UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
PRODUÇÃO VEGETAL

LOURDES REGINA LOPES BATISTA

CARACTERÍSTICAS RADICULARES E FISIOLÓGICAS DE PINHÃO-MANSO (*JATROPHA CURCAS* L.) PROPAGADO POR SEMENTE E POR ESTACA CULTIVADOS SOB DIFERENTES CONDIÇÕES HÍDRICAS

RIO LARGO – AL.
MARÇO / 2012

LOURDES REGINA LOPES BATISTA

CARACTERÍSTICAS RADICULARES E FISIOLÓGICAS DE PINHÃO-MANSO (*JATROPHA CURCAS* L.) PROPAGADO POR SEMENTE E POR ESTACA CULTIVADOS SOB DIFERENTES CONDIÇÕES HÍDRICAS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Alagoas, para a obtenção do Título de mestre em: Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Eurico Eduardo Pinto de Lemos

RIO LARGO – AL.

MARÇO / 2012

Catalogação na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária Responsável: Fabiana Camargo dos Santos

B333c Batista, Lourdes Regina Lopes.
Características radiculares e fisiológicas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) propagado por semente e por estaca cultivados sob diferentes condições hídricas / Lourdes Regina Lopes Batista. – 2012.
47 f. : il, graf., tab.

Orientador: Eurico Eduardo Pinto de Lemos.

Dissertação (Mestrado em Agronomia : Produção vegetal) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Ciências Agrárias. Rio Largo, 2012.

Bibliografia: f. 42-47.

1. Pinhão manso – Desenvolvimento radicular. 2. Estresse hídrico. 3. Propagação vegetativa. I. Título.

CDU: 631.53:631.67

OFEREÇO

Ao meu Avô:
Aminadab Pereira Lopes
Pela minha formação,
Pela minha vida e
Pelo amor que nos uni.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

A Maria de Fátima e Pedro Iran, meus pais, e Necy Eleutério e Aminadab Pereira, meus avós, por terem proporcionado minha educação.

Ao Prof. Dr. Eurico Eduardo Pinto de Lemos, por aceitar ser meu orientador e pela contribuição, orientação e paciência durante o trabalho.

Ao Prof. Dr. Lauricio Endres, que foi de fundamental importância para realização deste trabalho, além da orientação e disponibilização do Laboratório de Fisiologia Vegetal.

Ao Prof. Dr. João Correia, por aceitar fazer parte da minha banca e assim contribuir para minha formação acadêmica.

A Dra. Karine Dias Batista, pelas sugestões oferecidas a este trabalho.

Tio Marcos Lopes, (Marquinhos da secretaria), pela ajuda, incentivo e por sempre acreditar em mim.

Ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal de Alagoas, pela oportunidade de especialização.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq), pela concessão de bolsa de estudo.

E a todos que de certa forma contribuíram e não foram citados.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Plantas de pinhão-manso do campo experimental que forneceram as estacas. 21
Figura 2- Estacas de pinhão-manso postas para enraizar em tubetes sob telado 50%. .. 22
Figura 3- Frutos de pinhão-manso colhidos maduros para a retirada de sementes. 23
Figura 4- Construção dos rizotrons com tubos de PVC e vidro transparente..... 24
Figura 5- Raízes de plantas propagadas via estacas (A) e via sementes (B) de pinhão-manso, digitalizadas através do processo de varredura realizada por "scanner" de mesa. 26
Figura 6- Processo de digitalização, binarização e esqueletonização de raízes através do software SAFIRA 27
Figura 7- Sistema radicular de *J.curcas* propagada via estaca (A) e via semente (B) submetido a estresse hídrico. 29
Figura 8- Crescimento Radicular Vertical Total dias após plantio (DAP) das duas formas de propagação do Pinhão-manso, sob diferentes condições hídricas. 31
Figura 9- Velocidade de Crescimento Radicular dias após plantio(DAP) das duas formas de propagação do Pinhão-manso, sob diferentes condições hídricas. 31
Figura 10- Análises morfológicas do sistema radicular do *J.curcas* cultivado sob estresse hídrico. 33
Figura 11- Extravasamento de eletrólitos em plantas de pinhão-manso sob estresse hídrico propagado por sementes e por estacas..... 35
Figura 12- Teor relativo de água em plantas de *J. curcas* cultivadas em casa de vegetação e submetidas ao déficit hídrico durante 20 dias..... 36
Figura 13- Eficiência quântica máximo de FS II (Fv/Fm) mensurada na ante manhã (A) e ao meio dia(B) em diferentes formas de propagação de plantas de *J. curcas* sob estresse hídrico.. 38
Figura 14- Índices SPAD de folhas de *J. curcas* cultivadas com diferentes formas de propagação sob estresse hídrico.. 40

RESUMO

O trabalho teve como objetivo avaliar o desenvolvimento do sistema radicular e alguns parâmetros fisiológicos durante o crescimento inicial de plantas de pinhão-manso propagadas por sementes ou por estacas quando submetidas ao estresse hídrico. O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal de Alagoas, no período de julho a outubro de 2011. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x3 (propagação e condições hídricas respectivamente), com quatro repetições, totalizando 24 parcelas. O primeiro fator foi composto por: plantas propagadas por sementes e por estacas. O segundo fator foi composto por: plantas irrigadas permanentemente, plantas submetidas à suspensão completa da irrigação durante vinte dias e plantas reidratadas após vinte dias de seca em condições de rizotrons. Foram realizadas medições de crescimento radicular vertical, velocidade de crescimento radicular vertical, teor relativo de água, extravasamento de eletrólitos, eficiência quântica máxima (Fv/Fm) e índice SPAD. Os resultados deste trabalho permitem afirmar que a *Jatropha curcas* L. apresenta resistência ao estresse hídrico, e o meio propagativo recomendável é através de estacas, pois, além de originar plantas resistentes a seca, ainda possui rápida taxa de crescimento, garantindo dessa forma, produtividade em espaço de tempo reduzido.

Palavras chave: Deficiência hídrica. Crescimento radicular. Propagação vegetativa.

ABSTRACT

The study aimed to evaluate the root development and some physiologiacal characteristics in seedlings of physical nut (*Jatropha curcas* L.) propagated by seeds and cuttings, subjected to water deficit. The experiment was carried out in a greenhouse at the Center for Agrarian Sciences, Federal University of Alagoas, in the period July to October 2011. The experimental design was completely randomized in a 2x3 factorial (propagation and hydric conditions), with four replicates totaling 24 plots. Plants propagated by seeds or cuttings were cultivated in rhizotrons subjected to three different water levels conditions: continuously irrigated plants, plants subjected to full suspension of irrigation for twenty days and plants rehydrated after twenty days in dry conditions. Measurements were made of vertical root growth, root growth speed, relative water content, electrolyte leakage, photochemical efficiency (Fv / Fm) and index SPAD. These results showed that *Jatropha curcas* is a water stress resistant species, and the vegetative propagation by cuttings is recommended, as plants present drought resistance and show fast rate of growth, ensuring high productivity in a short period of time.

Keywords: Hidric déficit. Rroot growth. Resistance.

Sumário

1.INTRODUÇÃO 11
2 REVISÃO DE LITERATURA 13
2.1 Origem e dispersão 13
2.1.1 Descrição botânica 13
2.2 Propagação 14
2.2.1 Propagação por semente 14
2.2.2 Propagação por estaquia 15
2.3 Relações hídricas em plantas 16
2.3.1 Déficit hídrico nas plantas 17
2.3.2 Efeitos do déficit hídrico no sistema radicular 17
2.3.3 Efeitos do déficit hídrico na fotossíntese 18
3 MATERIAL E MÉTODOS 21
3.1 Local do experimento 21
3.2 Delineamento experimental 21
3.3 Material propagativo 21
3.4 Rizotrons 23
3.5 Transplante das estacas para os rizotrons 24
3.6 Irrigação nos rizotrons 25
3.7 Análises morfológicas 25
3.7.1 Crescimento radicular 25
3.8 Análises fisiológicas 27
3.8.1 Teor relativo de água (TRA) 27
3.8.2 Extravasamento de Eletrólitos 28
3.8.3 Eficiência quântica máxima 28
3.8.4 Índice SPAD 28
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 29
4.1 Crescimento Radicular Vertical 29
4.2 Volume, diâmetro e comprimento total radicular 32
4.3 Extravasamento de eletrólitos 34
4.4 Teor Relativo de Água 36
4.5 Eficiência quântica máxima (Fv/Fm) 37
4.6 Pigmentos cloroplastídicos 39

5 CONCLUSÕES..... 41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 42

1.INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a busca por alternativas energéticas que permitam desenvolvimento socioeconômico e que garantam sustentabilidade ambiental, tem impulsionado as pesquisas na comunidade cientifica mundial. Motivados pela preocupação sobre as mudanças climáticas globais e devido à escassez e à alta do preço do petróleo, estudos sobre o emprego de fontes renováveis de energia têm sido intensificados.

Atualmente o biodiesel é uma das fontes renováveis de energia que tem recebido grande atenção, pois o combustível produzido através da biomassa possui propriedades físico-químicas semelhantes ao diesel de origem fóssil. Além da preocupação ambiental, o biodiesel também pode ser importante para reduzir a importação de óleo diesel e pode representar uma importante oportunidade de desenvolvimento econômico para diversas regiões do País (SOUZA, 2006).

O Brasil possui uma grande variedade de espécies de plantas oleaginosas com possibilidade de extração de óleos vegetais para a produção de biodiesel em larga escala (NOGUEIRA e PIKMAN, 2002), dentre elas está a *Jatropha curcas* L., vulgarmente designada por pinhão-manso.

O pinhão-manso é uma planta oleaginosa da família euforbiácea, conhecida por sua resistência à seca, nativa da América tropical e adaptada a diversos ambientes tropicais e subtropicais, além de ser encontrada também na África e na Ásia (DIVAKARA et al., 2010). Essa espécie ocorre com frequência em baixas altitudes (0-500 metros) em áreas com temperaturas anuais medias de 20°C. Entretanto há registros de que são capazes de se desenvolver em maiores altitudes e até suportar geadas. O pinhão-manso cresce em solos bem drenados, com aeração satisfatória, mas tem capacidade de sobreviver em vários tipos de solo, inclusive naqueles arenosos, salinos, alcalinos e rochosos, os quais, sob o ponto de vista nutricional e físico, são restritivos ao pleno desenvolvimento de raízes (JOKER e JEPSEN, 2003).

Esta planta apresenta grande potencial econômico e ambiental, pois além do uso como matéria prima para a produção de biodiesel, ela pode ser utilizada também como planta medicinal, proteção contra erosão do solo, confecção de cercas vivas, dentre outros (DIVAKARA et al., 2010).

A distribuição geográfica do pinhão-manso é bastante vasta, devido a sua rusticidade, resistência a longas estiagens e às infestações de pragas e doenças, sendo adaptável às adversidades de solo e clima. É uma cultura que se desenvolve bem, tanto nas regiões

tropicais secas quanto nas zonas equatoriais úmidas, assim como nos terrenos áridos, podendo suportar longos períodos de secas (ARRUDA, et al., 2004).

Apresenta valor econômico industrial em lugares como Guiné, Moçambique, nas Antilhas Britânicas, Filipinas, México, Porto Rico, Venezuela e El Salvador, sendo uma das maiores riquezas do Arquipélago de Cabo Verde e em Angola onde é um dos principais produtores e exportadores mundiais de sementes desta cultura (ALVES et al., 2008).

No Brasil, estima-se que existam atualmente cerca de 50 mil ha plantados com esta cultura, onde 30 mil ha estão entre os grandes e médios produtores, e o restante na agricultura familiar (DURÃES et al., 2009)

Sendo Purcino e Drummond (1986), o pinhão-manso é uma planta produtora de óleo com todas as qualidades necessárias para ser transformado em biodiesel. Além de perene e de fácil cultivo, apresenta boa conservação da semente colhida, podendo se tornar grande produtora de matéria prima como fonte opcional de combustível. De acordo com os mesmos autores, esta é uma planta que pode ser cultivada nas pequenas propriedades, com a mão-de-obra familiar disponível, como acontece com a cultura da mamona na Bahia, sendo mais uma fonte de renda para as propriedades rurais da região Nordeste.

Além disso, como é uma cultura perene, pode ser utilizada na conservação do solo, pois o cobre com uma camada de matéria seca, reduzindo, dessa forma, a erosão e a perda de água por evaporação, evitando enxurradas e enriquecendo o solo com matéria orgânica decomposta (PEIXOTO, 1973).

Apesar de diversos relatos dos benefícios do cultivo de pinhão-manso e de ser considerada uma opção agrícola para a região Nordeste (ARRUDA et al., 2004), ainda são poucos os estudos relacionados às respostas vegetativas sob estresses artificiais para um melhor entendimento da capacidade de sobrevivência e adaptação desta espécie às condições de estresses naturais, como seca e calor.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desenvolvimento radicular e alguns parâmetros fisiológicos durante o crescimento inicial de plantas de pinhão-manso propagadas por sementes ou por estacas quando submetidas ao estresse hídrico.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Origem e dispersão

A espécie *Jatropha curcas* L. (pinhão-manso), pertence à família Euforbiaceae, sendo conhecida popularmente como pinhão do Paraguai, purgueira, pinha-de-purga, grão-de-maluco, pinhão-de-cerca, pinhão-bravo, figo-do-inferno, pinhão-das-barbadas (Brasil), physic nut, purging nut (inglês), pourghère (França), pinoncillo (México), tempaté (America Central), kadam (Nepal), sabudam (Tailândia) e purgueira (Portugal) (GUSMÃO, 2010).

O gênero *Jatropha* possui 175 espécies distribuídas pela América Tropical, Ásia e África (AUGUSTUS et al., 2002). Acredita-se que *Jatropha curcas* L. proceda da América do Sul, possivelmente originária do Brasil, foi introduzida por navegadores portugueses, em fins do século XVIII, nas ilhas de Cabo Verde e em Guiné, de onde mais tarde foi disseminada pelo continente africano (ARRUDA et al., 2004). Embora seja uma planta conhecida e cultivada no continente americano desde a época pré-colombiana, e esteja disseminada em todas as regiões tropicais e até em algumas temperadas, o pinhão-manso ainda encontra-se em processo de domesticação (SARTUNINO et al., 2005).

2.1.1. Descrição botânica

O pinhão-manso é uma planta arbustiva, de rápido crescimento, que pode atingir mais de 5 m de altura, com um diâmetro do tronco de 20 cm. Possui raízes do tipo pivotante, curtas e pouco ramificadas; caule liso com escamas, de lenho mole e medula desenvolvida, mas pouco resistente; xilema pouco resistente e floema com longos canais que se estendem até as raízes (OPENSHAW, 2000).

As folhas são de coloração verde-brilhante, largas e alternadas, com três a cinco lóbulos e pecioladas. As nervuras são esbranquiçadas e salientes na face inferior. Possui estômatos distribuídos na fase abaxial e adaxial.

É uma planta monóica, isto é, possui flores de sexo separado, porém na mesma planta. As flores são pequenas de coloração amarelo-esverdeadas, pentâmeras, unissexuais em panículas terminais ou axilares. As flores masculinas são em maior número, estando localizadas nas extremidades superiores das ramificações, enquanto que as flores femininas são menos numerosas, e se encontram nas ramificações (ARRUDA et al., 2004).

O fruto de pinhão-manso é uma cápsula ovoide com diâmetro de 1,5 a 3,0 cm, trilocular com uma semente escura em cada loco, que inicialmente é esverdeado, passando a coloração amarela, em seguida castanha e, por fim, preto, quando atinge o estádio de maturação. É formado por um pericarpo ou casca dura e lenhosa, lisa, dentro das quais se encontra uma amêndoa branca e rica em óleo (BRASIL, 1985).

A semente é ovalada, endospérmica, com tegumento rijo, quebradiço, de fratura resinosa. Possui na parte superior, uma proeminência carnuda, a carúncula, que se encontra próxima à micrópila. As sementes, quando secas, apresentam de 1,5 a 2,0 cm de comprimento e 1,0 a 1,5cm de largura. Na parte inferior do invólucro da semente existe uma película branca cobrindo a amêndoa; albúmen abundante, branco, oleaginoso, contendo um embrião com formato reto, cotilédones planos, foliáceos e arredondados (SATURNINO et al., 2005).

2.2. Propagação

A propagação do pinhão-manso pode ser estabelecida por via seminal ou clonal. A via clonal ou vegetativa se estabelece por estaquia, enxertia e micropropagação (SILVA et al., 2007).

A obtenção de mudas deve ser iniciada com a aquisição de material adequado às condições locais e finalidade. Esse material deve ser oriundo de um processo de seleção e propagação de plantas com as características desejadas, também chamadas de plantas "de elite". Segundo Nunes (2007), as características genéticas, procedência das sementes, formação, vigor e sanidade das mudas são fatores primordiais para a obtenção de plantas com uma boa produtividade.

2.2.1. Propagação por semente

A via de propagação por sementes, também chamada sexual ou seminífera, deve ser feita obedecendo a certos critérios. É importante o conhecimento da espécie e do hábito de reprodução da planta fornecedora das sementes. A planta deve ter as melhores características da espécie ou variedade em questão, tais como: alta produção, boas características dos frutos, precocidade, sanidade e vigor (SILVA, 2007).

As sementes de *Jatropha curcas* não apresentam dormência. Estudos realizados por Barros et al. (2007) mostram que sementes deixadas embebidas em água por doze horas antes

de serem semeadas, apresentam parte aérea pelo menos nos primeiros vinte dias após a germinação.

As plantas oriundas de sementes são mais robustas, de maior longevidade, possuindo uma raiz pivotante e de três a quatro raízes típicas. O plantio em sementeiras pode ser feito de três formas: plantio em leito de areia de rio e posteriormente transplantado para o campo; plantio em leito de areia lavada de rio com posterior transplante de mudas para outros recipientes contendo substrato para posterior cultivo no campo e por fim, plantio direto de sementes pré-germinadas em recipientes com substrato (SATURNINO *et al*., 2005).

De acordo com Nunes (2007), a desvantagem da propagação via sementes é o fato de a espécie apresentar grande índice de polinização cruzada. Este fator determina alta variabilidade genética nos cultivos seminais.

2.2.2.Propagação por estaquia

A propagação por estaquia baseia-se na multiplicação assexuada de partes de plantas. É um método para produção de mudas no qual se utilizam segmentos vegetativos como caules, folhas ou raízes, não havendo recombinação gênica (FERRARI, 2004).

Assim, por não incluir meiose, as brotações juvenis originadas são geneticamente idênticas à planta matriz, podendo haver variações fenotípicas entre brotações de um mesmo clone. Tais variações são causadas provavelmente por fatores ambientais ou relacionados ao próprio propágulo, como o tamanho da estaca, período em que as estacas são coletadas e condições em viveiro (HIGASHI et al., 2000).

Devido à facilidade de enraizamento e à abundância de ramos nas plantas, a estaquia tem sido uma das maneiras mais comuns de multiplicação vegetativa do pinhão-manso. Além da precocidade no início da produção, a multiplicação via estaca permite o aumento do número de indivíduos geneticamente iguais (material clonal), o que é vantajoso para o aumento da população de plantas de qualidade superior.

Todavia, em mudas provenientes de estacas a raiz pivotante não se desenvolve adequadamente formando um sistema radicular semelhante ao fasciculado. Consequentemente, essas mudas podem tolerar menos à seca, devido ao sistema radicular mais superficial, apesar de terem um crescimento inicial mais rápido e início de produção um ano após o plantio.

2.3. Relações hídricas em plantas

A água desempenha um papel fundamental na vida da planta. Para cada grama de matéria orgânica produzida pela planta, aproximadamente 500 gramas de água são absorvidos pelas raízes, transportados através do corpo da planta e perdidas para a atmosfera. Mesmo um pequeno desequilíbrio nesse fluxo de água pode causar déficits hídricos e mau funcionamento severo de inúmeros processos celulares (TAIZ e ZEIGER, 2004).

Assim, toda planta deve realizar um balanço delicado de sua absorção e perda de água, o qual se constitui em um sério desafio para as plantas terrestres. Para fotossintetizar, elas precisam retirar dióxido de carbono da atmosfera, mas, ao fazê-lo, expõe-se à perda de água e a ameaça de desidratação (LARCHER, 2000).

O fluxo de água também é um meio importante de obter os minerais existentes no solo através da absorção nas raízes. O movimento de água é conduzido por difusão simples ou fluxo de massa, ou através de uma combinação destes dois mecanismos de transporte, em resposta a uma diferença de potencial hídrico (STEUDLE, 2000). A difusão acontece devido ao constante movimento térmico das moléculas, que ocorre na presença de um gradiente de concentrações. Por outro lado, existe o movimento em fluxo de massa, ao longo do continuo solo-planta-atmosfera (WEI et al., 1999).

A manutenção deste fluxo é explicada por dois modelos complementares, o modelo da pressão radicular, segundo o qual a água ascende na planta devido a uma pressão provocada pela entrada de água nas raízes, e o modelo de tensão-coesão-adesão, segundo o qual a coluna de água ascende devido às propriedades especificas das moléculas de água (KRAMER e BOYER, 1995).

A água e absorvida pelas raízes e o seu movimento pode ocorrer através de duas vias possíveis: apoplástica (ao longo dos espaços intercelulares) e simplástica (atravessando paredes celulares e membranas plasmáticas e depois se difundindo pelos plasmodesmas) (STEUDLE e PETERSON, 1998). No caso das células, designa-se por osmose a difusão de água através de membranas, dependendo de um gradiente da energia livre da água através da membrana, normalmente medido como diferença de potencial hídrico (TAIZ e ZEIGER, 2004).

As células vegetais podem suportar uma elevada pressão intracelular, denominada pressão de turgescência, resultante da presença da parede celular. Esta pressão é necessária para diversos processos fisiológicos, nomeadamente a expansão celular, as trocas gasosas nas folhas, o transporte floêmico e diversos processos de transporte membranar. A pressão de

turgescência também contribui para a manutenção da rigidez e da estabilidade mecânica em tecidos vegetais não lignificados (COSTA, 2001).

2.3.1. Déficit hídrico nas plantas

O déficit hídrico é uma situação comum à produção de muitas culturas, podendo apresentar um impacto negativo substancial no crescimento e desenvolvimento das plantas (LECOEUR e SINCLAIR, 1996). Assim, existe um conflito entre a conservação da água pela planta e a taxa de assimilação de CO_2 para produção de carboidratos (TAIZ e ZEIGER, 2004). A necessidade em se resolver este conflito leva a planta a desenvolver mecanismos morfofisiológicos, que as conduzem a economizar água para uso em períodos posteriores (MCCREE e FERNÁNDEZ, 1989)

A deficiência hídrica provoca alterações no comportamento vegetal cuja irreversibilidade vai depender do genótipo, da duração, da severidade e do estádio de desenvolvimento da planta. As plantas desenvolvem mecanismos de adaptação a falta de água como: fechamento estomático, ajustamento osmótico, ajustamento da parede celular, produção de folhas menores, redução da área foliar e aumento na densidade e profundidade de raízes. No entanto, o fechamento estomático e a redução da área foliar são mecanismos que limitam a produtividade, uma vez que provocam queda na absorção de CO_2 e na intercepção de luz, respectivamente (MATTOS, 2007)

A resposta das plantas ao déficit hídrico, segundo McCree e Fernández (1989) e Taiz & Zeiger (2004), consiste no decréscimo da produção da área foliar, do fechamento dos estômatos, da aceleração da senescência e da abscisão das folhas. Quando as plantas são expostas a situações de déficit hídrico exibem, frequentemente, respostas fisiológicas que resultam de modo indireto, na conservação da água no solo, como se estivessem economizando para períodos posteriores.

2.3.2. Efeitos do déficit hídrico no sistema radicular

O volume de solo explorado e o contato íntimo entre a superfície das raízes e o solo são essenciais para a absorção efetiva da água pelas raízes. O contato é maximizado pela emissão dos pelos radiculares, com consequente aumento na área superficial e na capacidade de absorção de água. Além disso, o déficit hídrico estimula a expansão do sistema radicular para zonas mais profundas e úmidas do perfil do solo. De acordo com Hoogenbomm et al.

(1987), em condições de déficit hídrico há maior expansão das raízes, devido ao secamento da superfície do solo. Durante o desenvolvimento das plantas, a densidade e o comprimento de raízes aumentam até o início da floração das plantas, decrescendo posteriormente, com diminuição na eficiência de absorção de água (PIMENTEL e ROSSIELO, 1986).

O estudo de Ball et al. (1994) demonstra que o maior desenvolvimento das raízes ocorre nas camadas de solo, cuja disponibilidade de água é maior. A expansão das raízes no campo foi mais afetada pelo déficit hídrico que a expansão das folhas e as raízes pequenas foram mais sensíveis ao déficit hídrico que as raízes médias e grandes. O desenvolvimento do sistema radicular nas camadas mais profundas do perfil possibilita, às plantas, explorar melhor a umidade e a fertilidade do solo, dependendo das características morfológicas e genotípicas da planta (GOLDMANN et al., 1989).

Davies e Zhang (1991) sugerem que há evidências de sinais químicos das raízes que agem diretamente no comportamento dinâmico dos estômatos em condições de déficit hídrico no solo. Pimentel e Rossielo (1995) afirmaram que um ligeiro ressecamento do solo, mesmo que não afete as relações hídricas da parte aérea, causa um aumento na concentração de ácido abscísico (ABA) no xilema, provavelmente produzido na coifa das raízes, levando ao fechamento estomático e à diminuição da expansão celular. Segundo Zeevaart e Creelman (1988) o déficit hídrico promove uma rápida redistribuição e acumulação do ABA nos tecidos da planta. De acordo com Tuberosa et al. (1994), ocorre um aumento na concentração do ABA no apoplasto das células-guarda, reduzindo a condutância estomática. Assim, o ABA pode influenciar as respostas da planta ao déficit hídrico por regular as características morfofisiológicas das plantas.

2.3.3. Efeitos do déficit hídrico na fotossíntese

A fotossíntese desempenha importante papel na produção de uma cultura (WULLSCHLEGER e OOSTERHUIS, 1990), pois o rendimento de grãos é potencialmente influenciado pela duração da taxa de acumulação de carboidratos (CRAFTS-BRANDNER e PONELEIT, 1992). Esse processo caracteriza-se pela transformação de energia luminosa em energia orgânico-metabólica, ou seja, os seres fotossintetizantes utilizam-se de gás carbônico para promoverem a produção de carboidratos, sendo o mais comum a glicose.

Entretanto, para a realização desse mecanismo de transformação, há necessidade de inserção do hidrogênio, que é obtido através da quebra das moléculas de água. Desta forma, a

energia luminosa é utilizada para promover a quebra da água (reação denominada fotólise da água), disponibilizando hidrogênios para a síntese de carboidratos a partir de gás carbônico.

Entender os fatores que afetam a fotossíntese durante o déficit hídrico pode ajudar no entendimento dos mecanismos de resistência utilizados pela planta em situações de déficit hídrico (LOPES et al. 1988).

De acordo com Jordan (1983,) o déficit hídrico pode afetar a utilização de carboidratos, por alterar, basicamente, a eficiência com que os fotossimilados são convertidos para o desenvolvimento de partes novas na planta. O déficit hídrico ocasiona mudanças na partição dos carboidratos no interior da planta, condicionando as mesmas desenvolver mecanismos de adaptação e resistência.

Segundo Lopes et al. (1988), a falta de água reduz o índice de troca de CO_2 e a sua condução para a folha, além de reduzir a concentração desse elemento nos espaços intercelulares. Após a interrupção do déficit hídrico, esses parâmetros tendem a voltar ao normal, porém não em sua plenitude, pois a velocidade de recuperação é reduzida. Segundo Mota (1983) a recuperação completa da fotossíntese é lenta quando a planta chega próximo ao ponto de murcha permanente, variando com a espécie vegetal, com o tipo de solo e com o método de aplicação da água de irrigação.

A redução na atividade fotossintética pela redução na assimilação do CO_2 e a senescência das folhas são também indicadores do efeito do déficit hídrico de uma cultura (FAVER et al., 1996). Begg e Turner (1976) demonstraram que os efeitos causados pelo déficit hídrico nos tecidos mais jovens da planta são maiores que nos tecidos adultos, entretanto, quando se interrompe o déficit, o desenvolvimento é recuperado somente nas folhas mais jovens.

Quando a ocorrência do déficit hídrico é rápida, os mecanismos morfofisiológicos são severamente afetados e a planta necessita adaptar-se à nova situação, de forma rápida. Assim, plantas conduzidas em condições de irrigação normalmente apresentam menos resistência a situações de déficit hídrico no solo, já em plantas submetidas ao déficit hídrico gradual ou a deficiência de água no solo no início do seu ciclo, mais facilmente ocorre à adaptação das plantas. A tolerância da planta ao déficit hídrico parece ser um importante mecanismo de resistência, para a manutenção do processo produtivo em condições de baixa disponibilidade de água às plantas.

O estudo de Levitt (1980) demonstrou que, durante o déficit hídrico, os diversos ajustamentos fisiológicos da planta determinam as respostas adaptativas de ordem anatômica

e morfológica, entretanto essas respostas sofrem variações de acordo com a espécie, a cultivar, o estado de desenvolvimento das plantas e duração com a intensidade do déficit hídrico. Segundo o mesmo autor, as plantas têm capacidade de resistir a períodos de déficit hídrico, procurando utilizar mecanismos que reduzam a perda de água.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local do experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Centro de Ciências Agrárias (CECA), da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), localizado no município de Rio Largo (09°28’ S, 35°49’ W e 127 m de altitude), no período de julho a outubro de 2011.

3.2. Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x3, (propagação e condições hídricas respectivamente), com cinco repetições, totalizando 24 parcelas. O primeiro fator foi composto por: plantas propagadas por sementes e plantas propagadas por estacas. O segundo fator foi composto por: plantas irrigadas permanentemente, plantas submetidas à suspensão completa da irrigação durante vinte dias e plantas reidratadas após vinte dias de seca em condições de rizotrons.

3.3. Material propagativo

Foram utilizadas estacas e sementes colhidas de plantas de pinhão-manso com três anos de idade, provenientes do campo experimental, do Centro de Ciências Agrárias / UFAL (Figura 1).

Figura 1 Plantas de pinhão-manso do campo experimental que forneceram as estacas.

Fonte: BATISTA, 2010

A) Propagação por estacas

Ramos jovens, sadios e vigorosos de plantas de pinhão-manso, com diâmetro de aproximadamente 2 cm foram cortados com medida de 30 cm de comprimento. Em seguida, foram tratadas com fungicida 4g/L de Cercobim 700 PM (Tiofanato-Metílico) por cinco minutos e plantadas diretamente em tubetes de 350 cm³ contendo substrato Bioplant®, no viveiro telado (50% sombra) do Laboratório de Biotecnologia Vegetal (Figura 2). Não foi utilizada qualquer substância indutora de raízes. Após trinta dias, tempo necessário para enraizamento, às mudas foram transplantadas para rizotrons.

Figura 2 Estacas de pinhão-manso postas para enraizar em tubetes sob telado 50%.

Fonte: BATISTA, 2010

B) Propagação por semente

As sementes foram colhidas de frutos maduros, com coloração amarelada (Figura 3), e embebidas em água por 24h, para promover rapidez e uniformidade na emergência das plântulas.

Figura 3 Frutos de pinhão-manso colhidos maduros para a retirada de sementes.

Fonte: BATISTA, 2010

Após esse processo foram colocadas três sementes por rizotron, e sete dias após a germinação efetuou-se o desbaste, onde foram arrancadas as plântulas menos desenvolvidas, deixando-se apenas uma plântula em cada recipiente.

3.4. Rizotrons

Os rizotrons são estruturas que possuem um plano de visão transparente para o monitoramento e a quantificação do sistema radicular das plantas.

Foram construídos a partir de tubos de PVC, com comprimento de 1 m e diâmetro de 0,25 m, cortados longitudinalmente ao meio para posicionar uma placa de vidro temperado com espessura de 10 mm na face plana frontal para permitir a visualização do sistema radicular (Figura 4). No fundo do tubo foi posto cabeceira de calha, sendo feito um orifício ao centro para escoamento da água .

Figura 4 Construção dos rizotrons com tubos de PVC e vidro transparente

Fonte: BATISTA, 2010

Os rizotrons foram preenchidos com Latossolo Amarelo Coeso Argissólico, com textura média argilosa previamente passado em peneira de 7,93 mm de malha. A face externa dos tubos foi pintada com tinta preta para impedir a passagem de luz. Além de pintados, os rizotrons foram cobertos com capas protetoras feitas de napa escura, presas com velcro nas extremidades ao longo do comprimento, para facilitar a abertura das cobertas e o manuseio durante as leituras que ocorriam a cada dois dias.

Os rizotrons foram posicionados com 85 graus de inclinação em relação ao piso, para possibilitar o crescimento das raízes rente à face transparente e facilitar a sua visualização e a obtenção das medidas (VIEIRA, 2001).

3.5. Transplante das estacas para os rizotrons

Aos trinta dias após o plantio das estacas nos tubetes, foi realizado o transplante para os rizotrons. Cuidadosamente foram retiradas as estacas dos tubetes e logo em seguida, houve imersão das raízes em um recipiente com água destilada, para remover o substrato e com isso realizar a poda, a fim de uniformizar o tamanho das raízes de todas as estacas em 10 cm. Após

esse procedimento, removeu-se parte do substrato dos rizotrons, posicionou-se as estacas e devolveu-se o substrato aos rizotrons cobrindo-se cuidadosamente as raízes.

3.6. Irrigação nos rizotrons

Antes do início do ensaio foram aplicadas lâminas de água em dias alternados, para poder determinar o turno de rega a ser utilizado no experimento. Esse procedimento consistiu em aplicar água até que ocorresse drenagem do liquido pela parte inferior do rizotron. Dessa forma, ficou estabelecido que a água seria reposta a cada dois dias.

Trinta e quatro dias após o plantio interrompeu-se a irrigação em 20 rizotrons, sendo dez para cada tipo de propagação. Vinte dias após a suspensão da rega, ocorreu a reidratação das plantas em apenas dez rizotrons, cujos tratamentos correspondem a: cinco plantas propagadas por sementes reidratadas e cinco plantas oriundas de estacas reidratadas. As plantas dos dez rizotrons do tratamento seco foram coletadas para realização das analises.

3.7. Análises morfológicas

3.7.1. Crescimento radicular

Para as medições do comprimento da raiz (cm) foram utilizadas folhas de transparências, identificadas e afixadas na face externa do vidro. A cada dois dias, o sistema radicular exposto no vidro foi cuidadosamente desenhado sobre as folhas de transparências com canetas de tinta permanente de várias cores. A partir desses desenhos foi possível determinar o crescimento radicular vertical (CRV) em cm, e a velocidade de crescimento radicular vertical (VCRV) em $cm.dia^{-1}$.

Para o cálculo da VCRV utilizou-se a expressão matemática (VIEIRA,2001):

$$VCRV = CRV_f - CRV_i / \Delta T, \text{ em que:}$$

CRV_f = crescimento radicular vertical final (cm)

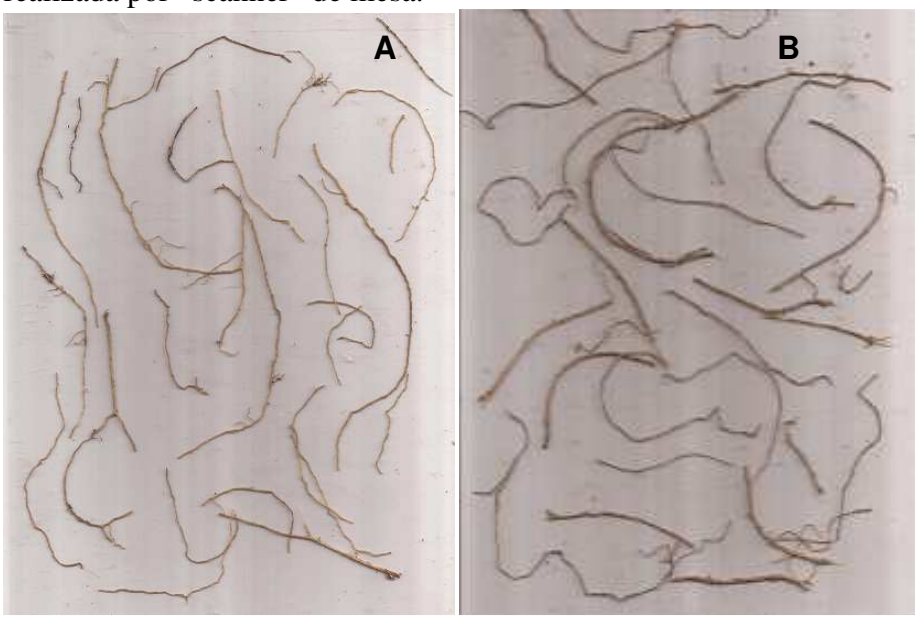
CRV_i = crescimento radicular vertical inicial (cm)

ΔT = intervalo de tempo entre os registros do CRV (dia)

Para obtenção do comprimento radicular total (CRT) as raízes foram coletadas, separadas da parte aérea, lavadas e digitalizadas através do processo de varredura realizada por “scanner” de mesa (Figura 5).

A coleta foi realizada em dois momentos: após vinte dias de suspensão de água, foram coletadas para avaliação, cinco plantas sob estresse hídrico correspondente ao tratamento seco e após período de reidratação dos tratamentos com déficit hídrico, foram coletadas as cinco repetições restantes.

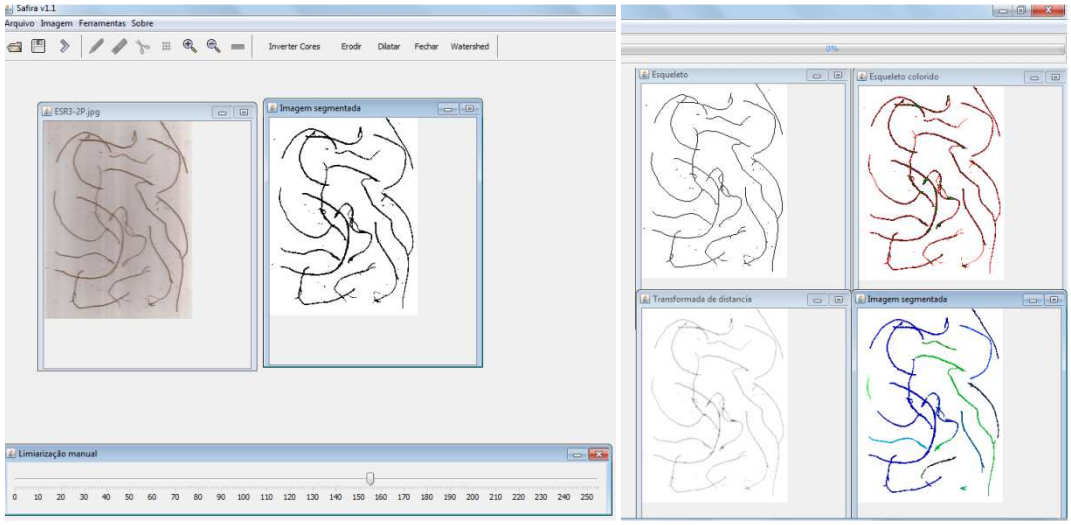
Figura 5 Raízes de plantas propagadas via estacas (A) e via sementes (B) de pinhão-manso, digitalizadas através do processo de varredura realizada por “scanner” de mesa.



Fonte: BATISTA, 2010

Por meio do software SAFIRA - Sistema de Análise de Fibras e Raízes, desenvolvido pela EMBRAPA/CNPDIA – São Carlos, SP. (CRESTANA et al., 1994), foi realizado o processamento das imagens para obtenção do comprimento radicular total (CRT). Cada imagem foi “binarizada”, caracterizando a imagem pelo binário branco-preto, permitindo a identificação dos “pixels” que representaram as raízes em preto e o restante em branco. Em seguida, sofreram o processo de “esqueletonização”, que consiste em promover o afinamento das raízes, correspondentes aos “pixels” pretos, obtendo-se assim o comprimento radicular total em “pixels”, que posteriormente foi convertido em centímetros (Figura 6).

Figura 6 Processo de digitalização, binarização e esqueletonização de raízes através do software SAFIRA



Fonte: BATISTA, 2010

3.8. Análises fisiológicas

As coletas para a determinação do teor relativo de água e extravasamento de eletrólitos foram realizadas às 4h da manhã. A eficiência quântica máxima, foi medida em dois horários: na antemanhã (4h) e ao meio-dia (12h) e o índice SPAD foi realizado ao meio dia. Todos os procedimentos foram baseados na metodologia de WEATHERLEY (1950).

3.8.1. Teor relativo de água (TRA)

Foram retirados seis discos foliares com aproximadamente 0,5 cm das folhas completamente expandidas da planta de cada parcela.

Os discos foram pesados para a determinação do peso da massa fresca e em seguida colocados em placas de Petri, imersos em água deionizada. Após 12h (na geladeira), foram novamente pesados para a obtenção do peso da massa túrgida e, logo depois acondicionados em sacos de papel e levados à estufa de circulação forçada de ar a 65°C para determinação do peso da massa seca.

De posse dos dados de peso da massa fresca (PF), massa túrgida (PT) e massa seca (PS), foi calculado o teor relativo de água de acordo com a fórmula:

$$TRA = [(PF- PS/ PT-PS)] \; x \; 100.$$

3.8.2. Extravasamento de Eletrólitos

Seis discos foliares de cada tratamento foram lavados em água destilada para a retirada do conteúdo das células rompidas durante a remoção e de outros eletrólitos aderidos aos folíolos. Após a lavagem, os discos foram secos em papel absorvente e colocados em frascos contendo 10 mL de água destilada a 25°C por 6h sob agitação constante. Após esse período, a condutividade elétrica foi medida com um condutivímetro portátil (C1) e os frascos com os discos colocados a 90°C por 2 h. Após o equilíbrio da temperatura, a condutividade elétrica máxima foi medida (C2) e o extravasamento de eletrólitos calculado através da formula (ROZA, 2010):

$$(C1/C2)x100.$$

3.8.3. Eficiência quântica máxima

Para medidas da eficiência quântica máxima do FSII (Fv/Fm), utilizou-se um fluorômetro portátil de luz de frequência modulada (Opti-Sciences, modelo OS1-FL, Hudson, USA).

As leituras foram realizadas em dois momentos: após vinte dias de suspensão da água (estresse hídrico) e após dez dias reidratados, nos horários entre 4 horas (ante-manhã) e 12 horas (meio-dia), em folhas totalmente expandidas.

Antes do início das leituras de fluorescência no horário do meio-dia, um clipe foliar foi colocado na folha de cada tratamento por 30 minutos, para que a área de medição permanecesse no escuro e ocorresse a oxidação de todo o sistema de transporte fotossintético de elétrons.

3.8.4. Índice SPAD

O teor de clorofila foi determinado indiretamente por meio do SPAD-502 (Minolta Corporation, Ramsey, USA), em folhas maduras completamente expandidas, sendo as médias obtidas a partir de cinco leituras em cada planta.

4.RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1.Crescimento Radicular Vertical

Neste estudo, o sistema radicular da *J.curcas* apresentou três raízes a partir da semente: uma central vertical e duas laterais horizontais que durante o período de suspensão de água cresceram verticalmente em direção ao fundo do rizotron. Por outro lado, as plantas multiplicadas por estacas desenvolveram um sistema radicular fasciculado, espalhando muitas raízes lateralmente, mas também se aprofundando no rizotron (Figura 7).

Figura 7. Sistema radicular de *J.curcas* propagada via estaca (A) e via semente (B) submetido a estresse hídrico.

Fonte: BATISTA, 2010

De uma maneira geral, as raízes de pinhão-manso apresentam arquitetura diferenciada entre plantas oriundas de diferentes propagações. Helal (2011), avaliando a arquitetura radicular de *Jatropha* nos campos de Cutchi – Moçambique, observou que plantas propagadas

por sementes apresentaram mais do que duas raízes laterais, e que em alguns casos a raiz central bifurcou ou multiplicou - se.

De acordo com o mesmo autor, a maioria das plantas observadas apresentou anormalidades dos sistemas radiculares. Tais raízes se desenvolveram de maneira atípica. As raízes laterais adotaram desde o início direções verticais ou viravam verticais abruptamente crescendo em direção à superfície do solo, chegando a contornar a base do caule. A aparição de raízes laterais que penetraram verticalmente tomando o lugar da raiz central pode ser uma forma de compensação para a planta assegurar as suas necessidades hídricas.

Neste trabalho, as plantas propagadas por estacas desenvolveram-se mais rapidamente do que as propagadas por sementes. Enquanto a primeira alcançou a base do rizotron (aproximadamente 90cm) em 55 dias, a outra alcançou a mesma profundidade em 82 dias, o que representa uma diferença de quase 30 dias (Figura 8). Esses resultados são ressaltados pela Velocidade de Crescimento Radicular, em que, apesar de não haver uniformidade de valores, as plantas propagadas via estacas alcançaram picos de até 6 cm diários enquanto que os de sementes alcançaram picos em torno de 4 cm diários (Figura 9).

Outra diferença observada entre os métodos propagativos foi em relação ao crescimento radicular sob estresse hídrico. As plantas propagadas por sementes após 12 dias de suspensão hídrica apresentaram redução no crescimento das raízes de 263% em relação às plantas que permaneceram irrigadas, enquanto que as plantas propagadas assexuadamente não apresentaram variações no crescimento das raízes entre os tratamentos irrigados e sob estresse (Figura 8).

Figura 8.Crescimento Radicular Vertical Total dias após plantio (DAP) das duas formas de propagação do Pinhão-manso, sob diferentes condições hídricas.

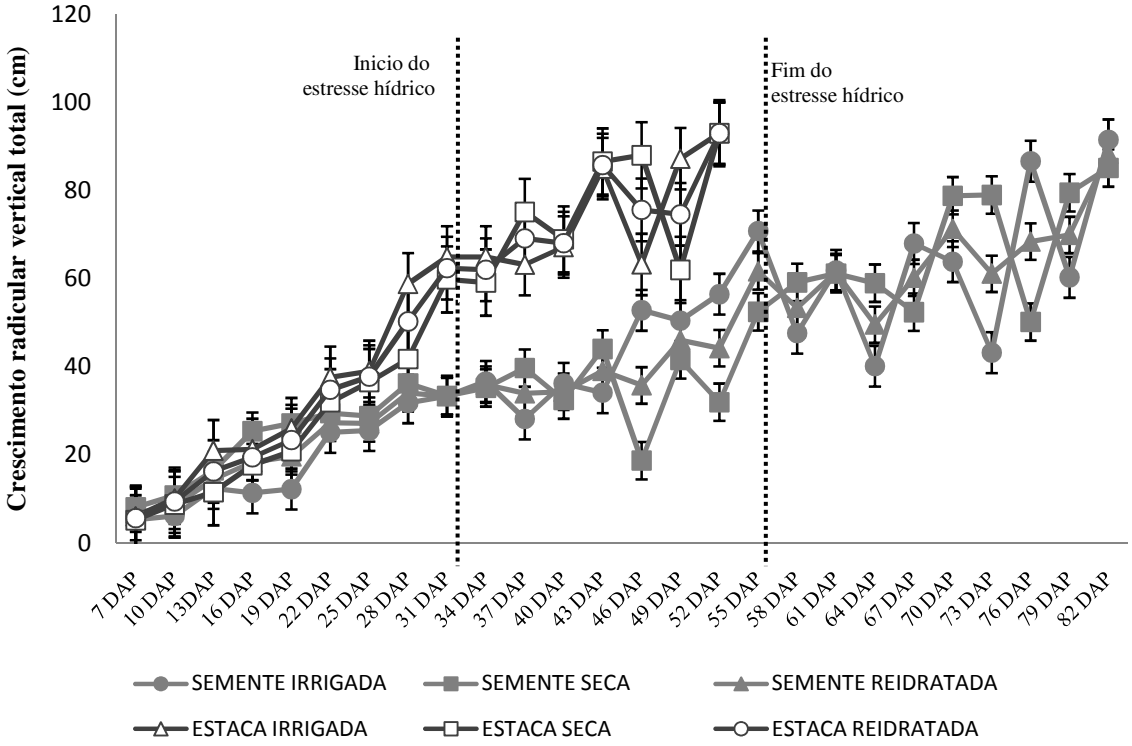
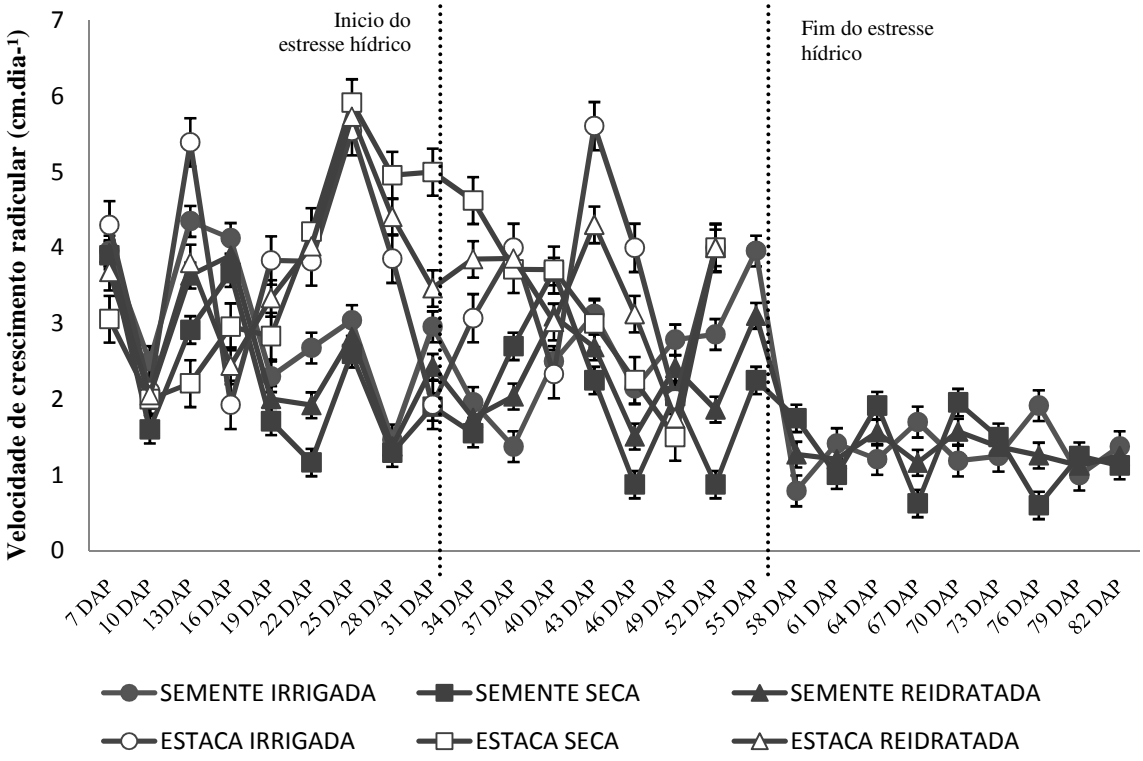


Figura 9. Velocidade de Crescimento Radicular dias após plantio(DAP) das duas formas de propagação do Pinhão-manso, sob diferentes condições hídricas.



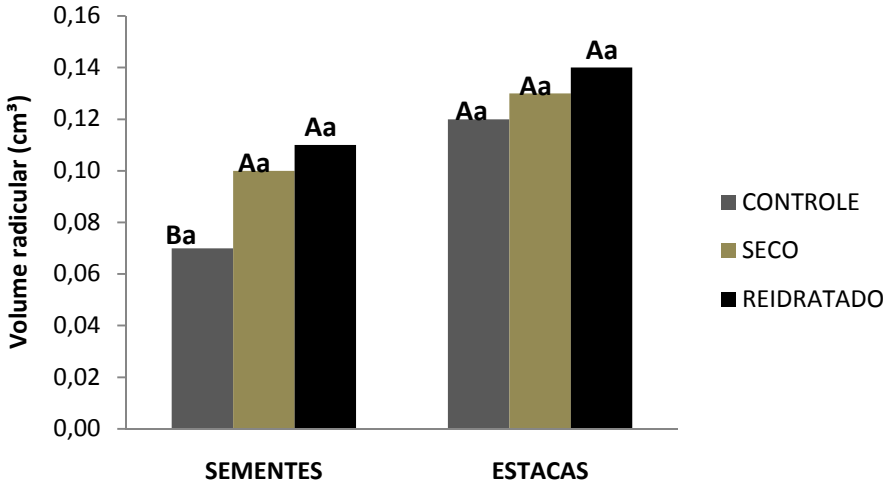
Kondörfer et al. (1989), comenta que o sistema radicular é parte fundamental no desenvolvimento das culturas, pois é através dele que as plantas conseguem suprir-se de água e nutrientes em sua quase totalidade. De modo geral, quanto maior o sistema radicular da planta, maior sua capacidade de explorar o solo e consequentemente aproveitar os nutrientes e a água disponível. O volume e a distribuição do sistema radicular são tanto mais importante quanto menor a fertilidade do solo e maior a deficiência hídrica. O sistema radicular mais abundante também determina maior atividade microbiana, que tem influência sobre o crescimento das plantas.

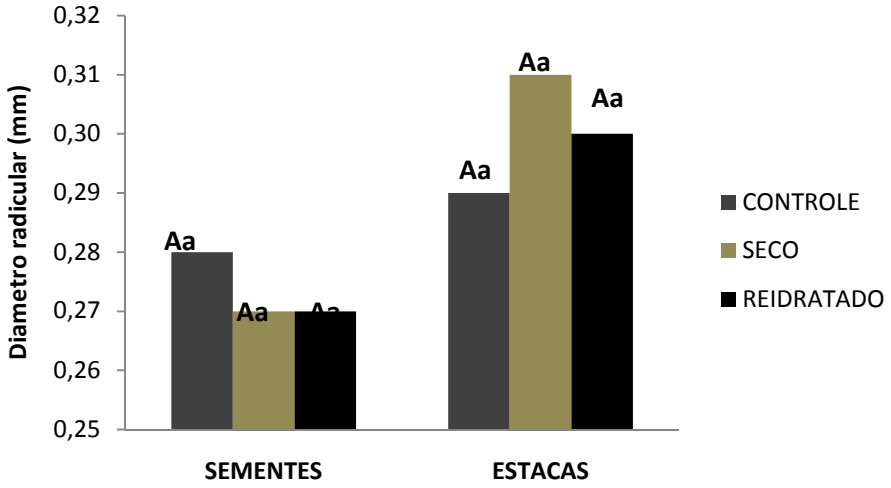
4.2.Volume, diâmetro e comprimento total radicular

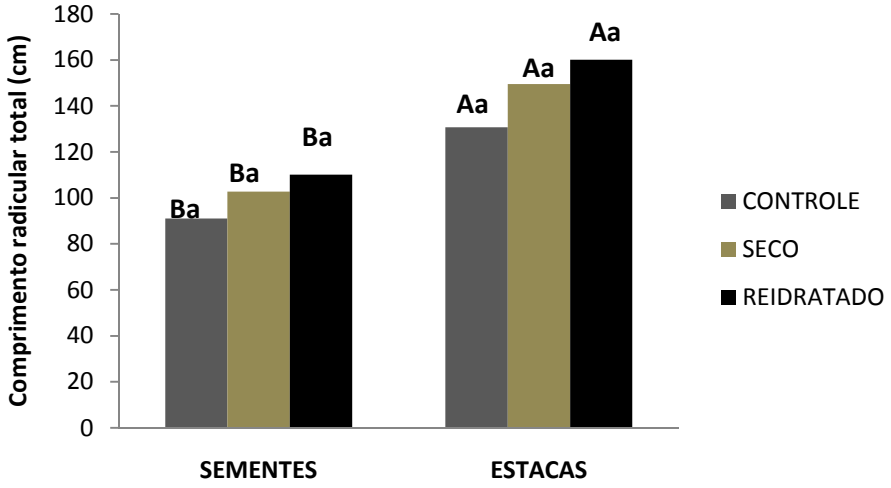
O estresse hídrico não afetou o volume, diâmetro e comprimento total radicular das plantas de pinhão-manso (Figura 10). Porém os resultados indicaram que estatisticamente houve diferença significativa entre as formas de propagação, onde mudas provenientes de estacas tiveram maior desenvolvimento radicular, comparadas com as obtidas por sementes, demonstrando alta capacidade de produção de raízes.

As raízes obtidas de mudas propagadas vegetativamente apresentaram volumes de 0,11 cm^3 (controle); 0,13 cm^3 (seco); 0,14 cm^3 (reidratado), diâmetro médio de 0,29 mm (controle); 0,31 mm (seco); 0,30 mm (reidratado) e comprimento radicular total de 130 cm (controle) ; 150 cm (seco); 160 cm (reidratado), enquanto que as propagadas por sementes apresentaram volumes de 0,07 cm^3 (controle); 0,09 cm^3 (seco); 0,11 cm^3 (reidratado), diâmetro médio de 0,28 mm (controle); 0,27 mm (seco); 0,27 mm (reidratado), e comprimento total de 90 cm (controle); 100 cm (seco); 110 cm (reidratado) (Figura 10). Os tratamentos com estacas apresentaram aumento em relação aos tratamentos com sementes de 64% (controle); 69% (seco) e 78% (reidratado), referente ao volume radicular e 31% (controle e reidratado) e 33% (seco) para o comprimento total radicular. O diâmetro radicular não apresentou diferença significativa entre os tratamentos utilizados.

Figura 10.Análises morfológicas do sistema radicular do *J.curcas* cultivado sob estresse hídrico. Letras maiúsculas indicam comparação entre as formas de propagação e as minúsculas entre os fatores de umidade (Controle, Seco e Reidratado) em cada via propagada







Resultados semelhantes foram observados por Bordin et al. (2005), ao avaliar o desenvolvimento de mudas de acerola propagadas por estacas e sementes. O experimento constatou que a propagação por estaquia foi superior à realizada com sementes em relação ao diâmetro e comprimento radicular.

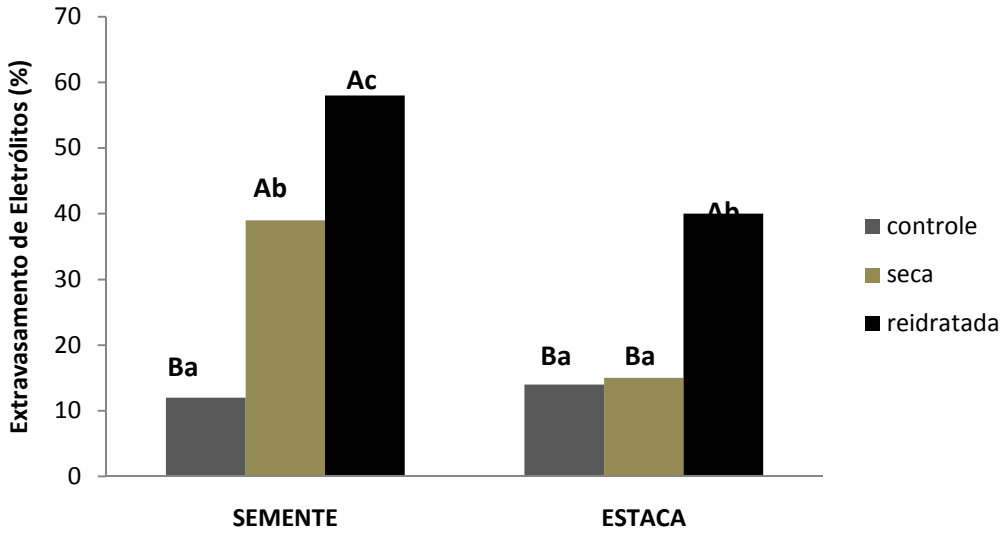
Segundo GREGORY (1994), o sistema radicular de plantas terrestres tem como principais funções a aquisição de nutrientes e água do solo. O maior desenvolvimento de raízes permite maior exploração do solo, sendo de suma importância, para captação de nutriente, principalmente de fósforo, que é um nutriente de baixa mobilidade no solo (AMARAL et al. 2003).

4.3.Extravasamento de eletrólitos

Houve aumento de extravasamento de eletrólitos após a re-irrigação dos tratamentos. Em plantas propagadas por sementes esse efeito foi maior do que nas plantas propagadas por estacas (Figura 11). As plantas provenientes de estacas mantiveram taxas médias de extravasamento de eletrólitos de aproximadamente 25 a 30% menos do que as sementes. O extravasamento de eletrólitos tem sido associado à ocorrência de danos às membranas celulares (BRITO et al. 2009).

A análise de variância ($P < 0,05$) indicou variações significativas no extravasamento de eletrólitos entre os tratamentos. As plantas de sementes utilizadas no tratamento relacionado ao controle (plantas irrigadas permanentemente) diferiram significativamente das plantas submetidas à suspensão completa da irrigação durante vinte dias e posteriormente reidratada, apresentando aumento de 483% de extravasamento de eletrólitos no período de recuperação após estresse hídrico. Por outro lado, as plantas de estacas também apresentaram índices que indicam danos às membranas celulares após a reidratação dos tratamentos, aumento de 286% em relação ao controle, porém tais prejuízos causados as células das plantas propagadas vegetativamente são inferiores aos causados a plantas oriundas de sementes (Figura 11).

Figura 11 Extravasamento de eletrólitos em plantas de pinhão-manso sob estresse hídrico propagado por sementes e por estacas. Letras maiúsculas indicam comparação entre as formas de propagação e as minúsculas entre o fator de umidade (Controle, Seco e Reidratado) em cada via propagada pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).



O extravasamento de eletrólitos também foi objeto de estudos de restrição hídrica em pinhão-manso por Oro et al. (2011). Eles observaram que mudas submetidas a regas diárias apresentaram menor extravasamento de eletrólitos do que mudas irrigadas diariamente, indicando maior integridade celular dos tecidos nestas do que naquelas que expressaram aumento de 80% no extravasamento de íons.

Todavia, essa relação positiva entre estresse hídrico e extravasamento de íons nem sempre existe. Autores como Roza (2010) em seus estudos sobre o efeito do déficit hídrico no desenvolvimento inicial do pinhão-manso, mostrou que não houve danos significativos às membranas celulares, e os dados de extravasamento permaneceram constantes (em media de 10 a 12%) entre os tratamentos.

Um dos danos provocado pelo déficit hídrico refere-se às injúrias em membranas celulares e a liberação de íons para os espaços intercelulares (HALLIWEL e GUTTERIDGE, 1984). De acordo com estes autores, o extravasamento de eletrólitos, decorrente da ruptura de membranas celulares, tem sido considerado como uma das consequências do estresse oxidativo que conduz à peroxidação de lipídios, permeabilização de membranas e morte celular (SCANDALIOS, 1993).

O estresse hídrico leva à perda da capacidade da permeabilidade seletiva da membrana e consequentemente a capacidade de reter íons. Assim, a quantificação dos íons que extravasam

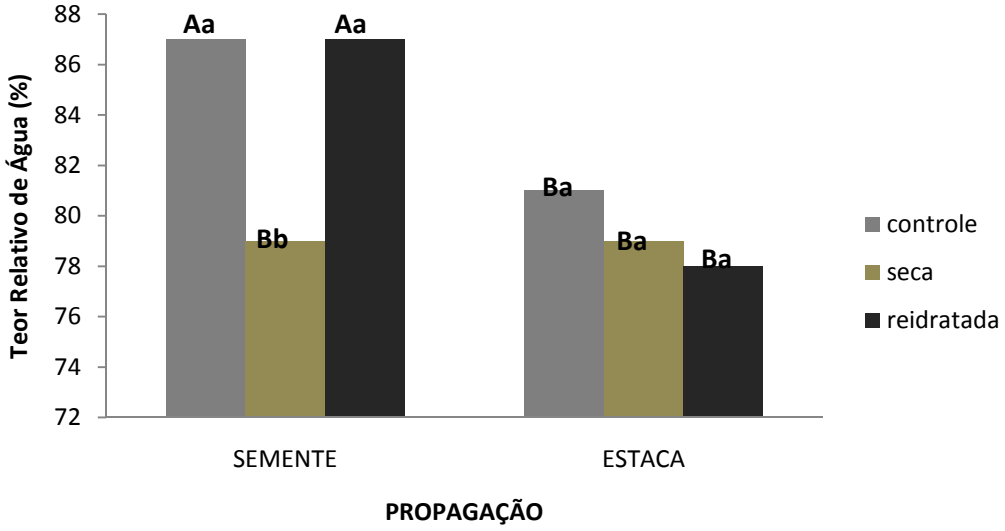
através das membranas celulares dos tecidos estima as condições de integridade celular dos mesmos, sendo que quanto menor o extravasamento de íons, melhor a integridade celular do tecido (FERNADES e SOUZA, 2006).

4.4.Teor Relativo de Água

O Teor Relativo de Água (TRA) em folhas de Pinhão-manso foi variável entre as formas de propagação avaliadas (Figura 12). Enquanto as plantas oriundas de sementes os tratamentos controle e reidratado permaneceram com TRA na folha em media a 87% durante o período experimental, as plantas que foram propagadas por estacas permaneceram com TRA nas folhas em media a 80% pelo mesmo período.

Nos tratamentos com sementes, quando submetidos ao déficit hídrico, o TRA foi reduzido a 77% e após a re-irrigação apresentaram TRA médio de 87%, cerca de 10% superior ao período de seca. Entretanto, os tratamentos com estacas irrigadas, sob suspensão de água ou reidratadas mantiveram o TRA constante (Figura 12).

Figura 12 Teor relativo de água em plantas de *J. curcas* cultivadas em casa de vegetação e submetidas ao déficit hídrico durante 20 dias. As letras maiúsculas indicam comparação entre as formas de propagação e as minúsculas entre os tratamentos (Controle, Seco e Reidratado) em cada via propagada pelo teste de Tukey (P < 0,05).



Moura (2010), analisando os aspectos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos do pinhão-manso submetido ao déficit hídrico, observou que o teor relativo de água em *J. curcas* cultivadas em casa de vegetação variou de 76,2% a 98,8% mantendo boa hidratação do tecido durante o período experimental. Pinto (2006), trabalhando com respostas morfológicas e

fisiológicas do amendoim, gergelim e mamona a ciclos de deficiência hídrica observou que a deficiência hídrica no TRA de duas espécies, gergelim e mamona, apresentou diferença significativa entre as espécies estudadas. O gergelim apresentou valores de 81,61% no Teor relativo de água no tratamento controle e 59,64% para o tratamento sob estresse hídrico. Para a mamona esses valores foram de 86,79% nas plantas controle e 68,97% nas plantas estressadas.

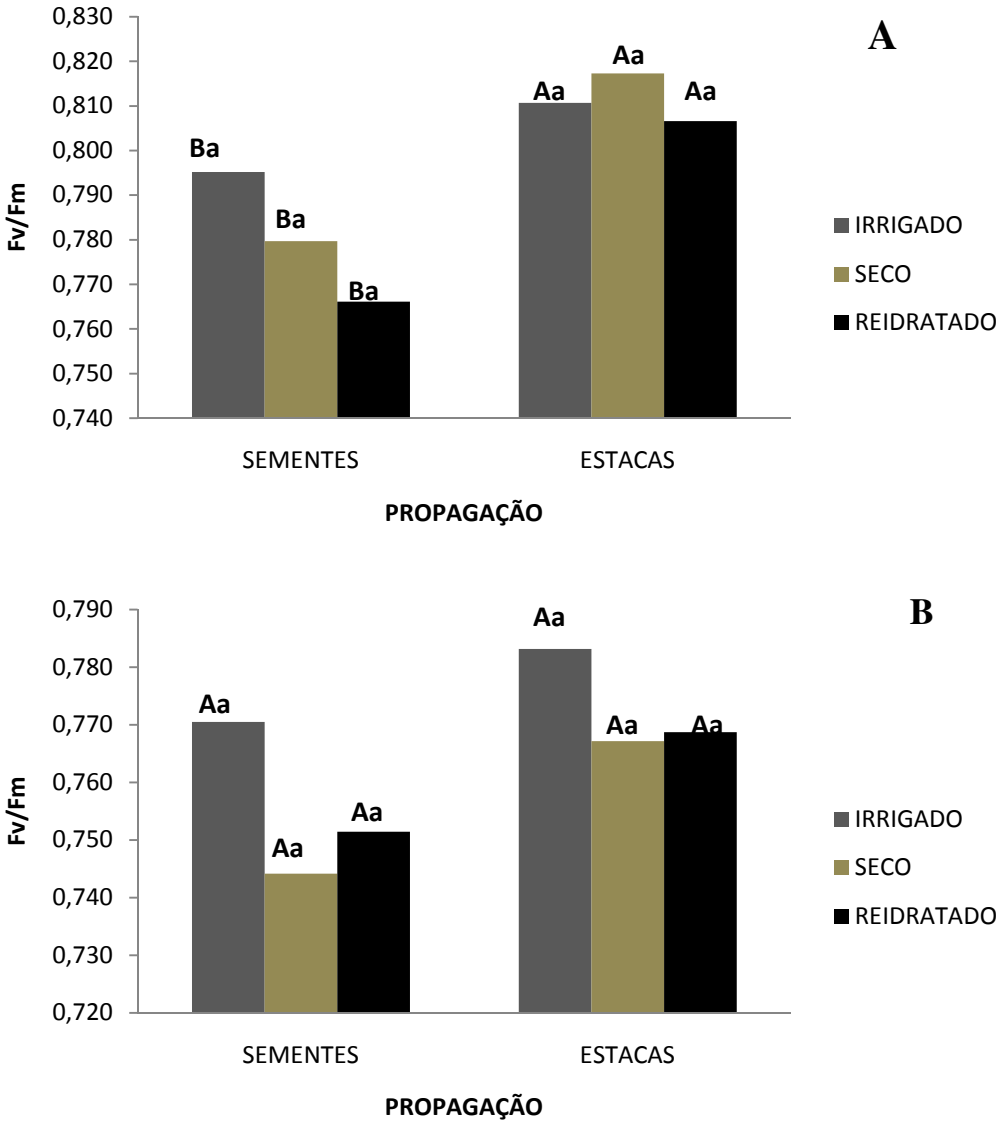
A tolerância ao déficit hídrico ocorre quando uma planta reconhece o estresse imposto e ativa uma série de respostas que lhe permite evitar tal condição (BRAY, 1997). Embora o presente estudo tenha apresentado reduções significativas nas plantas oriundas de sementes, todos os tratamentos mantiveram um bom 'status' hídrico do tecido (acima de 75%).

4.5.Eficiência quântica máxima (Fv/Fm)

A eficiência fotoquímica (Fv/Fm) dos tratamentos, apresentaram reduções, no início da manhã e ao meio-dia. Nos tratamentos com sementes, os valores de Fv/Fm reduziram de 0,79 para 0,77 (controle), 0,78 para 0,74 (seco) e 0,76 para 0,75 (reidratado). Nos tratamentos com estacas a redução foi de 0,81 para 0,78 (controle), 0,81 para 0,76 (seco) e 0,80 para 0,79 (reidratado) (Figura 13). Na antemanhã, diferenças significativas foram observadas entre as formas de propagação, todavia as condições hídricas testadas dentro de cada forma de propagação não diferiam significativamente entre si.

De um modo geral, os danos apresentados ao meio-dia foram recuperados durante o período noturno, mostrando valores de Fv/Fm mais elevados na antemanhã. Nestas condições, não se observa inibição da atividade fotoquímica nos centros de reação do FSII das plantas.

Figura 13 Eficiência quântica máximo de FS II (Fv/Fm) mensurada na ante manhã (A) e ao meio dia(B) em diferentes formas de propagação de plantas de *J. curcas* sob estresse hídrico. As letras maiúsculas indicam comparação entre as formas de propagação e as minúsculas entre os fatores de umidade (Controle, Seco e Reidratado) em cada via propagada pelo teste de Tukey (P < 0,05).



Segundo Silva et al. (2007b), plantas que estão com aparelho fotossintético intacto, apresentam valores médios da relação Fv/Fm variando de 0,75 a 0,85, enquanto que, reduções desses valores refletem danos fotoxidativos causados por fotoinibição no centro de reação do FSII. As medições da eficiência fotoquímica do fotossistema II, estimadas através da relação entre a fluorescência variável e a fluorescência máxima da clorofila a (Fv/Fm), relacionam-se com a eficiência quântica da atividade fotoquímica do FSII quando todos os centros de reação estão abertos (CORREIA et al., 2009).

Neste trabalho, todos os valores de rendimento quântico potencial obtidos apresentaram-se dentro dessa faixa de integralidade do aparelho fotossintético, quer seja no início da manhã, quer seja ao meio dia, mostrando que essa variável não foi comprometida com os tratamentos.

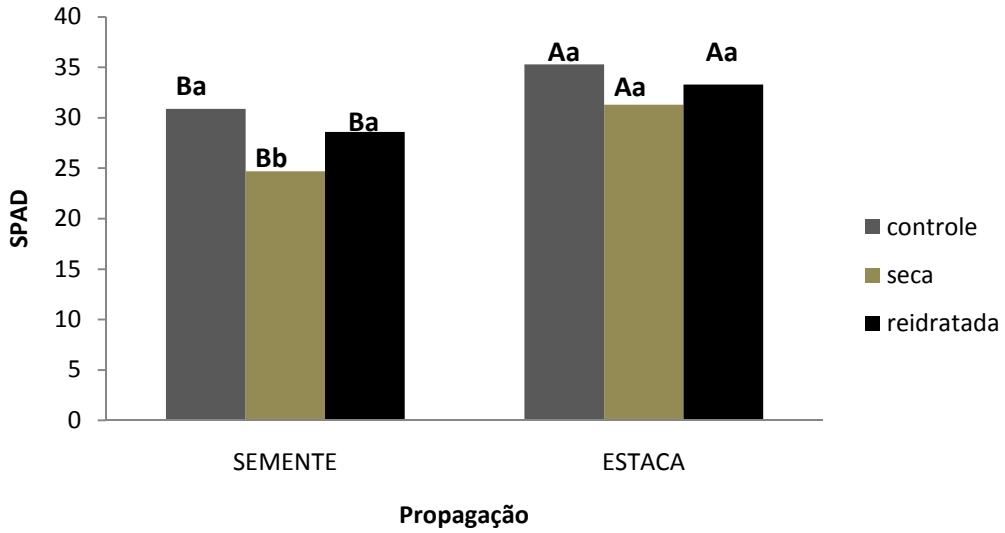
Tezara et al.(2005), ao analisar a fotossíntese e fotoinibição em dois arbustos xerófitas durante a seca, verificou que normalmente em condições de casa de vegetação a eficiência de FS II, expressa pela razão Fv/Fm, não é afetada, sendo consideradas resistentes às condições de estresse hídrico. Já em plantas submetidas às condições naturais de campo, os valores de Fv/Fm são, geralmente bastante reduzidos pelo déficit hídrico.

Resultado semelhante a este estudo também foi relatado por Roza (2010), que ao avaliar as alterações morfofisiológicas e eficiência de uso da água em plantas de *J. curcas* submetidas à deficiência hídrica, verificou que (Fv/Fm) permaneceu constante ao longo do período experimental, não apresentando diferenças entre os tratamentos.

4.6.Pigmentos cloroplastídicos

Neste trabalho, a estimativa do teor de clorofila de folhas de pinhão-manso propagadas por sementes apresentou valores médios de 30,9 de leituras SPAD no tratamento controle; 24,7 de leituras SPAD no tratamento seco; e 28,6 de leituras SPAD no tratamento reidratado, significativamente inferiores aos valores estimados para plantas oriundas de estacas, que apresentaram índices de 35,3 de leituras SPAD no tratamento controle; 31,3 de leituras SPAD no tratamento seco; e 33,3 de leituras SPAD no tratamento reidratado (Figura 14).

Figura 14 Índices SPAD de folhas de *J. curcas* cultivadas com diferentes formas de propagação sob estresse hídrico. As letras maiúsculas indicam comparação entre as formas de propagação e as minúsculas entre os fatores de umidade (Controle, Seco e Reidratado) em cada via propagada pelo teste de Tukey (P < 0,05).



Essa redução nas medias de leitura SPAD em plantas propagadas por sementes pode ser explicada pelo Conteúdo Relativo de Água (CRA) apresentado anteriormente. Segundo Moura (2010), a quantidade de clorofila das folhas está relacionada inversamente ao conteúdo de água nas mesmas, ou seja, quanto maior o turgor, menor a quantidade de clorofila presente. Assim, as plantas provenientes de sementes deste trabalho apresentaram maiores índices de teor de água nas folhas em relação às plantas oriundas de estacas, tendo como conseqüência menores índices de pigmentos cloroplastídicos.

5.CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho permitem afirmar que a *J. curcas* apresenta resistência a deficiência hídrica e o meio propagativo recomendável para regiões sujeitas ao estresse hídrico prolongado é através de estacas, pois, além de originar plantas mais resistentes à seca, ainda possui rápida taxa de crescimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J. M. A.; SOUSA, A. de A.; SILVA, S. R. G.; LOPES, G. N. ;SMIDERLE, O. J. ; UCHÔA, S. C. P. Pinhão-Manso: Uma Alternativa para Produção de Biodiesel na Agricultura Familiar da Amazônia Brasileira. **Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v.2, n.1,p.57-68, jun, 2008. Disponível em: < http://ufrr.br/revista/index.php/agroambiente>. Acesso em: 10 dez. 2011.

AMARAL, Luiz A. do; FILHO, Antonio N.; JUNIOR, Oswaldo D. R.; FERREIRA, Fernanda L. A. BARROS, Ludmilla S. S. Água de consumo humano como fatos de risco à saúde em propriedades rurais. **Revista Saúde Pública,** São Paulo**,**v. 37 n. 4, p. 510-514, 2003.

ARRUDA, F. P. de; BELTRÃO, N. E. M.; ANDRADE, A. P. de; PEREIRA, W. E.; SEVERINO, L. S. Cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curca* L.) como alternativo para o semi-árido nordestino. **Revista Brasileira Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v.8, n.1, p.789-799, 2004.

AUGUSTUS, G. D. P. S.; JAYABALA, N. M.; SEILERB, G .J. Evaluation and bioinduction of energy components of *Jatropha curcas*. **Biomass and Bioenergy**, Amsterdam, v.23, p.161-164, 2002.

BALL, R. A.; OOSTERHUIS, D. M.; MAUROMOUSTAKOS, A. Growth dynamics of the cotton plant during watér-deficit stress. **Agronomy Journal**, Madison, v.86, p. 788-795, 1994.

BARROS, A. P. B.; BRASIL, A. N.; QUINTÃO, C.M. F. *Avaliação de tratamentos para superação de dormência em sementes e Pinhão-manso (Jatropha curcas L.).* In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 4., 2007. Varginha.

BEGG, J. E.; TURNER, N. C Crop watér deficits. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.28, p.161-217, 1976.

BORDIN, I; NEVES, C. S. V. J.; AZEVEDO, M. C. B.; VIDAL,L. H. I. Desenvolvimento de mudas de aceroleira propagadas por estacas e sementes em solo compactado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.3, p. 530-536, 2005.

BRASIL. Ministério da Indústria e do Comércio. Secretária de Tecnologia Industrial. **Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais**. Brasília: STI/CIT, (Documentos, 16), 364p, 1985.

BRAY, E. A. Plant responses to water deficit. **Trends Plant Science** v. 2, p. 48–54, 1997.

BRITO, G. G. et al. Indicadores fisiológicos como ferramenta em *screening* para tolerância ao déficit hídrico em algodão. *VII Congresso Brasileiro do Algodão, Foz do Iguaçu, PR – 2009*

CORREIA, K. G.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. N.; SANTOS, T. S.Crescimento, produção e características de fluorescência da clorofila a em amendoim sob

condições de salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.40, n.4, p.514 – 521, 2009.

COSTA, A. R. **As Relações Hídricas Das Plantas Vasculares.** 2001.95f. Tese (Doutorado em biologia) - Universidade de Évora, Évora, Portugal, 2001.

CRAFTS-BRANDNER, S. J.; PONELEIT, C. G. Selection for seed growth characteristics: effect on leaf senescence in maize. **Crop Science**, Madison, v.32, p.127-131, 1992.

CRESTANA, S.; GUIMARÃES, M. F.; JORGE, L. A. C.; RALISH, R.; TOZZI, C. L.; TORRE, A.; VAZ, C. M. P. Avaliação da distribuição de raízes no solo auxiliada por processamento de imagens digitais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, n.3, p.339, 1994.

DAVIES, W.J.; ZHANG, J. Root signals and the regulation of growth and development of plants in rying soil. Annual Review Plant Physiology Plant Molecular Biology, Palo Alto, v.42, p.55-76, 1991.

DEMATTE, J. B. I.; MORETTI FILHO, J.; PERECIN, O. Irrigação subterrânea por tubos porosos de Stauch e irrigação por aspersão com diferentes níveis de água disponível no solo 2. Influência sobre o desenvolvimento e a produção da cultura da cenoura (*Daucus carota* L.). **Científica**, São Paulo, v.10, p.63-71, 1982.

DIVAKARA, B. N.; UPADHYAYA, H. D.; WANI, S. P.; LAXMIPATHI GOWDA, C. L. Biology and genetic improvement of *Jatropha curcas* L.: A review. **Applied Energy**, v. 87, p. 732-742, 2010.

DURAES, F. O. M.; LAVIOLA, B. G.; SUNDFELD, E.; MENDONCA, S.; BHERING, L. L. **Pesquisa, desenvolvimento e inovação: focando pinhão-manso para como matéria prima para produção de biodiesel.** Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2009. (Série Documentos, 01).

FAVER, K. L.; GERIK, T. J.; THAXTON, P. M. et al. Laté season watér stress in cotton: Leaf gas exchange and assimilation capacity. **Crop Science**, Madison, v.36, p.922-928, 1996.

FERNANDES, M. S.; SOUZA, S.R. Absorção de nutrientes. In: FERNANDES, MS. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas.** SBCS, Viçosa, 2006. p.116-152.

FERRARI, M. P.; GROSSI, F.; WENDLING, I. Propagação vegetativa de espécies florestais. **Embrapa Florestas**, Colombo-PR, documento 94, 2004.

GOLDMANN, I. L.; CARTER, T. E. Jr., PATTERSON, R. P. A detrimental interaction of subsoil aluminum and drought estress on the leaf watér status of soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v.81, p.461-463, 1989.

GREGORY, P. J. Root growth and activity. In: **Phisiology and determination of crop yield**. 1994. cap. 4, p. 65-93.

GUSMÃO, C. A. G. **Desempenho do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) de segundo ano submetido a diferentes doses e relações NPK.** 2010. 81 f. Dissertação (Mestrado em

Produção Vegetal) - Universidade Estadual de Montes Claros, Montes Claros, Minas Gerais, 2010.

HALLIWEL, B.; GUTTERIDGE, J. M. C. Oxygen toxicity, oxygen radicals, transition metals and disease. **Biochemestry Journal**, Londres, v. 219, p. 1-14, 1984.

HELAL, I. Avaliação do impacto no solo da cultura industrial de Jatropha nos campos de cutchi – cidade de chimoio. **Projeto de cooperação Cirad (França) - Galp energia (Portugal**), 2011.

HIGASHI, E. N.; SILVEIRA, R. L. V. de A.; GONÇALVES, A. N. Propagação vegetativa de *Eucalyptus*: princípios básicos e a sua evolução no brasil. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, São Paulo-SP, n. 192, 2000. p. 19. Circular Técnica, Esalq/USP.

HOOGENBOOM, G.; HUCK, M. G.; PETERSON C. M. Root growth raté of soybean as affected by drought stress. **Agronomy Journal**, Madison, v.79, p.697-614, 1987.

IDO, O. T. **Desenvolvimento radicial e caulinar, de três Variedades de cana-de-açúcar, em rizotron, em dois substratos**. 2003. 155f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2003.

JOKER, D.; JEPSEN, J. Jatropha curcas L. **Seed Leaflet**, Humleback, Denmark, n.83, p.1-2, 2003.

JORDAN, W.R. Whole plant response to watér deficits: An overview. In TAYLOR, H.M., JORDAN, W.R., SINCLAIR, T.R. **Limitations to efficient watér use in crop production**, Madison: ASA, CSSA, and SSA, 1983. p.289-317.

KORNDÓRFER, G. H., PRIMAVESI, O., DEUBER, R. Crescimento e distribuição do sistema radicular da cana-de-açúcar em solo LVA. **Boletim Técnico Copersucar,** Piracicaba, v.47, p.32-36, 1989.

KRAMER P. J., BOYER J. S. Transpiration and the ascent of sap. In: **Watér relations of plants and soils**. California. Academic Press, p.201-256, 1995.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 529p.

LECOEUR, J.; SINCLAIR, R. T. Field pea transpiration and leaf growth in response to soil watér deficits. **Crop Science**, Madison, v.36, p.331-335, 1996.

LEVITT, J. **Response of plants to enviropmental stress**. II: Watér radiation, salt and other stress. New York: Academic Press, 606p, 1980.

LOPES, B. F.; SETER, T. L.; McDAVID, C. R. Photosynthesis and watér vapor exchange of pigeonpea leaves in response to watér deficit and recovery. **Crop Science**, Madison, v.28, p.141-145, 1988.

MATOS, M. M. **A cultura do pinhão-manso (Jatropha curcas) no Brasil**. MAPA BRASÍLIA- DF, 29p.2007.

McCREE, K. J.; FERNÁNDEZ, C. J. Simulation model for studyng physiological watér stress responses of whole plants. **Crop Science**, Madison, v.29, p.353-360, 1989.
MOTA, F.S. **Meteorologia agrícola**, 7. ed. São Paulo: Nobel, 376p.,1983.

MOURA A. R. **Aspectos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) submetido ao déficit hídrico**. 2010. 83p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco, 2010.

NOGUEIRA, L. A. H.; PIKMAN, B. Biodiesel: novas perspectivas de sustentabilidade. **Conjuntura & informação**. Rio de Janeiro: Agência Nacional do Petróleo, 2002. N.19. Acessado em: 20 dez. 2011. Online. Disponível em: <http://www. anp.gov.br/NXT/gatéway.dll/doc/informe_ci.htm>

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

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

ORO P.; SCHULZ D. G.; ISTCHUK A.; MATTIELLO V. D. ; MALAVASI U. C. **Efeito da restrição hídrica em mudas de pinhão-manso na fase de viveiro.** I Congresso Latino Americano de Suinocultura e Sustentabilidade Ambiental. Foz do Iguaçu – PR.2011

PEIXOTO, A. R. **Plantas oleaginosas arbóreas**. São Paulo: Nobel, 284 p. 1973.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica, Rio de Janeiro, 191 p. 2004.

PIMENTEL, C.; ROSSIELO, R.O.P. Entendimento sobre relações hídricas. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ESTRESSE AMBIENTAL: O MILHO EM PURCINO, A. A.; DRUMMOND, O. A. Pinhão-manso. Belo Horizonte: EPAMIG, 1986. 7p.

PINTO, C, M. **Respostas morfológicas e fisiológicas do amendoim, gergelim e mamona a ciclos de deficiência hídrica**. 2006. 80f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, 2006.

PURCINO, A. A. C.; DRUMMOND, O.A. **Pinhão-manso**. Belo Horizonte: EPAMIG, 1986. 7p.

ROZA, F. A. **Alterações morfofisiológicas e eficiência de uso da água em plantas de *Jatropha curcas* L. submetidas à deficiência hídrica**. 2010. 78p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, Bahia, 2010.

SATURNINO, H. M.; PACHECO, D. D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N.; GONÇALVES, N. P. Cultura do Pinhão-manso (Jatropha curcas L.). Produção de oleaginosas para biodiesel. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v. 26, n. 229, p. 44-74, 2005.

SCANDALIOS, J. G. Oxygen stress and superoxide dismutases. **Plant Physiolology,** v. 101, p. 7-12, 1993.

SILVA, J. T. A.; COSTA, E. L.; SILVA, I. P. & NETO, A. M. Adubação do pinhão-manso (Jatropha curcas L.) com nitrogênio e fósforo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 4, 2007, Varginha. **Anais**... Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2007. p.1316-1320.

SILVA, M. A.; JIFON, J. L.; SILVA, J. A. G.; SHARMA, V. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 19, n. 3, p. 193-201, 2007b.

SILVA, P. H. M. Sistemas de propagação de mudas de essências florestais. Instituto de pesquisas e estudos florestais (IPEF)2005. Disponível em: <http://www.ipef.br/silvicultura/producaomudaspropagação.asp>. Acesso em: 13 dez. 2011.

SOUZA, M. A. A. Especificaçào técnica do biodiesel. In: CÂMARA, G. M. S. & HEIFFIG, L. S. (coord.): Agronegócio de Plantas Oleaginosas: Matérias-Primas para Biodiesel. Piracicaba: ESALQ. p. 7 – 23. 2006.

STEUDLE E., PETERSON C.A. How does watér get through roots? **Journal of Experimental Botany**, Bayreuth,v. 49, p. 775-788, 1998.

STEUDLE, E. Watér uptake by roots: effects of watér deficit. **Journal of Experimental Botany**, Bayreuth,v. 51,p. 1531-1542, 2000.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre, Artmed,. 719p.2004.

TEZARA, W., MARÍN, O., RENGIFO, E., MARTINEZ, D., HERRERA, A., Photosynthesis and photoinhibition in two xerophytic shrubs during drought. **Photosynthetica**, Caracas, v.43, p. 37-45, 2005.

TUBEROSA, R.; SANGUINETI, M.C.; LANDI, P. Abscisic acid concentration in leaf and xylem sap, leaf watér potential, and stomatal conductance in maize. **Crop Science**, Madison, v.34, p.1537-1563, 1994.

VIEIRA, E. L. **Ação de bioestimulante na germinação de sementes, vigor de plântulas, crescimento radicular e produtividade de soja (*Glycine max* (L.) Merrill), feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e arroz (*Oryza sativa* L.)**.2001. 122 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, São Paulo, 2001.

WEATHERLEY, P.E. Studies in the watér relations of the colton plant. I. The field measurement of watér deficit in leaves. **New Phytologist**, v.49, p.81-97, 1950.

WEI C., TYREE M. T., STEUDLE E. Direct measurement of xylem pressure in leaves of intact maize plants. A test of the cohesion-tension theory taking hydraulic architecture into consideration. **Plant Physiology**, Bayreuth,v.121, p.1191-1205, 1999.

WULLSCHLEGER, S. D.; OOSTERHUIS, D.M. Photosynthetic carbon production and use by developing cotton leaves and bolls. **Crop Science**, Madison, v.30, p.1259-1264, 1990.

ZEEVAART, Z. R.; CREELMAN, R. A. Metabolism and physiology of abscisic acid. **Annual Review Plant Physiology**, v.39, p.439-473, 1988.

ZORATÉLLI, L.; CARDOSO, E.G.; PICCININ, J.L. Calibração do medidor de clorofila Minolta SPAD-502 para uso na cultura do milho. **Comunicado Técnico** n.55, 2002.

Referências elaboradas segundo as orientações da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 6023, ago. 2002.