soil bioengineering techniques and iv) *Jatropha curcas* root system behavior in slope stabilization. The prospection was performed on scientific, technological and patent research databases. A large volume of scientific publications and patent filings were found involving the term *Jatropha curcas*. However, there are no technological innovations deposited in *Jatropha* databases for use in soil bioengineering. Aiming at the efficient propagation of the hybrids, the seed quality was performed by X-ray analysis. The use of X-ray test and the categorization of *Jatropha curcas* seeds allows to identify hybrids with higher yield of well-formed seeds classified as full. Ten fruit seed hybrids were used at different maturation stages. The hybrid JCUFS-04xJCUFS-05 presented the best physiological quality. For the hybrids JCUFS-04xJCUFS-13 and JCUFS-01xJCUFS0-13 there is a positive correlation for X-ray images, germination percentage and normal plant occurrence. Since there is a great need for plants with biotechnical potential identification, the Dickson's quality index was applied to seedlings produced from *Jatropha curcas* live cuttings. The seedlings were analyzed at different evaluation time to identify plants with higher biotechnical potential. The hybrids JCUFS-01xJCUFS-05, JCUFS-01x JCUFS-13 and JCUFS-04xJCUFS-05 present biotechnical potential, with greater development capacity. *Jatropha curcas* presents a high survival rate, being the best rate observed at 60 days after staking. The *Jatropha curcas* plants root system behavior was determined by the monolith and cylinder method with tensile tests on roots that were submitted to stress in order to determine the breakdown tension. Root volume, density, and distribution decrease with the increasing of the soil depth with a strong negative correlation between the indexes and root depth of the soil. By the cylinder method, the roots reached depths larger than 2 m. The hybrids with the highest biotechnical potential in soil containment are JCUFS-01xJCUFS-05, JCUFS-01x JCUFS-13 and JCUFS-04xJCUFS-05.

Key words: physic nut, seed quality, root resistance, soil bioengineering.

* Supervising Committee: Renata Silva-Mann – UFS (Advisor) – University Federal of Sergipe.

1. INTRODUÇÃO GERAL

O pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) é uma espécie oleaginosa pertencente à família Euphorbiaceae, sendo considerada como planta nativa do Brasil e de ocorrência natural em outros países da América do Sul (CORDEIRO; SECCO, 2014). É cultivada em países latino americanos, asiáticos e africanos (MISHRA, 2009) com clima tropical e subtropical (POMPELLI et al., 2010). Essa diversidade de locais de cultivo de pinhão-mansão foi facilitada por sua resistência à deficiência hídrica, a simplicidade do manejo, a capacidade de desenvolvimento em solos com fertilidade reduzida, o baixo custo de produção e ao alto conteúdo de óleo em suas sementes.

O óleo de pinhão-mansão é acumulado no endosperma das sementes e tem um teor de aproximadamente 45,4% de ácidos graxos monoinsaturados, 33% de ácidos graxos insaturados e 21,6% de ácidos graxos saturados (AKBAR et al., 2009). O óleo é muito utilizado na indústria química, na produção de sabão, tintas, além de usos na medicina tradicional (VIRGENS et al., 2017). A alta quantidade de hidrocarbonetos presentes no óleo faz dele uma importante matéria prima para biocombustíveis (DEBNATH; BISEN, 2008), tornando o pinhão-mansão uma alternativa para a produção.

O pinhão-mansão pode ser utilizado como planta para uso em cercas vivas (SINGH et al., 2013), plantios em barreiras de solos, desenvolvimento de produtos químicos inseticidas (OJHA; PATTABHIRAMAIAH, 2013; BASSEN et al., 2014; OHIMAIN et al., 2014) e algumas variedades não tóxicas são utilizadas na alimentação animal (KUMAR et al., 2011). As plantas de pinhão-mansão são reconhecidas também pela sua capacidade de crescer em solos pobres, solos contaminados por metais pesados (MARRUGO-NEGRETE et al., 2015), facilidade de produção de mudas (ARRUDA et al., 2004), crescimento em solos de pouca fertilidade, conservação de solo e água (EHRENSPERGER et al., 2015). O crescimento do pinhão-mansão em regiões degradadas (ACHTEN et al., 2010; DRANSKI et al., 2016) e seu uso para o controle de erosão (GUBITZ et al., 1999) a tornam uma planta com potencial para aplicações em técnicas de bioengenharia de solos.

Entretanto, apesar de seus múltiplos usos, ainda não existem cultivares registradas no Brasil. Portanto, são necessárias pesquisas sobre a cultura para obtenção de informações técnicas e científicas para aquisição de materiais adaptados e, possivelmente, melhorados para uso em projetos de bioengenharia de solos. O conhecimento de suas características agronômicas quanto ao crescimento radicular e sua resistência à deformidade são importantes para a determinação de seu uso como planta para que possa conferir resistência e estabilidade aos solos.

Considerando a importância desta espécie e suas múltiplas propostas de uso, e que se trata de uma planta rústica, o trabalho teve por objetivo avaliar plantas híbridas de pinhão-mansão quanto à qualidade de sementes e mudas com potencial biotécnico para uso em obras de bioengenharia de solos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), sua origem e distribuição geográfica

O pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) provavelmente teve sua origem no Brasil, sendo introduzido em Guiné e nas Ilhas do Arquipélago de Cabo Verde por navegadores portugueses, de onde disseminou para as demais colônias portuguesas da época (ARRUDA et al., 2004). Embora essa espécie ocorra naturalmente em outros países da América do Sul, o pinhão-manso é considerado nativa do Brasil, com ocorrência natural em alguns estados (CORDEIRO; SECCO, 2014). Atualmente, pode ser encontrada cultivada em regiões tropicais e subtropicais (BORGES et al., 2009), essa difusão se deve ao alto teor de óleo das sementes e finalidades de uso (GAO et al., 2010; ROMULI; KARAJ; MÜLLER, 2019).

A sua adaptabilidade às adversidades climáticas e à perda solo, permitem um bom desenvolvimento em regiões áridas, semiáridas e zonas equatoriais úmidas (ARRUDA et al., 2004; EDRISI et al., 2015), especialmente para áreas com alta irregularidade de chuvas (ACHTEN et al., 2010), com uma precipitação de 500-600 mm ao ano, podendo sobreviver por longos períodos de seca (7 a 8 meses) (BASILI; FONTINI, 2012). Durante o período de estiagem o seu desenvolvimento não é afetado. A faixa ideal de temperatura para o crescimento e desenvolvimento do pinhão-manso é de 25 a 35°C, porém, em algumas regiões nos trópicos, pode ser encontrada em altitudes mais elevadas, com o risco de geadas leves (MAKKAR; BECKER, 2009). No Brasil ocorre praticamente em todas as regiões, sempre de forma dispersa, adaptando-se às diversas condições edafoclimáticas (ARRUDA et al., 2004).

Conforme consta na Instrução normativa nº 4 de 14 de janeiro de 2008, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), o pinhão-manso desenvolve-se bem com precipitação média de 1.500 mm anuais, com período seco de quatro meses no máximo (BRASIL, 2008). O seu cultivo pode ser encontrado em regiões com precipitação média anual de 300 a 1.000 mm (HELLER, 1996) e altitude desde o nível do mar até 1.000 m. Outras recomendações citam altitudes entre 200 e 800 m (DIAS et al., 2007) e, para que se tenha uma produtividade considerada alta, a altitude deve ser entre 500 a 800 m, estimada em valores acima de seis mil quilos por hectare (SILVA, 2006). A proibição de cultivo da espécie decorria, sobretudo, da ausência de pesquisas sobre o desempenho agrônomo da cultura e, entre elas, a ausência de estudos básicos sobre o desempenho das sementes. A inscrição da espécie *J. curcas* L. no Registro Nacional de Cultivares (RNC) foi autorizada pela instrução normativa anteriormente citada (BRASIL, 2008). Nos últimos anos diversos estudos com esta espécie foram realizados, entretanto, ainda não existem cultivares melhoradas de *J. curcas* registradas no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

2.2. Botânica

O gênero *Jatropha* pertence à família Euphorbiaceae e contém cerca de 218 gêneros e, aproximadamente, 6.745 espécies distribuídas pelo mundo. O gênero é formado por 175 espécies espalhadas por países tropicais e subtropicais (ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP, 2016). São encontradas espécies de plantas herbáceas e arbustivas, onde 18 espécies são encontradas no Brasil (WEBSTER, 1994).

O pinhão-manso é um arbusto de crescimento rápido, cuja altura é de 2-3 m em condições favoráveis (PESSOA et al., 2012), com crescimento articulado. A dormência fenológica é induzida por flutuações na precipitação, temperatura e luminosidade (HELLER, 1996). O caule é liso com diâmetro de aproximadamente 20 cm. As folhas são verdes escuras, decíduas, com 3-5 lobos com um comprimento e largura de 6 a 15 cm, dispostas alternadamente (BELTRÃO; OLIVEIRA, 2008). Quando novas, as folhas apresentam coloração vermelho-vinho (AVELAR et al., 2007).

As inflorescências são terminais e formadas nos ramos mais jovens. São dispostas em panículas e surgem junto às folhas jovens (AVELAR et al., 2007). As flores são unissexuais, portanto as plantas são monoicas com flores masculinas em maior número (DIAS et al., 2007), podendo, ocasionalmente, possuir flores hermafroditas (HELLER, 1996). As flores femininas são amarelo-esverdeadas e diferenciam-se pela ausência de pedúnculo articulado (BELTRÃO; OLIVEIRA, 2008). As flores masculinas são produzidas a partir de aproximadamente 3.000 a 5.000 grãos de pólen (266-647 por antera) (RINCÓN-RABANALES et al., 2016). 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).

A reprodução pode ser realizada por geitonogamia e xenogamia (RINCÓN-RABANALES et al., 2016), sendo a polinização por insetos importante para a transferência de pólen e, conseqüentemente, a fecundação cruzada. As plantas de pinhão-mansão podem apresentar mais de 80% de polinização cruzada (PAIVA NETO et al., 2010), embora a espécie não apresente problemas de autoincompatibilidade, onde a fecundação da flor feminina pode ser realizada por pólen de uma flor da mesma inflorescência ou de outra inflorescência da mesma planta.

Os frutos do pinhão-mansão são capsulares ovoides, com diâmetro de 1,5 a 3,0 cm, trilobulares, formados por casca dura e lenhosa (DIAS et al., 2007). Os frutos pesam de 1,53 a 3,85 g e as sementes podem apresentar de 53 a 62%, com comprimento entre 1,5 a 2,0 cm, largura de 1,0 a 1,3 cm e teor de óleo de 38 a 47% (ACHTEN et al., 2010; DIAS et al., 2007). A casca do fruto é dura, lenhosa e inicialmente verde, passando a amarelo, amarelo com manchas marrons, castanho e por fim preto, quando está completamente seca (PESSOA et al., 2012). Apresenta superfície lisa e pericarpo com duas zonas distintas: o exocarpo, película mais fina, e o endocarpo, mais grosso (NUNES et al., 2009). A maturação não é uniforme, observando-se em um mesmo rácemo, frutos em diversos estádios de desenvolvimento.

As sementes são endospermicas, encontradas nas cavidades dos frutos, sendo geralmente, uma semente por cavidade. Apresentam-se, quando maduras e secas, relativamente uniformes na forma ovoide, dorso convexo levemente arredondado e face ventral convexa levemente triangulada (PIMENTA et al., 2014), coloração preta com estrias suaves. Medem entre 1,5 a 2,0 cm de comprimento e de 1,0 a 1,3 cm de largura. Ocorre a 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 (NUNES et al., 2009). O albúmen é branco, oleaginoso, contém o embrião provido de dois cotilédones achatados (GUIMARÃES, 2008) com peso variando de 1,5 a 3,0 g (DIAS et al., 2007).

No geral, 53 a 62% do peso dos frutos é representado pelas sementes e 38 a 47% pelo pericarpo e endocarpo. Quando secas, as sementes apresentam em torno de 7% de umidade e contém entre 25 e 40% de óleo (POMPELLI et al., 2010). Seu potencial de rendimento é de 5 t ha⁻¹ de grãos, com maior ciclo produtivo iniciando no quarto ano de cultivo (TOMINANGA et al., 2007) e ciclo de vida de 40 anos (VISSER et al., 2011). As sementes não são comestíveis e contém componentes tóxicos, tais como ésteres de forbol (diterpenos) (MAKKAR et al., 2007) e a curcina (proteína inibidora da síntese proteica) (MENDONÇA; LAVIOLA, 2009; PESSOA et al., 2012; RATNADASS; WINK, 2012). Além de fatores antinutricionais como o ácido fítico, o inibidor da tripsina, a saponina e a lectina (MAKKAR et al., 2007).

2.3. Propagação

A propagação de pinhão-mansão pode ser de forma seminífera, pelo uso de sementes produzidas anualmente, e de forma vegetativo, pelo uso de estacas. A produção de mudas a partir de sementes tem a vantagem de produzir plantas ao longo do tempo. As plantas produzidas por sementes apresentam sistema radicular mais desenvolvido devido ao

crescimento da raiz pivotante, que é importante tanto para o estabelecimento das plantas, como também para aumento do tempo de cultivo.

O método de propagação vegetativo ou assexuado é realizado através da estaquia, enxertia ou ainda por micropropagação. Apresenta a vantagem de originar plantas geneticamente idênticas. Quando se deseja iniciar o período de produção mais precocemente, o método vegetativo é mais indicado. Estacas de pinhão-manso não precisam do uso de hormônio para enraizar (GOSH; SINGH, 2010). Por outro lado, o uso de estacas requer um grande volume de material propagativo para ser transplantado (SATURNINO et al., 2005).

Em comunidades rurais é mais comum o uso de estacas, e numa menor escala, de sementes para o plantio de pinhão-manso (SATURNINO et al., 2005). Para se evitar a variabilidade genética, a propagação assexuada é a melhor solução. Geralmente, em programas de melhoramento, após a identificação de um indivíduo superior, o método de propagação utilizado é assexuado para manutenção da identidade genética.

Ambos os métodos apresentam vantagens e desvantagens na propagação do pinhão-manso. Trabalhos que envolvem técnicas de bioengenharia de solos, tem-se estudado o desenvolvimento radicular do pinhão-manso com uso de partes de plantas (GIADROSSICH et al., 2016; PETRONE; PRETI, 2008) e o uso de plantios por sementes para beneficiar o crescimento da raiz pivotante (REUBENS, 2011).

A produção e comercialização de sementes ou de mudas de pinhão-manso são regulamentadas no Brasil (BRASIL, 2009). A espécie é inscrita no Registro Nacional de Cultivares (RNC), sem a exigência de mantenedor, ficando a produção e comercialização condicionadas à assinatura de Termo de Compromisso e Responsabilidade, constando as limitações da cultura, conforme modelo também aprovado pelo MAPA.

2.3.1. Propagação seminífera

A multiplicação de pinhão-manso por sementes é muito usada pela facilidade de transporte e conservação, pelo correto armazenamento de sementes em ambiente controlado (ZONTA et al., 2014). A propagação origina plantas com maior variabilidade genética, com maior longevidade e mais vigorosas (RESENDE et al., 2013), entretanto, a semeadura direta resulta em menor taxa de sobrevivência para pinhão-manso (SEVERINO et al., 2011). Desenvolvem a raiz pivotante, entretanto, iniciam a produção mais tardiamente (SATURNINO et al., 2005).

A propagação por sementes pode ser efetuada com plantio direto no campo ou pela produção de mudas em sacos plásticos ou em tubetes (PAULINO et al., 2011). A germinação de sementes de pinhão-manso apresenta um decréscimo na porcentagem de germinação quando em condições de estresse hídrico (COSTA, 2009).

Plantas de alto rendimento produtivo são ideais para coleta e armazenamento de sementes. As sementes selecionadas devem ser de alta qualidade e terem sido desenvolvidas em condições ideais de plantio. O armazenamento de sementes pode ser realizado com teor de umidade em torno de 7% e, preferencialmente, por um período inferior a seis meses em condições sob baixa temperatura, ausência de luz e baixa umidade (FRANKEN; NIELSEN, 2010). A germinação não é afetada quando as sementes são secas à temperatura de 43°C e o vigor reduz ligeiramente, mesmo após 270 dias de armazenamento (ZONTA et al., 2011).

Em relação ao plantio em vasos, o desenvolvimento das mudas não apresenta diferença em relação ao volume do vaso para ganhos trimestrais de altura, diâmetro do colo, número de folhas, número de ramos e porcentagem de mortalidade, e o uso de tubetes de 120 ml representam maior economia de substrato (AJALA et al., 2012).

2.3.2. Propagação por estacas

O processo de estaquia é o enraizamento de estacas vegetais oriundas de um material previamente selecionado. Pode ser usado para a produção de sementes e renovação de estoque de sementes ou clonagem de plantas com características desejáveis. Podem surgir algumas características inadequadas para o enraizamento das estacas, como o material genético e a idade, uma vez que o material adulto apresenta maior dificuldade de enraizamento (SEVERINO et al., 2011). Nesse processo as mudas são idênticas à planta mãe.

A estaquia é realizada por qualquer segmento de uma planta que contenha pelo menos uma gema vegetativa que seja capaz de originar uma nova planta (FACHINELLO et al., 1995). O plantio do pinhão-manso por estacas é o preferido por muitos agricultores, devido à maior simplicidade e economia (ARRUDA et al., 2004). Foram relatadas taxas de sobrevivência acima de 90% com a utilização de estacas em pinhão-manso (RIJSSENBEEK, 2006). Em estudo com estaquia de 18 genótipos diferentes de pinhão-manso, relatou-se que oito genótipos apresentaram taxa de sobrevivência de 100%, e somente um apresentou baixa taxa de sobrevivência (FACIROLLI et al., 2012), o que permite inferir a existência de variação para este tipo de propagação na espécie.

Não há um tamanho e diâmetro definido para as estacas para que haja melhor qualidade e maior taxa de sobrevivência. No entanto, sugere-se que as estacas devem ser retiradas de ramos mais próximos da base do caule, ladrões ou rebentões, com 40 a 50 cm de comprimento (ARRUDA et al., 2004). O aumento no diâmetro das estacas aumenta a sobrevivência das mesmas em decorrência da maior quantidade de material de reserva (AVELAR et al., 2007).

O uso de estacas de pinhão-manso tem sido relatado para a produção de mudas para cercas vivas (FRANKEN; NIELSEN, 2010) e em trabalhos de estabilização de taludes como plantas pioneiras (PETRONE; PRETI, 2008). A viabilidade da propagação com interesse comercial de mudas por estaquia depende da capacidade de enraizamento de cada genótipo e da qualidade do sistema radicular formado, a fim de proporcionar um melhor desenvolvimento da planta (NEVES et al., 2009).

2.4. Qualidade de sementes e uso de teste de raios-X

No programa de melhoramento, a semente é o principal meio para carregar as características genéticas que vão contribuir para a variabilidade e a conservação de espécies. A qualidade de sementes deve ser avaliada por níveis de germinação e vigor, de extrema importância para o estabelecimento das plantas. A obtenção de sementes de boa qualidade, do ponto de vista físico e fisiológico, refletirá em maiores quantidades de sementes germinadas na formação de mudas. O alto padrão de qualidade fisiológico é o objetivo de programas de produção e de conservação de recursos genéticos (MARQUES et al., 2014).

Do ponto de vista físico, as sementes usadas devem ter a sua integridade física mantida, não sofrendo impactos nem exposição ao calor e à umidade. A determinação da qualidade de sementes pode utilizar uma série de testes fisiológicos, especialmente quando há comparações de lotes com diferentes níveis de vigor (DIAS et al., 2014). A qualidade fisiológica diz respeito ao vigor e a viabilidade, sendo o teste de germinação um dos principais determinantes da viabilidade, explorando a máxima germinação em condições favoráveis de ambiente. A viabilidade afeta diretamente o desempenho das sementes quando o potencial fisiológico é reduzido, notando-se uma redução no percentual de plântulas normais.

O vigor compreende a capacidade de germinação das sementes e das plântulas em desenvolver-se normalmente em condições desfavoráveis. As reduções na produção de mudas, a partir de um mesmo lote de sementes, podem estar indiretamente relacionadas ao baixo vigor de sementes se as populações de plantas estiverem abaixo de um nível crítico. O vigor das sementes afeta o crescimento vegetativo e está frequentemente relacionado com a produção das culturas (TEKRONY; EGLI, 1991).

A desuniformidade de maturação das sementes pode reduzir o vigor pela ocorrência de diferenças na densidade das sementes. A desuniformidade de maturação é comum em espécies que ainda não participaram de um processo de melhoramento genético e que possuem o florescimento e a produção de frutos e sementes muito desuniformes (SILVA et al., 2013). A presença de espaços vazios no interior da semente reduz o potencial germinativo devido à menor quantidade de substâncias de reservas armazenadas, para a síntese de proteínas e a atividade respiratória inicial (NONOGAKI et al., 2010). A determinação da viabilidade é dependente de métodos que detectem com eficiência e rapidez as variações entre lotes e as possíveis causas da baixa qualidade das sementes (SOUZA et al., 2009).

Sementes de oleaginosas deterioram mais rapidamente devido à oxidação dos triglicerídeos, resultando em ácidos graxos livres e podendo ser acelerada pela presença de fungos com atividade lipolítica. Desta forma, a busca por testes rápidos objetivam a determinação de forma eficiente do potencial fisiológico dos lotes. O uso de teste rápido é importante para complementar e agilizar a tomada de decisões quanto a um lote de sementes.

O teste de raios-X em sementes é um método simples, rápido, não destrutivo e eficiente, especialmente para avaliação da morfologia de sementes (BRASIL, 2009). Por meio da análise de imagem de raios-X é possível visualizar as partes da semente, identificando seu grau de desenvolvimento e possíveis alterações (PINTO et al., 2009).

O objetivo do teste de raios-X é determinar a proporção de sementes cheias, vazias, danificadas por insetos e danificadas mecanicamente, pelas características morfológicas evidenciadas na radiografia e criar um arquivo fotográfico das estruturas internas das sementes analisadas. Essa identificação permite o uso de lotes de sementes com maior viabilidade e economia de espaço em câmaras frias quando do armazenamento.

Neste teste as sementes são expostas a uma fonte de raios-X de baixa energia. Ao atravessar as sementes, um feixe de raios-X cria uma imagem digital que é armazenada. Quando essa é processada, é formada uma imagem visível, de sombras claras e escuras. A imagem pode apresentar maior ou menor grau de radiopacidade (clara) e radioluminescência (escura) em função do nível de absorção dos raios-X pelas sementes, determinado pelos fatores composição, espessura e densidade dos tecidos e comprimento de onda da radiação ionizante (BRASIL, 2009).

Atualmente, a análise de imagens de sementes e plântulas tem-se mostrado eficiente para a avaliação dos componentes fisiológicos e físicos de sementes, que influenciam na qualidade dos lotes. Dentre as técnicas disponíveis, o teste de raios-X tem-se revelado eficiente na análise da morfologia interna de sementes, possibilitando o estudo da relação entre essa característica e o seu potencial fisiológico (SILVA et al., 2013).

A integração da análise de imagens com os dados de germinação e genética das sementes podem contribuir para uma melhor definição das informações tecnológicas (DELL'AQUILA, 2009). Estas informações podem ser aliadas ao potencial fisiológico das sementes e, conseqüentemente, auxiliar em estudos sobre qualidade de sementes e nos programas de melhoramento genético de espécies vegetais.

2.5. Acúmulo de reservas nas sementes

Dentre as várias oleaginosas passíveis de utilização pelas indústrias de produção de biodiesel, o pinhão-mansão é destacado por não se tratar de um óleo alimentício. O uso de óleos vegetais alimentícios para produção de combustíveis renováveis pode acarretar a escassez desses, além da elevação de seus preços. O óleo extraído do pinhão-mansão está em maior quantidade no endosperma de suas sementes, na forma de lipídios ou triacilgliceróis (TAGs), que são as reservas das plantas (MIQUEL; BROWSE, 1995).

Os TAGs são armazenados durante o desenvolvimento da semente, sendo usados após iniciada a germinação até que a plântula entre em estágio autotrófico (VOELKER; KINNEY, 2001). São formados pela esterificação de três moléculas de ácido graxo (grupo acil) e uma

molécula de glicerol. Os TAGs são classificados de acordo com a presença ou não de ácidos graxos. Os ácidos graxos são ácidos orgânicos, a maioria de cadeia alquila longa com mais de 12 carbonos ligada a um álcool (KARANTONIS et al., 2002), sendo a cadeia alquila saturada ou insaturada.

Em pinhão-manso, o óleo acumulado no endosperma tem um teor de aproximadamente 45,4% de ácidos graxos monoinsaturados, 33% de ácidos graxos insaturados e 21,6% de ácidos graxos saturados (AKBAR et al., 2009). Segundo Ranucci et al. (2015), a composição percentual dos ácidos graxos presente no óleo de pinhão-manso é variável, mas pode ser considerada quando analisada em perfil cromatográfico (TABELA 1).

TABELA 1. Composição de ácidos graxos em teor percentual no óleo de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em perfil cromatográfico.

Ácidos Graxos	Teor (%)
Palmítico (C16:0) *	14,90
Palmitoleico (C16:1) *	0,75
Estearico (C18:0) *	6,39
Oleico (C18:1) *	36,32
Linoleico (C18:2) *	41,02
Outros	0,60

* Os números antes dos (:) significam a quantidade de átomos de carbonos na cadeia acil e os números depois são as quantidades de duplas ligações.

Os TAGs são acumulados seguindo o desenvolvimento das sementes desde o florescimento até a maturação e se dividem em três fases. Na primeira fase, após o florescimento, os TAGs estão em pequenas quantidades nas sementes ou tecidos dos frutos. Os lipídios de membrana (fosfolipídios e glicolipídios) são os principais constituintes. A segunda fase corresponde ao aumento gradual da deposição de TAGs durante o crescimento das sementes. Nesse período os fosfolipídios e os glicolipídios também são sintetizados, mas são menos de 10% dos lipídios armazenados e os TAGs são os mais predominantes. Na terceira fase, a acumulação de lipídios cessa, conduzindo a maturação de sementes. O peso seco da semente não aumenta significativamente e a umidade decresce progressivamente.

A proteína predominante nos corpos lipídicos é a oleosina, que está inserida nas camadas de fosfolipídios (HUANG, 1992). Sementes com alto teor de óleo têm mais oleosina, que é a proteína predominante nos oleossomos, com função de prevenir a coalescência durante a dessecação (PARTHIBANE et al., 2012). No final do desenvolvimento do endosperma, o gene da oleosina é o principal gene expresso que codifica a formação dos corpos lipídicos (XU et al., 2011).

2.6. Técnica de bioengenharia de solos

Um dos principais problemas que degradam a paisagem e a margem dos cursos de água é a erosão. A perda e a degradação do solo atingem de forma negativa a paisagem, em consequência do aumento dos processos erosivos. A erosão nas margens, potencializada ou não pela retirada da mata ciliar, tem se constituído em grave processo de degradação ambiental com rebatimentos nas atividades de navegação e pesca, importantes para a sustentabilidade econômica das populações ribeirinhas (HOLANDA et al., 2005).

A proteção de áreas ribeirinhas pode ser realizada de forma natural e sem grandes impactos na paisagem. As técnicas de bioengenharia de solos podem ser aplicadas para reduzir e controlar a erosão marginal, como também restringir o movimento de massa do solo, podendo ainda ser executadas separadamente ou associadas às técnicas de engenharia tradicional (ARAÚJO-FILHO et al., 2013). A bioengenharia de solos utiliza uma combinação de materiais vivos (por exemplo: sementes, plantas, partes de plantas e outros materiais como

pilhas de madeira e pedras) (HUBBLE et al., 2017; STOKES et al., 2014). Podem ser utilizados ainda polímeros e mantas confeccionadas com fibras vegetais, que são chamadas de geotêxteis ou biomantas, que foram desenvolvidos e utilizados para a restauração de forma dinâmica e sustentável (HOLANDA et al., 2008).

As práticas de bioengenharia de solos pressupõem o crescimento das plantas, dentro e fora das estruturas, que vão gradualmente fornecendo a força adicional (TARDÍO; MICKOVSKI, 2016). As plantas exercem no solo uma função estabilizadora extremamente importante contra a ação dos agentes externos e internos (FERNANDES; FREITAS, 2011). O potencial biotécnico das plantas pode produzir os efeitos individuais tanto na redução da velocidade de água, como na de proteção dos taludes, podendo apresentar esses efeitos simultaneamente (DURLO; SUTILI, 2005).

Dentre as características biotécnicas desejáveis nas plantas utilizadas, destacam-se: resistência à exposição parcial das raízes; resistência ao aterramento parcial; resistência a danos mecânicos em consequência da rolagem de pedras provinda de barrancas altas; capacidade de brotar após quebra do ápice e danos à planta; crescimento rápido; sistema radicular que permita fixar o solo pelo comprimento, volume ou resistência das raízes (DURLO; SUTILI, 2005). Para o efeito da estabilização do solo ser positivo, deve-se conhecer as características técnicas da vegetação para o melhor aproveitamento e desenvolvimento no local da estabilização do solo e no controle do processo erosivo (SUTILI, 2007).

Destaca-se ainda que as plantas empregadas necessitam preencher alguns requisitos básicos, que dependem da finalidade de sua utilização, considerando-se os aspectos ecológicos, fitossociológicos, reprodutivos e de aptidão biotécnica, destacando-se a velocidade de crescimento da parte aérea, especialmente para produzir proteção ao talude por acamarem-se sobre o mesmo (DURLO, 2000).

As características biotécnicas são um conjunto de propriedades técnicas e biológicas que algumas plantas apresentam e que são essenciais para o sucesso das intervenções de bioengenharia de solos (ABATE; GROTTA, 2009). Uma das técnicas utilizadas na bioengenharia de solos é o uso de plantas vivas ou partes delas (FERNANDES; GUIOMAR, 2016), sendo a estaquia o método mais utilizado. As plantas são destinadas a crescer e garantir a função de proteção suficiente para substituir as estruturas de madeira utilizadas (ROMANO et al., 2016).

Características como alta taxa de sobrevivência, enraizamento, resistência a pragas e doenças e alta tolerância às variações ambientais são fundamentais e condicionantes do bom desenvolvimento biológico das estacas, devendo as plantas possuírem alta capacidade de se propagarem (SANTANA et al., 2012). O sistema radicular da vegetação, além de dificultar o cisalhamento do solo, auxilia na percolação marginal da água reduzindo a taxa de erosão e permitindo, conseqüentemente, a estabilização da margem (DAVIDE et al., 2000).

2.7. Uso de pinhão-mansão como potencial biotécnico

Em diferentes países são encontrados cultivos de plantas de pinhão-mansão. Estudos são realizados pesquisando o seu potencial para aplicações em bioengenharia de solos, com reconhecimento da sua grande produção de biomassa acima do solo, a capacidade de regenerar-se após o corte (DAGAR et al., 2006), o crescimento em solos pobres, a conservação de solo e água e o controle eficaz da erosão (PETRONE; PRETI, 2008; GHESTEM et al., 2014; REUBENS et al., 2011) e uso em solos contaminados (MARRUGO-NEGRETE, 2015).

O pinhão-mansão é uma planta rústica que pode crescer em solos com baixo teor de nutrientes, sendo utilizada na recuperação de áreas degradadas (ACHTEN et al., 2010) com o benefício adicional do controle da erosão (GUBITZ et al., 1999). Pouco exigente em nutrientes, apresenta capacidade de recuperação de áreas degradadas em função de suas raízes

profundas (DRUMOND et al., 2016). Um sistema lateral de enraizamento que estabiliza a superfície do solo e cria uma fixação que a torna extremamente promissora para a estabilização de taludes (ACHTEN et al., 2010; GHESTEM et al., 2014).

As raízes de pinhão-mansão podem melhorar as características geotécnicas do solo e as propriedades hidrológicas (GIADROSSICH et al., 2016) e a estabilização de declives (ABE; ZIEMER, 1991). As raízes melhoram a estabilidade do solo com a combinação de fatores como o atrito entre o solo e a raiz, resistência à tração de raízes, produção de exsudados radiculares, atividade microbiana e cobertura do solo (STOKES et al., 2014; GRAF; FREI, 2013). A arquitetura do sistema radicular de pinhão-mansão com a ramificação angular pode proporcionar resistência ao solo em relação à erosão hídrica e eólica (REUBENS et al., 2011).

O pinhão-mansão apresenta um grande crescimento de biomassa da parte aérea e de raízes e alta rusticidade (OPENSHAW, 2000), que são interessantes para aplicação como técnicas de bioengenharia. Há crescimento em biomassa com aumento em peso ($t\ ha^{-1}$) em todos os componentes (raízes, troncos e galhos) ao longo de três ciclos, sendo que o tronco e os galhos, seguido das raízes grossas e raiz principal, acumulam o maior estoque de carbono (TORRES et al., 2011) e apresentam ciclo de vida longo, em torno de 40 anos (VISSER et al., 2011).

Durante o período seco ocorre queda de parte ou a totalidade das folhas como estratégia de adaptação desta espécie ao déficit hídrico, formando uma cobertura morta na superfície do solo, importante para os solos degradados por reduzir a erosão e a perda de água por evaporação, evitando enxurradas e enriquecendo o solo com matéria orgânica decomposta (COSTA et al., 2007).

Baseado nas informações da biologia reprodutiva da espécie, pode-se escolher a melhor época para a propagação vegetativa, que para a contenção de solos, a principal técnica usada é a vegetativa, com uso de estacas vegetais das plantas que se quer utilizar (BIFULCO, 2013). A propagação por estacas visa um rápido crescimento de raízes, que conferem maior resistência ao solo, por meio da agregação de partículas e controle da umidade (LEWIS, 2000). Plantas propagadas por estacas emitem inflorescências ainda jovens, resultando numa rápida dispersão de sementes. Diversos trabalhos avaliaram as formas de propagação de pinhão-mansão por estacas, com vistas para o tamanho e diâmetro das mesmas.

Em trabalhos com propagação de pinhão-mansão por estacas, encontrou-se taxas de sobrevivência maiores que 90%, sendo consideradas altas (RIJSSENBEEK et al., 2006). Pode-se obter ainda uma variação no enraizamento em função dos diferentes genótipos de pinhão-mansão (PEREIRA et al., 2013). Estacas de pinhão-mansão com diâmetros de 3 cm tem melhores taxas de sobrevivência e enraizamento do que as de 5 cm de diâmetro (JIMU et al., 2009).

As espécies para uso na bioengenharia de solos precisam ter uma alta taxa de sobrevivência, bom enraizamento, resistência a pragas e doenças e alta tolerância às variações ambientais (SANTANA et al., 2012). Os trabalhos de contenção de erosão devem ser feitos de forma a priorizar o uso de plantas com características técnicas (BIFULCO, 2013).

2.8. Resistência do solo à penetração e resistência de raízes de pinhão-mansão

Uma das propriedades físicas do solo que mais influenciam no crescimento de raízes é a resistência do solo à penetração. Diversos autores utilizaram a resistência do solo à penetração para a avaliação dos efeitos dos sistemas de manejo do solo sobre o ambiente radicular (BENGHOUGH; MULLINS, 1990; TORMENA; ROLOFF, 1996).

A resistência do solo à penetração, dentre as qualidades físicas do solo, é considerada a propriedade mais adequada para determinação do grau de compactação. Essa resistência é encontrada pelas raízes durante o seu crescimento e penetração no solo. A resistência do solo à penetração está diretamente correlacionada com a textura, a densidade, a matéria orgânica e,

principalmente, a umidade no momento da determinação (STOLF et al., 1983; BUSSCHER et al., 1997; PEDROTTI et al., 2001).

Avaliações de resistência à penetração podem ser realizadas para a identificação de camadas de impedimento ao crescimento radicular e inferências quanto ao potencial de infiltração de água no solo. A resistência do solo à penetração pode ser classificada, quanto à restrição ao crescimento radicular, em três classes: pequena (menor que 100 kPa), intermediária (entre 100 e 2.000 kPa) e grande (maior que 2.000 kPa) (USDA, 1993).

Solos de maior resistência à penetração são mais compactados e apresentam aumento na densidade, redução na porosidade total, na infiltração e armazenamento de água, e aumento na restrição de fluxo de gases (COSTA et al., 2013). A compactação do solo compromete o desenvolvimento da vegetação, pois promove alterações físicas no solo, de modo a afetar a adsorção, trocas gasosas e absorção de nutrientes pelas raízes, dificultando a infiltração da água no solo e tornando-o suscetível à erosão (REINERT et al., 2006).

As práticas de bioengenharia de solos partem do princípio de que o crescimento das plantas gradualmente fornece força adicional (TARDÍO; MICKOVSKI, 2016). A importância das plantas em bioengenharia de solos tem mostrado que muitos estudos são focados principalmente em características de raízes, o reforço mecânico fornecido pelas raízes das plantas ao solo e as espécies disponíveis. Na fase inicial de colonização das plantas é muito importante que as plantas utilizadas apresentem bom desenvolvimento no perfil (ZHANGA et al., 2019).

O crescimento de raízes no solo pode aumentar a resistência do solo ao cisalhamento por meio da resistência à tração. Trata-se de uma das características mecânicas mais importantes das raízes. As fibras das raízes aumentam a resistência ao cisalhamento do solo pela transferência das tensões cisalhantes, que se desenvolvem na matriz do solo, para as fibras, por meio do atrito na interface ao longo da extensão das fibras que estão fixas (GRAY; SOTIR, 1996). Quando o cisalhamento ocorre, a fibra é deformada causando um alongamento e mobilizando a resistência da mesma. Este efeito combinado de solo e raízes foi denominado de reforço do solo (DE BAETS et al., 2008).

O reforço pelas raízes pode ser significativo no aumento da resistência do solo, mesmo se a densidade das raízes for baixa e em condições de baixa resistência do solo (TENGBETH, 1989; WALDRON, 1997). Contudo, o incremento da coesão é proporcional ao aumento da densidade das raízes, ou seja, o maior reforço das raízes encontra-se próximo à superfície do solo, onde a densidade das raízes geralmente é mais elevada e o solo, por outro lado, é relativamente mais fraco (FIORI; CARMIGNANI, 2009).

O aumento da resistência ao cisalhamento do solo está vinculado diretamente à transferência direta das tensões de cisalhamento para a resistência das raízes à tensão. Esse reforçamento radicular pode variar de acordo com alguns fatores, tais como: valores de resistência à tensão das raízes; propriedades da interface entre as raízes e o solo; concentração, características de ramificação e distribuição das raízes no solo; espaçamento, diâmetro e massa de solo explorada pelas raízes; espessura e declividade do perfil do solo do talude; e parâmetros geotécnicos relativos à resistência ao cisalhamento do solo. Estes fatores podem ser influenciados pela espécie de planta, pelas variações ambientais nas condições de crescimento e pela época do ano (COELHO; PEREIRA, 2006).

O efeito de reforço promovido pelas raízes, relacionado com a estabilidade de taludes, pode ser avaliado em termos de resistência ao cisalhamento. Para estimar o incremento na força de cisalhamento do solo, proporcionado pelas raízes, foi desenvolvido um modelo que utiliza dados de resistência da raiz à tração e de distribuição de raízes (WU et al., 1979; DE BAETS et al., 2008).

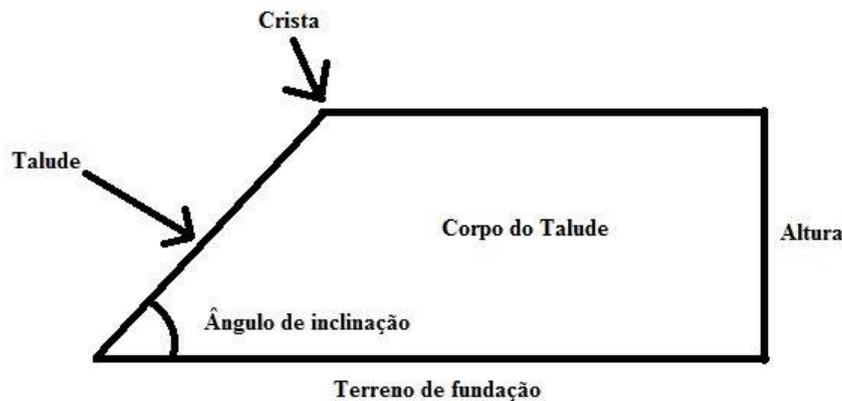
A quantificação do reforço radicular, no entanto, é um desafio devido à grande variabilidade da força de raízes e da distribuição radicular (LOADES et al., 2010). Na primeira tentativa de estimar o reforço radicular de solos com raízes de pinhão-manso realizando ensaios de cisalhamento direto com plantas de 10 meses de idade, encontraram um

aumento significativo no estresse do campo para os solos enraizados (GHESTEM et al., 2014).

O efeito das raízes na melhoria da estabilidade de taludes vem sendo reconhecido em estudos há alguns anos (GRAY; LEISER, 1982; GRAY; SOTIR, 1996; DE BAETS et al., 2008). Entretanto, ainda são raras as referências na literatura acerca das propriedades do sistema radicular das plantas, em especial as de pinhão-manso, sendo necessários estudos para melhorar a compreensão do efeito reforço das raízes ao solo.

2.9. Taludes

Segundo Barbosa (2012), talude é um termo genérico o qual compreende qualquer superfície inclinada que limita um maciço de terra, rochas ou ambos. Podendo ser natural como, por exemplo, encostas e vertentes, ou artificial para aqueles que são construídos pelo homem nos casos de cortes e/ou aterros. Têm-se algumas terminologias usuais demonstradas na Figura 1.



Fonte: Fiori e Carmignani (2009)

Figura 1: Terminologias usadas para taludes de terra

Na teoria, um talude nada mais é do que um corpo de massa de solo que é submetido a três diferentes campos de força: forças devidas ao peso dos materiais, forças devidas ao escoamento da água e forças devidas à resistência ao cisalhamento. Para ser feito um estudo sobre a estabilidade dos taludes, torna-se necessário considerar a atuação e o equilíbrio dessas forças uma vez que as duas primeiras atuam em conjunto, tendendo a movimentar volumes de solo encosta abaixo, enquanto que a última atua como um freio para o processo inicial dessa movimentação. Além disso, é de grande importância compreender o mecanismo de atuação de cada força para que se possam adotar medidas eficientes de prevenção a escorregamento (FIORI; CARMIGNANI, 2009).

Segundo Massad (2010), dentre os diversos fatores contribuintes na geração de movimentos de corpos de massa nas encostas com coberturas de solo, destacam-se a morfologia do terreno (declividade, forma em planta e perfil, orientação, entre outros), regime pluviométrico (intensidade e volume da chuva e umidade intercedente), propriedades do solo e da rocha (espessura, textura, mineralogia, parâmetros de resistência, pesos específicos, descontinuidades, profundidade e característica do contato solo/rocha), cobertura vegetal (tipo e intensidade) e uso e ocupação do solo.

A instabilidade de taludes e encostas é controlada por uma cadeia de eventos, muitas vezes de caráter cíclico, que tem sua origem na formação da própria rocha e em toda sua história geológica e geomorfológica subsequente, como movimentos tectônicos, intemperismo, erosão, ação antrópica, dentre outros fatores (PINTO, 2002).

De acordo com Silva (2012), para o processo de estabilização de taludes deverão ser adotadas algumas técnicas levando em conta os custos com equipamentos disponíveis, a necessidade de realizar uma intervenção e a sua magnitude. Alguns dos principais problemas que ocasionam a instabilidade em um talude são a erosão, os escorregamentos, a queda de blocos e os fluxos. Medida de proteção, correção e reforço são algumas das categorias nas quais as técnicas utilizadas neste tipo de instabilidade podem ser agrupadas.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABATE, I.; GROTTA, M. **Ingegneria Naturalistica** - Costruire con le Piante - Linee guida all'impiego delle piante negli interventi di ingegneria naturalistica in ambito mediterraneo. Benevento: Edizione Lume, 2009.

ABE K.; ZIEMER R.R. Effect of tree root son a shear Zone - modeling rein forced shear - stress. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 2, n.1, p.1012-1019, 1991.

ACHTEN, W.M.J.; MAES, W. H.; AERTS, R.; VERCHOT, L.; TRABUCCO, A.; MATHIJS, E.; SINGH, V. P.; MUYS, B. *Jatropha*: from global hype to local opportunity. **Journal Árida Environment**, v. 74, p. 164–165, 2010.

AJALA, M. C.; AQUINO, N. F. de; MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. de M. Efeito do volume do recipiente na produção de mudas e no crescimento inicial de *Jatropha curcas* L. no Oeste Paranaense. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 6, p. 2039-2046, 2012.

AKBAR, E.; YAAKOB, Z.; ZAMARUDIN, S. K.; ISMAIL, M.; SALIMON, J. Characteristic and composition of *Jatropha curcas* oil seed from Malaysia and its potencialas biodiesel feedstock. **European Journal of Scientific Research**, v. 29, p. 396-403, 2009.

ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP – APG. **An ordinal classification for the families of flowering plants**. Disponível em: <<http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>>. Acesso em: 05 Out. 2016.

ARAÚJO-FILHO, R.; HOLANDA, F. S. R.; ANDRADE, K. Implantação de técnicas de bioengenharia de solos no controle da erosão no baixo São Francisco, estado de Sergipe. **Scientia Plena**, v. 9, n. 7, 2013.

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.

AVELAR, R. C.; CASTRO, R. P.; ARAÚJO, J. C. de; JUNCO, B. B.; DOURADO, D. C.; MARCONATO, F. E.; UFLA, F. A. C.; CASTRO NETO, P. Viabilidade de mudas provenientes de manivas de diferentes diâmetros de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.). In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 2., 2007, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: MCT/ABIPTI, 2007.

BARBOSA, M. C. R. **Estudos da aplicação do vetiver na melhoria dos parâmetros de resistência ao cisalhamento de solos em taludes**. 2012. 128 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto-MG, 2012.

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.

- BELTRÃO, N. E. M.; OLIVEIRA, M. I. P. **Oleaginosas e seus óleos: vantagens e desvantagens para produção de biodiesel**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2008, 28p. (Documentos, 201).
- BENGHOUGH, A. G.; MULLINS, C. E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. **Journal Soil Science**, v. 41, n. 3, p. 341-58, 1990.
- BIFULCO, C. Engenharia natural na reabilitação de taludes e vertentes. In: **7º Congresso Rodoviário Português**. Lisboa, p. 1–11, 2013.
- BORGES, P. C. F.; COLLAÇO JUNIOR, J. C.; SCARPARO, B.; NEVES, M. B.; CONEGLIAN, A. Caracterização da curva de embebição de sementes de pinhão manso. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, n. 13, 2009.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa N° 14 de janeiro de 2008. **Registro Nacional de Cultivares** – Brasília: Mapa/RNC, 2008.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Departamento Nacional de Produção Vegetal. Coordenação de Laboratório Vegetal. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília, DF. 2009.
- BUSSCHER, W. J.; BAUER, P. J.; CAMP, C. R.; SOJKA, R. E. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. **Soil Tillage Research**, v. 43, p. 205-217, 1997.
- COELHO, A. T.; PEREIRA, A. R. Efeitos da vegetação na estabilidade de taludes e encostas. **Boletim Técnico**, Belo Horizonte – MG, Ano 01 – N° 002, 2006. 20p.
- CORDEIRO, I.; SECCO, R. *Jatropha* in **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB22713>>. Acesso em: 20 ago. 2019.
- COSTA, E. L.; SILVA, H. F.; RIBEIRO, P. R. DE A. **Matéria orgânica de solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas**. Enciclopédias Biosfera, Goiânia – GO, v.9, n. 17, p. 1842 – 1860, 2013.
- COSTA, M. J. C. **Pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.): aspectos socioeconômicos e a fisiologia de sementes**. 2009. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão-SE, 2009.
- COSTA, R.V.; FERNANDES, L.A.; MAIO, M.M.; SAMPAIO, R.A.; SATURNINO, H.M.; PRATES, F.B.S.; XAVIER, M.N.; ZUBA JUNIOR, G.R. **Crescimento inicial de pinhao-manso em funcao de diferentes profundidades da cova e formas de adubacao com lodo de esgoto em area degradada**. EPAMIG, Belo Horizonte, MG, 2007.
- DAGAR, J.C.; TOMAR, O.S.; KUMAR, Y.; BHAGWAN, H.; YADAV, R.K.; TYAGI, N.K. Performance of some under-explored crops under saline irrigation in a semiarid climate in Northwest India. **Land and Degradation Development**, v. 17, n.3, p. 285–299, 2006.
- DAVIDE, A. C.; FERREIRA, R. A.; FARIA, J. M. R.; BOTELHO, S. A. Restauração de matas ciliares. **Informe Agropecuário**, v. 21, n. 207, p. 65-74, 2000.

DE BAETS, S.; POESEN, J.; REUBENS, B.; WEMANS, K.; De BAERDEMAEKER, J.; MUYS, B. Root tensile strength and root distribution of typical Mediterranean plant species and their contribution to soil shear strength. **Plant Soil**, n. 305, p. 207-226, 2008.

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.

DELL'AQUILA, A. Digital imaging information technology applied too seed germination testing a review. **Agronomy Sustainable**, v. 29, p. 213-221, 2009.

DIAS, D. C. F. S. **Cultivo de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.): para produção de óleo combustível**. Viçosa: Ed. UFV, 2007. 40 p.

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.

DRANSKI, J.L.; PINTO JR. A.S.; CAMPAGNOLO, M.A.; MALAVASI, A.L.; MALAVASI, M.DE.M. Desenvolvimento inicial de mudas de pinhão manso depende da intensidade de desfolha. **Magistra**, v. 28, n. 2, p. 201-210, 2016.

DRUMOND, M. A.; OLIVEIRA, A. R.; SIMÕES, W. L. Produção e distribuição da biomassa de *Jatropha curcas* no semiárido brasileiro. **Cerne**, v. 22, n. 1, p. 35-42, 2016.

DURLO, M. A. Biotécnicas no manejo de cursos de água. **Ciência & Ambiente**, v. 21, n. 2, p. 81-90, 2000.

DURLO, M. A.; SUTILI, F. J. **Bioengenharia: manejo biotécnico de cursos de água**. Porto Alegre, RS: EST Edições, 2005. 198p.

EDRISI, S.A.; DUBEY, R.K.; TRIPATHI, V.; BAKSHI, M.; SRIVASTAVA, P.; JAMIL, S.; SINGH, H.B AND ABHILASH, P.C. *Jatropha curcas* L.: a crucified plant waiting for resurgence. **Renew Sustainable Energy Reviews**, v. 41, p.855-862, 2015.

EHRENSPERGER, A.; BACH, S.; LINIGER, H.; PORTNER, B.; AYELE, H. Effectiveness of *Jatropha* barriers as a soil and water conservation technology to rehabilitategullies in northern Ethiopia. **Journal Soil Water Conservation**, v.70, n.2, p. 33A-38A, 2015.

FACHINELLO, J. C.; NACHTIGAL, J. C.; KERSTEN, E. **Fruticultura: fundamentos e práticas**. Pelotas: UFPEL, 1995. 311 p.

FACIROLLI, A. M.; OLIVEIRA, V. A.; GONZAGA, L. A. de M.; BRANDÃO, D. R.; FIDELIS, R. R. Crescimento inicial de genótipos de pinhão manso reproduzidos assexuadamente. **Revista Verde**, v. 7, n. 3, p. 79-84, 2012.

FERNANDES, J.; FREITAS, A. **Introdução à Engenharia Natural**. Portugal: EPAL - Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A., 2011.

FERNANDES, J.P.; GUIOMAR, N. Simulating the stabilization effect of soil bioengineering interventions in Mediterranean environments using limit equilibrium stability models and combinations of plant species. **Ecological Engineering**, v. 88, p.122-142, 2016.

FIORI, A. P.; CARMIGNANI, L. **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas, aplicações na estabilidade de taludes**. 2.ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2009. 602 p:

FRANKEN, Y. J.; NIELSEN, F. **The *Jatropha* handbook, from cultivation to application**. Chapter 2: plantation establishment and management. FACT Foundation, p. 9-27, 2010.

GAO, S.; OU-YANG, C.; TANG, L.; ZHU, J.; XU, Y.; WANG, S.; CHEN, F.; Growth and antioxidant responses in *Jatropha curcas* seedling exposed to mercury toxicity. **Journal Hazard Material**, v. 182, p. 591–597, 2010.

GHESTEM, M.; CAO, K.; MA, W.; ROWE, N.; LECLERC, R.; GADENNE, C.; STOKES, A. A framework for identifying plant species to be used as ‘ecological engineers’ for fixing soil on unstable slopes. **PLOS ONE**, v. 9, n 8, e95876, 2014.

GIADROSSICH, F.; COHEN, D.; SCHWARZ, M.; SEDDAIU, G.; CONTRAN, N.; LUBINO, M.; VALDÉS-RODRÍGUEZ, O.A.; NIEDDA, M. Modeling bio-engineering traits of *Jatropha curcas* L. **Ecological Engineering**, v.89, p.40–48, 2016.

GOSH L.; SINGH L. Study of factors influencing vegetative propagation of *Jatropha curcas*. **Indian Forester**, v.136, p. 1637-1648, 2010.

GRAF, F.; FREI, M. Soil aggregate stability related to soil density, root length, and mycorrhiza using site-specific *Alnus incana* and *Melanogaster variegatus* sl. **Ecological Engineering**, v. 57, p. 314–323, 2013.

GRAY, D. H.; LEISER, A. T. Biotechnical slope protection and erosion control. **Van Nostrand Reinhold Company**, New York, 1982. 271 p.

GRAY, D. H.; SOTIR, R. B. **Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization: A practical guide for erosion control**. New York: John Wiley & Sons, 1996. 378 p.

GUBITZ, G.M.; MITTELBAACH, M.; TRABI, M. Exploitation of the tropical oil seed plant *Jatropha curcas* L. **Bioresource Technology**, v. 6, p. 73–82, 1999.

GUIMARÃES, A. S. **Crescimento inicial do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) em função de fontes e quantidades de fertilizantes**. 2008. 92 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal da Paraíba, Areia-PB, 2008.

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.

HOLANDA, F.S.R.; DA ROCHA, I.P.; OLIVEIRA, V.S. Riverbank stabilization with soil bioengineering techniques at the Lower São Francisco River. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 12, p.570–575, 2008.

HOLANDA, F. S. R.; SANTOS, I. G. da C.; SANTOS, C. M. dos S.; CASADO, A. P. B.; PEDROTTI, A. Riparian fragments affected by bank erosion in the Lower São Francisco River, Northeastern Brazil. **Revista Árvore**, v. 29, n. 2, p. 148-152, 2005.

HUANG, A.H.C. Oil bodies and oleosins in seeds. **Annual Review of Plant Physiology Plant Molecular Biology**, v. 43, p.177-200, 1992.

HUBBLE, T.; CLARKE, S.; STOKES, A.; PHILLIPS, C. 4th International Conference on soilbio- and eco-engineering (SBEE2016) 'The Use of Vegetation to Improve Slope Stability'. **Ecological Engineering**, v.109, p. 141–144, 2017.

JIMU, L.; NYAKUDYA, I. W.; KATSVANGA, C. A. T. Establishment and early field performance of *Jatropha curcas* L. at Bindura University Farm, Zimbabwe. **Journal of Sustainable Development in Africa**, v.10, n.4, p.45–469, 2009.

KARANTONIS, J.G.; TAI, H.; OHLROGGE, J. B. Diacylglycerol Acyltransferase in Maturing Safflower Seeds-Its Influences on the Fatty-Acid Composition of Triacylglycerol and on the Rate of Triacylglycerol Synthesis. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 958, p.125-129, 2002.

KUMAR, A.; SHARMA, S. An Evaluation of Multipurpose Oil Seed Crop for Industrial Uses (*Jatropha curcas* L.): A Review. **Industrial Crops and Products**, v.28, p.1-10, 2008.

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.

LEWIS, L. **Soil bioengineering an alternative to roadside management a practical guide**. Technical Report 0077-1801-SDTDC. San Dimas, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, San Dimas Technology and Development Center, p.44, 2000.

LOADES, K.W.; BENGOUGH, A.G.; BRANSBY, M.F.; HALLETT, P.D. Planting density influence on fibrous root reinforcement of soils. **Ecological Engineering**, v. 36, n. 3, p. 276-284, 2010.

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.

MAKKAR, H.P.S.; GOEL, G.; FRANCIS, G.; BECKER, K. Phorbol Esters: Structure, Biological Activity, and Toxicity in Animals. **International Journal of Toxicology**, v. 26, p. 279-288, 2007.

MARQUES, D.E.; SANTOS, K.W.; VALOIS, A.C.C. Conservação de germoplasma de sementes a longo prazo. Procitropicos, 2014. Disponível em: <<https://procitropicos.org/articulo-conservacao-de-germoplasma-sementes-a-em-longo-prazo-em-portugues/>>. Acesso em: 03 jan. 2018.

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

MASSAD, F. **Obras de terra: curso básico de geotecnia**. 2. ed.São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2010. ISBN 9788586238970.

MENDONÇA, S.; LAVIOLA, B. G. **Uso Potencial e Toxidez da Torta de Pinhão-manso**. Brasília, DF. Embrapa Agroenergia, 2009. (Embrapa Agroenergia, comunicado técnico 01).

MIQUEL, M.; BROWSE, J. **Lipids biosynthesis in developing seeds**. Seed development and Germination. Marcel Dekker, New York, p. 169-193, 1995.

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.

NEVES, J.M.G.; 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.

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.

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

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.

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

PARTHIBANE, V.; RAJAKUMARI, S.; VENKATESHWARI, V.; IYAPPAN, R.; RAJASEKHARAN, R.: Oleosin is a bifunctional enzyme that has both monoacylglycerol acyltransferase and phospholipase activities. **Journal of Biological Chemistry**, v. 287, n.1946–1954, 2012.

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.

PAULINO, J.; FOLEGATTI, M.V.; FLUMIGNAN, D.L.; ZOLIN, C.A.; BARBOZA Jr., C.R. A.; PIEDADE, S.M.S. Crescimento e qualidade de mudas de pinhão-manso produzidas em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 1, p. 37 - 46, 2011.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E. A.; CRESTANA, S. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 25, p. 521-529, 2001.

PEREIRA, J.C.S.; CAMPESTRINI, R.; BARROS, H.B.; MAGALHÃES, J.C.S.; FIDELIS, R.R. Capacidade de enraizamento de estacas de genótipos de pinhão-manso sob lâminas de água. **Revista Verde**, v. 8, n. 1, p. 86-92, 2013.

PESSOA, A.M.S.; SANTOS, Â.G.; RIBEIRO, M.L.F.; SILVA-MANN, R. Influência da maturação de frutos na germinação, vigor e teor de óleo de sementes de pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.). **Scientia Plena**, v.8, p.1-11, 2012.

PESSOA, A.M.S.; SILVA-MANN, R.; SANTOS, A.G.; RIBEIRO, M.L.F. Morphological floral characterization in accessions of *Jatropha curcas* L. **Scientia Plena**, v. 8, p. 1-7, 2012.

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*. **Floresta**, v. 44, n. 1, p. 73-80, 2014.

PINTO, C. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas**. 2. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2002.

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.

POMPELLI, M.F.; OROZCO, A.J.; OLIVEIRA, M.T.O.; RODRIGUES, B.M.; BARBOSA, M.O.; SANTOS, M.G.; OLIVEIRA, A.F.M.; ALMEIDA-CORTEZ, J.S. Crise energética mundial e o papel do Brasil na problemática de biocombustíveis. **Revista Agronomia Colombiana**, v.29, p. 361–371, 2010.

RANUCCI, C.R.; ALVES, H.J.; SILVA, C.; MONTEIRO, M.R.; SANTOS, K.A.; BARICCATTI, R.A.; SILVA, E.A. Obtenção de bioquerosene de pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) e suas misturas ao querosene fóssil. **Revista Tecnológica**, Ed. especial 2014, p. 43-52, 2015.

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 Sciences**, v.13, p. 16157-16171, 2012.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; SUZUKI, L. E. A. S. Qualidade física dos solos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16., 2006, Aracaju. **Anais...** Aracaju: SBCS, 2006. CD-ROM

RESENDE, J.C.F.; JESUS, A.M.S.; RESENDE, M.A.V.; MORAIS, D.L.B.; MORAIS, E.B.S. D. Propagação de pinhão-mansão e qualidade fisiológica de sementes. In: RESENDE, J. C. F.; LONDE, L. N.; NEVES, W. S. **Pinhão-mansão**. Nova Porteirinha: EPAMIG, 2013. p. 206-210.

REUBENS, B.; ACHTEN, W.M.J.; MAES, W.H.; DANJON, F.; AERTS, R.; POESEN, J.; MUYS, B. More than biofuel? *Jatropha curcas* root system symmetry and potential for soil erosion control. **Journal of Arid Environments**, v.75, p. 201-205, 2011.

RIJSSENBECK, W. **Jatropha Handbook**: first draft. *Jatropha* planting manual. FACT Foundation, p.14-23. 2006.

- 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.
- ROMANO, N.; LIGNOLA, G.P.; BRIGANTE, M.; BOSSO, L.; CHIRICO, G.B. Residual life and degradation assessment of wood elements used in soil bioengineering structures for slope protection. **Ecological Engineering**, v. 90, p.498–509, 2016.
- ROMULI, S.; KARAJ, S.; MÜLLER, J. Physical Properties of *Jatropha curcas* L. Fruits and Seeds with Respect to Their Maturity Stage. **Applied Sciences**, v.9, n.9, p.1802, 2019.
- SANTANA, I.D.M.; HOLANDA, F.S.R.; FILHO, R.N.A.; MENEZES, A.H.B.; CRUZ, J.F.V.; SOARES, T.F.S.N.; MELO, A.F.R.; NETO, P.G.O. Potencial biotécnico das espécies Aroeira *Schinus terebinthifolius* Raddi e Sabiá *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth para recuperação de taludes marginais no baixo São Francisco. **Scientia Plena**, v.8, n. 4, 2012.
- SANTOS, H.O.D.; SILVA-MANN, R.; BOARI, A.D.J. *Tetranychus bastosi* Tuttle, Baker & Sales (Prostigmata: Tetranychidae) mites on *Jatropha curcas* (Lineus) in Sergipe State, Brazil. **Comunicata Scientiae**, v.1, p.153-155, 2010.
- SATURNINO, H.M.; PACHECO, D.D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N.; GONÇALVES, N.P. Cultura do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). **Informe Agropecuário**, v. 26, n. 229, p. 44-74, 2005.
- SEVERINO, L.S.; LIMA, R.L.S.; LUCENA, A.M.A.; FREIRE, M.A.O.; SAMPAIO, L.R.; VERAS, R.P.; MEDEIROS, K.A.A.L.; SOFIATTI, V.; ARRIEL, N.H.C. Propagation by stem cuttings and root system structure of *Jatropha curcas*. **Biomass Bioenergy**, v. 35, p. 3160–3166, 2011.
- SILVA, A. J. R. **Recomendação técnica da cultura de *Jatropha curcas* L. (Pinhão manso) para a produção de biocombustível no Distrito Federal**. 2006. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade de Brasília, Planaltina-DF, 2006.
- SILVA, R. A. F. **Aplicação da engenharia natural na estabilização de taludes**. 2012. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de Madeira, Portugal, 2012.
- SINGH, B.; SINGH, K.; RAO, G.R.; CHIKARA, J.; KUMAR, D.; MISHRAD, K. Agro-technology of *Jatropha curcas* for diverse environmental conditions in Índia. **Biomass bioenergy**, v. 48, p.191-202, 2013.
- 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.
- 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.
- STOKES, A.; DOUGLAS, G.B.; FOURCAUD, T.; GIADROSSICH, F.; GILLIES, C.; HUBBLE, T.; KIM, J.H.; LOADES, K.W.; MAO, Z.; MCIVOR, I.R.; MICKOVSKI, S.B.; MITCHELL, S.; OSMAN, N.; PHILLIPS, C.; POESEN, J.; POLSTER, D.; PRETI, F.;

RAYMOND, P.; REY, F.; SCHWARZ, M.; WALKER, L.R. Ecological mitigation of hillslope instability: ten key issues facing researchers and practitioners. **Plant Soil**, v. 377, p. 1–23. 2014.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; URLANI NETO, V. L. **Recomendação para o uso do penetrômetro de impacto - modelo IAA/Planalsucar - Stolf**. São Paulo, MIC/IAA/PNMCA-Planalsucar, 1983. 8 p. (Boletim, 1).

SUTILI, F. J. **Bioengenharia de Solos no Âmbito fluvial do Sul do Brasil: espécies aptas, suas propriedades vegetativo-mecânicas e emprego na prática**. 2007. 95 f. Tese (Doutorado em Instituto de Bioengenharia de Solos e Planejamento da Paisagem) - Universidade Rural de Viena, Viena, 2007.

TARDÍO, G.; MICKOVSKI, S.B. Implementation of eco-engineering design into existing slope stability design practices. **Ecological Engineering**, v.92, p. 138–147, 2016.

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.

TENGBETH, G. T. **The Effect of Grass Cover on Bank Erosion**. Silso e College, Cranfield Institute of Tecnology, 1989. 234 p. PhD Thesis

TOMINANGA, N.; KAKIDA, J.; YASUDA, E. K. Cultivo de pinhão-mansô para a produção de biodiesel. Viçosa, **CPT**, 2007. 220p.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, n. 2, p. 333-339, 1996.

TORRES, C.M.M.E.; JACOVINE, L.A.G.; TOLEDO, D.P.; SOARES, C.P.B.; RIBEIRO, S.C.; MARTINS, M.C. Biomass and carbon stock in *Jatropha curcas* L. **Cerne**, v.17, n.3, p.353-359, 2011.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, **Soil survey manual**. Washington, DC, USA, Soil Survey Division Staff, (Handbook, 18), 1993. 437p.
VIRGENS, I.O.; DE CASTRO, R.D.; LOUREIRO, M.B.; FERNANDEZ, L. G. Revisão: *Jatropha curcas* L.: aspectos morfofisiológicos e químicos. **Brazilian Journal Food Technology**, v. 20, 2017.

VISSER, E. M.; OLIVEIRA FILHO, D.; MARTINS, M. A.; STEWARD, B. L. Bioethanol production, potential from Brazilian biodiesel co-products. **Biomass and bioenergy**, v. 35, p. 489-494, 2011.

VOELKER, T.; KINNEY, A. J.; Variations in the Biosynthesis os seed – storage lipids. **Annual Reviews of Plant Physiology Plant Molecular Biology**, v. 52, p. 335-361, 2001.

WALDRON, L. J. The Shear Resistance of root-permeated homogeneous and stratified soil. **J. Soil Sci. Soc. Am.**, n. 41, p. 843-849, 1997.

WEBSTER, G.L. Classification of the Euphorbiaceae. **Annals of Missouri Botanical Garden**, v.81, p.3-32, 1994.

WU, T. H.; McKINNEL, W. P. III; SWANSTON, D. N. Strength of tree roots and landslides on Prince of Wales Island, Alaska. **Canadian Geotechnic Journal**, v. 16, p. 19–33, 1979.

XU, R.; WANG, R.; LIU, A. Expression profiles of genes involved in fatty acid and triacylglycerol synthesis in developing seeds of *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.). **Biomass Bioenergy**, v. 35, p.1683–1692, 2011.

ZHANGA, Z.; CAO, L.; ZHU, Z.; HE, C.; XIANGE, H.; XU, L.; SUN, C.; LIN, C.; YANG, H.; LI, K. Evaluation on soil bioengineering measures in agricultural areas: Poorer durability of wooden structures and better aboveground habitat improvements. **Ecological Engineering**, v. 129, p.1–10. 2019.

ZONTA, J.B.; ARAUJO, E.F.; ARAUJO, R.F.; DIAS, L.A.S. Diferentes tipos de secagem: efeitos na qualidade fisiológica de sementes de pinhão manso. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 4, p. 721-731, 2011.

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 DO GÊNERO *Jatropha* COM FOCO EM BIOENGENHARIA DE SOLOS

Periódico a ser submetido: REVISTA GEINTEC - Gestão, Inovação e Tecnologias

RESUMO

Para as euforbiáceas do gênero *Jatropha*, além das pesquisas para biodiesel, métodos e formas de cultivo também são importantes para estudos científicos e depósitos de patentes. Processos empregando cultivo e propagação permitem o desenvolvimento de pesquisas para uso vegetativo das plantas em trabalhos de bioengenharia de solos e controle de erosão. As principais metodologias de propagação e cultivo foram selecionadas para o levantamento prospectivo nas bases de dados de patentes e artigos científicos. O objetivo foi avaliar artigos patentes e processos dos últimos dez anos que envolvam o gênero *Jatropha* e processos de propagação e/ou uso no controle da erosão. As bases de dados utilizadas para patentes foram WIPO, EPO, USPTO e INPI. Para periódicos foram usadas as bases Science Direct, Scielo e Scopus, com termos envolvendo o gênero *Jatropha*, os métodos propagativos e o uso em bioengenharia de solos. O Japão e a China são os maiores detentores de patentes. A maioria das patentes está concentrada na seção de necessidades humanas, operações de processamento e construções fixas. Os artigos estão publicados em sua maioria no Journal of Bioscience and Bioengineering. Não foram encontradas patentes envolvendo o gênero *Jatropha* associado à bioengenharia de solos.

Palavras-chave: bibliometria, pinhão-manso, tecnologia, engenharia natural.

ABSTRACT

Title: The *Jatropha* genus prospection focused on soil bioengineering

For *Jatropha* euphorbia species, in addition to research on biodiesel, cultivation methods and technique are also important for scientific studies and patent filings. Processes using cultivation and propagation allow the research development about the vegetative use of plants in soil bioengineering operation and erosion control. The main propagation and cultivation methodologies were selected for the prospective survey in patent databases and scientific articles. The objective was to evaluate articles and patents and processes of the last ten years involving the *Jatropha* genus and propagation processes and/or use in the erosion control. The databases used for patents were WIPO, EPO, USPTO and INPI. For journals, the base Science Direct, Scielo and Scopus were used with terms involving the *Jatropha* genus, propagative methods and the use in soil bioengineering. Japan and China are the biggest patent holders. Most patents are concentrated in the human needs, processing operations and fixed construction sections. The articles are mostly published in the Journal of Bioscience and Bioengineering. No patents involving the *Jatropha* genus associated with soil bioengineering were found.

Key-words: Bibliometrics, physic nuts, technology, natural engineering.

4.1. Introdução

O gênero *Jatropha* pertence à família Euphorbiaceae e contém cerca de 170 espécies conhecidas (JOLY, 1998), destas, cerca de 18 são encontradas no Brasil. No nordeste brasileiro, as espécies mais conhecidas são: *Jatropha molissima* (Pohl) Baill., *Jatropha gossypifolia* (L.) e *Jatropha curcas* (L.) (ALBUQUERQUE; ANDRADE, 2002). As plantas do gênero *Jatropha* são arbustos que possuem inflorescência terminal cimosa, monoica, flores pentâmeras, pistiladas e estaminadas do tipo prato e produtoras de néctar (NEVES; FUNCH; VIANA, 2010).

Jatropha curcas, popularmente conhecida como pinhão-mansão, é estudada para a produção de biodiesel. O óleo extraído das sementes de pinhão-mansão apresenta-se de ótima qualidade para ser misturado ao diesel, podendo no futuro, representar uma redução na dependência do petróleo. Diversos países desenvolvem estudos para utilização de pinhão-mansão na medicina tradicional (AREKEMASE et al., 2011). Entretanto, características relacionadas a sua rusticidade, resistência a estresses ióticos e abióticos, a produção de biomassa e a arquitetura radicular têm despertado o interesse para uso na proteção de solos degradados.

O estudo de prospecção visa o uso de ferramentas básicas para demonstrar o desenvolvimento voltado para uma tecnologia. O exercício da prospecção consiste em apresentar o estado da arte e adiantar os avanços e influenciar na orientação das trajetórias tecnológicas (ZACKIEWICZ; SALLES-FILHO, 2001).

Neste contexto, a bioengenharia de solos pode, com o uso de plantas de pinhão-mansão, controlar a erosão e estabilizar o solo pelo uso de estruturas biomecânicas das raízes. Plantas de pinhão-mansão são resistentes, de fácil propagação (SEVERINO et al., 2011) e de crescimento rápido. Apresentam resistência aos estresses bióticos e abióticos, com produção de biomassa vegetal. Métodos de propagação, fases do desenvolvimento para corte de estacas, produção de mudas e idade das plantas para o transplante são objetos de estudo que resultam em depósitos de patentes. Periódicos também são usados para divulgação científica de estudos sobre características biomecânicas de plantas de *Jatropha*.

Assim, o objetivo foi realizar uma prospecção tecnológica e científica sobre a utilização de plantas do gênero *Jatropha* em atividades associadas à estabilização de taludes e solos, métodos de propagação e cultivo, analisando a participação de países nos depósitos de patentes em bancos de inovação e tecnologia nacionais e internacionais.

4.2. Metodologia

O estudo prospectivo foi realizado no mês de maio de 2019, baseado nos pedidos de patentes depositados e disponíveis para consulta on line na base de dados da EPO (*European Patent Office*) no site Espacenet, *World Intellectual Property Organization* (WIPO), *United States Patent and Trademark Office* (USPTO), *Google patents*, além do Instituto Nacional de Propriedade Industrial do Brasil (INPI), para patentes nacionais. Os artigos foram pesquisados nas bases de periódicos científicos *Scielo*, *Science Direct* e *Scopus*.

O conjunto de palavras-chave e descritores utilizados foram relacionados à bioengenharia de solos, estabilidade de taludes, taludes, plantas, estacas, idade de corte, propagação, crescimento radicular de plantas do gênero *Jatropha*, pesquisados na língua inglesa nas bases internacionais, enquanto nas bases nacionais a pesquisa foi em língua portuguesa, sendo considerados válidos os documentos com esses termos no título ou no resumo.

As palavras usadas na pesquisa foram: “*jatropha*”, “*slope stabilization*”, “*soil bioengineering*”, “*slope stabilization and vegetation*”, “*slope stabilization and jatropha*”, “*soil bioengineering and jatropha*”, “*jatropha and cuttage*”, “*jatropha and cutting*”, “*jatropha and propagation*”, “*jatropha and rooting*”, “*jatropha and raising*”, “*jatropha and seedling*”, “*jatropha and stem-planting*”.

Foram analisados os dados de pedidos de patentes e números de artigos com as combinações de termos. Foram quantificados os pedidos de patentes dos últimos dez anos por bases de dados, países depositantes e o enquadramento quanto à Classificação Internacional de Patentes (CIP). Para os periódicos foi quantificado o número de publicações por base de dados e os periódicos com maior número de publicações nos últimos dez anos.

4.3. Resultados e Discussão

As palavra-chaves *jatropha*, *slope stabilization* e *soil bioengineering* pesquisados isoladamente, demonstram a quantidade de depósitos realizados para estes descritores no WIPO, EPO, USPTO e INPI (Tabela 1). No *Google patents* foi obtido um volume muito superior de informações para *jatropha* e nenhum registro para *slope stabilization* e *soil bioengineering*. Em relação ao termo *Jatropha*, na comparação entre as bases de dados da WIPO e EPO, uma maior quantidade de depósitos foi verificada para a WIPO. Nesta, há uma grande quantidade de depósitos de patentes de origem chinesa que relatam métodos de obtenção de cultivares e métodos de cultivo. O INPI, que é um órgão nacional de registro de patentes, registrou uma menor quantidade de depósitos para o termo *Jatropha*.

O termo *slope stabilization* foi encontrado em registros de depósitos na WIPO, EPO e USPTO, está associado a diferentes metodologias que foram registradas sobre o tema e protegidas em diferentes bancos de dados. Na USPTO o registro descreve o uso de camadas de geomembranas. Um depósito de patente referente à metodologia para bioengenharia do solo (*soil bioengineering*) foi depositado na EPO e descreve um dispositivo de ancoragem para fixação de poste em solo, com sistema de martelagem com unidade antirotação para pino em relação à barra de acionamento para controle da orientação do dispositivo durante a fase de penetração, onde a barra possui encaixe final no perfil. O termo associado *slope stabilization and vegetation*, tem uma quantidade considerável de depósitos de patentes na WIPO e na EPO, demonstrando uma agregação dos termos vegetação e estabilidade de taludes.

TABELA 1: Descritores e números de competências tecnológicas nas bases de dados. UFS, São Cristóvão-SE, 2019.

PALAVRAS-CHAVE	BASES DE PATENTES				
	WIPO	EPO	USPTO	INPI	GP
<i>Jatropha</i>	774	669	20	17	4.747
<i>Slope stabilization</i>	532	181	1	0	0
<i>Soil bioengineering</i>	0	1	0	0	0
<i>Slope stabilization and vegetation</i>	47	16	0	0	26.412
<i>Slope stabilization and jatropha</i>	0	0	0	0	0
<i>Soil bioengineering and Jatropha</i>	0	0	0	-	0
<i>Jatropha and cuttage</i>	4	2	0	0	19
<i>Jatropha and cutting</i>	25	3	0	0	1.550
<i>Jatropha and propagation</i>	18	6	0	0	525
<i>Jatropha and seedling</i>	36	9	0	0	-
<i>Jatropha and rooting</i>	14	3	0	0	915
<i>Jatropha and raising</i>	10	6	0	0	3.779
<i>Jatropha and stem-planting</i>	1	1	0	0	1.003

EPO: European Patent Office; WIPO: World Intellectual Property Organization; USPTO: United States Patent and Trademark Office; INPI: Instituto Nacional de Propriedade Industrial do Brasil; GP: Google Patents

Entretanto, o uso de termos *soil bioengineering* e *slope stabilization*, indexados ao termo *Jatropha*, não apresentaram resultados. Essa informação prova que ainda não foram registrados depósitos de patentes relativos ao uso de plantas *Jatropha* em bioengenharia de solos ou estabilização de taludes.

Pesquisando-se a associação da palavra-chave *Jatropha* com os descritores fitotécnicos, verificou-se que na base de dados do *Google patents* há uma grande quantidade de informações, sendo o *Google Patents* um mecanismo de pesquisa do Google que indexa patentes e aplicativos de patentes. Na WIPO havia uma maior quantidade de depósitos, exceto para o termo “*Jatropha and raising*”. Neste descritor na WIPO existem três depósitos de patentes e a EPO com seis depósitos.

Na avaliação dos últimos dez anos, realizada no banco de dados da WIPO e EPO, a quantidade total de competências tecnológicas para os termos *Jatropha* e estabilização de taludes demonstrou uma superioridade dos países asiáticos (Figura 1). Na maioria dos depósitos realizados pelo Japão para os termos pesquisados o destino era o EPO, enquanto que a China registra a maioria dos depósitos na WIPO.

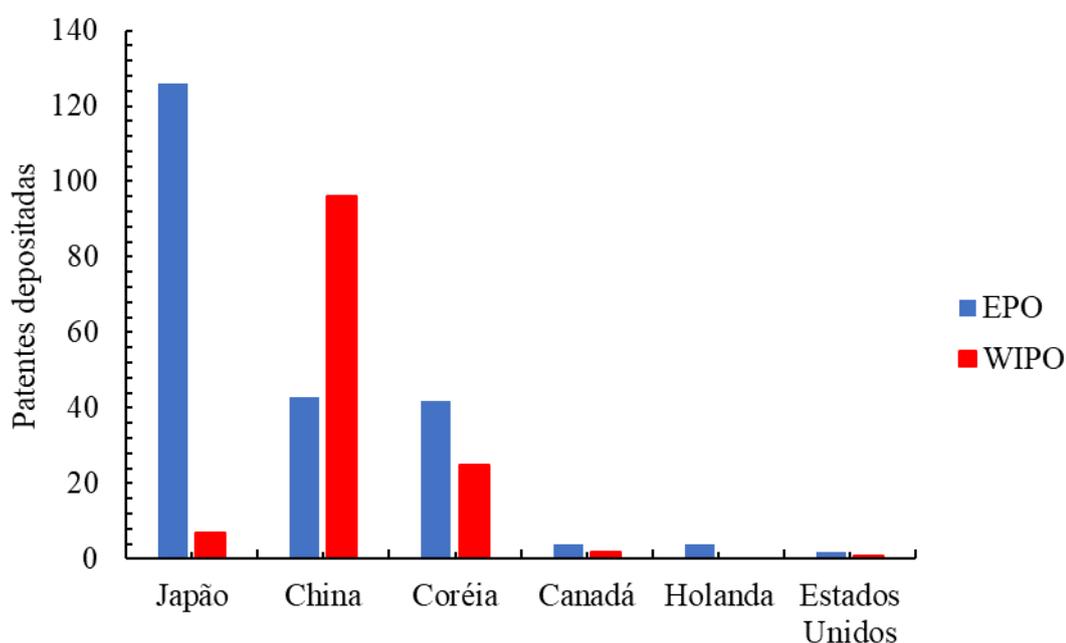


FIGURA 1. Distribuição dos depósitos de patentes por países maiores detentores de patentes para os descritores avaliados nas bases WIPO e EPO. UFS, São Cristóvão-SE, 2019.

As informações inerentes à classificação são fundamentais para a prospecção tecnológica das metodologias. O depósito de patentes obedece a uma classificação internacional de modo a organizar os registros. A Classificação Internacional de Patentes (CIP) é dividida em oito seções, vinte e uma subseções, cento e vinte classes, seiscentos e vinte e oito subclasses e sessenta e nove mil grupos (SERAFINI et al., 2012). Uma mesma patente depositada pode estar inserida em mais de uma classe. As patentes pesquisadas, pela dimensão dos termos utilizados, estavam inseridas nas seções “A” (necessidades humanas), “B” (operações de processamento; transporte), “C” (química; metalurgia), “D” (têxteis; papel), “E” (construções fixas), “F” (engenharia mecânica; iluminação, armas; explosão), “G” (física) e “H” (eletricidade) (Figura 2).

Na seção “A” foram observadas três classes distintas (01, 23 e 61), onde a classe 01 indica produtos da agricultura, silvicultura, pecuária, caça, captura em armadilhas e pesca; a classe 23 indica alimentos ou gêneros alimentícios; e a classe 61, ciência médica ou veterinária. A maioria das patentes faz referência a produtos com o termo *jatropha*.

Na seção “B” são observadas as classes 01, 02, 23 e 60 que englobam operações com aparelhos físicos, máquinas para trituração e beneficiamento de grãos antes da moagem, uso de ferramentas e veículos em geral, respectivamente. O termo *slope stabilization* esteve presente em patentes de B02, B23 e B60.

Na seção “C” verificaram-se quatro classes (01, 04, 05, 09 e 12), sendo a classe 01 referente à química inorgânica; a classe 04 ao uso de concreto e pedra artificial; fabricação de fertilizantes; química orgânica e, por último a bioquímica, engenharia genética ou de mutação.

Nessa seção, a atividade de bioengenharia de solos pode estar inserida na classe C04, enquanto nas demais predominam os termos *jatropha*, e os termos compostos *jatropha cutting* e *slope stabilization and vegetation*.

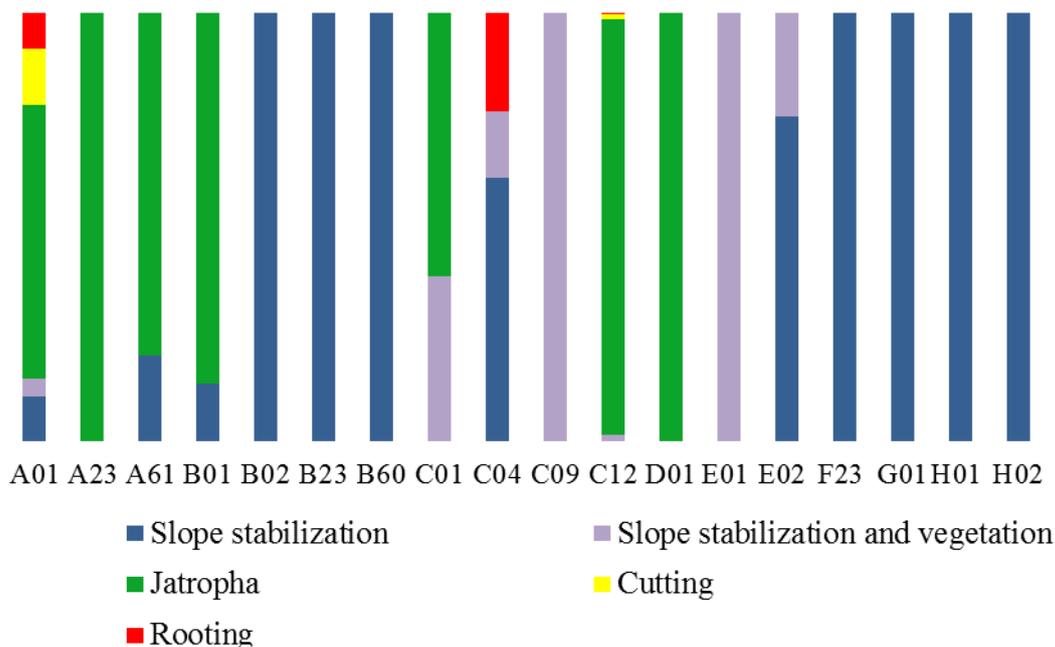


FIGURA 2. Classificação Internacional de Patentes (CIP) encontradas nas bases WIPO e EPO para os termos indexados na pesquisa. UFS, São Cristóvão-SE, 2019.

A seção “D” com classe 01 faz referência ao uso de fibras naturais. Nessa classe, o termo *jatropha and cutting* é o que aparece em maior quantidade, possivelmente atraído pelo termo *cutting*. A seção “E” 01 indica o uso de materiais em construção de rodovias e ferrovias, por isso o termo *slope stabilization and vegetation* surgiu mais vezes. Em “E” 02, *slope stabilization* e *slope stabilization and vegetation* surgem mais vezes, indicando predomínio de depósitos de patentes nessa seção. Em “F” 23, são patentes de aparelhos de combustão; “G” 01 patentes depositadas para medição e teste e “H” 01 e 02 para elementos básicos elétricos e distribuição de energia elétrica.

As publicações científicas foram pesquisadas em artigos dos últimos 10 anos, na pesquisa nas bases de periódicos verificou-se que o termo “*slope stabilization*” foi o termo com o maior número de publicações e estava inserido na base de dados *Science Direct* (Tabela 2). Esse resultado demonstra que uma enorme quantidade de trabalhos foi captada na pesquisa utilizando o termo. A menor quantidade publicações científicas foi para o termo *jatropha and cuttage* que trata da idade de corte de estacas de pinhão-mansão.

A base de dados *Scielo* não apresentou publicação de dados para os termos pesquisados, *slope stabilization and jatropa*, *soil bioengineering and jatropa*, *jatropha and cuttage*. A maioria das publicações dessa base de dados são de artigos da América do Sul e Central, podendo-se inferir que ainda não foram feitas publicações sobre o assunto.

A base *Scopus* é a maior base de resumos e citações de literatura revisada por pares, contando com ferramentas inteligentes para rastrear, analisar e visualizar pesquisas (ELSEVIER, 2016). Houve maior frequência para os termos pesquisados do que a base de dados *Scielo*. Entretanto, houve menor número do que a da base *Science Direct*. Não foram observadas publicações nos termos *jatropha and cuttings* e *jatropha stem-planting*. A maior quantidade de publicações foi para os termos *slope stabilization* e *jatropha curcas*.

TABELA 2: Descritores e número de artigos científicos publicados em bases de dados. UFS, São Cristóvão-SE, 2019.

PALAVRAS-CHAVE	BASE DE PERIÓDICOS		
	Science Direct	Scielo	Scopus
<i>Jatropha</i>	5.093	435	1.074
<i>Slope stabilization</i>	7.387	13	1.374
<i>Soil bioengineering</i>	2.723	16	313
<i>Slope stabilization and vegetation</i>	7.016	3	183
<i>Slope stabilization and jatropha</i>	117	0	1
<i>Soil bioengineering and Jatropha</i>	43	0	1
<i>Jatropha and cuttage</i>	2	0	0
<i>Jatropha and cutting</i>	367	3	48
<i>Jatropha and propagation</i>	409	7	52
<i>Jatropha and seedling</i>	504	26	285
<i>Jatropha and rooting</i>	1.017	4	39
<i>Jatropha and raising</i>	1.144	2	10
<i>Jatropha and stem-planting</i>	853	7	0

A Índia e a China apresentam um grande volume de publicações científicas analisando apenas os termos da pesquisa; enquanto o Brasil tem uma grande quantidade de produção científica na área fitotécnica nos mesmos termos pesquisados.

Os termos “*soil bioengineering*” e “*slope stabilization*” associados ao termo “*jatropha*” pesquisados na base de dados de *Science Direct*, estão em sua maioria publicados no periódico *Bioresource Technology* (Figura 3).

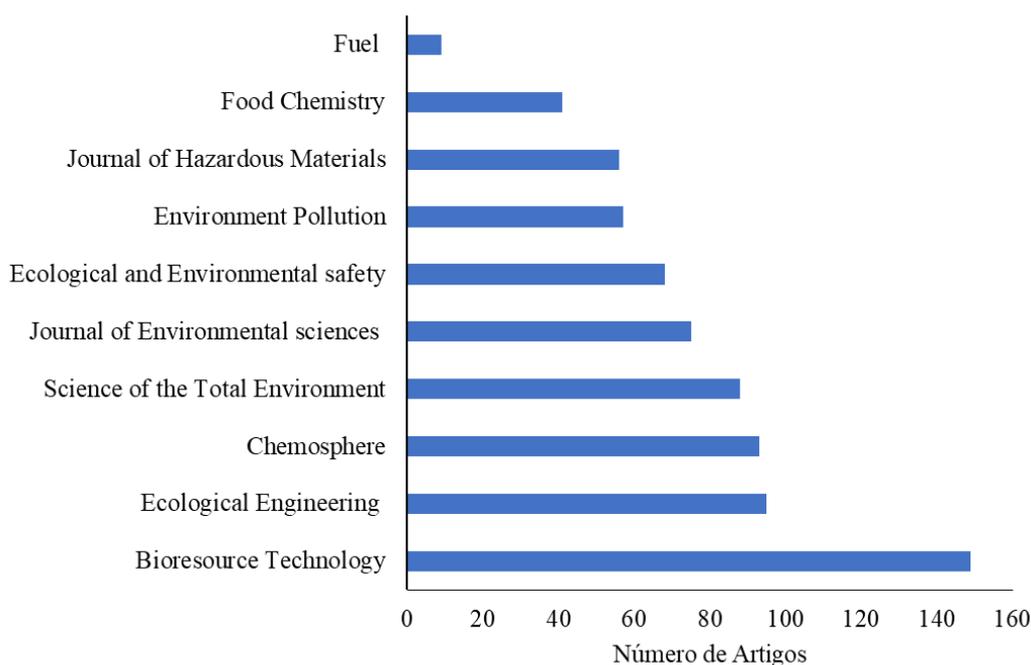


FIGURA 3. Distribuição dos periódicos e número de publicações dos últimos 10 anos de acordo com os termos da pesquisa na base de dados Science Direct. UFS, São Cristóvão-SE, 2019.

Quando o Brasil introduziu o biodiesel na matriz energética brasileira, criou em 2004 o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) para estruturar a cadeia produtiva do mercado (LEITE et al., 2013). Dentre as plantas estudadas, *Jatropha curcas* teve seu cultivo expandido. Outras espécies do gênero são cultivadas em quintais ou obtidas por extrativismo, como *Jatropha gossypifolia* (MADALENO, 2011), *Jatropha mollissima* e *Jatropha ribifolia* (ALBUQUERQUE et al., 2007).

No contexto do manejo sustentável de bacias hidrográficas, técnicas de bioengenharia parecem apropriadas, especialmente em países subdesenvolvidos. Com relação às plantas a serem utilizadas, *Jatropha curcas* tem sido recomendada (PETRONE; PRETI, 2008).

4.4. Conclusões

A prospecção de depósitos de patentes para os termos “*Jatropha*” possivelmente se deve aos trabalhos relacionados às pesquisas com óleo para biocombustíveis e produtos medicinais. Outro ponto importante se deve ao fato do pinhão-mansão ser uma planta em processo de domesticação e, por isso, há grande quantidade de depósitos de patentes para termos relacionados aos métodos propagativos.

Conforme a análise dos termos associados à bioengenharia de solos utilizados nesta prospecção (*soil bioengineering* e *slope stabilization*), fica evidenciado que não há patentes relacionadas ao uso de *Jatropha*. Grande parte dos registros de patentes, cerca de 95% da informação sobre patentes, está sob domínio de países asiáticos e que dentre os termos pesquisados, não há patentes brasileiras registradas.

Em relação ao levantamento bibliográfico dos artigos em periódicos, há uma maior quantidade de publicações quanto aos termos pesquisados. Confirmando que a maior parte dos investimentos tecnológicos e acadêmicos resultam em um maior número de artigos científicos em relação a depósitos de patentes.

Tendo em vista a quase inexistência de patentes e a importância das técnicas de bioengenharia de solos na proteção de taludes, encostas e conservação do solo, a elaboração de novos estudos sobre o tema aumenta o interesse para obtenção de novas tecnologias (de baixo custo efetivo) na área.

4.5. Referências bibliográficas

ALBUQUERQUE, U. P.; ANDRADE, L. H. C. Conhecimento botânico tradicional e conservação em uma área de caatinga no Estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil. **Acta Botânica Brasilica**, v. 16, n. 3, p. 273-285, 2002.

ALBUQUERQUE, U. P.; MEDEIROS, P.M.; ALMEIDA, A. L. S.; MONTEIRO, J.M.; NETO, E. M. F. L.; MELO, J. G.; SANTOS, J. P. Medicinal plants of the *caatinga* (semi-arid) vegetation of NE Brazil: A quantitative approach. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 114, p. 325–354, 2007.

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.

ELSEVIER. **Scopus: Folheto Scopus, Consultado Internet dia 05/04/2017:**

https://www.elsevier.com/_data/assets/pdf_file/0004/245803/0031-Scopus-Global-Research-Factsheet-A4-v4-POT.pdf

JOLY, A. B. **Botânica: introdução à taxonomia vegetal**. 12^a. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1998.

LEITE, J. G. D. B.; BIJMAN, J.; GILLER, K.; SLINGERLAND, M. Biodiesel policy for family farms in Brazil: One-size-fits-all? **Environmental Science & Policy**, v. 27, n. 3, p. 195-205, 2013.

MADALENO, I. M. Plantas da medicina popular de São Luís, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências humanas**, v. 6, n. 2, p. 273-286, 2011.

NEVES, E.L.DAS; FUNCH, L. S.; VIANA, B.F. Comportamento fenológico de três espécies de *Jatropha* (Euphorbiaceae) da Caatinga, semi-árido do Brasil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 33, n.1, p.155-166, 2010.

PETRONE, A.; PRETI, F. Suitability of soil bioengineering techniques in Central America: a case study in Nicaragua. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**, v. 5, n. 1, p. 379-403, 2008.

SERAFINI, M. R; QUINTANS, J. S. S; ANTONIOLLI, A. R; SANTOS, M. R. V; QUINTANS-JUNIOR, L. J. Mapeamento de tecnologias patenteáveis com o uso da hecogenina. **Revista Geintec**, v. 2, n. 5, p. 427-435, 2012.

SEVERINO, L.S.; LIMA, R.L.S.; LUCENA, A.M.A.; FREIRE, M.A.O.; SAMPAIO, L.R.; VERAS, R.P.; MEDEIROS, K.A.A.L.; SOFIATTI, V.; ARRIEL, N.H.C. Propagation by stem cuttings and root system structure of *Jatropha curcas*. **Biomass Bioenergy**, v. 35, p. 3160–3166, 2011.

ZACKIEWICZ, M.; SALLES-FILHO, S. Technological foresight: um instrumento para política científica e tecnológica. **Parcerias Estratégicas**, n. 10, p. 144-161, 2001.

5. ARTIGO 2

ANÁLISE DE IMAGENS E CLASSIFICAÇÃO DE SEMENTES DE PINHÃO-MANSO QUANTO AO GRAU DE MATURAÇÃO DOS FRUTOS

Periódico a ser submetido: Biomass & Bioenergy

RESUMO

A maturidade fisiológica dos frutos é definida como o estágio de desenvolvimento no qual a colheita é recomendada e o período em que as sementes apresentam seu máximo potencial germinativo e vigor. Em pinhão-manso é comum a diferença de maturação dos frutos no mesmo ráculo, bem como a ocorrência de malformação do embrião nas sementes, sendo necessários estudos que avaliem a morfologia de sementes e sua relação com a qualidade. O objetivo deste estudo foi avaliar a relação entre a morfologia e a qualidade de sementes de diferentes estágios de maturação dos frutos. Os frutos foram coletados e classificados quanto ao estágio de desenvolvimento em secos (cor marrom a preta) e no início de maturação (coloração amarela, com ou sem manchas marrons). Em seguida as sementes foram submetidas ao teste de raios-X para a avaliação e classificação quanto ao seu preenchimento de acordo com a sua formação. As sementes foram expostas aos raios-X por 14,8 segundos na intensidade de 22 Kv. Posteriormente, as sementes foram submetidas ao teste de germinação na mesma posição sequencial em que foram radiografadas. O uso de teste de raios-X e a categorização das sementes de pinhão-manso permitem identificar híbridos com maior produção de sementes cheias e bem formadas. O híbrido JCUFS-04xJCUFS-05 produz melhor qualidade fisiológica de sementes independente do estágio de maturação. Para os híbridos JCUFS-04xJCUFS-13 e JCUFS-01xJCUFS-13 existe correlação positiva entre a formação das sementes, a porcentagem de germinação e a ocorrência de plântulas normais. Existe correlação entre híbridos e estágios de desenvolvimento e é possível identificar genótipos com potencial para a produção de sementes.

Palavras-chave: *Jatropha curcas*; raios-X, maturação; qualidade fisiológica.

ABSTRACT

Title: Images analysis and physic nut seeds classification according to the fruits maturity level

The fruits physiological maturity is defined as the development stage in which the harvest is recommended and the period when the seeds have their maximum germination potential and vigor. In *Jatropha* the difference in fruit maturation in the same branch is common, as well as the malformation of the embryo in the seed occurrence, being necessary studies that evaluate the seed morphology and its relation to the quality. The aim of this study was to evaluate the relationship between seed morphology and seed quality of different fruit ripening stages. The fruits were collected and classified according to their development stage in dry (brown to black color) and at the beginning of ripening (yellow color, with or without brown spots). Then the seeds were submitted to the X-ray test for evaluation and classification as their filling according to their formation. The seeds were exposed to X-rays for 14.8 seconds at an intensity of 22 Kv. Subsequently, the seeds were submitted to germination testing in the same sequential position in which they were radio-graphed. The use of X-ray testing and the *Jatropha* seeds categorization allow to identify hybrids with higher production of full and well formed seeds. The hybrid JCUFS-04xJCUFS-05 produces better physiological seed quality regardless of maturity stage. For the hybrids JCUFS-04xJCUFS-13 and JCUFS-01xJCUFS0-13 there is a positive correlation between seed formation, germination percentage and normal seedling occurrence. There is a correlation between hybrids and developmental stages and it is possible to identify genotypes with potential for seed production.

Key-words: *Jatropha curcas*; X ray; maturation; physiological quality.

5.1. Introdução

O pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) é uma euforbiácea arbustiva, perene, originária do México e América Central (EDRISI et al., 2015). O elevado teor de óleo de suas sementes torna a espécie importante para a produção de biodiesel (PU et al., 2011). Muito cultivada em países da América do Sul, africanos e asiáticos, com clima tropical e subtropical (SANTOS et al., 2013), impulsionada pela demanda por biocombustíveis e a sua resistência ao estresse hídrico e adaptabilidade a solos degradados. A sua propagação através de sementes apresenta vantagens em relação ao armazenamento e o transporte do material propagativo, além da produção de mudas com raízes pivotantes.

Problemas como a rápida perda de viabilidade podem resultar em elevada taxa respiratória (LOZANO-ISLA et al., 2018), comum na maioria das oleaginosas, fazendo com que ocasione problemas quanto à qualidade das suas sementes. Outro aspecto que merece atenção está relacionado à maturação dos frutos das combinações híbridas e às variações genéticas que podem interferir na sua qualidade. O teor de umidade, o volume e as propriedades mecânicas são alterados durante a maturação (ROMULI; KARAJ; MÜLLER, 2019).

Os frutos de pinhão-manso são colhidos quando o pericarpo está completamente amarelo ou com casca amarela com manchas marrons ou completamente marrons. Embora alguns estudos tenham avaliado a qualidade das sementes de acordo com o estágio de maturidade dos frutos (PESSOA et al., 2012) e a qualidade durante o armazenamento (SILVA et al., 2017), a limitação de estudos relacionados à utilização de testes rápidos que avaliem a qualidade e integridade física das sementes em híbridos em diferentes estágios de maturação impulsionam trabalhos voltados a esses aspectos.

Dentre os testes utilizados, a análise de imagens por meio de testes de raios-X auxilia na tomada de decisão quanto à seleção de materiais com morfologia considerada adequada para produzir plântulas normais e, conseqüentemente, selecionar materiais com produção de sementes definidas para a espécie.

A análise de imagens de raios-X é uma técnica simples que tem a finalidade de avaliar, de forma não destrutiva, a estrutura interna das sementes (ISTA, 2004; BRASIL, 2009). A visualização das estruturas internas permite a classificação das sementes quanto ao seu preenchimento, e o armazenamento de imagens catalogadas para avaliação permite a agilidade na tomada de decisões quanto à qualidade, considerando a seleção de genótipos em cruzamentos. É utilizado como teste complementar ao de germinação para mostrar que a morfologia de sementes pode resultar em diferenças quanto à porcentagem de plantas normais dentro do material a ser analisado.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade física e fisiológica de sementes em frutos com diferentes estágios de maturação de híbridos de *Jatropha curcas*.

5.2. Material e Métodos

Foram obtidas sementes de seis híbridos originados de cruzamentos controlados conforme Santana et al. (2013), caracterizados quanto ao grau de umidade e teor de óleo (TABELA 1).

Os híbridos compõem a coleção de germoplasma e são cultivados em espaçamento de 2 x 2 m desde o ano de 2010, na Estação Experimental da Universidade Federal de Sergipe, Campus São Cristóvão (10° 55' 26" S e 37° 11' 57" O). O solo é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, com relevo plano a suavemente ondulado (EMBRAPA, 2013). O clima, segundo Köppen (1936), é do tipo tropical chuvoso, com temperatura média de 25,5°C e precipitação pluviométrica de 1.300 mm.

TABELA 1. Genótipos de *Jatropha curcas* (L.), teor de água e óleo das sementes. (L.). UFS, São Cristóvão-SE, 2017.

HÍBRIDOS	CÓDIGO	TEOR DE ÁGUA	TEOR DE ÓLEO
JCUFS03xJCUFS-05	H1	5,8	43,0
JCUFS-04xJCUFS-05	H2	7,3	43,1
JCUFS-04x JCUFS-13	H3	6,2	43,9
JCUFS-01xJCUFS0-13	H4	6,0	42,4
JCUFS-01xJCUFS-05	H5	6,2	52,2
JCUFS-03xJCUFS-13	H6	7,2	46,4

As sementes foram obtidas de frutos em diferentes estádios de maturação. Os estádios foram identificados de acordo a quantidade de dias após o florescimento (DAF). No estágio I (60 DAF) foram caracterizados por frutos com coloração amarela, podendo ter manchas marrons, escuras ou claras e sementes pretas brilhantes. No estágio II (90 DAF), os frutos apresentavam-se secos com coloração preta e sementes pretas e foscas (Figura 1).

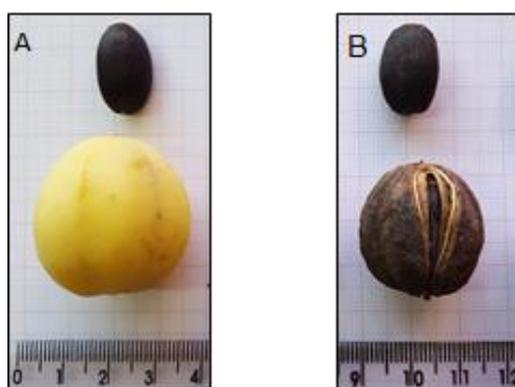


FIGURA 1. Frutos e sementes em diferentes estádios de maturação de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). Estádio I (A); estágio II (B). UFS, São Cristóvão-SE, 2017.

Após a classificação dos estádios, as sementes foram radiografadas com o equipamento Faxitron Ultrafocus 60 (Faxitron X-ray Corp., Tucson, AZ, USA) com intensidade de 22 kv e tempo de exposição aproximado de 14,8 segundos, conforme calibração automática do equipamento. Para cada híbrido foram utilizadas quatro repetições de 25 sementes. As imagens radiográficas obtidas foram interpretadas com o auxílio do software ImageJ, a partir da mensuração das áreas livres internas.

Para avaliação da qualidade de sementes foram realizados os testes de germinação na mesma posição e ordem usada para obtenção de imagens de raios-X, primeira contagem (PC) e índice de velocidade de emergência (IVE) e umidade. As sementes foram dispostas em rolos de papel tipo *germitest*, umedecido com 2,5 vezes o peso (g) com água destilada. As condições de germinação foram em incubadora do tipo B.O.D. (*Biochemical Oxygen Demand*) com fotoperíodo de 12 horas e temperatura de $25^{\circ} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$. A primeira contagem de germinação (PC) foi realizada ao sétimo dia, e a última contagem no décimo quarto dia.

O grau de umidade das sementes foi determinado pelo método de estufa a $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$, durante 24 horas. As determinações foram expressas em porcentagem com base no peso úmido (BRASIL, 2009). A porcentagem de germinação foi calculada pela fórmula proposta nas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009) e o Índice de Velocidade de Germinação (IVG) foi estimado empregando-se dados de contagem diária de acordo com Maguire (1962). O delineamento adotado para avaliação foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 2×6 com quatro repetições, sendo dois estádios de maturação e seis híbridos. Os dados foram submetidos à verificação da distribuição normal (Shapiro-Wilk) e as médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, sendo os dados de germinação expressos, em porcentagem, transformados em $\arcsin(x/100)$ e as categorias de

sementes em raiz quadrada de $x+0,5$, utilizando-se o programa Sisvar (FERREIRA, 2011). Foram estimadas variáveis genéticas como herdabilidade (h^2), variância genética (σ_G) e ambiental (σ_E), que foram obtidas empregando o programa Genes (CRUZ, 2013). Foi realizada a correlação entre a porcentagem de plântulas normais de acordo com a quantidade de sementes cheias por híbrido.

5.3 Resultados e Discussão

A porcentagem da umidade das sementes no estágio I foi de 11,70% e no estágio II foi de 10,70%. O armazenamento de oleaginosas é feito com teores inferiores a 10% (MARCOS FILHO, 2005). Estes valores não afetam a germinação das sementes de pinhão-manso, pois seu comportamento ortodoxo confere maior longevidade durante o armazenamento com um grau de umidade entre 5 e 10%, com preservação do sistema de membranas das sementes (JOKER; JEPSEN, 2003).

As imagens geradas através de raios-x permitiram a visualização das estruturas internas da semente. Quanto menor a quantidade de água das sementes, maior a densidade ótica, possibilitando a diferenciação adequada e a visualização nítida das estruturas internas (SIMAK, 1991). A boa visualização da estrutura interna possibilitou a categorização das sementes em cinco classes, de acordo com o preenchimento interno em: a) sementes cheias e bem formadas, com todos os tecidos essenciais para a germinação (CBF); b) sementes com espaço e bem formadas (EBF); c) sementes com espaço e malformadas (EMF); d) manchadas ou com danos (MD) e; e) vazias (Vz) (com conteúdo interno ausente) e a elaboração de imagens tridimensionais para melhor observação das sementes (FIGURA 2).

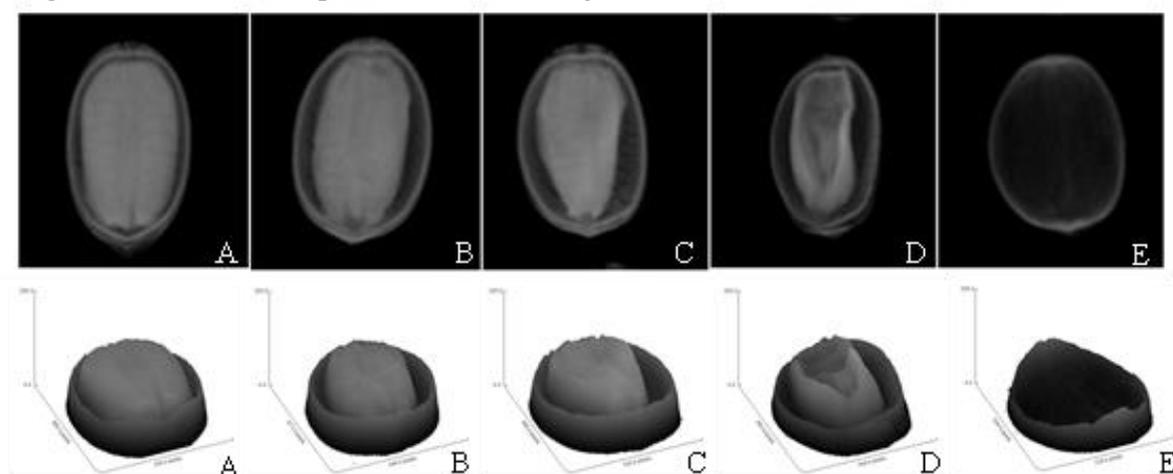


FIGURA 2. Morfologia interna e imagens tridimensionais de sementes de *Jatropha curcas* L. Da esquerda para a direita - (a) cheias e bem formadas; (b) com espaço e bem formadas; (c) com espaço e malformadas; (d) manchadas ou com danos e (e) vazias. UFS, São Cristóvão-SE, 2017.

Houve variação nas sementes avaliadas nos raios-X (Tabela 2). No agrupamento da classe de sementes cheias, observou-se que no estágio I, o híbrido H2 foi superior aos demais. Os híbridos H2 e H3 foram melhores no estágio I que no estágio II para a quantidade de sementes cheias e bem formadas. Os híbridos H1, H4 e H6 não diferiram significativamente nos dois estádios de maturação para sementes cheias.

Sementes com espaço e malformadas (EMF) e com manchas e danos (MD) apresentaram diferença no estágio I, onde o híbrido H2 apresentou a menor porcentagem de sementes defeituosas, enquanto que no estágio II os híbridos foram semelhantes. Para a ocorrência de sementes com espaço e bem formadas (EBF) e sementes vazias (Vz), não se verificaram diferenças entre os híbridos e os estádios de maturação, demonstrando que a ocorrência de sementes vazias independe do grau de maturação dos frutos ou do genótipo da planta.

TABELA 2. Porcentagem de sementes categorizadas em cheias e bem formadas (CBF), com espaço e bem formadas (EBF), com espaço e malformadas (EMF), com manchas e danos (MD) e vazias (Vz), obtidas em plantas híbridas de *Jatropha curcas* (L.), a partir de frutos em diferentes estádios de maturidade (I e II). UFS, São Cristóvão-SE, 2017.

HÍBRIDOS	CBF		EBF		EMF		MD		Vz	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
JCUFS03xJCUFS-05	7,00 cA	6,00 aA	15,00 aA	18,00 aA	22,00 aA	19,00 a A	4,00 b A	6,00 a A	1,00 aA	2,00 aA
JCUFS-04xJCUFS-05	19,00 aA	6,00 aB	14,00 aA	21,00 aA	10,00 bB	17,00 a A	3,00 b A	3,00 a A	3,00 aA	4,00 aA
JCUFS-04x JCUFS-13	7,00 cA	2,00 bB	12,00 aA	15,00 aA	21,00 aA	24,00 a A	9,00 a A	6,00 a A	1,00 aA	3,00 aA
JCUFS-01xJCUFS0-13	2,00 dA	1,00 bA	16,00 aA	16,00 aA	22,00 aA	22,00 a A	7,00 b A	6,00 a A	3,00 aA	5,00 aA
JCUFS-01xJCUFS-05	3,00 dA	3,00 bA	11,00 aA	14,00 aA	18,00 aA	20,00 a A	14,00 a A	10,00 a A	4,00 aA	3,00 aA
JCUFS-03xJCUFS-13	11,00 bA	5,00 aA	14,00 aA	18,00 aA	18,00 aA	21,00 a A	4,00 b A	3,00 a A	4,00 aA	2,00 aA
CV %	27,13		15,60		14,62		25,60		40,64	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha (quando se compara I e II para cada híbrido), não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5% probabilidade.

A qualidade das sementes avaliadas pela germinação, primeira contagem (PC) e índice de velocidade de germinação (IVG) pode ser observada na tabela 3. Verificou-se diferença ($p < 0,05$) entre os híbridos nas três variáveis e nos dois estádios analisados. A porcentagem de plântulas normais para a PC foi observada para o híbrido H2 no estádio I. No estádio II o H2 foi semelhante ao H1 e H3. Os híbridos H1, H3 e H5 foram semelhantes para PC nos dois estádios. O vigor de sementes é maior no híbrido H2 no estádio de maturação I.

TABELA 3. Primeira Contagem (PC), Germinação (G), índice de velocidade de germinação (IVG), Plântulas normais (PN) em *Jatropha curcas* (L.), de frutos em diferentes estádios de maturação. UFS, São Cristóvão-SE, 2017.

HÍBRIDOS	PC (%)		G (%)		IVG	
	I	II	I	II	I	II
H1	16,00 c A	12,00 a A	46,00 b A	37,00 a A	1,10 b A	0,87 a A
H2	62,00 a A	16,00 a B	74,00 a A	41,00 a B	2,43 a A	1,00 a B
H3	19,00 c A	19,00 a A	31,00 c A	31,00 a A	0,96 b A	0,91 a A
H4	27,00 b A	6,00 b B	44,00 b A	28,00 a A	1,28 b A	0,57 a B
H5	12,00 c A	9,00 b A	20,00 c A	31,00 a A	0,55 c A	0,71 a A
H6	30,00 b A	4,00 b B	49,00 b A	42,00 a A	1,40 b A	0,80 a B
Média	27,66	11,00	67,50	65,00	1,29	0,81
CV %	18,18		15,05		25,50	
h^2			0,894	0,150		
σ_G %			26,88	5,111		
σ_E %			35,493	28,962		

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott Knott a 5% probabilidade.

Para as variáveis de % G e IVG, o híbrido H2 foi superior aos demais no estádio I. No estádio II não se verificou diferença ($p > 0,05$) entre os genótipos. No H2 a porcentagem de germinação foi menor no estádio II ($p < 0,05$), diferindo do H2 dos demais que não apresentaram diferenças na germinação. Esses resultados diferem dos resultados obtidos por Silveira et al. (2015), que verificaram que sementes de frutos 50% secos têm maior porcentagem de germinação em relação aos frutos amarelos e verdes. O IVG não apresentou diferenças entre híbridos no estádio II e os híbridos H1 e H3 e H5 não apresentaram diferenças entre os dois estádios.

No estádio II, os frutos estão a mais tempo nas plantas e, portanto, podem ter passado o ponto de maturidade fisiológica, iniciando as primeiras atividades de deterioração. Tal observação está em acordo com o relatado em estudos anteriores, empregando os genitores dos híbridos com sementes obtidas de frutos com coloração amarela, para os quais se observou a máxima expressão da viabilidade de sementes (PESSOA et al., 2012).

A herdabilidade para a germinação apresentou-se maior para as sementes obtidas de frutos no estádio de maturidade I e sendo considerada alta (RESENDE, 2002), demonstrando menor interferência do ambiente. Altos valores de herdabilidade sugerem que a seleção pode resultar em ganhos genéticos significativos. O coeficiente de variação genética foi maior na maturidade I, demonstrando a quantidade de variação genética existente e que em avaliações futuras, poderá haver maior expressão de variação genética.

Quanto à ocorrência de plântulas normais (PN), observou-se no estádio I, o menor valor no híbrido H5, sendo o H2 superior aos demais. No estádio II não houve divergência entre os híbridos ($p > 0,05$) e também não houve diferença para frutos obtidos no estádio I e II, exceto para H2 (TABELA 4). Os frutos amarelos de pinhão-manso originam sementes com alta qualidade fisiológica para valores de germinação de plântulas (DUCCA et al., 2015).

TABELA 4. Plântulas normais (PN), Plântulas anormais (PA) e Sementes deterioradas (DE) de *Jatropha curcas* (L.), de frutos em dois estádios de maturação. UFS, São Cristóvão-SE, 2017.

HÍBRIDOS	PN		PA		DE	
	I	II	I	II	I	II
H1	11,50 b A	9,25 a A	2,52 a A	2,90 a A	7,25 b A	7,75 b A
H2	18,50 a A	10,25 a B	1,93 b B	3,15 a A	3,25 c A	5,00 b A
H3	7,75 c A	7,75 a A	2,52 a A	2,74 a A	10,75 a A	9,75 a A
H4	11,00 b A	7,00 a A	2,27 b A	2,34 a A	8,25 b B	13,00 a A
H5	5,00 c A	7,75 a A	2,80 a A	3,07 a A	12,25 a A	7,75 b B
H6	12,25 b A	10,50 a A	2,79 a A	2,64 a A	5,25 c A	8,00 b A
Média	0,49	0,56	0,58	0,62	0,32	0,29
CV %	15,12		14,25		16,22	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott Knott a 5% probabilidade.

Houve diferença ($p < 0,05$) para Plântulas Anormais (PA) no estágio I entre os híbridos, onde o híbrido H2 apresentou-se com o menor número de PA. Para plântulas anormais os híbridos não diferiram ao se considerarem sementes no estágio I e II.

A correlação entre a ocorrência de plântulas normais nos dois estádios de maturação, mostra que existe alta correlação positiva nos híbridos para a produção de plântulas normais no estágio II (TABELA 5).

TABELA 5. Correlação de Pearson entre germinação e ocorrência de plântulas normais em dois estádios de maturação de frutos de *Jatropha curcas* (L.). UFS, São Cristóvão – SE, 2017.

Híbridos	Plântulas Normais (PN)	
	I	II
H1	0,78	0,72
H2	0,92	0,83
H3	0,87	0,96*
H4	0,70	0,99*
H5	-0,08	-0,89
H6	0,68	0,88

Correlações marcadas com (*) são significativas a $p < 0,5000$.

A categorização prévia das sementes permitiu observar os híbridos com boa viabilidade para a germinação e formação de plântulas normais independente do estágio de maturação do fruto. A identificação de híbridos com capacidade de produzir sementes com boa qualidade fisiológica é importante para programas de melhoramento e para análises futuras na seleção de genitores em cruzamentos específicos.

5.4 Conclusões

O uso de teste de raios-X e a categorização das sementes de pinhão-mansão permite identificar híbridos com maior produção de sementes cheias e bem formadas.

O híbrido JCUFS-04xJCUFS-05 (H2) apresenta melhor qualidade fisiológica de sementes independente do estágio de maturação.

Para os híbridos JCUFS-04xJCUFS-13 (H3) e JCUFS-01xJCUFS-13 (H4) existe correlação positiva entre o estágio de maturação II e plântulas normais.

5.5 Referências Bibliográficas

- BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Departamento Nacional de Produção Vegetal. Coordenação de Laboratório Vegetal. **Regras para Análise de Sementes**, 2009, 399p.
- CRUZ, C.D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.35, p. 271-276, 2013.
- DUCCA, C.A.D.; SOUZA, N.M. DE; PRETE, C.E.C. Physiological quality and total lipids of physic nut seeds (*Jatropha curcas* L.) according to harvest time. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 364-368, 2015.
- EDRISI, S.A.; DUBEY, R.K.; TRIPATHI, V.; BAKSHI, M.; SRIVASTAVA, P.; JAMIL, S.; SINGH, H.B.; ABHILASH, P.C. *Jatropha curcas* L: a crucified plant waiting for resurgence. **Renew Sustain Energy Review**, v. 41, p. 855–862, 2015.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ª ed. Brasília, 2013.
- FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 1039–1042, 2011.
- INTERNATIONAL RULES FOR SEED TESTING**. ISTA. 2004. 180p.
- JOKER, D.; JEPSEN, J.K. *Jatropha curcas* L. **Seed Leaflet**, n.83, p.1-2, 2003.
- KÖPPEN, W. Das Geographische system der klimate. In: KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (Ed.). **Handbuch der Klimatologie**, v. 1, p. 1-44, 1936.
- LOZANO-ISLA, F.; MARIANA L.O.CAMPOS, M. L. O.; ENDRES, L.; BEZERRA-NETO, E.; POMPELLI, M.F. Effects of seed storage time and salt stress on the germination of *Jatropha curcas* L. **Industrial crops and Products**, v.118, p. 214-224, 2018.
- 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.
- MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2005. 495p.
- PESSOA, A.M.S.; SANTOS, A.G.; RIBEIRO, M.L.F; SILVA-MANN, R. 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.
- PU, Y.; TREASURE, T.; GONZALEZ, R.W.; VENDITTI, R.; JAMEEL, H. Autohydrolysispretreatment of mixed hardwoods to extract value prior to combustion. **Bioresource**, v. 6, p. 4856–4870, 2011.
- RESENDE, M. D. V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 975 p.
- ROMULI, S.; KARAJ, S.; MÜLLER, J. Physical Properties of *Jatropha curcas* L. Fruits and Seeds with Respect to Their Maturity Stage. **Applied Sciences**, v.9, n.9, p.1802, 2019.

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.M.; VERÍSSIMO, V.; WANDERLEY-FILHO, H.C.L.; FERREIRA, V.M.; CAVALCANTE, P.G.S.; ROLIM, E.V.; ENDRES, L. Seasonal variations of photosynthesis, gas exchange, quantum efficiency of photosystem II and biochemical responses of *Jatropha curcas* L. grown in semi-humid and semi-arid areas subjected to water stress. **Industrial Crops and Products**, v. 41, p. 203–213, 2013.

SILVA, L. J. DA; DIAS, D. C.F. DOS S.; OLIVEIRA, G. L.; SILVA JUNIOR, R.A. DA. The effect of fruit maturity on the physiological quality and conservation of *Jatropha curcas* seeds. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 3, 2017.

SILVEIRA, P.S.; SANTOS, P.G. de F.; OLIVEIRA, J.P.de M.; MATOS, F. S. Qualidade fisiológica de sementes de pinhão manso em diferentes estádios de maturação. In: Workshop em Agroenergia. 9, 2015.

SIMAK, M. Testing of forest tree and shrub seeds by X-radiography. In: GORDON, A.G.; GOSLING, P.; WANG, B.S.P. (Ed.). **Tree and shrub seed handbook**, ISTA. p.1-28, 1991.

6. ARTIGO 3

ÍNDICE E DIVERGÊNCIA GENÉTICA DE PLANTAS DE HÍBRIDOS DE *Jatropha curcas* (L.) PARA USO EM TÉCNICAS DE BIOENGENHARIA DE SOLOS

Periódico a ser submetido: Ecological Engineering

RESUMO

A utilização da vegetação compondo as técnicas de bioengenharia de solos se apresenta como um reforço natural para a estabilidade de taludes. O pinhão-mansão apresenta características biotécnicas como fácil propagação e enraizamento que conferem um reforço à estabilização de taludes, reduzindo os processos erosivos. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a viabilidade de propagação vegetativa via estaquia de híbridos de pinhão-mansão buscando potencializar o seu uso em técnicas de bioengenharia de solos. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com quatro repetições, sendo três épocas de avaliação aos 30, 60 e 90 dias com dez híbridos. Os parâmetros analisados foram a taxa de sobrevivência, número de brotações, número de folhas, número de raízes, comprimento médio de raízes, volume de raízes e o índice de qualidade de Dickinson. A divergência genética para a distinção dos híbridos foi estimada por meio da distância de Mahalanobis. Os dez híbridos avaliados foram agrupados de acordo com as semelhanças em três grupos. Os caracteres que mais contribuíram para a divergência entre os híbridos foram o número de folhas e comprimento médio de raízes e os que menos contribuíram foram a relação entre diâmetro do colo e número de raízes. Os híbridos que apresentaram o melhor índice de qualidade foram JCUFS01xJCUFS13 e JCUFS04xJCUFS05. Assim, esses híbridos são os de melhor potencial para uso em bioengenharia de solos.

Palavras-chave: pinhão-mansão, variância genética, qualidade de mudas, melhoramento, estabilização de talude.

ABSTRACT

Title: Index and genetic divergence of *Jatropha curcas* (L.) hybrid plants for use in soil bioengineering techniques

The use of vegetation composing soil bioengineering techniques is a natural reinforcement for slope stability. *Jatropha curcas* have biotechnical characteristics such as easy propagation and rooting that reinforce slope stabilization and reduce erosion processes. Thus, the purpose of this study was to evaluate the viability of vegetative propagation through cuttings of *Jatropha curcas* aiming to enhance their use in soil bioengineering techniques. The experimental design was completely randomized with four repetitions, with three evaluation periods at 30, 60 and 90 days with ten hybrids. The parameters analyzed were survival rate, number of sproutings, number of leaves, number of roots, average roots length, root volume and Dickinson's quality index. Genetic divergence for hybrid distinction was estimated by Mahalanobis' distance. The ten hybrids evaluated were grouped according to similarities into three groups. The traits that most contributed to the divergence between hybrids were the number of leaves and average root length and the ones that contributed the least were the relation between neck diameter and the number of roots. The hybrids that presented the best quality index were JCUFS01xJCUFS13 and JCUFS04xJCUFS05. Thus, these hybrids have the best potential for use in soil bioengineering.

Key-words: Physic nut; genetic variation; quality seedling; Improvement; slope stabilization.

6.1. Introdução

Áreas declivosas são bastante vulneráveis à ação da água e do vento, acarretando em erosão e, conseqüentemente, perda de solo. Problemas dessa magnitude podem ser encontrados em diversos locais do mundo. Para a mitigação desses problemas, de forma menos dispendiosa, a utilização de técnicas de bioengenharia de solos com uso de materiais vivos (sementes, plantas e partes de plantas) pode ser uma alternativa. Isso implica que as estruturas de bioengenharia de solos dependem das propriedades e do desenvolvimento das plantas (THANNEN et al., 2017).

Outros materiais não-vivos, como pedras e estacas de madeira, também são utilizados para a restauração de ribeirões (HUBBLE et al., 2017). Podem ser utilizados ainda polímeros e mantas confeccionadas com fibras vegetais, que são chamadas de geotêxteis ou biomantas, que foram desenvolvidos e utilizados para a restauração de forma dinâmica e sustentável (HOLANDA et al., 2009). As técnicas de bioengenharia de solo e de engenharia natural estão sendo testadas na bacia do Baixo São Francisco como alternativas de baixo custo para estabilizar as margens dos rios (HOLANDA et al., 2009).

As práticas de bioengenharia de solo pressupõem o crescimento das plantas, dentro e fora das estruturas, que vão gradualmente fornecendo a força adicional (TARDÍO; MICKOVSKI, 2016). Esse reforço mecânico das raízes auxilia na estabilidade de encostas e na melhoria das propriedades físicas do solo. As plantas exercem no solo uma função estabilizadora extremamente importante contra a ação dos agentes externos e internos (FERNANDES; FREITAS, 2011). Para a implantação de uma determinada espécie são necessários estudos sobre o comportamento biotécnico. O potencial biotécnico das plantas pode produzir os efeitos individuais tanto na redução da velocidade de água, como na de proteção dos taludes, podendo apresentar esses efeitos simultaneamente (DURLO; SUTILI, 2005).

A identificação de plantas adequadas para uso aumentam as opções de plantas aptas e disponíveis para uso, de acordo com a região. O pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) é uma espécie nativa do Brasil, de ocorrência natural em outros países da América do Sul (CORDEIRO; SECCO, 2014). Trata-se de uma planta arbustiva, perene, cujo cultivo foi muito difundido para estudos sobre aspectos físicos e produtivos do óleo das sementes (GAO et al., 2010). A sua rusticidade permite crescer em solos declivosos, com baixo teor de nutrientes (BEHERA et al., 2010), podendo ser utilizada na recuperação de áreas degradadas (ACHTEN et al., 2010), remediação do solo (OPENSHAW, 2000) e no controle de erosão (GHESTEM et al., 2014).

A ação das raízes permite o incremento no diâmetro médio dos agregados e o número de macro-agregados nos primeiros 10 cm de solo (OGUNWOLE et al., 2008). A arquitetura de sistema radicular de pinhão-manso com a ramificação angular pode proporcionar resistência ao solo em relação à erosão hídrica e eólica (REUBENS et al., 2011). A biomecânica das plantas de pinhão-manso tem mostrado que suas raízes podem melhorar a geotécnica do solo (GIADROSSICH et al., 2016) e, por consequência, pode melhorar a estabilidade do solo. Além das propriedades biomecânicas, a quantidade de raízes disponíveis na zona enraizada também é importante para o reforço mecânico para a resistência do solo (NI et al., 2018).

Em bioengenharia de solos uma das formas de implantação das espécies vegetais é por estaquia. No entanto, para o êxito, é importante a realização de um estudo prévio do pinhão-manso. As mudas de pinhão-manso podem ser propagadas de forma vegetativa sem a necessidade de tratamento físico ou hormonal (SEVERINO et al., 2011). A propagação por estacas é utilizada para espécies florestais e tem como principais características a alta taxa de sobrevivência, enraizamento e alta tolerância às variações ambientais. Essas características são fundamentais ao bom desenvolvimento biológico das estacas (SANTANA et al., 2012).

A seleção de plantas de rápido desenvolvimento inicial e boa taxa de sobrevivência pode ser associada a parâmetros genéticos, sendo a variabilidade genética nos caracteres de crescimento, indicativos potenciais para o melhoramento genético. A identificação de híbridos que apresentem potencial biotécnico é importante para o sucesso do melhoramento genético por meio da seleção de híbridos com características desejáveis.

O objetivo deste estudo foi avaliar a viabilidade de propagação vegetativa via estaquia de híbridos de pinhão-manso buscando potencializar o seu uso em técnicas de bioengenharia de solos.

6.2. Materiais e métodos

As estacas foram obtidas de dez plantas híbridas resultantes de cruzamentos planejados entre sete genótipos de pinhão-manso, escolhidos com base nos resultados de caracterização morfológica, floral e dados de diversidade genética por marcadores moleculares (PESSOA et al., 2012; SANTANA et al., 2013) (Tabela 1). Elas compõem uma coleção de estudo e são cultivadas em espaçamento de 2 x 2 m desde o ano de 2010, sem irrigação, na Fazenda Experimental da Universidade Federal de Sergipe, Campus São Cristóvão com coordenadas 10° 55' 26" S e 37° 11' 57" O. O clima, segundo a classificação de Köppen (1936), é tropical chuvoso, com temperatura média anual de 25,5°C e precipitação média anual de 1.300 mm.

De cada híbrido foram retiradas doze estacas, no período da manhã, da porção mediana do ramo, com corte reto na base e em bisel no ápice, com comprimento médio de 20 cm e 12 mm de diâmetro. As estacas foram acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas em caixas térmicas para evitar a desidratação, não receberam tratamento hormonal e foram levadas para casa de vegetação tipo Pad & Fan com tela aluminizada termo-reflectora com 50% de sombreamento com coordenadas 10°55'46,5" S e 37°06'12,8" O.

TABELA 1. Híbridos de *Jatropha curcas* (L.) empregados na avaliação da qualidade de plantas para uso em bioengenharia de solos. UFS, São Cristóvão-SE, 2017.

HÍBRIDOS	CÓDIGOS
JCUFS-01xJCUFS-05	H1
JCUFS-01xJCUFS0-08	H2
JCUFS-01x JCUFS-13	H3
JCUFS0-03xJCUFS-05	H4
JCUFS-03xJCUFS-08	H5
JCUFS-03x JCUFS-13	H6
JCUFS-04xJCUFS-05	H7
JCUFS-04xJCUFS-08	H8
JCUFS-04xJCUFS-13	H9
JCUFS-04xJCUFS-15	H10

O plantio foi realizado em vasos com capacidade volumétrica para 9 L, contendo areia e substrato do tipo vermiculita (2:1). Na casa de vegetação, os vasos receberam água até a saturação do substrato, que foi mantido apenas úmido e não saturado por água (FIGURA 1).

As variáveis analisadas foram a taxa de sobrevivência (TS), altura da planta (ALT, em cm), número de raízes (NR), comprimento de raízes (NR, em cm), volume de raízes (VR, em cm³), matéria seca de raiz (MSR, em gramas), diâmetro do colo (DC, em mm), número de brotações (NB), comprimento das brotações (CB, em cm), número de folhas maiores que 2 centímetros (NF), matéria seca da parte aérea (MSPA, em gramas), a matéria seca total (MST, em gramas) obtida da soma da MSR e MSPA, a relação parte aérea e raiz (RPAR, obtida pela relação entre a MSR e MSPA), a relação altura da planta e diâmetro do colo (RAD, obtida pela relação entre ALT e DC).

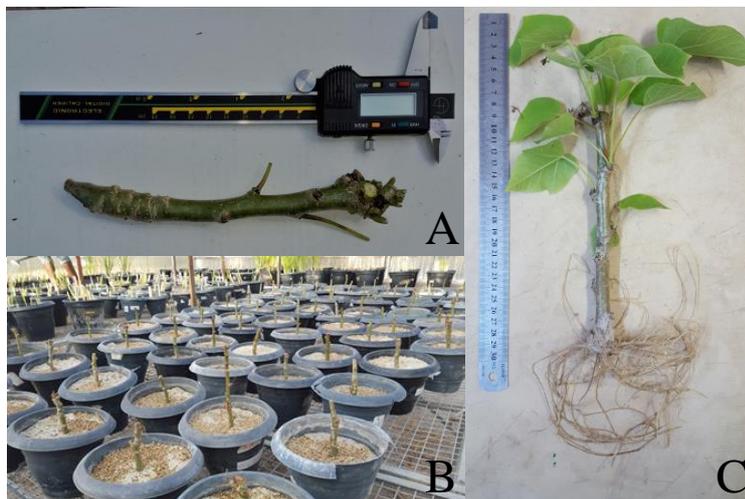


FIGURA 1. Obtenção de estacas de *Jatropha curcas* (L.) para avaliação da qualidade de plantas para uso em bioengenharia de solos. Estaca coletada (A); Plantio (B); Muda para coleta de dados (C). UFS, São Cristóvão-SE, 2017.

A massa seca foi obtida pela dessecação das partes vegetais em sacos de papel do tipo kraft em estufa a 65°C até o peso constante. Para a determinação do volume de raízes foram coletados diâmetros em três seções das raízes e o cálculo foi realizado pela fórmula:

$$V = \left(\frac{\pi}{4} \times d^2\right) \times C \quad (1)$$

Onde:

d^2 é o diâmetro médio das raízes elevado ao quadrado;

C é o comprimento das raízes.

Os dados morfológicos utilizados para a construção do índice de qualidade de Dickson foram a massa seca total (MST), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR), as relações entre altura da planta (H) e diâmetro do colo (DC); e massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR), por meio da fórmula:

$$IQD = \frac{MST}{\left(\frac{H}{DC}\right) + \left(\frac{MSPA}{MSR}\right)} \quad (2)$$

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado com quatro repetições avaliadas a cada 30, 60 e 90 dias após o estaqueamento (DAE), onde as mudas foram cuidadosamente lavadas para retirada do substrato, para serem realizadas as avaliações. Os dados do índice de qualidade de Dickson (IQD) e de raízes foram transformados por raiz quadrada de $(x+0,5)$ e submetidos à análise de variância, e as médias agrupadas pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. Para distinção dos híbridos empregou-se a distância de Mahalanobis. Os valores de Herdabilidade (h^2), Variância Genética (σ_G) e ambiental (σ_E) foram calculados com o programa Genes (CRUZ, 2013).

6.3. Resultados e Discussão

Na avaliação da sobrevivência das plantas de pinhão-mansão, verificou-se que o diâmetro médio de estacas menores que 11 mm, não tiveram TS de 100% para as três datas de avaliação (Tabela 2). O diâmetro da estaca é um dos fatores que afeta a sobrevivência na produção de mudas de pinhão-mansão (LIMA et al., 2010; FURLANI et al., 2018). Diâmetros superiores a 1 e 2 cm e menores que 3 cm apresentam maior índice de sobrevivência (THITITHANAVANICH, 1985). Estacas com diâmetro de 5 cm de espessura não apresentam bom desenvolvimento das mudas (JIMU et al., 2009).

No período do experimento observou-se que poucas estacas não originaram plantas, havendo mortalidade apenas nos híbridos H3, H5, H8, H9 e H10. Híbridos como o H1, H2, H4, H6 e H7 não sofreram perdas de plantas, demonstrando maior capacidade de pegamento e enraizamento das estacas. O menor grau de lignificação, células meristemáticas com metabolismo mais ativo e ausência ou menor quantidade de compostos fenólicos facilitam o enraizamento e o brotamento (HARTMANN et al., 2011). A taxa de sobrevivência (TS) mostra que estacas de pinhão-mansão tem capacidade de formação de plantas. As condições ambientais e de cultivo influenciam na qualidade e desenvolvimento das mudas (MARCOS FILHO, 2005) e as diferenças genéticas associadas ao ambiente também podem interferir na sua qualidade.

TABELA 2. Valores da taxa de sobrevivência (TS) e Índice de Qualidade de Dickson (IQD) dos híbridos de pinhão-mansão nos três períodos de avaliação. UFS, São Cristóvão-SE, 2017.

HÍBRIDOS	DME (mm)	TS			IQD		
		30	60	90	30	60	90
H1	11,39	100 a A	100 a A	100 a A	0,39 a B	0,63 a B	1,44 a A
H2	12,43	100 a A	100 a A	100 a A	0,55 a B	0,87 a B	1,58 a A
H3	12,35	100 a A	75 b B	100 a A	0,25 a B	0,45 b B	1,81 a A
H4	13,94	100 a A	100 a A	100 a A	0,28 a B	0,61 a B	1,79 a A
H5	10,67	75 d A	75 b A	50 c B	0,24 a A	0,28 b A	0,38 b A
H6	11,48	100 a A	100 a A	100 a A	0,57 a B	0,73 a B	1,36 a A
H7	13,19	100 a A	100 a A	100 a A	0,31 a C	0,91 a B	1,77 a A
H8	11,56	93,75 b B	100 a A	75 b C	0,33 a B	1,09 a A	1,64 a A
H9	12,92	81,25 c B	100 a A	100 a A	0,43 a B	0,74 a B	1,46 a A
H10	11,65	75 d A	25 c C	50 c B	0,09 a A	0,09 b A	0,66 b A
Média	-	92,50	87,50	87,50	0,34	0,64	1,39
CV %			3,63			16,91	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo agrupamento de Scott- Knott a 5% de probabilidade.

Em estudo com a propagação por estacas de 18 genótipos de pinhão-mansão, oito dos genótipos apresentaram índice de pegamento de 100% e apenas um apresentou baixo índice de pegamento, sendo atribuída à pouca formação de raízes fasciculadas, o pouco desenvolvimento da planta (FACIROLLI et al., 2012). Na Nicarágua, mudas de pinhão-mansão utilizadas para estabilização de declive tiveram uma taxa de sobrevivência de 50% após quatro anos (PETRONE; PRETI, 2008).

Para o Índice de Qualidade houve diferença entre os híbridos aos 60 e 90 dias, indicando que os genótipos avaliados apresentaram desempenho diferenciado. Portanto, é possível selecionar genótipos superiores para estas características, e em pinhão-mansão, há grande desenvolvimento inicial de suas mudas propagadas por estacas. Entre os três períodos de avaliação, os maiores valores obtidos foram aos 90 dias. Altos valores de IQD indicam robustez e o equilíbrio da distribuição da biomassa na muda, sendo um indicativo da qualidade (FONSECA et al., 2002).

Os híbridos H5 e H10 foram inferiores e não diferiram entre os dois períodos (60 e 90 DAE). Valores de IQD menores que 0,2 são indicativos de baixa qualidade para serem levadas a campo (HUNT, 1990). Em trabalhos de bioengenharia de solos, as estacas devem ser plantadas no local definitivo e ter um rápido desenvolvimento. Pelos resultados obtidos, o pinhão-mansão

alcançou bons índices de qualidade nos primeiros 30 dias para a maioria dos híbridos utilizados. Em diferentes substratos, para a qualidade de mudas de pinhão-mansão, observaram-se menores valores de IQD ($>0,20$) quando se utilizou como substrato o pó de côco, sem nutrientes para as plantas (PAULINO et al., 2011).

As variáveis de número de brotações (NB) e o comprimento médio de raízes (CMR (cm)) apresentaram diferenças ($p<0,05$) entre os híbridos. O número de raízes (NR), número de folhas (NF), altura de plantas (AP) e massa seca de raízes (MSR (g)) apresentaram interações significativas a 1% ($p<0,01$) para os híbridos. A interação entre híbridos e o tempo em dias do estaqueamento (DAE) foi significativa ($p<0,05$), indicando que há diferença entre os híbridos para a variável altura de plantas (AP) (TABELA 3).

TABELA 3. Quadrados médios e significância para número de brotos (NB), número de ramos (NR), número de folhas (NF), Altura de plantas (AP), massa seca de raízes (MSR) e comprimento médio de raízes (CMR) de dez mudas de híbridos de *Jatropha curcas* (L.). UFS, São Cristóvão-SE, 2017.

FV	GL	NB (u)	NR (u)	NF (u)	AP (cm)	MSR (g)	CMR (cm)
Híbridos (H)	9	0,40*	4,77**	116,24**	17,86**	0,08**	1,49*
DAE	2	3,45**	3,53 ^{ns}	25,65 ^{ns}	57,81**	1,04**	0,74 ^{ns}
H x DAE	18	0,10 ^{ns}	0,76 ^{ns}	22,31 ^{ns}	5,57*	0,02 ^{ns}	0,35 ^{ns}
Erro	90	0,10	50,2833	24,40	3,32	0,01	0,52
Média		2,23	12,71	11,24	17,64	1,26	31,57
CV %		18,83	33,28	25,88	10,34	10,96	2,29

DAE = Dias Após o Estaqueamento, NB = Número de brotações, NR = Número de raízes, NF = Número de folhas, AP = Altura de plantas, * significativo a 5%, ** significativo a 1%, ns = não significativo.

Observa-se o desenvolvimento da parte aérea das plantas com as variáveis número de brotações e número de folhas e altura de plantas analisados no tempo (Tabela 4). Para o número de brotações, observou-se que aos 60 dias o híbrido H10 apresentou-se inferior aos demais, no entanto aos 90 dias não houve diferença entre os híbridos. Na comparação entre os períodos de avaliação, os híbridos H2, H3, H5 e H8 apresentaram-se semelhantes em crescimento e superiores aos demais. O número de brotações é avaliado pelos ramos das plantas, e é característica importante para a propagação devido ao pinhão-mansão apresentar inflorescências nas gemas terminais dos ramos (SATURNINO et al., 2005).

Para número de folhas, inicialmente, verificou-se diferença entre os híbridos a partir dos 60 dias, onde H5 e H10 foram inferiores aos demais. O híbrido H5 permaneceu com baixa produção de folhas, juntamente com o H1 aos 90 dias. Neste período, os demais híbridos se apresentavam com brotações e folhagens para compor as novas plantas. Na altura de plantas, os híbridos diferiram aos 90 dias após o estaqueamento, onde o H7 foi superior aos demais. Embora a tendência seria de que os híbridos com 90 dias apresentassem superioridade aos coletados anteriormente, alguns híbridos não diferiram entre os períodos. Então os híbridos H2, H5, H6, H8, H9 e H10 não diferem entre os períodos.

O pinhão-mansão é uma planta adaptada às condições de clima seco e este experimento ter sido realizado sem a aplicação de estresse hídrico, a ocorrência de híbridos com pouca folhagem, pode significar uma forma da planta buscar se preservar viva, em condições de baixa pluviosidade, não produzindo folhas que poderiam agir com a perda de água por evapotranspiração e/ou dreno. As condições de cultivo e diferenças genéticas associadas ao ambiente podem interferir na qualidade da muda (MARCOS FILHO, 2005).

Em plantas perenes, a estimativa de parâmetros genéticos deve considerar avaliações ao longo do tempo, cultivando plantas com gradiente de densidade e em idade produtiva (RESENDE, 2002).

TABELA 4. Médias obtidas para número de brotações (NB), número de folhas (NF), altura de plantas (AP) de híbridos de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). UFS, São Cristóvão-SE, 2017.

HÍBRIDOS	NB			NF			AP		
	30	60	90	30	60	90	30	60	90
H1	4,00 aA	4,00 aA	1,50 aB	7,25 aA	12,25 aA	8,00 bA	16,07 aB	16,88 aB	19,10 cA
H2	2,75 aA	2,50 aA	1,25 aA	12,75 aA	16,50 aA	12,25 aA	17,07 aA	17,54 aA	19,64 bA
H3	2,75 aA	3,50 aA	1,50 aA	12,00 aA	11,50 aA	15,50 aA	18,56 aB	16,99 aB	20,6 bA
H4	3,00 aA	3,25 aA	1,25 aB	10,25 aA	11,00 aA	15,00 aA	16,53 aB	17,71 aB	20,59 bA
H5	2,25 aA	1,50 bA	2,00 aA	6,00 aA	8,00 bA	2,25 bA	15,78 aA	17,33 aA	15,00 dA
H6	3,25 aA	3,25 aA	1,25 aB	13,25 aA	13,25 aA	12,25 aA	16,47 aA	15,00 aA	18,27 cA
H7	2,25 aA	3,25 aA	1,00 aB	12,25 aA	15,75 aA	13,75 aA	17,76 aB	19,41 aB	23,22 aA
H8	2,75 aA	3,50 aA	1,50 aA	11,25 aA	15,50 aA	12,50 aA	17,22 aA	17,67 aA	17,60 cA
H9	3,00 aA	2,75 aA	0,50 aB	11,25 aA	13,00 aA	13,50 aA	16,52 aA	17,66 aA	18,00 cA
H10	2,50 aA	0,50 bB	1,00 aB	7,25 aA	2,25 bA	9,75 bA	15,70 aA	15,31 aA	18,06 cA
Média	2,65	2,60	1,15	10,35	11,90	11,47		17,64	
CV%		18,83			25,88			10,34	

NB = Número de brotações, NF = Número de folhas, Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo agrupamento de Scott- Knott a 5% de probabilidade.

O desenvolvimento radicial dos híbridos H1, H5 e H10 foram inferiores na comparação com os demais nas avaliações realizadas aos 90 DAE (Tabela 5). Entre os períodos de avaliação, o H4 apresentou uma menor formação de raízes aos 30 e 60 DAE, podendo indicar baixa velocidade de enraizamento. A igualdade de número de raízes entre os períodos indica que o pinhão-manso apresenta velocidade constante na emissão de raízes, e a quantidade de raízes é um fator importante para o vigor das mudas (LIMA et al., 2006).

TABELA 5. Médias obtidas para número e volume de raízes (NR e VR), estimativas de variância genotípica (σ_g^2), ambiental (σ_e^2) e fenotípica (σ_f^2) e herdabilidade no sentido amplo (h^2) em híbridos de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). UFS, São Cristóvão, SE, 2017.

HÍBRIDOS	NR			VR		
	30	60	90	30	60	90
H1	9,75 a A	11,75 a A	11,00 b A	244,70 a B	410,60 a B	1.138,18 a A
H2	16,25 a A	15,50 a A	17,50 a A	353,27 a A	613,69 a A	702,00 b A
H3	13,25 a A	14,25 a A	17,25 a A	293,09 a B	276,89 a B	1.165,21 a A
H4	7,75 a B	13,50 a B	21,75 a A	178,84 a B	510,80 a A	848,20 a A
H5	5,25 a A	8,25 a A	4,25 b A	134,67 a A	216,22 a A	320,37 b A
H6	15,00 a A	10,25 a A	15,00 a A	300,45 a B	0,00 b B	736,46 a A
H7	12,50 a A	16,75 a A	18,50 a A	320,52 a B	507,84 a B	1.237,66 a A
H8	11,00 a A	13,25 a A	17,00 a A	239,27 a A	348,39 a A	713,34 b A
H9	12,25 a A	15,00 a A	16,50 a A	217,60 a A	379,09 a A	479,12 b A
H10	6,25 a A	2,75 a A	12,25 b A	37,00 b B	94,46 b B	574,52 b A
Média	10,92	12,12	15,10	231,94	335,60	791,50
CV %		33,28			30,01	
σ_g^2	0,38	20,4791	5,2527	111802,87	52901,99	88879,69
σ_e^2	10,56	8,4380	18,6994	19282,68	16386,80	34856,48
σ_f^2	10,94	28,9171	23,9521	131,085,55	69288,80	123736,18
h^2	3,49	70,82	21,93	85,29	76,35	71,83

NR = Número de raízes, VR = Volume de raízes, Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo agrupamento de Scott- Knott a 5% de probabilidade.

Houve diferença ($p < 0,05$) para velocidade de enraizamento para híbridos nos três períodos de avaliação. O híbrido H10 apresentou menores valores nos três períodos. O H6 teve maior formação de calos no local das raízes nas mudas avaliadas aos 60 DAE. A rapidez na formação de calos muitas vezes determina o êxito do plantio de estacas em algumas espécies florestais. Porém, nem sempre isto está relacionado com a formação de raízes, como no caso das espécies de difícil enraizamento onde a formação de raízes pode ocorrer sobre o calo. No entanto, a formação do calo não é um indício da formação dos primórdios radiculares, uma vez que são processos fisiológicos independentes (HARTMANN et al., 2011).

Os maiores volumes de raízes foram observados aos 90 DAE, principalmente para os híbridos H1, H3 e H10. Plantas propagadas por estacas podem ter o enraizamento afetado pelo material genético e a idade (SILVA et al., 2008). As raízes de pinhão-manso propagado por estacas são finas e concentradas na região do corte, tendendo a explorar regiões mais profundas, dependendo da profundidade de plantio e conferindo uma maior retenção de partículas nas camadas superficiais.

A relação entre a massa seca da parte aérea e a massa seca de raiz (RPAR) foi maior aos 90 dias, onde o menor desenvolvimento foi do híbrido H5, demonstrando pouca produção de biomassa vegetal da parte aérea (Figura 6). A grande alocação de matéria seca para a parte aérea ocorre, geralmente, na maioria das plantas com suprimento adequado de nutrientes (SCHUMACHER et al., 2004).

Os ramos secundário e terciário produziram um crescimento de brotos significativamente melhor, comparado ao ramo primário. Este fenômeno implicou que o corte dispara mais atividades de uso de reservas de carboidratos, mais fácil de usar para processos metabólicos. Enquanto que ramos mais diferenciados, ou seja, com mais lignificação, não respondem tão bem ao corte, isto porque a maioria dos carboidratos foi usada nos processos de lignificação. E, portanto, resultam em mais caule lignificado e, em seguida, causaram menor enraizamento (SANTOSO; PARWATA, 2014). Assim, outro aspecto a se considerar na escolha dos ramos é o uso daqueles menos lignificados. Alguns genótipos podem apresentar diferentes graus de lignificação, mesmo quando se coleta os ramos indicados.

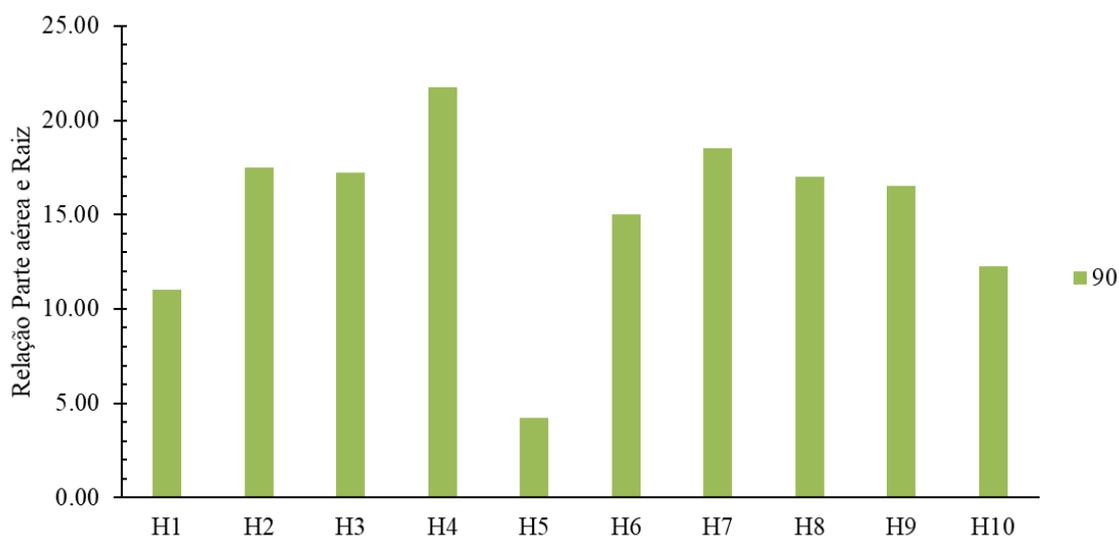


FIGURA 2. Desenvolvimento de híbridos de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) para a relação entre massa seca da parte aérea e massa seca das raízes. UFS, São Cristóvão-SE, 2017.

Maiores valores obtidos para a relação entre a altura de plantas e diâmetro do colo (RAD), foram verificados aos 90 dias para os híbridos H1, H3 e H8. A relação altura da parte aérea e o diâmetro do colo constitui uma das características usadas para avaliar a qualidade de mudas

florestais, pois além de refletir o acúmulo de reservas, assegura maior resistência e melhor fixação no solo (STURION; ANTUNES, 2000).

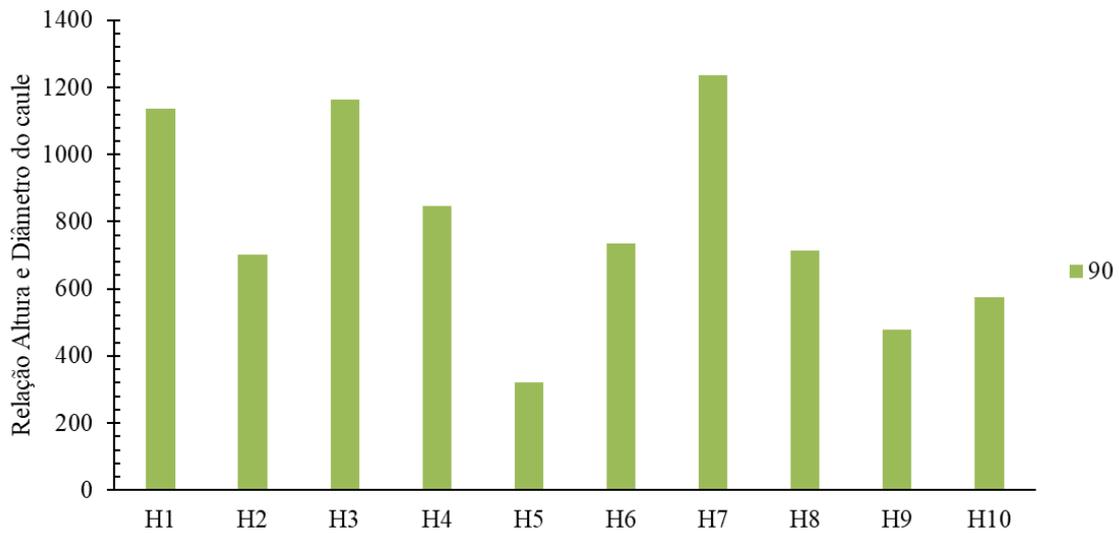


FIGURA 3. Desenvolvimento de híbridos de pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) para a relação entre altura de plantas e diâmetro de caule. UFS, São Cristóvão-SE, 2017.

Visando discriminar melhor os híbridos em grupos de similaridades, foi utilizada a análise das características morfológicas, empregando a análise do método do vizinho mais próximo e verificou-se a formação de três grupos (FIGURA 4).

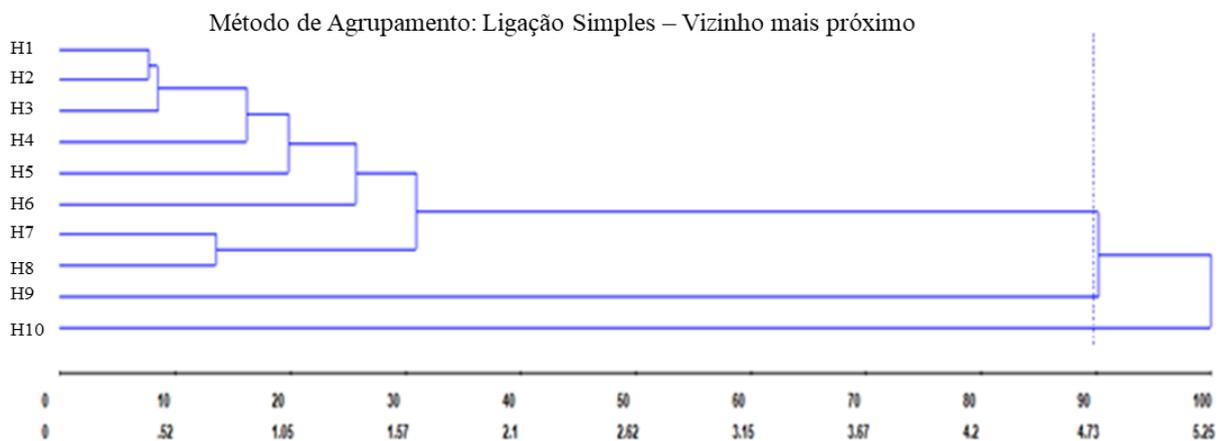


FIGURA 4. Método hierárquico de agrupamento do vizinho mais próximo para dados morfológicos de plantas híbridas de *Jatropha curcas* (L.). UFS, São Cristóvão-SE, 2017.

O primeiro grupo foi composto pelos híbridos H3, H6, H4, H2, H4, H7, H9, H7 e H10; o segundo pelo híbrido H1 e o terceiro pelo híbrido H5. O híbrido H5 foi o que mais se afastou dos demais em relação a todos os dados morfológicos apresentados.

6.4. Conclusões

O pinhão-manso apresenta alta taxa de sobrevivência, sendo as melhores mudas obtidas com 60 dias após o estaqueamento. No entanto, deve-se considerar que alguns genótipos são mais promissores.

O maior potencial biotécnico avaliado pela produção de raízes é verificado para os híbridos JCUFS-01xJCUFS-05, JCUFS-01xJCUFS-13 e JCUFS-04xJCUFS-05.

6.5. Referências Bibliográficas

ACHTEN, W, et al. *Jatropha*: from global hype to local opportunity. **Journal Árida Environment**, v. 74, p. 164–165, 2010.

BEHERA, S.K.; SRIVASTAVA, P.; TRIPATHI, R.; SINGH, J.P.; SINGH, N.; Evaluation of plant performance of *Jatropha curcas* L. under different agro-practices for optimizing biomass – a case study. **Biomass Bioenergy**, v. 34, p. 30–41, 2010.

CORDEIRO, I.; SECCO, R. *Jatropha* in **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB22713>>. Acesso em: 20 ago. 2019.

CRUZ, C.D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, v.35, n.3, p. 271-276, 2013.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forestry Chronicle**, v. 36, p. 10-13, 1960.

DURLO, M. A. SUTILI, F. J. **Bioengenharia: manejo biotécnico de cursos de água**. Porto Alegre. RS: EST Edições, 2005. 198 p.

FACIROLI, A. M.; OLIVEIRA, V. A.; GONZAGA, L. A. de M.; BRANDÃO, D. R.; FIDELIS, R. R. Crescimento inicial de genótipos de pinhão manso reproduzidos assexuadamente. **Revista Verde**, v. 7, n. 3, p. 79-84, 2012.

FONSECA, E. P.; VALÉRI, S. V.; MIGLIORANZA, E.; FONSECA, N. A. N.; COUTO, L. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume. produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **Revista Árvore**, v.26, p.515-523, 2002.

FURLANI, R. C. M.; DE SOUZA CORRÊA, L.; FURLANI JUNIOR, E. F.; PEREIRA, G. A.; PAIXÃO, A. P. Enraizamento de diferentes tipos de estacas de pinhão manso em dois substratos. **Revista Cultura Agrônômica; Ilha Solteira**, v. 27, 4, p. 450-462, 2018.

GAO, S.; OU-YANG, C.; TANG, L.; ZHU, J.; XU. Y.; WANG, S.; CHEN, F.; Growth and antioxidant responses in *Jatropha curcas* seedling exposed to mercury toxicity. **Journal Hazard Material**, v. 182, p. 591–597, 2010.

GHESTEM, M.; CAO, K.; MA, W.; ROWE, N.; LECLERC, R.; GADENNE, C.; STOKES, A. Aframework for identifying plant species to be used as ‘ecological engineers’ forfixing soil on unstable slopes. **PLOS ONE**, v. 9, n. 8, e95876, 2014.

GIADROSSICH, F.; COHEN, D.; SCHWARZ, M.; SEDDAIU, G.; CONTRAN, N.; LUBINO. M.; VALDÉS-RODRÍGUEZ, O.A.; NIEDDA, M. Modeling bio-engineering traits of *Jatropha curcas* L. **Ecological Engineering**, v.89, p.40–48, 2016.

HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E.; DAVIES JR., F. T.; GENEVE, R. L. **Plant propagation: principles e practices**. 8 ed. New Jersey: Prentice Hall, 2011. 915p.

HOLANDA, F. S. R. et al. Controle da erosão em margens de cursos d’água: Das soluções empíricas à técnica da bioengenharia de solos. **Raega- O Espaço Geográfico em Análise**, v. 1, n. 17, p. 93-101, 2009.

HUBBLE, T.; CLARKE, S.; STOKES, A.; PHILLIPS, C. 4th International Conference on soil bio- and eco-engineering (SBEE2016) 'The Use of Vegetation to Improve Slope Stability'. **Ecological Engineering**, v. 109, p. 141–144, 2017.

HUNT, G. A. Effect of styrobloc design and cooptreatment on morphology of conifer seedlings. In: Target Seedlings Symposium. Meeting of the Western Forest Nursery Associations. 1990. Roseburg. Proceedings.... Fort Collins: United States Department of Agriculture. Forest Service. p. 218-222. 1990.

JIMU, L.; NYAKUDYA, I. W.; KATSVANGA, C. A. T. Establishment and early field performance of *Jatropha curcas* L. at Bindura University Farm. Zimbabwe. **Journal of Sustainable Development in Africa**, v.10, n.4, p.45–469, 2009.

KÖPPEN, W. Das Geographische system der klimate. In: KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (Ed.). **Handbuch der Klimatologie**, v. 1, p. 1-44, 1936.

LIMA, R.L.S.; SIQUEIRA, D. L.; WEBER, O. B.; CAZETTA, J. O. Comprimento de estacas e parte do ramo na formação de mudas de aceroleira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 28, n.1, p. 83-86, 2006.

LIMA, R.L.S.; SEVERINO, L.S.; PEREIRA, W.E.; LUCENA, A.M.A.; GHREYI, H.R.; ARRIEL, N.H.C. Comprimento das estacas e parte do ramo para formação de mudas de pinhão-manso. **Revista Brasileira de Engenharia agrícola e Ambiental**, v.14, p.1234-1239, 2010.

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

NI, J.J.; LEUNG, A. K.; Ng, C.W.W.; SHAO, W. Modelling hydro-mechanical reinforcements of plants to slope stability. **Computers and Geotechnics**, v. 95, p. 99-109, 2018.

OGUNWOLE, J.O.; CHAUDHARY, D.R.; GHOSH, A.; DAUDU, C.K.; CHIARA, J.; PATOLIA, J.S. Contribution of *Jatropha curcas* to soil quality improvement in a degraded Indian entisol. **Acta Agriculturae Scandinavica B: Soil and Plant Science**, p. 245–251, 2008.

OPENSHAW, K. A review of *Jatropha curcas* (L.): an oil plant of unfulfilled promise. **Biomass Bioenergy**, v.19, p.1–15, 2000.

PAULINO, J. et al. Crescimento e qualidade de mudas de pinhão-manso produzidas em ambiente protegido. **Revista brasileira de engenharia agrícola ambiental**, v. 15, n. 1, p. 37-46, 2011.

PESSOA, A.M.S.; SILVA-MANN, R.; SANTOS, A.G.; RIBEIRO, M.L.F. Morphological floral characterization in accessions of *Jatropha curcas* L. **Scientia Plena**, v. 8, p. 1-7, 2012.

PETRONE, A.; PRETI, F. Suitability of soil bioengineering techniques in CentralAmerica: a case study in Nicaragua. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.12, p. 1241–1248, 2008.

REUBENS, B.; ACHTEN, W.M.J.; MAES, W.H.; DANJON, F.; AERTS, R.; POESEN, J.; MUYS, B. More than biofuel? *Jatropha curcas* root system symmetry and potential for soil erosion control. **Journal of Arid Environment**, v. 75, p. 201–205, 2011.

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

SANTOSO, B. B.; PARWATA, I. G. A. Seedling growth from stem cutting with different physiological ages of *Jatropha curcas* L. of West Nusa Tenggara genotypes. **International Journal of Applied**, v. 4, n.6, 2014.

SATURNINO, H.M.; PACHECO, D.D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N.; GONÇALVES, N.P. Cultura do pinhão-mansô (*Jatropha curcas* L.). **Informe Agropecuário**, v. 26, n. 229, p. 44-74, 2005.

SCHUMACHER, V. M.; CECONI, E. D.; SANTANA, A. C. Influência de diferentes doses de fósforo no crescimento de mudas de Angico-Vermelho (*Parapiptadenia rigida* (Benth) Brenan). **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 28, n. 1, p. 149-155, 2004.

SEVERINO, L.S.; LIMA, R.L.S.; LUCENA, A.M.A.; FREIRE, M.A.O.; SAMPAIO, L.R.; VERAS, R.P.; MEDEIROS, K.A.A.L.; SOFIATTI, V.; ARRIEL, N.H.C. Propagation by stem cuttings and root system structure of *Jatropha curcas*. **Biomass Bioenergy**, v. 35, p. 3160–3166, 2011.

SILVA, S.D. dos A.; ÁVILA, T.T.; JUNIOR, J.G.C.; LOY, F.; ÁVILA, D.T. Propagação vegetativa de pinhão-mansô (*Jatropha curcas* L.) Via estaquia no rio grande do sul. In: II Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel. **Anais...** p. 219-223. 2008.

TARDÍO, G.; MICKOVSKI, S.B. Implementation of eco-engineering design into existing slope stability design practices. **Ecological Engineering**, v. 92, p. 138–147, 2016.

THANNEN, M. V. D.; HOERBINGER, S.; PARATSCHA, R.; SMUTNY, R.; LAMPALZER, T.; STRAUSS, A.; RAUCH, H. P. Development of an environmental life cycle assessment model for soil bioengineering constructions. **European Journal of Environmental and Civil Engineering**, 2017. DOI: 10.1080/19648189.2017.1369460

THITITHANAVANICH, B. **The effect of diameter and length of stem-cuttings on root production of physic nut (*Jatropha curcas* L.) in Thailand**. Bangkok Kasetsart University. 1985.

SANTANA, I.D.M.; HOLANDA, F.S.R.; FILHO, R.N.A.; MENEZES, A.H.B.; CRUZ, J.F.V.; SOARES, T.F.S.N.; MELO, A.F.R.; NETO, P.G.O. Potencial biotécnico das espécies Aroeira *Schinus terebinthifolius* Raddi e Sabiá *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth para recuperação de taludes marginais no baixo São Francisco. **Scientia Plena**, v. 8, n. 4, 2012.

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

STURION, J. A.; ANTUNES, J. B. M. Produção de mudas de espécies florestais. In: Galvão. A. P. M. org. **Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais: um guia de ações municipais e regionais**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia/Colombo: Embrapa Florestas, p.125-150, 2000.

7. ARTIGO 4

COMPORTAMENTO DO SISTEMA RADICULAR DE *Jatropha curcas* NA ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES

Periódico a ser submetido: Ecological Engineering

RESUMO

O pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) tem sido estudado como elemento de reforço contra o rompimento em talude, tanto pela proteção contra o impacto de gotas de chuva oferecida pela parte aérea, como pela ancoragem do sistema radicular. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar o comportamento do sistema radicular de híbridos de pinhão-mansão quanto à capacidade de reestruturação físico-mecânica do solo e a adequação ao processo de estabilização da erosão em taludes. Foi utilizado o método do monolito para realizar mensurações de densidade radicular (DR), densidade do comprimento radicular (DCR), razão de raízes por área (RAR), resistência de raízes à ruptura (TR) e a coesão da raiz (CR) e do cilindro para verificar o comprimento radicular. Os resultados foram submetidos à análise de variância e em seguida realizou-se a análise de regressão polinomial. O Volume de Raiz, Densidade de Raiz, Densidade Média de Raiz e a Distribuição de Raiz diminuíram com o aumento da profundidade, ocorrendo uma forte correlação negativa entre os índices e a profundidade do solo. A Massa Seca da parte aérea de pinhão-mansão pode proporcionar ao solo grande quantidade de cobertura vegetal que possibilita uma melhor proteção do solo aos processos erosivos superficiais. As raízes de pinhão-mansão, no geral, apresentam boa resistência à ruptura, proporcionando um sistema de ancoragem da superfície que auxilia na estabilização do solo.

Palavras-chave: pinhão-mansão, erosão, índice de qualidade, híbridos, estabilização de talude.

ABSTRACT

Title: The *Jatropha curcas* root system behavior in slope stabilization

Jatrophas (*Jatropha curcas* L.) have been studied as a reinforcing element against slope breakage, both to the protection against the impact of raindrops provided by the aerial part and to the anchorage of the root system. Thus, the purpose of this study was to evaluate the *Jatropha curcas* hybrids root system behavior in relation to the physical-machanical restructuring soil capacity and its suitability to the erosion stabilization process in slopes. The monolith method was used to measure root density, root length density, root arrea rate, root resistance to rupture and the root cohesion and the cylinder was used to verify the root length. The results were submitted to variance analysis and then the polynomial regression analysis was conducted. Root volume, root density, root average density and root distribution decrease with the depth increasing with a strong negative correlation between indexes and soil depth. *Jatropha* aerial dry mass can provide the soil with a large amount of vegetation cover that provides better soil protection from superficial erosion processes. *Jatropha* roots generally have good braking resistance providing a surface anchorage system that assists in soil stabilization.

Key-words: Physic nut, erosion; quality index; hybrids; slope stabilization.

7.1. Introdução

As técnicas de bioengenharia de solos podem ser aplicadas para reduzir e controlar a erosão marginal, como também restringir o movimento de massa do solo podendo ainda ser executadas separadamente ou associadas às técnicas de engenharia tradicional (ARAÚJO-FILHO et al., 2013). A aplicação dessas técnicas permite estabilizar as áreas com camadas superficiais dos solos sob ações erosivas das águas e de deslizamentos, utilizando para isso elementos vivos como plantas e materiais inertes (SILVA, 2012) e ainda são muito comuns em projetos de recuperação ambiental (GONZÁLEZ et al., 2015).

A aplicação dessa prática é de baixo custo e fácil instalação e manutenção. Por esse motivo essa prática pode ser feita em diversas regiões tropicais e semitropicais, uma vez que nelas as condições favoráveis ao crescimento da vegetação ocorrem durante quase todo o ano (COELHO; PEREIRA, 2006; PEREIRA, 2008). A introdução ativa de espécies de plantas pode melhorar as condições de crescimento de outras espécies de plantas e aumentar a heterogeneidade local (GURNELL, 2014). A raiz, o caule e as folhas de uma planta têm diferentes funções, quando usadas na bioengenharia de solos visando a estabilidade do talude.

Os efeitos das plantas podem ser positivos e negativos na estabilidade de taludes e encostas. Como efeitos positivos, podem ser destacados o reforço mecânico do solo pelas raízes (STOKES et al., 2009), a redução do conteúdo de água do solo devido à absorção feita pelas raízes (MORGAN; RICKSON, 1995) e ação de ancoragem do solo pelo crescimento das raízes (STYCZEN; MORGAN, 1995). Como efeitos negativos são destacados a sobrecarga, efeitos de cunha das raízes e o tombamento pela ação do vento (MAFFRA et al., 2017). Os efeitos negativos são normalmente desenvolvidos pela presença de árvores de grande porte alocadas em posições inadequadas (centro e topo do talude) (DURLO; SUTILI, 2014). Esse é um dos motivos pelo qual se preconiza o uso de espécies arbustivas na estabilidade de taludes (MAFFRA et al., 2017).

Para a aplicação da técnica de bioengenharia de solos usando espécies vegetais, torna-se necessário conhecer as suas características biotécnicas, importantes para o seu desenvolvimento na área trabalhada (HOLANDA et al., 2010). As características mais relevantes que influenciam no desenvolvimento da planta e recomposição vegetal são: tolerância à seca, sistema radicular profundo, crescimento vigoroso, disponibilidade de sementes, facilidade na propagação, sobrevivência em condições de baixa fertilidade e eficácia na cobertura do solo (PEREIRA, 2008). Com isso é aconselhável a escolha das plantas com maior número de características positivas possíveis para a recomposição da área e consorciá-las visando um melhor aproveitamento das características positivas das plantas utilizadas (HOLANDA et al., 2010).

O pinhão-mansô (*Jatropha curcas* L.) é uma oleaginosa arbustiva nativa do Brasil, com ocorrência natural em diversos estados e na América do Sul (CORDEIRO; SECCO, 2014). No Brasil, a sua distribuição geográfica é bastante vasta, devido à sua rusticidade, resistência a longas estiagens e adaptabilidade às condições edafoclimáticas variáveis nas regiões Nordeste e Sudeste até o estado do Paraná (ARRUDA et al., 2004; SATURNINO et al., 2005). Atualmente, é encontrada de forma espontânea em regiões intertropicais, com maior escala nas regiões tropicais e em número bastante reduzido nas regiões temperadas (SATO et al., 2009; BORGES et al., 2009; BRITTAINE; LUTALADIO, 2010).

Muito utilizada para extração de óleo de suas sementes (ROMULI; KARAJ; MÜLLER, 2019), as raízes podem melhorar a geotécnica do solo e as propriedades hidrológicas (GIADROSSICH et al., 2016). Pouco exigente em nutrientes, apresenta capacidade de recuperação de áreas degradadas em função de suas raízes profundas (DRUMOND et al., 2016). Visto que o pinhão-mansô é uma planta que apresenta boas características como: boa formação da copa, profundidade da raiz e boa formação do caule tanto em tamanho quanto em diâmetro (CACERES,

2007), se fazem necessários estudos relacionados às suas características agrônômicas, morfológicas e a contribuição na mitigação dos processos erosivos em taludes marginais e encostas.

Esse estudo teve como objetivo avaliar o comportamento do sistema radicular de híbridos de pinhão-manso quanto à capacidade de reestruturação físico-mecânica do solo e à adequação ao processo de estabilização da erosão em taludes.

7.2. Material e Métodos

As plantas de pinhão-manso utilizadas foram dois híbridos JCUFS01xJCUFS13 e um híbrido de JCUFS04xJCUFS05 cultivadas há oito anos e que apresentaram melhores desempenhos e índice de qualidade em plantas produzidas por estacas. Os híbridos foram obtidos de cruzamentos combinados e fazem parte da coleção de estudo na Estação Experimental da Universidade Federal de Sergipe em São Cristóvão-SE. As plantas foram cultivadas com espaçamento 2 x 2 m desde o ano de 2010, em sistema de sequeiro.

O local possui uma temperatura média anual de 25,2°C e precipitação pluviométrica média anual de 1.300 mm e o solo foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, com relevo plano a suave (EMBRAPA, 2013). Para melhor descrição da área foi realizada a medição da resistência mecânica do solo à penetração pelo método de Stolf na área próxima às plantas e entre plantas.

A transformação da penetração da haste do aparelho no solo (cm por impacto) em resistência à penetração, em MPa, foi obtida segundo modelo de Stolf (1991) com penetrômetro de impacto.

Foi realizada determinação da umidade do solo no momento da medição da resistência à penetração nas profundidades de 0 – 20 cm, 20 – 40 cm e de 40 – 60 cm. As análises foram realizadas no Laboratório de Remediação do Solo, da UFS, segundo metodologia da EMBRAPA (2011).

A coleta das raízes foi realizada pelo método do monólito na Estação Experimental Campus Rural da Universidade Federal de Sergipe, e as análises foram realizadas no Laboratório de Erosão e Sedimentação de Solos (LABES) do Departamento de Engenharia Agrônômica (DEA) e no Laboratório de Microestruturas e Propriedades Mecânicas (LAMP) do Departamento de Engenharia dos Materiais da Universidade Federal de Sergipe (UFS).

Para a aplicação do método do monólito executou-se a coleta de raízes de acordo com Böhm (1979), com amostragem do sistema radicular de três plantas do pinhão-manso com oito anos de idade. As amostras foram retiradas em profundidade por meio de monólitos com 1.0m x 1.0m x 1.0m, totalizando 1m³ em cada monólito tendo o caule da planta localizada no centro do monólito conforme o esquema da Figura 1.

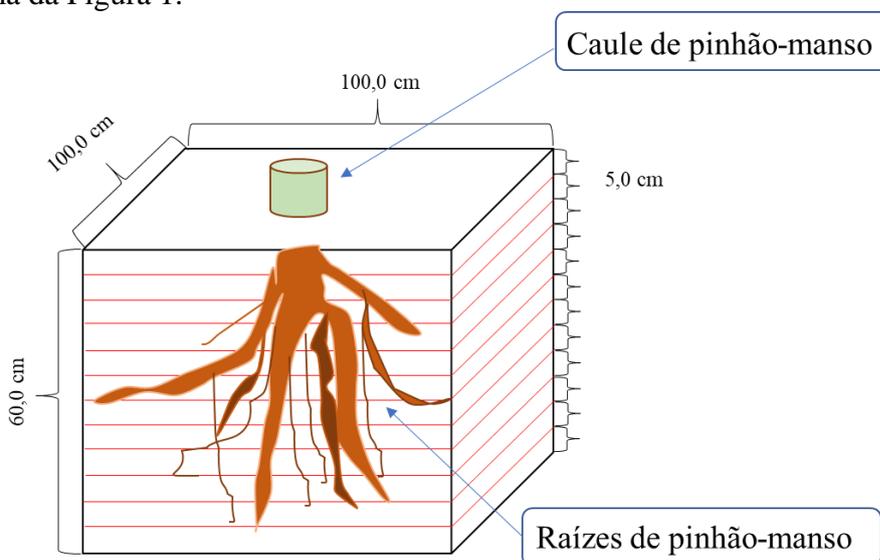


FIGURA 1. Esquema do monólito e dimensões para coleta de amostras de raízes de *Jatropha curcas* (L.), de acordo com a profundidade do solo por camada e medidas. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.

Para remoção dos monólitos fez-se necessário o nivelamento da superfície e paredes dos blocos. Foi utilizada uma enxada para limpar a área em volta da planta, um facão e uma enxadinha, para auxiliar no nivelamento do bloco e no corte do solo e das raízes da parte inferior de cada monólito. Utilizou-se também uma pá reta e uma trena métrica, para moldar e obter as porções de solo com raízes com equivalência dimensional a fim de padronizar o tamanho dos blocos amostrais (Figura 2).

As amostras foram coletadas a cada cinco centímetros (cm) em camadas até a profundidade de 60 cm para cada planta. O solo foi peneirado no local utilizando peneira de malhas finas, a fim de minimizar perdas de raízes no momento da coleta (BÖHM, 1976). Após remoção das amostras as mesmas foram lavadas e acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados e contendo álcool 70% para a conservação do material e levar para o laboratório.

Também foram coletados e identificados os materiais da parte aérea de três plantas de pinhão-manso acondicionadas em sacos de papel devidamente identificados e postos para secar em estufa termoelétrica de ventilação forçada em temperatura pré-determinada de 65°C por um período de 72 a 96 horas, para determinação matéria seca da Parte Aérea (MSPA).



FIGURA 2. Monólito utilizado para coleta de raízes de *Jatropha curcas* (L.), com detalhe do corte realizado por camada e medidas. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.

Posteriormente, foram selecionadas algumas raízes intactas de diferentes diâmetros, sendo o diâmetro máximo e mínimo de 8,0 mm e 2,2 mm, respectivamente. Essas raízes foram separadas das demais e submetidas ao teste de resistência à tração e compressão (FIGURA 3). Em seguida, realizou-se a secagem das raízes 65°C por um período de 72 a 96 horas e a pesagem em uma balança analítica, para determinar Matéria Seca das Raízes (MSR).



FIGURA 3. Teste com raízes de *Jatropha curcas* (L.). Raiz antes do rompimento (A); Raiz pós-rompimento (B). UFS, São Cristóvão-SE, 2018.

A partir da MSR foi possível o cálculo da Densidade Radicular (DR) por meio da Eq. (1), onde MR é a massa de raízes por classe de profundidade (kg) e V é volume de solo de cada classe (m^3). Para a obtenção dos resultados seguintes fez-se necessário o cálculo do Volume de solo por classe de profundidade (V) em m^3 . Este valor foi obtido multiplicando-se a área superficial do monólito de $1 m^2$ pelo comprimento da classe padronizado em 5 cm, obtendo-se um volume de solo por classe de $0,05 m^3$.

$$DR = \frac{M_R}{V} \quad (1)$$

Para determinar a capacidade de descrever a ocupação do solo pelas raízes foi utilizada a DCR (Densidade do Comprimento Radicular). Para que se tornasse possível a realização dessas análises foi necessária a coleta de dados de medição do comprimento total das raízes secas por camada de cada indivíduo.

A medição dessas raízes foi realizada com auxílio de uma régua graduada. O cálculo da Densidade do Comprimento Radicular (DCR) foi realizado pela Eq. (2), na qual o C_r é o comprimento total das raízes por classe de profundidade (km) e o V é o volume de solo da classe (m^3).

$$DCR = \frac{C_R}{V} \quad (2)$$

Com base na DCR referente a cada classe de profundidade, calculou-se a RAR (Razão de Raiz por Área), na qual utilizou a Eq. (3), com o propósito de estimar a contribuição das raízes para o aumento da resistência do solo.

$$RAR = \frac{\frac{RL}{P} \alpha_i}{A} \quad (3)$$

Cujo RL retrata o comprimento total de raízes relacionada a cada classe de profundidade do solo (m); α_i é a área transversal média da raiz em corte de uma raiz representativa de um indivíduo

(m²); P é a classe de profundidade do solo utilizada (0,05 m); e A é a área de referência (m²), determinada pela projeção vertical da biomassa aérea da planta (DE BAETS et al., 2008).

O Volume de Raiz por classe de profundidade (VR) foi determinado utilizando um método no qual as raízes separadas, por classe de profundidade, foram adicionadas em uma proveta graduada, em seguida foi adicionado água até atingir o volume máximo de leitura da proveta (2000 ml). Após esse procedimento, toda a água foi colocada em uma segunda proveta de mesma capacidade, e a diferença na leitura do volume das duas provetas foi considerada como sendo o valor do VR, obtido em ml por classe de profundidade, na sequência esse valor foi convertido e obtido o resultado real do Volume de Raiz em m³.

Para a análise do crescimento das raízes a partir de estacas, foi realizado um ensaio com o cultivo de cinco estacas de pinhão-manso com 20 cm de comprimento e 2,5mm de diâmetro em tubos de PVC com altura de 2,20 m e diâmetro de 30 cm. Os tubos estavam preenchidos com areia lavada e vermiculita na proporção de 2:1. O Método do cilindro, como é conhecido, permite a formação e o desenvolvimento das raízes para posterior avaliação do comprimento radicular. Neste ensaio as plantas foram retiradas dos tubos quando iniciaram o período reprodutivo.

7.3. Resultados e Discussão

A umidade do local próximo às plantas, apresentou-se menor na camada de 20 – 40 cm, enquanto no local entre as plantas apresentou-se semelhante até a profundidade de 60 cm (Tabela 1).

TABELA 1. Valores da umidade do solo (%) até 60 cm de profundidades em dois diferentes locais. UFS, São Cristóvão-SE, 2017.

Profundidade (cm)	Próximo às plantas			Entre Plantas		
	0 - 20	20 - 40	40 - 60	0 - 20	20 - 40	40 - 60
Umidade (%)	24,71	14,52	30,17	30,29	35,15	33,13

A resistência mecânica do solo à penetração alcançou valores superiores a 3,0 MPa a partir de 20 cm de profundidade na medição realizada na área próxima às plantas (Figura 4). Na área entre plantas, a resistência à penetração aos 20 cm era superior a 2,5 MPa e aumentou gradualmente para mais de 3,5 MPa na profundidade de 40 cm.

Geralmente, a resistência aumenta com a compactação e com a redução da umidade do solo, sendo indesejável em certos limites para o crescimento das plantas, o que pode ocasionar uma redução no desenvolvimento do sistema radicular. Valores de resistência à penetração de 2,8 a 3,2 MPa retardam a elongação das raízes e com 4,0 MPa não há crescimento de raízes, haja vista que uma redução de 40% do comprimento radicular é crítico à produtividade das plantas (LETEY, 1985; VEPRASKAS; MINER 1986).

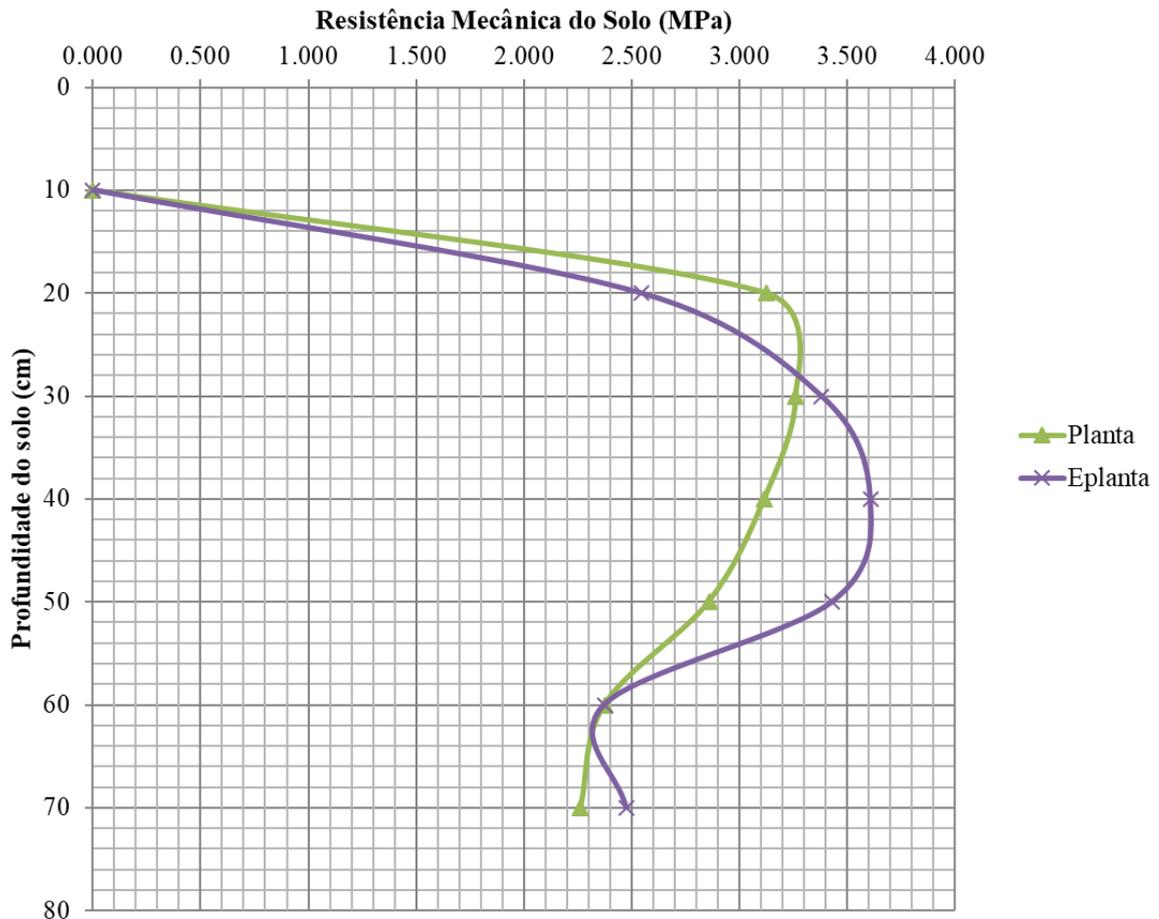


FIGURA 4. Média da Resistência Mecânica do Solo à penetração em profundidade no local próximo às plantas e entre plantas de pinhão-manso na Estação Experimental do Campus Rural. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.

Avaliando a matéria seca total dos três indivíduos de pinhão-manso, amostrados pelo método do monólito, verificaram-se valores máximos de 2,27 kg e de 2,66 kg para a parte aérea e para as raízes, respectivamente. Em contrapartida, os valores mínimos encontrados foram de 2,07 kg para a parte aérea e de 0,78 kg para o sistema radicular (Figura 5).

Na planta 01 existe uma diferença discrepante no valor da quantidade de raízes quando relacionada com as demais, isso se deu provavelmente devido às condições da época inicial das atividades de coleta, na qual as plantas apresentavam estresse devido ao ataque de pragas e, por consequência, ocorrendo uma provável queda na produção de massa em um ponto crítico. A situação foi revertida a tempo da coleta da 2ª e 3ª planta. Este resultado parece ser interessante na compreensão sobre as características biotécnicas do pinhão-manso para aplicação em técnicas de bioengenharia de solos, pelo expressivo crescimento em biomassa (parte aérea e de raízes), dado importante como sugerido por Openshaw (2000). A biomassa aérea minimiza a erosão por proporcionar uma cobertura ao solo, enquanto que a arquitetura do sistema radicular do pinhão-manso, com a ramificação angular, pode proporcionar resistência ao solo em relação à erosão hídrica e eólica (REUBENS et al., 2011).

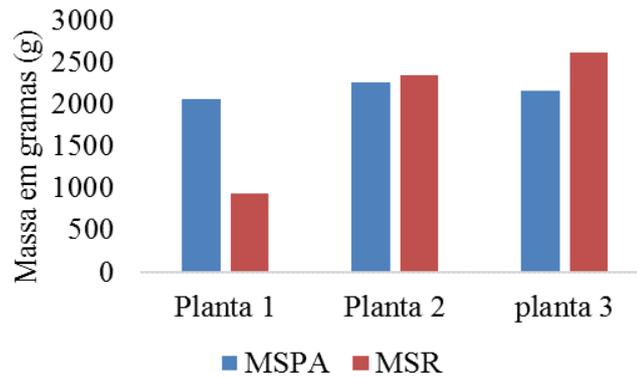


FIGURA 5. Massa Seca da Parte Aérea (MSPA) e do Sistema Radicular (MSR) dos três indivíduos de *Jatropha curcas* (L.). UFS, São Cristóvão-SE, 2018.

A biomassa das raízes dos indivíduos analisados apresentou distribuição proporcional ao comprimento das raízes. Nas Figuras 6 e 7 são observados o comportamento de volume e densidades das raízes, respectivamente. O volume de raízes (VR) visa informar sobre a quantidade de raiz presente no solo, DR visa quantificar a biomassa de raízes em cada profundidade do solo analisada, enquanto que a DCR é capaz de descrever a distribuição das raízes no solo. Através desses índices é possível compreender melhor a relação existente entre o sistema radicular, a parte aérea das plantas e as características edáficas (absorção de água e nutrientes) (SAINJU; GOOD, 1993), Além disto, o aumento da presença e da distribuição de raízes no solo é proporcional ao aumento da coesão e, conseqüentemente, da resistência ao cisalhamento do solo (MENDONÇA; CARDOSO, 1998; CAZZUFFI et al., 2006; COELHO, 2007; FIORI; CARMIGNANI, 2009).

O maior volume de raízes foi encontrado na profundidade até 15 cm de profundidade, porém uma maior densidade de raiz foi quantificada na profundidade entre 20 e 25 cm, conferindo a presença de uma maior quantidade de raízes nas camadas mais superficiais, porém com menor peso e a presença de uma menor quantidade de raízes nas camadas mais profundas, que por sua vez são mais grossas e conseqüentemente mais pesadas. O sistema radicular de pinhão-manso, em sistema irrigado, apresenta o maior volume nas camadas até 40 cm com presença dos maiores diâmetros (COSTA et al., 2015).

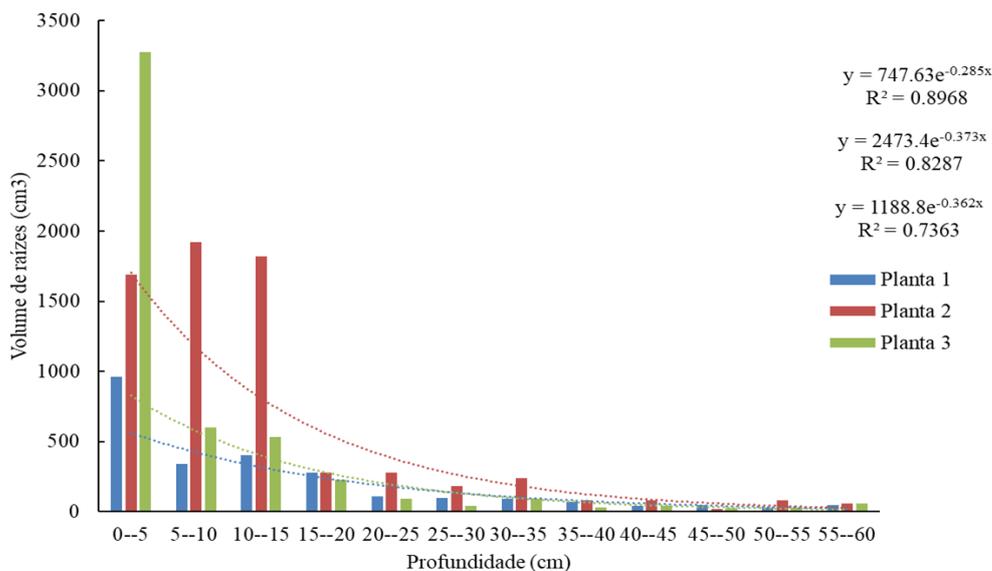


FIGURA 6. Volume de raiz no solo (VR) em diferentes profundidades para os três híbridos analisados. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.

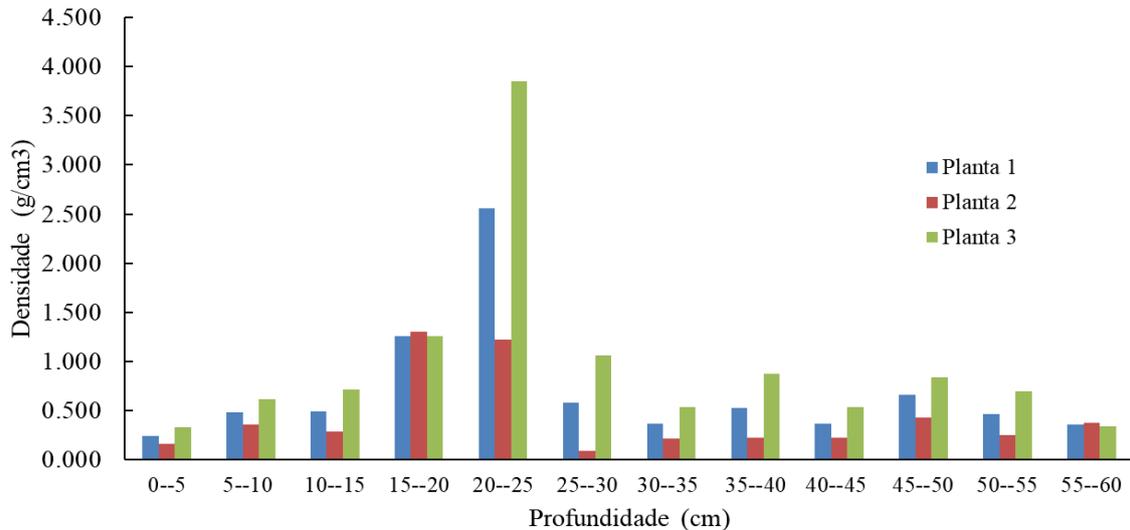


FIGURA 7. Densidade radicular (DR) de plantas de pinhão-mansão no solo em diferentes profundidades. UFS, São Cristóvão, 2018.

As raízes com maiores diâmetros foram encontradas até a profundidade máxima estudada (60 cm), contudo com uma concentração maior nas profundidades entre 20 e 25 cm. Com relação à Densidade do Comprimento Radicular, no geral não se obteve um padrão dessa densidade relacionada com a profundidade, ou seja, em alguns casos foram encontrados valores de Densidade do Comprimento Radicular superiores em camadas mais profundas do que em camadas ligeiramente acima delas (Figura 8).

Apesar de não ter se encontrado um padrão na relação referente à DCR e profundidade, foi possível observar que a DCR diminui à medida que a profundidade aumentou, pois são encontrados valores elevados de DCR nas camadas mais superficiais até os primeiros 25 cm abaixo do solo, tendo uma queda nas camadas subsequentes. Os valores médios encontrados para 10 cm e 60 cm de profundidade nas camadas analisadas foram de 0,15 km/m³ e 0,04 km/m³, respectivamente. Com isso é possível afirmar que tanto a densidade quanto o volume de raiz decaem à medida que vai aumentando a profundidade. Essa redução pode ter sido gerada devido à menor aeração e disponibilidade de nutrientes nas camadas mais profundas do solo, como também pela ocorrência, em profundidade, de camadas mais adensadas, o que teria dificultado a penetração e o desenvolvimento das raízes (MACHADO et al., 2018).

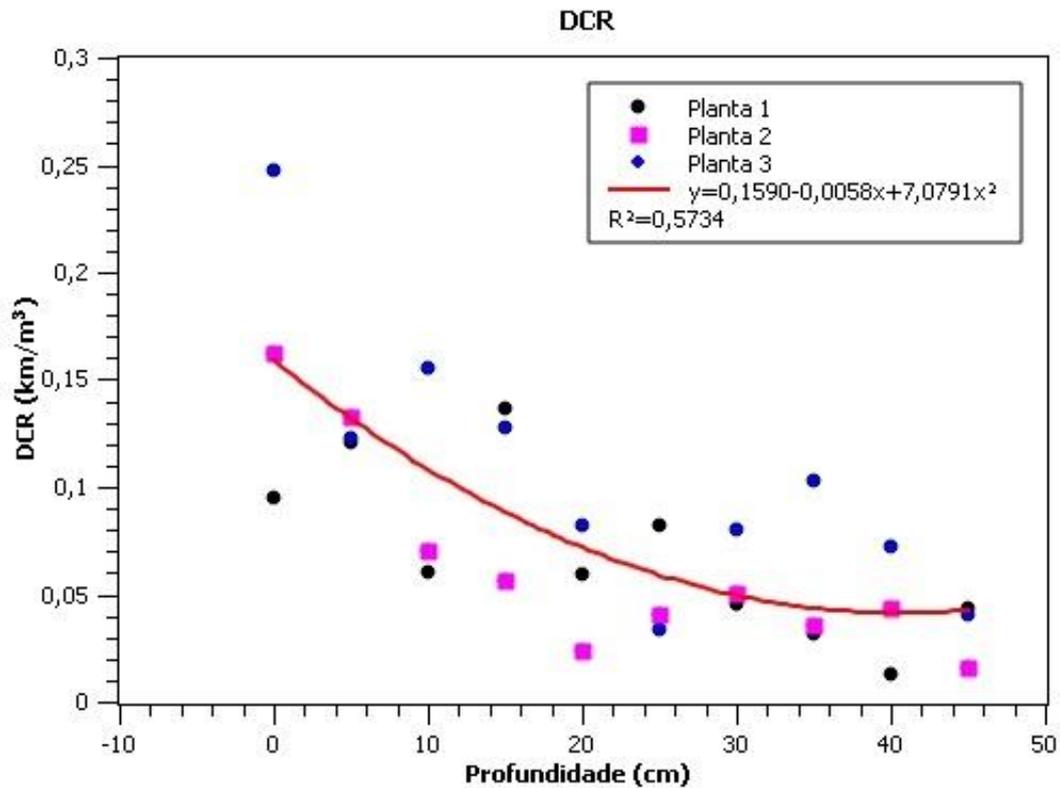


FIGURA 8. Densidade do comprimento radicular (DCR) de plantas de pinhão-mansão no solo em diferentes profundidades. UFS, São Cristóvão, 2018.

A Densidade Média de Raízes (DMR) das três plantas de pinhão-mansão amostradas apresentou a maior densidade na camada de 20 a 25 cm do solo, podendo essa informação ser considerada de grande importância para a compreensão da contribuição da raiz do pinhão-mansão no aumento da resistência do solo à erosão (Figura 9).

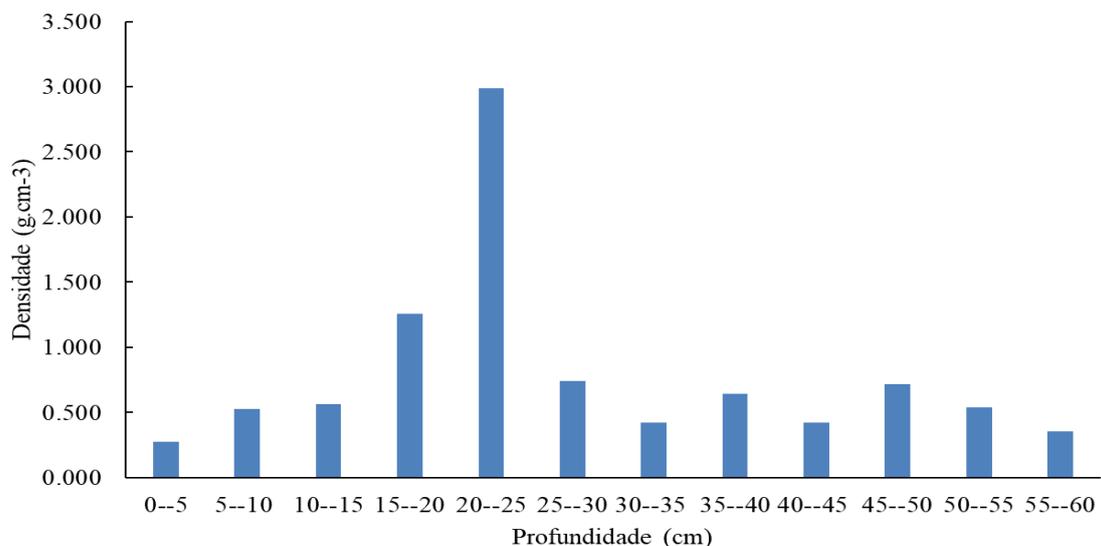


FIGURA 9. Média da densidade de raiz de três plantas de pinhão-mansão. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.

Para Machado (2014), a resistência à tração das raízes de gramíneas como no caso do Capim vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) aumenta com a redução do diâmetro da raiz, o que implica que raízes mais finas oferecem maior resistência do que raízes mais grossas. Outros pesquisadores realizaram trabalhos com diferentes espécies e verificaram que a resistência radicular é muito elevada para raízes finas, e que diminuem significativamente com o aumento do diâmetro (BISCHETTI et al., 2005; BRANSBY et al., 2006; TOSI, 2007).

A resistência da raiz à tração com o aumento do diâmetro tem sua variação devido à estrutura da raiz, com o tempo as raízes vão ficando mais velhas e perdendo celulose, o que implica em uma maior força e essencialidade das raízes mais finas na contenção e aumento da resistência do solo ao cisalhamento (MACHADO, 2018). As raízes de pinhão-manso apresentam boa resistência ao processo de ruptura tanto em raízes finas como também em raízes grossas, isso se dá provavelmente devido ao fato dessa planta ser de caráter arbustivo e ter alto teor de celulose mesmo em raízes mais velhas (Figuras 10 e 11).

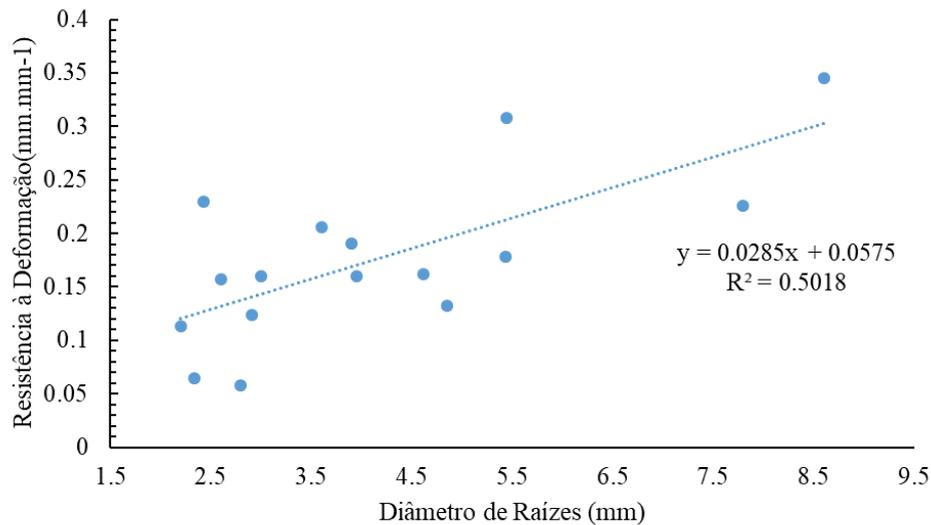


FIGURA 10. Resistência à deformação da raiz em diferentes diâmetros. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.

Há uma tendência de aumento da carga máxima exercida até o momento da ruptura da raiz, conforme o diâmetro desta também aumenta (Figura 11) em mostrar uma associação direta com as raízes de menor diâmetro (Figura 11), onde as raízes mais grossas apresentam resistência à ruptura, da mesma forma que raízes finas.

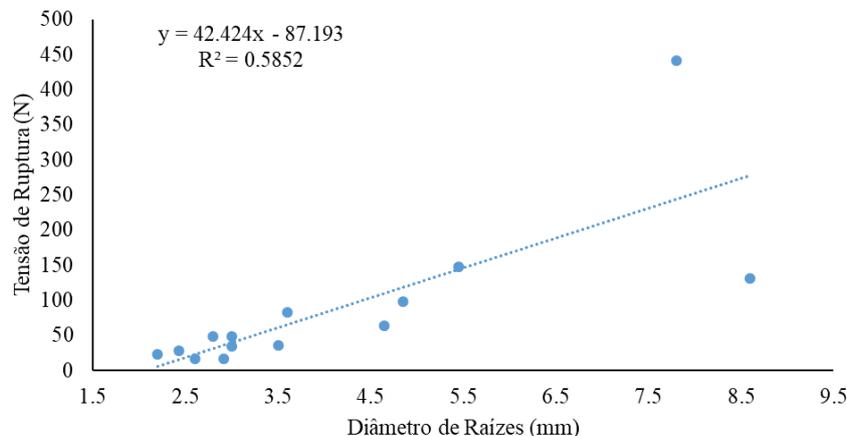


FIGURA 11. Carga máxima suportada pelas amostras de raízes em diferentes diâmetros. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.

A presença dessa resistência e compressão tanto em raízes finas, quanto em raízes mais grossas de pinhão-manso, caracteriza uma vantagem já que não se trata de um sistema radicular não fasciculado, ou seja, não denso em profundidade.

A análise do comprimento das raízes pelo método do cilindro, permitiu observar o crescimento de raízes de pinhão-manso em profundidade superior a 2 metros para o híbrido JCUFS01xJCUFS13 (Figura 12). Nessa situação, pode-se observar a capacidade de crescimento das raízes de pinhão-manso.

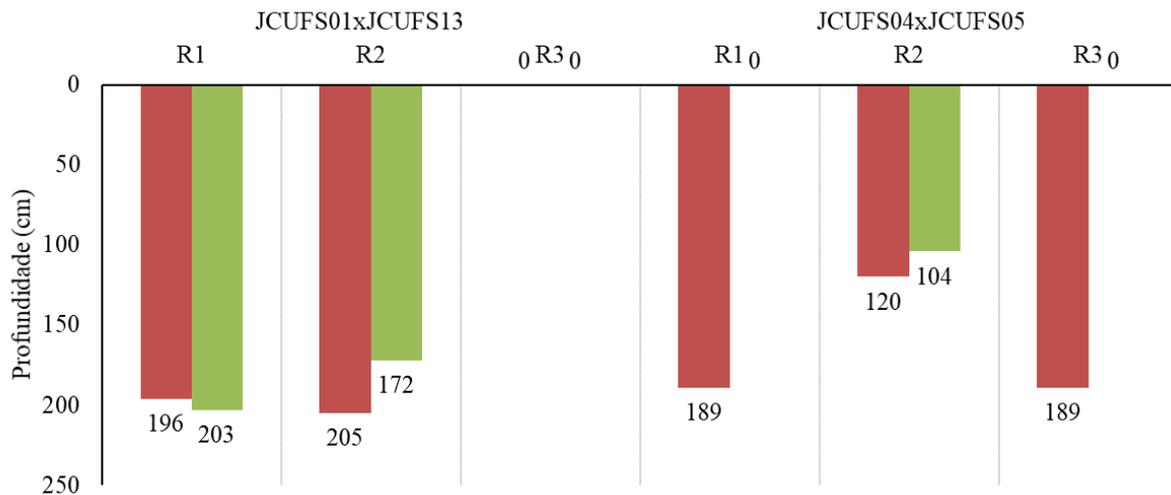


FIGURA 12. Crescimento de raízes de estacas de pinhão-manso em profundidade pelo método do cilindro. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.

7.4. Conclusões

O Volume de Raiz, Densidade de Raiz, Densidade Média de Raiz e a Distribuição de Raiz diminui com o aumento da profundidade do solo.

As raízes laterais superficiais irão formar um sistema de ancoragem da superfície enquanto que as raízes presentes em maiores profundidades irão formar um sistema de ancoragem em profundidade que somados irão proporcionar uma boa resistência ao solo.

As raízes de pinhão-mansão, no geral, apresentam boa resistência à ruptura, sendo assim uma vantagem devido ao seu sistema pivotante que por sua vez proporciona um sistema de ancoragem nas camadas mais profundas, enquanto que as raízes superficiais proporcionam um sistema de ancoragem da superfície que auxilia na estabilização do solo.

7.5. Referências Bibliográficas

ARAÚJO-FILHO, R.; HOLANDA, F. S. R.; ANDRADE, K. Implantação de técnicas de bioengenharia de solos no controle da erosão no baixo São Francisco, estado de Sergipe. **Scientia Plena**, v. 9, n. 7, 2013.

ARRUDA, F. P. D. et al. Cultivo de pinhão manso (*Jatropha curca* L.) como alternativa para o semi-árido nordestino. **Revista brasileira de oleaginosas e fibrosas**, v. 8, n. 1, 2004.

BISCHETTI, G. B. et al. Root strength and root area ratio of forest species in lombardy (Northern Italy). **Plant and soil**, v. 278, n. 1-2, p. 11–22, 2005.

BÖHM, W. **Methods of studying root systems**. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 1979.

BORGES, P. C. F.; COLLAÇO JUNIOR, J. C.; SCARPARO, B.; NEVES, M. B.; CONEGLIAN, A. Caracterização da curva de embebição de sementes de pinhão manso. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, n. 13, 2009.

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

BRANSBY, M. et al. Stabilisation of slopes by vegetation reinforcement. In: CRC PRESS, **Physical Modelling in Geotechnics, Two Volume Set: Proceedings of the Sixth International Conference on Physical Modelling in Geotechnics, 6th ICPMG'06**, Hong Kong, 4-6, 2006, [S.l.], v. 1, p. 317.

BRITTAINE, R.; LUTALADIO, N. *Jatropha*: a smallholder bioenergy crop: the potential for pro-poor development. **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)**, v. 8, 2010. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/012/i1219e/i1219e.pdf>>. Acesso em: 30 jul. 2018.

CACERES, D. R.; PORTAS, A. A.; TESTA, J. E. A. Pinhão-manso. **Infobibos**, 2007. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2007_3/pinhaomanso/index,htm>. Acesso em: 01 ago. 2018.

CAZZUFFI, D.; CORNEO, A.; CRIPPA, E. Slope stabilisation by perennial gramineae in southern italy: plant growth and temporal performance. **Geotechnical & Geological Engineering**, v. 24, n. 3, p. 429–447, 2006.

COELHO, A.; PEREIRA, A. Efeitos da vegetação na estabilidade de taludes e encostas. **Boletim Técnico**, v. 1, p. 1–20, 2006.

COELHO, A. T. **Efeitos da vegetação herbácea associada a técnicas de bioengenharia de solos no controle de erosão em margens de áreas de reservatório da UHE Volta Grande, nos municípios de Água Comprida/MG e Miguelópolis/SP**. 2007. 184 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG, 2007.

CORDEIRO, I.; SECCO, R. *Jatropha* in **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB22713>>. Acesso em: 20 ago. 2019.

COSTA, F. R.; SILVA, M. C.; EVANGELISTA, A. W. P.; ROSA, F. O.; JUNIOR, J. A.; VILELA, V. S. Avaliação do sistema radicular de pinhão manso em diferentes níveis de irrigação localizada. **Revista Faculdade Montes Belos (FMB)**, v. 8, n. 5, p.19-139, 2015.

DE BAETS, S. et al. Root tensile strength and root distribution of typical mediterranean plant species and their contribution to soil shear strength. **Plant and soil**, v. 305, n. 1-2, p. 207–226, 2008.

DRUMOND, M. A. et al. Produção e distribuição da biomassa de *Jatropha curcas* no semiárido brasileiro. **Cerne**, v. 22, n. 1, p. 35–42, 2016.

DURLO, M. A.; SUTILI, F. J. **Bioengenharia: manejo biotécnico de cursos de água**. 3º ed. Santa Maria: dos autores, 2014.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 2011. 230p.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. 3.ed. revisada e ampliada. Brasília. 2013. 353p.

FIORI, A. P.; CARMIGNANI, L. **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas: aplicações na estabilidade de taludes**. 2º ed, São Paulo: Oficina de textos, 2009.

GIADROSSICH, F.; COHEN, D.; SCHWARZ, M.; SEDDAIU, G.; CONTRAN, N.; LUBINO, M., VALDÉS-RODRÍGUEZ, O.A.; NIEDDA, M. Modeling bio-engineering traits of *Jatropha curcas* L. **Ecological Engineering**, v.89, p.40–48, 2016.

GONZÁLEZ, E.; SHER, A. A.; TABACCHI, E.; MASIP, A.; POULIN, M. Restoration of riparian vegetation: a global review of implementation and evaluation approaches in the international, peer-reviewed literature. **Journal Environment Management**, v. 158, p. 85-94, 2015.

GURNELL, A. Plants as river system engineers. **Earth Surf. Process. Landforms**, v. 39, p. 4-25, 2014.

HOLANDA, F. S. R.; Gomes, L. G. N.; Rocha, I. P.; Santos, T. T.; Araújo Filho, R. N.; Vieira, T. R. S.; João Basílio Mesquita, J. B. Crescimento inicial de espécies florestais na recomposição da mata ciliar em taludes submetidos à técnica da bioengenharia de solos. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 1, p, 157–166, 2010.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, v. 1, n. 2, p. 277-294, 1985.

MACHADO, L. **Potencial do capim-vetiver como componente de bioengenharia de solos para estabilização de talude marginal do São Francisco**. 2014. 57f.Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Biodiversidade) — Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão-SE, 2014.

MACHADO, L.; HOLANDA, F. S. R.; PEDROTTI, A.; FERREIRA, O. J. M.; ARAÚJO-FILHO, R. N. de.; MOURA, M. M. Efeito de raízes de vetiver sobre a resistência à penetração de um neossolo flúvico nas margens do rio são francisco. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 4, p. 935 – 943, 2018.

MAFFRA, C. R. B. et al. Métodos de avaliação da influência e contribuição das plantas sobre a estabilidade de taludes. **Scientia agraria**, Universidade Federal do Paraná, v. 18, n. 4, p. 129–143, 2017.

MENDONÇA, A.; CARDOSO, A. Contribuição da vegetação para a estabilidade de taludes, parte II–estudo de um caso. **Geotecnia**, n. 83, p. 5–26, 1998.

MORGAN, R. P.; RICKSON, R. J. **Slope stabilization and erosion control: a bioengineering approach**, E & FN SPON, 1995, ISBN 0-203-37471-1. Disponível em: <<https://books.google.com,br>>. Acesso em: 30 jul. 2018.

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

PEREIRA, A. R. **Como Selecionar Plantas para Áreas Degradadas e Controle de Erosão**. 2. Ed. Belo Horizonte: FAPI, 2008.

REUBENS, B.; ACHTEN, W.M.J.; MAES, W.H.; DANJON, F.; AERTS, R.; POESEN, J.; MUYS, B. More than biofuel? *Jatropha curcas* root system symmetry and potential for soil erosion control. **Journal of Arid Environments**, v.75, p. 201-205, 2011.

ROMULI, S.; KARAJ, S.; MÜLLER, J. Physical Properties of *Jatropha curcas* L. Fruits and Seeds with Respect to Their Maturity Stage. **Applied Sciences**, v.9, n.9, p.1802, 2019.

SAINJU, U.; GOOD, R. Vertical root distribution in relation to soil properties in new Jersey pinelands forests. **Plant and Soil**, v. 150, n. 1, p. 87–97, 1993.

SATO, M. et al. A cultura do pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.): Uso para fins combustíveis e descrição agrônômica. **Varia Scientia**, v. 7, n. 13, p. 47–62, 2009. Disponível em: <<http://e-revista,unioeste,br/index,php/variascientia/article/view/2523/1947>>. Acesso em: 30 jul. 2018.

SATURNINO, H.M.; PACHECO, D.D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N.; GONÇALVES, N.P. Cultura do pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.). **Informe Agropecuário**, v. 26, n. 229, p. 44-74, 2005.

SILVA, R. A. F. D. **Aplicação da engenharia natural na estabilização de taludes**. 2012. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade da Madeira, Funchal, 2012.

STOKES, A. et al. Desirable plant root traits for protecting natural and engineered slopes against landslides. **Plant and soil**, Springer, v, 324, n, 1-2, p, 1–30, 2009.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, p.229-35, 1991.

STYCZEN, M.; MORGAN, R. **Engineering properties of vegetation**. Londres: Taylor & Francis: London, UK, 1995, Disponível em: <https://books.google.com,br/books?hl=pt-BR&lr=&id=q5t5AgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA4&dq=Engineering+Properties+of+Vegetation&ots=4-6trx3iLe&sig=YY5o5Yfb4fudyp_XRsNCnPR9VcE>. Acesso em: 2018.

TOSI, M. Root tensile strength relationships and their slope stability implications of three shrub species in the northern apennines (italy). **Geomorphology**, v. 87, n. 4, p. 268–283, 2007.

VEPRASKAS, M.J., MINER, G.S. Effects of subsoiling and mechanical impedance on tobacco root-growth. **Soil & Tillage Research**, v.50, p.423-427, 1986.