

## Revisão: *Jatropha curcas* L.: aspectos morfofisiológicos e químicos Review: *Jatropha curcas* L.: morphophysiological and chemical aspects

Ivana Oliveira Virgens<sup>1</sup>, Renato Delmondez de Castro<sup>1</sup>, Marta Bruno Loureiro<sup>1</sup>, Luzimar Gonzaga Fernandez<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal da Bahia (UFBA), Instituto de Ciências da Saúde, Departamento de Bioquímica e Biofísica, Laboratório de Bioquímica, Biotecnologia e Bioprodutos, Salvador/BA - Brasil

### \*Corresponding Author

Luzimar Gonzaga Fernandez, Universidade Federal da Bahia (UFBA), Instituto de Ciências da Saúde, Departamento de Bioquímica e Biofísica, Laboratório de Bioquímica, Biotecnologia e Bioprodutos, Reitor Miguel Calmon, s/n, Vale do Canela, CEP: 40160-100, Salvador/BA – Brasil, e-mail: luzimargonzaga@gmail.com; luzimar@ufba.br

**Cite as:** Review: *Jatropha curcas* L.: morphophysiological and chemical aspects. Braz. J. Food Technol., v. 20, e2016030, 2017.

Received: Mar. 14, 2016; Accepted: Dec. 05, 2016

### Resumo

*Jatropha curcas* L. (pinhão-mansão) é uma espécie vegetal oleaginosa cujo óleo, extraído de suas sementes, apresenta múltiplas aplicações para comunidades locais, além da sua potencial aplicação em diferentes setores industriais, dentre os quais a indústria de biodiesel, constituindo-se, assim, em mais uma fonte de matéria-prima dentro do elenco de espécies oleaginosas úteis. Aspectos morfofisiológicos e físico-químicos são de grande importância quando se tem interesse na prospecção de espécies vegetais visando sua domesticação e exploração comercial. O objetivo deste estudo foi realizar uma revisão do estado da arte sobre a *J. curcas*, compilando estudos acerca da caracterização morfofisiológica, assim como acerca da composição química das sementes, gerando assim informações que auxiliem na exploração do potencial de produção e cultivo da espécie, a fim de subsidiar estudos que propiciem a exploração comercial sustentável dessa cultura. O conhecimento morfológico disponível sobre *J. curcas* possibilita o entendimento preciso do ciclo biológico da planta, entretanto, estudos fisiológicos ainda necessitam ser desenvolvidos para uma melhor compreensão do comportamento dela, principalmente em termos de armazenamento, condições ótimas de germinação e formação de mudas, assim como sobre o comportamento da espécie quando sob condições adversas, tais como excessiva insolação, restrição hídrica e temperaturas elevadas, dentre outras. A descrição da composição química, caracterização de compostos tóxicos e fatores antinutricionais da semente já existentes forneceram informações que podem dar suporte a produção e exploração comercial de *J. curcas*, porém estudos e testes com animais devem ser conduzidos para confirmar com maior segurança suas aplicações comerciais.

**Palavras-chave:** Pinhão manso; Morfologia; Fisiologia; Composição química.

### Summary

*Jatropha curcas* L. (physic nut) is an oleaginous plant species and the oil extracted from its seeds presents multiple applications for use by local communities, in addition to its potential application in different industrial sectors, amongst which the biodiesel industry, thus constituting one more source of raw materials within the inventory of useful oleaginous species. The morphophysiological and physicochemical aspects are of great importance when there is interest in the prospection of plant species aiming at their domestication and commercial exploitation. The aim of this study was to carry out a review of the state of art concerning *J. curcas* by compiling studies on its morphophysiological characterization and on the chemical composition of its seeds, thus generating information that could help in the exploitation of the production and cultivation potential of this species, so as to subsidize studies that propitiate this crop and its sustainable commercial exploitation. The morphological knowledge available concerning *J. curcas* allows for an accurate understanding of its biological cycle. However, physiological studies still need to be developed for a better understanding of its behavior, particularly in terms of storage, the optimum conditions for germination and the production of seedlings, as well as its behavior under adverse conditions, such as excessive sunlight, water restriction and high temperatures, amongst others. The description of the chemical composition, characterization of the toxic compounds and existing anti-nutritional factors in the seed would provide



## Revisão: *Jatropha curcas* L.: Aspectos morfofisiológicos e químicos

Virgens, I. O. et al.

information that could support the production and commercial exploitation of *J. curcas*. However, animal studies and tests should be carried out to confirm the commercial applications with greater confidence.

**Keywords:** *Jatropha*; Morphology; Physiology; Chemical composition.

### ■ 1 Introdução

*Jatropha curcas* L. é uma arvoreta da família Euphorbiaceae, conhecido popularmente no Brasil como pinhão-mansão, pinheiro de purga, entre outros nomes (CAB INTERNATIONAL, 2013). O centro de origem da espécie é indeterminado, porém, acredita-se que ela pode ter sido disseminada por navegadores portugueses da América Central e do México através da Ilha de Cabo Verde e da Ilha de Guiné-Bissau para outros países da África e da Ásia. Por essa razão, vários autores citam as Américas do Sul e Central como prováveis centros de origem. Atualmente, apresenta-se distribuída pelos trópicos e sub-trópicos, sendo encontrada de forma espontânea em quase todas as regiões intertropicais, ocorrendo em maior escala nas regiões tropicais e em número bastante reduzido nas regiões temperadas (DOVEBIOTECH, 2005; SATO et al., 2009; BRITTAINE; LUTALADIO, 2010).

No Brasil, sua distribuição geográfica é bastante vasta, devido à sua rusticidade, resistência a longas estiagens, sendo adaptável a condições edafoclimáticas muito variáveis, desde a região Nordeste, Sudeste até o Estado do Paraná (ARRUDA et al., 2004; SATURNINO et al., 2005). No Compêndio sobre Espécies Invasoras do Centro de Agricultura e Biociências Internacional – CABI (Centre for Agriculture and Bioscience International), anteriormente chamada Commonwealth Agricultural Bureaux, é possível encontrar uma ampla lista dos locais de ocorrência do pinhão-mansão (CAB INTERNATIONAL, 2013).

*J. curcas* é considerada uma espécie de múltiplas aplicabilidades, podendo ser utilizada como cerca viva, na recuperação de terrenos baldios e terras secas, na fabricação de sabão e tintas, bem como na medicina popular, na qual é frequentemente usada como purgativo, no tratamento de doenças da pele, hidropisia, gota, paralisia e reumatismo. O óleo extraído de suas sementes também pode ser empregado na fabricação de biocombustíveis, representando mais uma fonte alternativa de matéria-prima (MELO et al., 2006; NUNES, 2007; DEBNATH, 2008). Em função dessas múltiplas potencialidades, acredita-se ser de grande relevância o desenvolvimento de novos estudos que complementem e ampliem o conhecimento científico sobre a espécie.

Existem três principais variedades de pinhão-mansão cultivadas no mundo: (1) Nicarágua: apresenta menos frutos por planta, porém esses são maiores; (2) Cabo Verde: é a mais comum, encontrada em diversos países,

provavelmente levada pelos portugueses para a África e Ásia; e (3) Mexicana: essa variedade tem alguns genótipos que não apresentam toxicidade e são consumidas assadas pela população local (HENNING, 2004).

Quando se pensa em estudar ou até explorar sustentavelmente uma espécie vegetal e suas potencialidades é necessário o conhecimento sobre sua morfologia e sua fisiologia, pois tais informações possibilitam a identificação precisa e o conhecimento do ciclo biológico da planta de interesse. Conhecer a fisiologia viabiliza a compreensão do desenvolvimento da planta e seu comportamento diante das condições ambientais, sejam elas naturais ou induzidas. Além disso, são necessários estudos que visem extração, identificação, caracterização e determinação da atividade biológica e toxicidade de seus princípios ativos. Dessa forma, é possível o uso das informações adquiridas tanto ecologicamente, como recurso vegetal para fins de conservação, como até mesmo para exploração agrícola, com finalidade de produção de bioprodutos de interesse. Sendo assim, nesta revisão buscou-se compilar estudos acerca da caracterização morfofisiológica de *J. curcas*, bem como sobre a composição química de suas sementes, de modo que tais informações possam auxiliar na exploração do potencial de produção e crescimento dessa espécie.

### ■ 2 Morfofisiologia

A planta adulta é uma arvoreta de crescimento rápido, cuja altura pode variar entre 2 a 3 metros, podendo alcançar até 5 metros (Figura 1A). O tronco é ramificado e seu diâmetro é de aproximadamente 20 cm. As folhas têm de 10 a 15 cm de comprimento e 7,5 a 12,5 cm de largura, são verdes, esparsas e brilhantes, largas e alternas, em forma de palma, com três a cinco lóbulos, pecioladas e com nervuras esbranquiçadas e salientes na face inferior. Os pecíolos são redondos, lisos, com 4 a 6 centímetros de comprimento e estípulas ausentes (HELLER, 1996; SATURNINO et al., 2005; SATO et al., 2009; BRASILEIRO et al., 2012; MARGONAR et al., 2012; PESSOA et al., 2012; SANTANA et al., 2013; CAB INTERNATIONAL, 2013; LUCENA et al., 2014).

A espécie é monóica, sendo as flores masculinas de coloração amarelada, em maior número, localizadas nas extremidades das ramificações, e as femininas, logo abaixo das masculinas (Figura 1B). Apresenta polinização cruzada, primordialmente entomófila, entre diferentes flores da mesma planta ou de plantas diferentes, sendo parcialmente

## Revisão: *Jatropha curcas* L.: Aspectos morfofisiológicos e químicos

Virgens, I. O. et al.

autocompatível (ALBUQUERQUE et al., 2008; SATO et al., 2009; PESSOA et al., 2012; CAB INTERNATIONAL, 2013).

O fruto é seco, deiscente, coriáceo, capsular, ovóide, com diâmetro entre 1,5 cm a 3 cm, trilobular, com uma semente por cavidade (Figura 1D). É formado por um pericarpo ou casca dura e lenhosa, inicialmente verde, que passa a amarela, castanha e, por fim, preta, quando atinge a maturação (PESSOA et al., 2012). Cada fruto pesa em média de 1,53 g a 2,85 g, sendo que o tegumento compõe 38% a 47% desse peso (SATURNINO et al., 2005; NUNES et al., 2009; SATO et al., 2009).

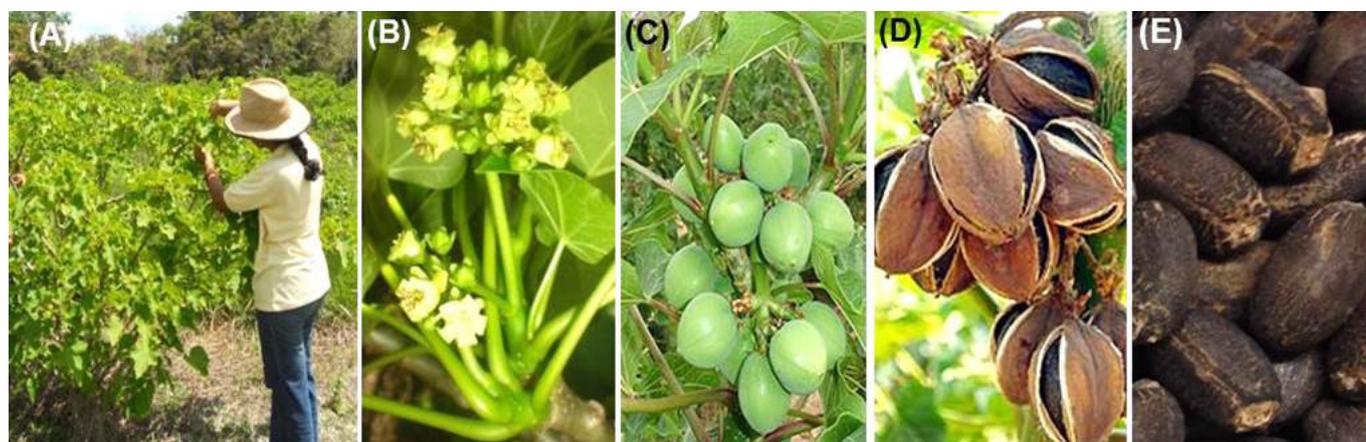
Com base no aspecto do fruto e na coloração da testa, as sementes podem ser classificadas em 13 estádios de maturação: verde (8 diferentes estádios, em função dos diferentes estádios de maturação da semente contida no fruto), amarelo-verde, amarelo, amarelo-acastanhado, castanho-amarelado e castanho-seco. A partir desse estudo de maturação de sementes foi possível inferir que a melhor época de colheita dos frutos de *J. curcas* é quando eles estão secos e com coloração marrom, nessa fase as sementes apresentam máximo acúmulo de matéria seca, menor teor de umidade, maior germinação e vigor, maior teor de lipídeos e dimensões estabilizadas em comprimento e largura, parâmetros esses relacionados

com o ponto de maturidade fisiológica para as sementes de pinhão manso (BRITO et al., 2015b).

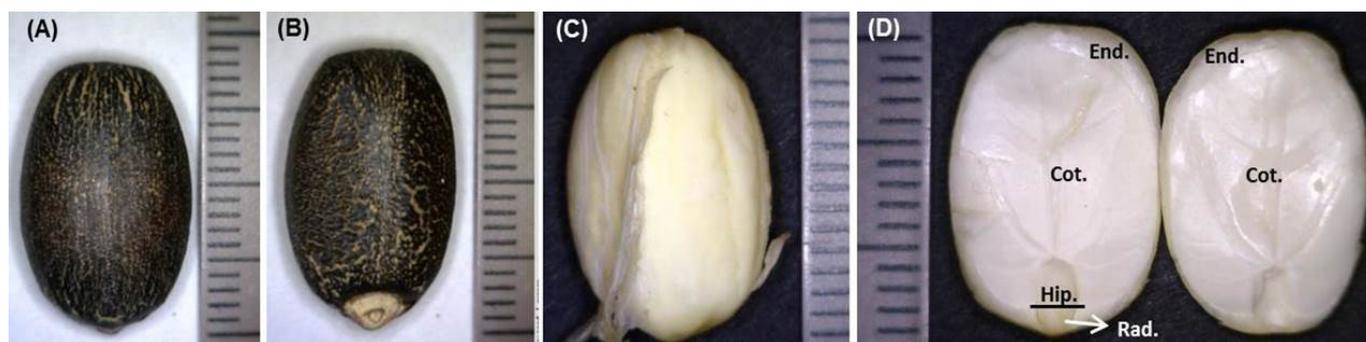
A semente seca mede entre 1,5 cm a 2 cm de comprimento e 1 cm a 1,3 cm de largura, pesando de 0,55 g a 0,79 g, podendo o tegumento responder por 33,7% a 45% e a amêndoa, por 55% a 66% desse total (Figura 1E) (NUNES et al., 2009; SATO et al., 2009; LOUREIRO et al., 2013).

O tegumento apresenta testa e tegmen, possui coloração marrom-escuro uniformemente distribuída, é glabro com textura porosa e apresenta fissuras em sua superfície. O formato das sementes é ovalado, com dorso convexo, a rafe é bem visível e a carúncula possui formato cônico, coloração castanho-clara e encontra-se revestindo a região do hilo (Figura 2A, B). Possui dois cotilédones foliáceos, achatados, inteiramente envolvidos pelo endosperma oleaginoso, de coloração esbranquiçada e formato cordiforme, com ápice atenuado e base ampla, escavada e arredondada (Figura 2C, D) (NUNES et al., 2009; SATO et al., 2009; LOUREIRO et al., 2013).

No início do processo germinativo são formadas 5 raízes, 1 principal e 4 adventícias, que surgem da região do colo (Figura 3A). A espécie apresenta germinação do



**Figura 1.** Características morfológicas da *Jatropha curcas* L. (A) planta adulta; (B) ramo florido; (C) fruto verde; (D) fruto seco; (E) semente. Fonte: fotos do autor.



**Figura 2.** Características morfológicas da *Jatropha curcas* L. (A, B): aspecto externo da semente (parte abaxial e adaxial); (C) aspecto da semente sem a testa e com o tégme; (D) corte longitudinal na semente, (detalhe do endosperma, cotilédone e eixo embrionário). End.: Endosperma; Cot.: Cotilédone; Hip.: Hipocótilo; Rad.: Radícula. Fonte: fotos do autor.

## Revisão: *Jatropha curcas* L.: Aspectos morfofisiológicos e químicos

Virgens, I. O. et al.



**Figura 3.** Características morfológicas da *Jatropha curcas* L. (A) sementes em diferentes estádios germinativos; (B) plântula jovem (10 dias após embebição em água). Fonte: fotos do autor.

tipo epígea fanerocotiledonar (Figura 3B) e o processo germinativo com desenvolvimento da plântula varia de 15 a 30 dias (NUNES et al., 2009; SATO et al., 2009; LOUREIRO et al., 2013).

### 3 Comportamento de sementes de *J. curcas* durante o armazenamento

Sementes de espécies oleaginosas, como *J. curcas* são mais propensas à degradação, sendo assim, não podem ser armazenadas por longos períodos. Quando comparadas as sementes amiláceas, a conservação das oleaginosas é mais difícil, uma vez que os lipídios são quimicamente menos estáveis do que as moléculas do amido. Por essa razão, a peroxidação de lipídios é frequentemente relatada como uma das principais causas de deterioração dessas sementes (PEREIRA et al., 2013).

Estudos visando estabelecer as condições mais adequadas para o armazenamento das sementes de *J. curcas*, conduzidos durante um ano, mostraram que houve uma redução natural na germinação e vigor das sementes durante o armazenamento, independentemente das condições ambientais (temperatura e umidade) e do tipo de embalagem utilizada. Sementes recém-colhidas foram secas até o teor de umidade de 7,2% e armazenadas, ao longo de um ano, em diferentes condições (ambiente não controlado, condições de laboratório, a  $\pm 25$  °C e  $\pm 76$ % UR) e câmara fria ( $\pm 5$  °C e 60% UR), armazenadas dentro de sacos de papel tipo Kraft, polipropileno trançado e em tambor de papelão. Em relação às condições testadas, a qualidade fisiológica das sementes foi maior após o armazenamento em câmara fria ( $\pm 5$  °C e 60% UR), para as sementes armazenadas dentro de embalagens de papel Kraft, polipropileno trançado ou quando mantidas em ambiente não controlado, dentro de tambor de papelão (PEREIRA et al., 2013).

Joker e Jepsen (2003) afirmam que as sementes de *J. curcas* são ortodoxas e devem ser secas até obenção de baixo teor de umidade (5-7%) e que armazenadas em recipientes hermeticamente fechados, à temperatura ambiente, as sementes podem se manter viáveis durante pelo menos um ano. No entanto, devido ao alto teor de

óleo, as sementes não podem ser armazenadas por muito tempo, como a maioria das espécies ortodoxas. Entretanto, em um estudo de armazenamento de sementes mantidas em condições ambientais já foi evidenciado redução de 90% para 43% na porcentagem de germinação após 112 dias (RATREE, 2004).

Sementes de *J. curcas* armazenadas em condições que variaram de 0 °C a 20°C mantiveram sua qualidade, demonstrando que as temperaturas não foram determinantes para a manutenção da qualidade fisiológica ao longo do período de armazenamento, no entanto, o teor de água influenciou na redução de germinação e vigor. Sementes com teor de água mantido entre 4% e 5% não perderam a qualidade, enquanto sementes com o teor de água de 9,5% não conseguiram manter sua qualidade (GUZMAN; AQUINO, 2009). Em monitoramento realizado durante seis meses de armazenamento com sementes mantidas em condições ambientais normais (laboratório), em embalagens plásticas, os resultados evidenciaram que as sementes apresentaram aumento de teor de água de 7,9% para 8,2% e decréscimo na porcentagem de germinação de 89% para 53% após o sexto mês do armazenamento (WORANG et al., 2008). Em outro estudo realizado durante oito meses de armazenamento, foram testadas as condições ambiente (armazém) e câmara fria (12 °C  $\pm$  3 °C e 45% UR) e três tipos de embalagens (saco de algodão, de polietileno e de papel multifoliado) para sementes com teor de água inicial de 7,4%. Nesse estudo, os resultados indicaram que sementes armazenadas com boa qualidade inicial, inclusive com baixo teor de umidade, apresentaram conservação da sua viabilidade até oito meses (MORAIS, 2008).

A técnica de criopreservação também foi testada como forma de preservar sementes de *J. curcas*. Foram utilizadas duas condições, - 170 °C (vapor de nitrogênio líquido) e -196 °C (imersão no nitrogênio líquido) em quatro períodos de criopreservação (0 dias; 30 dias; 60 dias e 90 dias). Os autores verificaram que houve conservação do vigor e viabilidade das sementes em todas as condições testadas e indicaram a técnica de criopreservação para a conservação das mesmas (GOLDFARB et al., 2010).

## Revisão: *Jatropha curcas* L.: Aspectos morfofisiológicos e químicos

Virgens, I. O. et al.

### ■ 4 Propagação e germinação

Em termos de propagação, *J. curcas* pode ser cultivada por meio de sementes ou estacas. Sendo uma espécie monóica de fecundação cruzada entomófila, resulta numa grande variação entre indivíduos. Plantas oriundas de sementes florescem 9 meses depois de semeadas, enquanto as multiplicadas por estaquia, 6 meses depois de plantadas. Informações técnicas acerca da cultura ainda são escassas e por vezes conflitantes, tanto em seus aspectos produtivos e econômicos como sociais, ambientais, políticos e energéticos (SATURNINO et al., 2005; SATO et al., 2009; HORBACH et al., 2014). O cultivo de *J. curcas* pode ser realizado utilizando-se como sistema de plantio e/ou semeadura tanto plantio convencional quanto consorciado. A escolha do sistema depende das condições locais e dos objetivos do agricultor. Nos plantios convencionais e consorciados, a utilização de semeadura e plantio direto são técnicas possíveis de serem utilizadas, entretanto utilizam-se mais comumente mudas pré-cultivadas a partir de sementes. Essa espécie também tem sido usada como cerca viva. No plantio de cercas vivas geralmente são utilizadas estacas, devido ao rápido crescimento vegetativo, entretanto também são utilizadas mudas pré-cultivadas de sementes (SATO et al., 2009).

Sementes são escolhidas como sistema de propagação quando o foco do estudo é a fisiologia da germinação ou qualquer investigação relacionada à tecnologia de sementes, seja em ensaios em campo, seja em casa de vegetação ou em laboratório. Porém, para esses ensaios utilizam-se condições preestabelecidas em estudos anteriores ou analisam-se as melhores condições para o genótipo estudado. No Brasil é comum utilizarem-se inicialmente as recomendações das *Regras para Análises de Sementes – RAS* (BRASIL, 2009) ou até mesmo as regras da International Seeds Testing Association – ISTA, reconhecida internacionalmente por estabelecer padrões para a avaliação da qualidade de sementes.

Apesar da *J. curcas* já ser considerada comercial após a publicação da Instrução Normativa nº. 4, de 14/1/08, editada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA do Brasil, a qual regulamenta a produção e comercialização de sementes e mudas de pinhão manso no país, não existem nas RAS recomendações para avaliação de sementes de *J. curcas*, sendo assim, por muitas vezes se tem utilizado a metodologia preconizada para sementes de *Ricinus communis* (mamona), espécie também oleaginosa pertencente a mesma família do pinhão manso.

No entanto, vale ressaltar que isso se aplica a estudos voltados para área de tecnologia de sementes. Análises experimentais que visem outra abordagem utilizam metodologias especializadas e ajustadas para o objetivo do estudo, tais como pesquisas que visem

conservação, avaliação de tolerância a estresses ambientais, caracterização morfofisiológica, avaliação de compostos biativos e atividades biológicas, como também composição química (BRITO, 2010; LEAL, 2011; SAETA; SUNTORNUSUK, 2011; LOUREIRO et al., 2013; VIRGENS, 2014).

Para a condução de testes de germinação, um aspecto muito importante a ser definido são as condições ótimas para germinação para cada espécie a ser estudada. Alterações nessas condições podem levar a comportamentos diferentes. Para *J. Curcas*, essas informações ainda são muito controversas, pois diferentes autores relatam diferentes condições para a germinação ótima da espécie. Esse fato pode ser justificado pelas características de plasticidade, adaptável a uma ampla faixa climática, temperaturas entre 18 °C a 28,5 °C, altitudes desde ao nível do mar a cerca de mil metros e precipitação média de 480 mm a 2.380 mm (BELTRÃO; CARTAXO, 2006).

Encontram-se indicações para que o teste de germinação de sementes de *J. curcas* seja realizado em temperaturas alternadas de 25-30 °C (MORAIS, 2008) ou entre 20 °C a 30 °C, utilizando como substrato areia ou papel (MARTINS et al., 2008). Entretanto, temperatura de 30 °C e substrato vermiculita também são indicados como condições ótimas para germinação, alcançando valores de 85% (GAIROLA et al., 2011). Em outra investigação, foi registrado 82% de germinação máxima quando as sementes foram expostas a 25 °C, já na temperatura de 30 °C foi verificado menor percentagem e maior velocidade de germinação (WINDAUER et al., 2012). Para propagação de sementes *in vitro*, Nunes et al. (2009) indicam o ajuste da temperatura para 27 °C. A pré-embebição é um dos tratamentos pré-germinativos que auxilia na melhoria da germinação de muitas espécies. Sousa Mota et al. (2012) verificaram que a embebição prévia em água possibilitou o alcance de melhores resultados tanto para germinação quanto para vigor quando as sementes de *J. curcas* foram submetidas a temperatura de 25 °C.

A validade dos resultados dos testes de germinação é, às vezes, questionada, pois em laboratório as condições são controladas, a fim de possibilitar a máxima capacidade germinativa das sementes. Portanto, a germinação no laboratório nem sempre é igual àquela ocorrida no campo, onde as condições ambientais não são controladas e, as vezes, adversas ao processo de germinação e desenvolvimento do vegetal. No entanto, as discrepâncias entre resultados de laboratório e de campo podem ser reduzidas quando as sementes apresentam vigor elevado, considerando que esse é um importante parâmetro, que representa a qualidade fisiológica da semente, por expressar o desempenho dela com relação ao seu ciclo de vida reprodutivo e propagação da espécie (LIMA JUNIOR, 2010).

## Revisão: *Jatropha curcas* L.: Aspectos morfofisiológicos e químicos

Virgens, I. O. et al.

O fornecimento de água, outro aspecto a ser considerado, constitui condição essencial para que as sementes iniciem a germinação e as plântulas se desenvolvam normalmente, pois da absorção de água resulta a reidratação dos tecidos, com consequente intensificação da respiração e de todas as outras atividades metabólicas, que culminam com o fornecimento de energia e nutrientes necessários para a retomada do crescimento por parte do eixo embrionário (NASSIF et al., 1998; LIMA JUNIOR, 2010).

Com relação ao cultivo de sementes de *J. curcas* em campo, verifica-se que, sob déficit hídrico, as sementes podem germinar, porém não emergem. Essa observação demonstra que, apesar de ser considerada uma planta de elevada resistência a períodos de estiagem, o déficit hídrico constitui fator limitante na fase inicial do ciclo de vida dessa espécie, impedindo o estabelecimento de plântulas em campo. Estudo conduzido em casa de vegetação na qual plantas foram irrigadas diariamente com solução nutritiva em 100%, 70%, 50%, ou 30% de água, diariamente, demonstrou que o déficit hídrico limitou o crescimento das plantas e o desenvolvimento foliar. A massa seca de folhas, raízes e o peso total foram reduzidos em 70%, 50%, e 30% do uso diário de água, quando comparados com o tratamento controle (100% de água) (NIU et al., 2012).

Comportamento semelhante foi encontrado quando em laboratório simulou-se a deficiência hídrica com uso de solução de Polietilenoglicol 6000 (PEG 6000): tanto a porcentagem quanto a velocidade de germinação de sementes de *J. curcas* foram afetadas a partir do potencial osmótico  $-0,2$  MPa, com limite de tolerância verificado no potencial de  $-0,6$  MPa (1% de germinação), demonstrando assim uma sensibilidade das sementes dessa espécie ao estresse hídrico (LOUREIRO et al., 2007; ALBUQUERQUE et al., 2008; SANTOS et al., 2010; PESSOA, 2011). As soluções de polietilenoglicol também são utilizadas com bons resultados em tratamentos pré-germinativos, no entanto o osmocondicionamento com solução de PEG 8000 a  $-0,8$  MPa durante 7 dias a  $25$  °C não induziu efeitos *priming* em sementes de *J. curcas*, viabilizando a melhoria da qualidade fisiológica dos lotes estudados (BRITO et al., 2015a).

O déficit hídrico por aumento na quantidade de sais na solução do solo também interfere nos processos fisiológicos da germinação e desenvolvimento de sementes de *J. curcas*, causando atraso no processo germinativo, com redução no crescimento das plântulas, tanto em condições de laboratório quanto em condições de campo (NERY et al., 2009; ANDRÉO-SOUZA et al., 2010). Niu et al. (2012) verificaram o amarelamento das bordas das folhas em todos os tratamentos nos quais a salinidade foi elevada. O peso seco total de plantas foi reduzido em 30%, 30% e 50%, respectivamente, quando

irrigadas com solução salina com condutividade elétrica de  $3,0$  dS.m<sup>-1</sup>;  $6,0$  dS.m<sup>-1</sup> e  $9,0$  dS.m<sup>-1</sup>.

Efeitos de salinidade e estresse hídrico correlacionado às relações hídricas, a fotossíntese e o crescimento de plantas de *J. curcas* foram analisados e neste estudo os autores puderam verificar que, apesar de ambos estresses causarem reduções significativas no teor de clorofila, a atividade fotoquímica não foi afetada. Após a supressão das condições de estresse, as plantas se recuperaram de modo rápido e quase completamente. Sendo assim, tais alterações fisiológicas podem indicar mecanismos adaptativos utilizados pela espécie para lidar com essas condições adversas (SILVA et al., 2010). Os panoramas apresentados demonstram que os estresses hídrico e salino podem reduzir crescimento e desenvolvimento de plantas *J. curcas*, pelo menos nos estádios iniciais do desenvolvimento, mas que, após estabelecida no ambiente, essa espécie é capaz de suportar tais condições adversas.

## ■ 5 Composição química das sementes

As sementes de *J. curcas* não são apenas fonte de matéria-prima para produção de biodiesel, apresentando também outras finalidades industriais. No passado, seu óleo foi utilizado em lâmpadas e na produção de sabão. No entanto, com o desenvolvimento dos detergentes sintéticos, que são mais baratos, a produção diminuiu. Porém seu potencial na produção de combustível substituto dos derivados do petróleo tem sido reconhecido. Combustível obtido dessa espécie foi usado durante a Segunda Guerra Mundial como substituto do diesel em Madagascar, Benine, Cabo Verde, tendo sido seu coproduto glicerina valioso para a fabricação de nitroglicerina (GUBITZ et al., 1999; BRITTAINE; LUTALADIO, 2010; FRÖHLICH et al., 2010).

No Brasil, a principal matéria-prima para a produção de biocombustível é a soja, responsável por mais de 70% do biodiesel produzido no país. Porém, além da *J. curcas*, culturas como crambe (*Crambe abyssinica*) e nabo-forrageiro (*Raphanus sativus*) despontam como potenciais alternativas interessantes para a produção de biodiesel (SOUZA et al., 2009). Contudo, se pensarmos em escala comercial, a produção de plantas com essa finalidade resultaria em grande montante de resíduos, nesse caso a torta, que em função de suas características e toxicidade não pode ser largamente utilizada e, portanto, em termos de sustentabilidade e preservação ambiental, necessita de correto destino final.

Em se tratando da *J. curcas*, a destoxificação da torta é de extrema necessidade, seja para descarte do resíduo, seja para o aproveitamento na fabricação de adubo e/ou como fonte alimentar para ração animal. Nesse sentido, alguns estudos vêm sendo desenvolvidos visando à determinação dos componentes tóxicos da torta de *J. curcas*, assim como a descoberta de compostos que possam ter outras finalidades, nutricionais ou medicinais.

## Revisão: *Jatropha curcas* L.: Aspectos morfofisiológicos e químicos

Virgens, I. O. et al.

Na torta que normalmente é gerada como resíduo da extração do óleo foram encontrados inibidores de proteases e outras substâncias como saponina, lectinas, fitato e éster de forbol. O óleo extraído de sementes de *J. curcas* também possui atividade lipásica, a qual pode catalisar reações de transesterificação para a preparação de biodiesel (GUBITZ et al., 1999; BRITTAINE; LUTALADIO, 2010; FRÖHLICH et al., 2010).

Ainda em termos de determinação de compostos, recentemente três novos diterpenos foram descobertos e isolados a partir de extrato metanólico de raízes de *J. curcas*: jatrophalactona, jatrophalona e jatrophadiquetona. As estruturas foram estabelecidas com base em métodos espectroscópicos e confirmadas por análise de raios X cristalográficos (LIU et al., 2012).

A toxicidade das sementes de *J. curcas* tem sido atribuída ao óleo, que contém um composto irritante e tóxico, o éster de forbol, e a uma proteína tóxica, a curcina. Entretanto, os ésteres de forbol, derivados de diterpenos tetracíclicos, restritos às famílias Euphorbiaceae e Thymelaceae, são os principais componentes tóxicos presentes no óleo da espécie (MAKKAR et al., 1997). Em amostras de sementes de pinhão manso oriundas de 27 acessos coletados em diferentes regiões brasileiras, o teor de ésteres de forbol variou de 1,41 mg.g<sup>-1</sup> a 8,97 mg.g<sup>-1</sup>, indicando a ocorrência de plantas com baixa e com alta toxicidade no Brasil (FERRARI et al., 2009).

Níveis de toxicidade também foram verificados em um estudo comparativo entre genótipos de *J. curcas* oriundos de diferentes regiões agroclimáticas do México (1. Castillo de Teayo, 2. Pueblillo, 3. Coatzacoalcos e 4. Yautepec), que também apresentavam diferentes características morfológicas. Foram determinados ésteres de forbol em concentrações elevadas (3,85 mg.g<sup>-1</sup>) em sementes oriundas de uma das regiões (Coatzacoalcos), não detectadas em amostras das outras regiões. Nesse estudo foi relatado aos pesquisadores que as sementes de Pueblillo eram consumidas por seres humanos e usadas como alimento de frango, que as de Castillo de Teayo e Yautepec não eram consumidas e que o consumo de sementes de Coatzacoalcos por seres humanos provocava diarreia, vertigem e vômitos, o que também indica, na prática, a diferença de toxicidade entre as diferentes cultivares (MARTINEZ-HERRERA et al., 2006).

A curcina, toxina considerada Proteína de Inativação de Ribossomos (RIPs) do tipo I, possui uma cadeia simples, com massa molecular de 28,1 kDa. A descrição da purificação da curcina e o estudo da sua composição química preliminar foram realizados com sementes de *J. curcas* oriundas da cidade de Panzihua, na China, onde se caracterizou a curcina como uma proteína básica principal, que constitui cerca de 20% do total de proteínas solúveis extraídas (BARBIERI et al., 1993). Em estudos mais recentes foram determinados o peso molecular dessa

proteína, que é de 28,2 kDa, que ela apresenta o mesmo ponto isoelétrico (PI) de 8,54 e que, quando purificada, apresenta 251 aminoácidos (LIN et al., 2010).

Em investigações realizadas com frutos e sementes de *J. curcas* cultivadas na Mata Atlântica brasileira, que se estende ao clima tropical e subtropical, e na Caatinga nordestina, que apresenta clima semiárido, os teores de açúcares solúveis, proteínas, teor relativo de água e condutividade elétrica das sementes oriundas da Caatinga excederam significativamente os das sementes provenientes da Mata Atlântica em 28%, 23%, 32% e 94%, respectivamente (POMPELLI et al., 2010). Em estudo que determinou a composição bromatológica e o perfil de minerais de sementes e de tortas de *J. curcas*, *Raphanus sativus* (nabo-forrageiro) e *Crambe abyssinica* (crambe), verificou-se que a torta de *J. curcas* apresentou altos teores de proteína bruta, carboidratos e fibras alimentares, embora tenha apresentado como componente principal as fibras, representando cerca de 1/3 de sua composição total, sendo elas ricas em potássio, magnésio, cálcio, sódio, manganês, ferro, zinco e boro. Devido aos teores de minerais presentes na torta de *J. curcas*, essa poderia ser utilizada na alimentação animal e humana, no entanto a utilização desses coprodutos como fonte alimentar só será possível mediante a complementação dos estudos referentes à toxicidade e a fatores antinutricionais presentes nas tortas (SOUZA et al., 2009).

Foram estudados genótipos de *J. curcas* procedentes de quatro diferentes regiões agroclimáticas do México cujas características morfológicas diferiam (SAETAE; SUNTORNSUK, 2011). Nesse estudo, as sementes eram ricas em proteína bruta (31-34,5%) e lipídios (55-58%). Os teores de fibras extraídas da torta em detergente neutro variaram entre 3,9% e 4,5% da matéria seca (MS). A energia bruta das sementes variou entre 31,1 MJ.kg<sup>-1</sup> a 31,6 MJ.kg<sup>-1</sup> de MS. O conteúdo de amido e açúcares solúveis totais estava abaixo de 6%. Os níveis de aminoácidos essenciais, exceto a lisina, foram maiores do que os valores de referência da FAO/OMS para proteínas necessárias a uma criança de 5 anos em todas as amostras de torta, em base de matéria seca. Os principais ácidos graxos encontrados nas amostras de óleo foram: oléico (41,5-48,8%), linoléico (34,6-44,4%), ácido palmítico (10,5-13,0%) e ácidos esteáricos (2,3-2,8%). Também foram encontrados: ácido 11-cis-eicosenóico (C20:1) e ácido 11,14-cis-eicosadienóico (C20:2) no óleo, esses últimos não relatados anteriormente. Inibidores de tripsina (33,1-36,4 mg de tripsina inibida/g), fitatos (8,5-9,3% em equivalente ácido fítico), saponinas (2,1-2,9%) e lectinas (0,35-1,46 mg.mL<sup>-1</sup> da quantidade mínima da amostra necessária a aglutinação) foram os outros principais antinutrientes presentes em todas as tortas de sementes.

Diferentes tratamentos foram testados nas amostras de torta visando neutralizar os antinutrientes nelas presente.

## Revisão: *Jatropha curcas* L.: Aspectos morfofisiológicos e químicos

Virgens, I. O. et al.

Inibidores de tripsina foram facilmente inativados com aquecimento úmido a 121 °C durante 25 min. Níveis de fitato foram ligeiramente reduzidos por irradiação a 10 kGy. Conteúdo de saponina mensurado foi reduzido por extração com etanol e uso de irradiação. A extração com etanol, seguido por tratamento com 0,07% de NaHCO<sub>3</sub> diminuiu consideravelmente a atividade da lectina. O mesmo tratamento também reduziu o teor de ésteres de forbol para 97,9% em sementes. A digestibilidade *in vitro* da torta seca desengordurada foi entre 78,6% e 80,6%, e aumentou cerca de 86% em tratamento a quente (MARTINEZ-HERRERA et al., 2006).

Nas últimas duas décadas pesquisadores do grupo do Instituto de Produção Animal nos Trópicos e Subtrópicos da Universidade de Hohenheim (Alemanha) vêm desenvolvendo juntamente com colaboradores vários estudos com *J. curcas* tendo como foco análises direcionadas para a descrição da composição química, caracterização de compostos tóxicos, fatores antinutricionais investigando, assim, a possibilidade de utilização da torta de espécimes não tóxicos na alimentação animal e humana, assim como estudos de propagação desses espécimes (MAKKAR et al., 1997, 1998; MAKKAR; BECKER, 1997; SUJATHA et al., 2005).

Em investigação recente que teve por objetivo detoxificar a torta oriunda de sementes de *J. curcas*, estudar toxinas, fatores antinutricionais e propriedades funcionais da proteína isolada da torta detoxificada, os teores de proteínas da torta bruta e da torta detoxificada foram semelhantes, sugerindo que o método de extração utilizado (etanol) não afetou a concentração de proteínas. Entretanto, as concentrações dos outros constituintes foram bastante diferentes. A porcentagem de proteína encontrada nos isolados foi de 89,0% na torta bruta, cerca de quatro vezes maior que na torta detoxificada (cerca de 23,0%). Após detoxificação da torta, ésteres de forbol e lectinas não foram detectados. As concentrações de ácido fítico, de inibidores de tripsina e de saponina também foram muito menores na torta detoxificada. Dessa forma, entende-se que a extração utilizando etanol como solvente pode se mostrar eficaz para remoção completa dos ésteres de forbol e das lectinas, além de atuar como coadjuvante na remoção parcial do ácido fítico, do inibidor de tripsina e da saponina normalmente presentes na torta. No entanto, o ácido fítico detectado no isolado de proteína da torta bruta foi muito mais baixo do que no da torta destoxificada, possivelmente devido ao processo de isolamento das proteínas (SAETAE; SUNTORNSUK, 2011).

Em outro estudo, os mesmos autores investigaram as propriedades funcionais das proteínas isoladas da torta de sementes de *J. curcas* por extração alcalina, seguida por uma precipitação isoelétrica, e pôde-se constatar que essas proteínas apresentaram propriedades funcionais únicas na capacidade de ligação à água, na atividade

emulsificante e na estabilidade da emulsão. Esses resultados confirmam, assim, potencial de aplicação dessa espécie na indústria de alimentos (SAETAE; SUNTORNSUK, 2012).

Com base nessas informações pode-se afirmar que a torta de sementes de pinhão manso detoxificada apresenta potencial para ser explorada como nova fonte de proteínas funcionais, podendo ser utilizada na indústria de alimentos. No entanto, estudos complementares que incluam testes *in vitro* e *in vivo* com animais devem ser realizados a fim de dar suporte aos estudos já desenvolvidos.

Quanto ao óleo, principal composto extraído das sementes de *J. curcas*, o rendimento varia de 50% a 60%, superior quando comparado ao de outras oleaginosas não comestíveis, como *Madhuca indica* (Mahua), *Pongamia pinnata* (Pongamia), *Ricinus communis* (mamona), *Linum usitatissimum* (Linhaça), que apresentam rendimento em torno de 35-40%, 30-40%, 45-50% e 35-45%, respectivamente (KOH; GHAZI, 2011). Entretanto, esse rendimento pode variar entre cultivares e de acordo com o método de extração utilizado, bem como com o estágio de maturação da semente. O teor de lipídeos totais extraído de sementes de *J. curcas* em diferentes estádios de maturação variou em função desse parâmetro, sendo as maiores porcentagens encontradas nas sementes de coloração marrom-amarelo (26,00%) e secas (23,28%), características essas dos estádios finais de maturação (PESSOA et al., 2012; SOUZA-JUNIOR et al., 2013). Ao se avaliar 27 amostras de sementes de *J. curcas* oriundas de diferentes regiões brasileiras, essas apresentaram 31,51% no teor de lipídeos totais, com variação entre 11% a 39%, confirmando a informação anterior (FERRARI et al., 2009).

## 6 Considerações finais

O conhecimento morfológico disponível sobre *Jatropha curcas* L. possibilita a identificação precisa e o conhecimento do ciclo biológico da planta, entretanto, aspectos fisiológicos ainda necessitam ser elucidados para melhor compreensão do desenvolvimento da espécie, principalmente no que se refere às condições propícias para o armazenamento de sementes e seu comportamento diante de diferentes condições ambientais, se possível agregando informações bioquímicas e moleculares, que possibilitariam uma compreensão mais consistente sobre o comportamento da planta.

Considerando-se os benefícios da utilização das sementes de *J. curcas* como fonte renovável de combustível, a descrição da composição química, caracterização de compostos tóxicos e fatores antinutricionais já existentes nos fornecem informações que podem subsidiar a produção e exploração comercial dessa espécie. Os estudos já indicam a possibilidade de utilização da torta de sementes de espécimes não tóxicas na alimentação animal e humana. Por outro lado, a torta detoxificada também apresenta um potencial a ser explorado, podendo constituir fonte de

## Revisão: *Jatropha curcas* L.: Aspectos morfofisiológicos e químicos

Virgens, I. O. et al.

proteínas funcionais, possibilitando assim sua utilização na indústria de alimentos. No entanto, o uso desse subproduto da extração do óleo das sementes de *J. curcas* no setor alimentício só será possível após a condução de estudos e testes in vitro e in vivo que confirmem a segurança de sua utilização.

### Agradecimentos

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pela bolsa de doutorado concedida ao primeiro autor e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES/PNPD) e à PETROBRAS.

### Referências

- ALBUQUERQUE, F. A.; OLIVEIRA, M. I. P.; LUCENA, A. M. A.; BARTOLOMEU, C. R. C.; BELTRÃO, N. E. M. **Crescimento e desenvolvimento do pinhão-mansão: 1º ano agrícola**. Campina Grande: E Algodão, 2008. 21 p. (Embrapa Algodão, Documentos, 197).
- ANDRÉO-SOUZA, Y. A. R. A.; PEREIRA, A. L.; SILVA, F. D.; RIEBEIRO-REIS, R. C.; EVANGELISTA, M. R. V.; CASTRO, R. D.; DANTAS, B. F. Efeito da salinidade na germinação de sementes e no crescimento inicial de mudas de pinhão-mansão. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 32, n. 2, p. 83-92, 2010.
- ARRUDA, F. P.; BELTRAO, N. M.; PEREIRA DE ANDRADE, A.; PEREIRA, W.; SEVERINO, L. S. Cultivo de pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) como alternativa para o semi-árido nordestino. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 789-799, 2004.
- BARBIERI, L.; BATTELLI, M. G.; STIRPE, F. Ribosome-inactivating proteins from plants. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA), Reviews on Biomembranes**, Italy, v. 1154, n. 3, p. 237-282, 1993.
- BELTRÃO, N. E. M.; CARTAXO, W. V. Considerações gerais sobre o pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) e a necessidade urgente de pesquisas desenvolvimento e inovações tecnológicas para esta planta nas condições brasileiras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 3., 2006, Varginha. **Anais...** Varginha, 2006.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 365 p.
- BRASILEIRO, B. G.; DIAS, D. C. F. D. S.; BHERING, M. C.; DIAS, L. A. D. S. Floral biology and characterization of seed germination in physic nut (*Jatropha curcas* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 34, n. 4, p. 556-560, 2012.
- BRITO, C. D. **Germinabilidade de sementes de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) sob restrição hídrica: aspectos fisiológicos, moleculares e citológicos**. 2010. 51 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos e Vegetais)-Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2010.
- BRITO, C. D. D.; LOUREIRO, M. B.; TELES, C. A. S.; SCHUCK, M. R.; FERNANDEZ, L. G.; CASTRO, R. D. D. Behavior of *Jatropha curcas* L. seeds under osmotic stress: germination and cell cycle activity. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 37, n. 3, p. 279-287, 2015a.
- BRITO, C. D.; LOUREIRO, M. B.; SOUZA JUNIOR, A. P.; FERNANDEZ, L. G.; CASTRO, R. D. Morphophysiological profile of *Jatropha curcas* L. fruits and seeds maturation. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 6, p. 3615-3628, 2015b.
- BRITTAINE, R.; LUTALADIO, N. **Jatropha: a smallholder bioenergy crop: the potential for pro-poor development**. Rome: FAO, 2010. v. 8.
- CAB INTERNATIONAL. **Compêndio de espécies invasoras do CAB International**. 2013. Disponível em: <<http://www.cabi.org/isc/datasheet/28393>>. Acesso em: 10 de set. 2014.
- DEBNATH, M. B. P. S. *Jatropha curcas* L., a multipurpose stress resistant plant with a potential for ethnomedicine and renewable energy. **Current Pharmaceutical Biotechnology**, Germany, v. 9, n. 4, p. 288-306, 2008.
- DOVEBIOTECH. **Jatropha curcas L.: an international botanical answer to biodiesel production and renewable energy**. Total renewable, sustainable solutions to the global energy and water needs. Bangkok, 2005. Disponível em: <[http://www.globalbioenergy.org/uploads/media/05\\_Dovebiotech\\_Jatropha\\_Curcas\\_L.pdf](http://www.globalbioenergy.org/uploads/media/05_Dovebiotech_Jatropha_Curcas_L.pdf)>. Acesso em: 14 set. 2014.
- FERRARI, R. A.; CASARINI, M. B.; MARQUES, D. D. A.; SIQUEIRA, W. J. Avaliação da composição química e de constituinte tóxico em acessos de pinhão-mansão de diferentes origens. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 12, n. 4, p. 309-314, 2009.
- FRÖHLICH, J. K.; BOLIGON, A. A.; FELTRIN, A. C.; JANOVIK, V.; FROEDER, A. L. F.; ATHAYDE, M. L. Composto isolado de *Jatropha isabelli* (Muellarg.) com atividades gastroprotetora. **Saúde**, Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 19-28, 2010.
- GAIROLA, K. C.; NAUTIYAL, A. R. E.; DWIVEDI, A. K. Effect of temperatures and germination media on seed germination of *Jatropha curcas* Linn. **Advances in Bioresearch, Society of Education**, India, v. 2, n. 2, p. 66-71, 2011.
- GOLDFARB, M.; DUARTE, M. E. M.; MATA, M. E. R. M. C. Armazenamento criogênico de sementes de pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) Euphorbiaceae. **Biotemas**, Florianópolis, v. 23, p. 27-33, 2010.
- GUBITZ, G. M.; MITTELBAACH, M.; TRABI, M. Exploitation of the tropical oil seed plant *Jatropha curcas* L. **Bioresource Technology**, Essex, v. 67, p. 73-82, 1999.

**Revisão: *Jatropha curcas* L.: Aspectos morfofisiológicos e químicos**

Virgens, I. O. et al.

- GUZMAN, L. E. P.; AQUINO, A. L. Seed characteristics and storage behavior of *physic nut* (*Jatropha curcas* L.). **Philippine Journal of Crop Science**, Laguna, v. 34, n. 1, p. 13-21, 2009.
- HELLER, J. **Physic nut (*Jatropha curcas* L.)**: promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Roma: International Plant Genetic Resources Institute, 1996. 66 p.
- HENNING, R. K. "The *Jatropha* System": economy & dissemination strategy. In: THE JATROPHA SYSTEM AT THE INTERNATIONAL CONFERENCE, 2004, Bonn, Germany, 2004. p. 1-10. Disponível em: <<http://www.betuco.be/agroforestry/Jatropha-economyanddisseminationstrategy.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2014.
- HORBACH, M. A.; MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. M.; AJALA, M. C.; LIMA, P. R.; SCHULZ, D. G. Propagation methods for physic nut (*Jatropha curcas*). **Advances in Forestry Science**, Cuiabá, v. 1, n. 1, p. 53-57, 2014.
- JOKER, D.; JEPSEN, J. *Jatropha curcas* L. **Seed Leaflet**, Humleback, n. 83, p. 1-2, 2003.
- KOH, M. Y.; GHAZI, T. I. M. A review of biodiesel production from *Jatropha curcas* L. oil. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 5, p. 2240-2251, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.02.013>.
- LEAL, L. E. **Caracterização de cultivos e sementes de *Jatropha curcas* L. (Pinhão Manso) na Região do Semiárido Baiano**. 2011. 110 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais)-Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2011.
- LIMA JUNIOR, M. J. V. **Manual de procedimentos para análise de sementes florestais**. Manaus: UFAM, 2010.
- LIN, J.; ZHOU, X.; WANG, J.; JIANG, P.; TANG, K. Purification and characterization of curcin, a toxic lectin from the seed of *Jatropha curcas*. **Preparative Biochemistry & Biotechnology**, London, v. 40, n. 2, p. 107-118, 2010.
- LIU, J. Q.; YANG, Y. F.; WANG, C. F.; LI, Y.; QIU, M. H. Three new diterpenes from *Jatropha curcas*. **Tetrahedron**, Oxford, v. 68, n. 4, p. 972-976, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tet.2011.12.006>.
- LOUREIRO, M. B.; TELES, C. A. S.; COLARES, C. C. A.; ARAÚJO, B. R. N. D.; FERNANDEZ, L. G.; CASTRO, R. D. D. Caracterização morfoanatômica e fisiológica de sementes e plântulas de *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 6, p. 1093-1101, 2013.
- LOUREIRO, M. B.; VIRGENS, I. O.; NÚÑEZ, I. A.; VILAS-BOAS, A. C.; TELES, C. A. S.; PALMIERI, D. A.; DRUMOND, M. A. Efeito do estresse hídrico sobre a germinação de sementes Pinhão-Manso (*Jatropha curcas* L.). In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 2., 2007. **Anais...** Brasília: MCT/ABIPTI, 2007.
- LUCENA, A. M. A.; VASCONCELOS, G. C. L.; MEDEIROS, K. A. A. L.; MEDEIROS, N. I.; MEDEIROS, O. S.; ARRIEL, N. H. C. Características morfológicas de peças reprodutivas de acessos de *Jatropha curcas* L. **Scientia Plena**, Sergipe, v. 10, n. 4, p. 1-9, 2014.
- MAKKAR, H. P. S.; ADERIBIGBE, A. O.; BECKER, K. Comparative evaluation of non-toxic and toxic varieties of *Jatropha curcas* for chemical composition, digestibility, protein degradability, and toxic factors. **Food Chemistry**, London, v. 62, n. 2, p. 207-215, 1998. [http://dx.doi.org/10.1016/S0308-8146\(97\)00183-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0308-8146(97)00183-0).
- MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K. Potential of *Jatropha curcas* cake as a protein supplement in livestock feed, constraints to its utilization and possible strategies to overcome constraints. In: GUEBITZ, G. M.; MITTELBACH, M.; TRABI, M. (Eds.). **Biofuels and industrial products from *Jatropha curcas***. Graz: Dbv-Verlag für die Technische Universität Graz, 1997. p. 190-205.
- MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K.; SPORER, F.; WINK, M. Studies on nutritive potential and toxic constituents of different provenances of *Jatropha curcas*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 45, n. 8, p. 3152-3157, 1997. <http://dx.doi.org/10.1021/jf970036j>.
- MARGONAR, M. A. S.; KARSBURG, I. V.; BONA, D. A. O. Identificação da região organizadora nucleolar de *Jatropha curcas* L. **Estudos**, Goiânia, v. 339, n. 2, p. 165-173, 2012.
- MARTINEZ-HERRERA, J.; SIDDHURAJU, P.; FRANCIS, G.; DAVILA-ORTIZ, G.; BECKER, K. Chemical composition, toxic/antimetabolic constituents, and effects of different treatments on their levels, in four provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico. **Food Chemistry**, London, v. 96, n. 1, p. 80-89, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.01.059>.
- MARTINS, C. C.; MACHADO, G. M.; CAVASINI, R. Temperatura e substrato para o teste de germinação de sementes de pinhão-manso. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 3, p. 863-868, 2008.
- MELO, J. C.; BRANDER JUNIOR, W.; CAMPOS, R. Avaliação preliminar do potencial do pinhão-manso para a produção de biodiesel. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 1., 2006, Brasília. **Anais...** Brasília: MCT/ABIPTI, 2006. v. 2, p. 198-203.
- MORAIS, E. B. S. D. **Padronização do teste de germinação e qualidade de sementes de Pinhão-Manso (*Jatropha curcas* L.) durante o armazenamento**. 2008. 103 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no Semi-árido)-Universidade Estadual de Montes Claros, Janúba, 2008.
- NASSIF, S. M. L.; VIEIRA, I. G.; FERNADES, G. D. Fatores externos (ambientais) que influenciam na germinação de sementes. **Informativo Sementes IPEF**, abr. 1998. Disponível em: <<http://www.ipef.br/tecsementes/germinacao.asp>>acesso em: 27 mar. 2007.
- NERY, A. R.; RODRIGUES, L. N.; SILVA, M. D.; FERNANDES, P. D.; CHAVES, L. H.; DANTAS NETO, J.; GHEYI, H. R. Crescimento do pinhão-manso irrigado com águas salinas em ambiente protegido.

**Revisão: *Jatropha curcas* L.: Aspectos morfofisiológicos e químicos**

Virgens, I. O. et al.

- Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 5, p. 551-558, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000500007>.
- NIU, G.; RODRIGUEZ, D.; MENDOZA, M.; JIFON, J.; GANJEGUNTE, G. Responses of *Jatropha curcas* to salt and drought stresses. **International Journal of Agronomy**, v. 2012, p. 1-7, 2012. <http://dx.doi.org/10.1155/2012/632026>.
- NUNES, C. F. **Caracterização de frutos, sementes e plântulas e cultivo de embriões de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.)**. 2007. 78 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.
- NUNES, C. F.; SANTOS, D. N.; PASQUAL, M.; VALENTE, T. C. T. Morfologia externa de frutos, sementes e plântulas de pinhão-manso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Curitiba, v. 44, n. 2, p. 207-210, 2009.
- PEREIRA, M. D.; DIAS, D. C. F. D. S.; MARTINS FILHO, S.; DIAS, L. A. D. S.; SORIANO, P. E. Physiological quality of physic nut (*Jatropha curcas* L.) seeds during storage. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 35, n. 1, p. 21-27, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S2317-15372013000100003>.
- PESSOA, A. M. S. **Fenologia e caracterização morfológica floral, molecular e agrônômica de acessos de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.)**. 2011. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas)-Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2011.
- PESSOA, Â. 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 *Jatropha curcas* L. **Scientia Plena**, v. 8, n. 7, p. 1-11, 2012.
- POMPELLI, M. F.; FERREIRA, D. T. D. R. G.; CAVALCANTE, P. G. S.; SALVADOR, T. L.; HSIE, B. S.; ENDRES, L. Environmental influence on the physico-chemical and physiological properties of *Jatropha curcas* L. seeds. **Australian Journal of Botany**, Australia, v. 58, n. 6, p. 421-427, 2010. <http://dx.doi.org/10.1071/BT10102>.
- RATREE, S. A preliminary study on physic nut (*Jatropha curcas* L.) in Thailand. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, Dubai, v. 7, n. 9, p. 1620-1623, 2004. <http://dx.doi.org/10.3923/pjbs.2004.1620.1623>.
- SAETA, D.; SUNTORNSUK, W. Toxic compound, anti-nutritional factors and functional properties of protein isolated from detoxified *Jatropha curcas* seed cake. **International Journal of Molecular Sciences**, Switzerland, v. 12, n. 1, p. 66-77, 2011. PMID:21339978. <http://dx.doi.org/10.3390/ijms12010066>.
- SAETA, D.; SUNTORNSUK, W. Functional properties of proteins isolated from phorbol ester-free physic nut (*Jatropha curcas* L.) seed cake. **Food Science and Biotechnology**, Seoul, v. 21, n. 4, p. 1179-1185, 2012. <http://dx.doi.org/10.1007/s10068-012-0154-6>.
- SANTANA, U. A.; CARVALHO, J. L. S. D.; BLANK, A. F.; SILVA-MANN, R. Capacidade combinatória e parâmetros genéticos de genótipos de pinhão-manso quanto a caracteres morfoagronômicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 11, p. 1449-1456, 2013.
- SANTOS, C. M.; ENDRES, L.; LINS WANDERLEY FILHO, H. C.; ROLIM, E. V.; FERREIRA, V. M. Fenologia e crescimento do pinhão-manso cultivado na zona da mata do Estado de Alagoas, Brasil. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 11, n. 3, p. 201-209, 2010.
- SATO, M.; BUENO, O. D. C.; ESPERANCINI, M. S. T.; FRIGO, E. P. A. Cultura de Pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.): uso para fins combustíveis e descrição agrônômica. **Revista Varia Scientia**, Cascavel, v. 7, n. 13, p. 47-62, 2009.
- SATURNINO, H. M.; PACHECO, D. D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N.; GONÇALVES, N. P. Cultivation of *Jatropha curcas* L. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 26, n. 229, p. 44-78, 2005.
- SILVA, E. D.; RIBEIRO, R. V.; FERREIRA-SILVA, S. L.; VIÉGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. Comparative effects of salinity and water stress on photosynthesis, water relations and growth of *Jatropha curcas* plants. **Journal of Arid Environments**, London, v. 74, n. 10, p. 1130-1137, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2010.05.036>.
- SOUSA MOTA, L. H.; HEINZ, R.; GARBIATE, M. V.; SCALON, S. D. P. Q.; CREMON, T.; NETO, A. L. V. Efeito da temperatura e tratamentos pré-germinativos na germinação e vigor de plântulas de *Jatropha curcas* L. **Biotemas**, Florianópolis, v. 25, n. 3, p. 29-37, 2012.
- SOUZA, A. D. V.; FÁVARO, S. P.; ÍTAVO, L. C. V.; ROSCOE, R. Caracterização química de sementes e tortas de pinhão-manso, nabo-forrageiro e crambe. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 10, p. 1328-1335, 2009.
- SOUZA-JUNIOR, A. P.; BRITO, C. D.; CASTRO, R. D.; FERNANDEZ, L. G.; LOUREIRO, M. B. Análise da biossíntese de lipídios durante a maturação de sementes de *Jatropha curcas* L. **Diálogos & Ciência**, Salvador, v. 11, p. 31-34, 2013.
- SUJATHA, M.; MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K. Shoot bud proliferation from axillary nodes and leaf sections of non-toxic *Jatropha curcas* L. **Plant Growth Regulation**, Netherlands, v. 47, n. 1, p. 83-90, 2005.
- VIRGENS, I. O. **Morfofisiologia, radiografia e bioquímica de sementes de *Jatropha curcas* L. sob estresses abióticos**. 2014. 154 f. Tese (Doutorado em Processos Interativos dos Órgãos e Sistemas)-Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.
- WINDAUER, L. B.; MARTINEZ, J.; RAPOPORT, D.; WASSNER, D.; BENECH-ARNOLD, R. Germination responses to temperature and water potential in *Jatropha curcas* seeds: a hydrotime model explains the difference between dormancy expression and dormancy induction at different incubation temperatures. **Annals of Botany**, United Kingdom, v. 109, p. 265-273, 2012.
- WORANG, R. L.; DHARMAPUTRA, O. S.; SYARIEF, R. The quality of physic nut (*Jatropha curcas* L.) seeds packed in plastic material during storage. **BIOTROPIA: The Southeast Asian Journal of Tropical Biology**, Indonesia, v. 15, n. 1, p. 25-36, 2008.