

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM AGROECOLOGIA

**CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DO PINHÃO-
MANSO (*Jatropha curcas L.*) SUBMETIDO A DIFERENTES NÍVEIS
DE ESTRESSE HÍDRICO**

KELLY JANE CORREIA CAVALCANTE

São Luís - MA

2012

KELLY JANE CORREIA CAVALCANTE

Engenheira Agrônoma

**CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DO PINHÃO-
MANSO (*Jatropha curcas L.*) SUBMETIDO A DIFERENTES NÍVEIS
DE ESTRESSE HÍDRICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, da Universidade Estadual do Maranhão, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Agroecologia.

Orientação: Prof. Dr. Fabrício de Oliveira Reis

São Luís - MA

2012

Cavalcante, Kelly Jane Correia.

Crescimento e desenvolvimento do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) submetido a diferentes níveis de estresse hídrico/ Kelly Jane Correia Cavalcante.- São Luís, 2012.

60 f

Dissertação (Mestrado), Curso de Agroecologia, Universidade Estadual do Maranhão, 2012.

Orientação: Prof. Dr. Fabrício de Oliveira Reis

1.Pinhão-manso. 2. Estresse Hídrico. 3. Fluorescência da Clorofila *a*

CDU:xxx.xxx:xxx.xx

KELLY JANE CORREIA CAVALCANTE

Aprovada em: _____/_____/_____

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Fabrício de Oliveira Reis (UEMA)

Orientador

Prof. Dr. Eugênio Celso Emérito Araújo (EMBRAPA COCAIS)

Prof. Dr. José Ribamar Gusmão Araújo (UEMA)

São Luís - MA

2012

Agradecimentos

Ao meu Deus por tudo que ele tem proporcionado em minha vida, pois sem ele nada disso teria sido possível, me deu coragem e força nestes dois anos longe da minha família;

A minha querida mãe Maria D'arc Correia Cavalcante, meu Pai Rogenes Cavalcante e minha vizinha Agnela de Souza (*in memorium*), que proporcionou valores inestimáveis à minha formação e fez de tudo para dar uma boa educação e que sempre me apoiou;

Aos meus irmãos Aurélio de Freitas, Kelly Pollyane e Kellyane Cavalcante que sempre me ajudaram e me apoiaram nesta etapa de minha vida;

Aos meus amigos por sempre me ajudar e me apoiar quando estive longe de minha família;

Ao Prof. Dr. Fabrício de Oliveira Reis por me iniciar no estudo da Fisiologia Vegetal, pelo estímulo, paciência, amizade, orientação e oportunidades oferecidas. Levarei para sempre o exemplo de profissionalismo, dedicação e compromisso com a pesquisa;

Ao Prof. Dr. Eugênio Celso Emérito Araújo pelas sugestões, estímulo, confiança e por participar da banca de defesa da minha dissertação;

Ao Prof. Dr. Luiz Fernando Ganassali de Oliveira Junior pela confiança e contribuição fornecendo um analisador portátil de CO₂ no infravermelho (IRGA) e sugestões preciosas;

Aos professores do programa de Pós-Graduação em Agroecologia da UEMA pelos ensinamentos;

Aos amigos do mestrado que sempre me ajudaram e que tenho grande admiração Amanda, Cristina, Carlos, Flávio, Fagner;

Aos amigos de Maceió Chirlene, Clemenes, Ellen, Eumenes que mesmo longe sempre me apoiaram e confiaram na minha capacidade profissional;

A meus professores de Graduação Calasans, Pacheco, Vilma por ter me orientado durante a graduação, pelos ensinamentos e contribuído pela minha formação profissional;

E à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior CAPES, pela bolsa concedida.

Dirige os meus passos nos teus caminhos, para que as
minhas pegadas não vacilem.

Salmos 17:5

SUMÁRIO

Capítulo 1.....	12
INTRODUÇÃO GERAL.....	12
1. Introdução Geral	13
2. Referencial Teórico	16
2.1 A cultura do pinhão-manso.....	16
2.1.1 Origem	16
2.1.2 Características botânicas e morfológicas.....	17
2.1.3 Perspectivas de produção da espécie	20
2.2 Fluorescência da Clorofila <i>a</i>	21
2.3 SPAD	23
2.4 Fatores de Estresse Hídrico	24
Referências	27
Capítulo 2.....	33
CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DO PINHÃO-MANSO (<i>Jatropha curcas L.</i>) SUBMETIDO A DIFERENTES NÍVEIS DE ESTRESSE HÍDRICO	33
Resumo	34
Abstract.....	35
1.Introdução	36
2. Material e Métodos	38
2.1 Material vegetal e condições de cultivo.....	38
2.1.1 Dados meteorológicos	38
2.2 Análises Biométricas	40
2.3 Determinação da eficiência fotoquímica	41
2.4 Determinação do índice SPAD-502.....	42
3.Resultados e Discussão.....	43
3.2 Análise Biométrica	43
3.2.2 Inflorescência.....	46
3.2.3 Frutificação	49
3.2.4 Área foliar	51
3.2.5 Massa Fresca e Seca	52
3.2.6 Índice SPAD	55

3.3. Eficiência fotoquímica.....	56
Conclusões.....	62
Referências	63

Resumo

O pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) é uma planta da família Euphorbiaceae, oleaginosa perene, possui um grande potencial como fonte para a produção de biodiesel. Este trabalho teve como objetivo, estudar os efeitos do estresse hídrico em seu crescimento e desenvolvimento por meio de medidas biométricas e fluorescência da clorofila *a*. O estudo foi conduzido na Universidade Estadual do Maranhão - UEMA em São Luís - MA, com um delineamento inteiramente casualizado, propagação por estacas, constando de três tratamentos (T1 - 200 ml, T2 - 100 ml e T3 - 50 mL de rega diária), totalizando 45 plantas. As avaliações biométricas foram feitas a partir dos 56 dias após o estaqueamento, iniciou-se a implantação dos tratamentos. As variáveis biométricas avaliadas foram: altura da planta, diâmetro do caule, número de folhas, queda das folhas, área foliar, matéria fresca e matéria seca. O número de brotos, número de flores abertas e o número de frutos por planta também foi avaliado. Foram determinados também a fluorescência inicial (F0), fluorescência máxima (Fm) e eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm), dissipação não-fotoquímica (qN) e coeficiente de dissipação não-fotoquímica (NPQ) e os parâmetros de crescimento (diâmetro do caule, altura, área foliar e número de folhas) foram afetados pelo estresse hídrico demonstrando uma diminuição no crescimento.

Palavras-chave: Pinhão-manso, estresse hídrico, fluorescência da clorofila *a*.

Abstract

The jatropha (*Jatropha curcas* L.) is a plant family Euphorbiaceae perennial oilseed, has great potential as a source for biodiesel production. This work aimed to study the effects of water stress on growth and development through biometric measurements and chlorophyll fluorescence. The study was conducted at the State University of Maranhão - UEMA in Sao Luis - MA, with a completely randomized design, propagation by cuttings, consisting of three treatments (T1 - 200 ml, T2 - T3 and 100 ml - 50 ml daily watering) , totaling 45 plants. The biometric evaluations were made from 56 days after striking, began the implementation of treatments. The biometric variables were evaluated: plant height, stem diameter, number of leaves, falling leaves, leaf area, fresh and dry matter. The number of shoots, number of open flowers and fruit number per plant was also evaluated. We also determined the initial fluorescence (F_0), maximal fluorescence (F_m) and quantum efficiency of photosystem II (F_v / F_m), non-photochemical dissipation (q_N) and coefficient of non-photochemical dissipation (NPQ) and Parameters growth (stem diameter, height, leaf area and leaf number) were affected by water stress demonstrating a decrease in growth.

Key words: *Jatropha*, water stress, chlorophyll a fluorescence.

Capítulo 1

INTRODUÇÃO GERAL

São Luís

2012

1. Introdução Geral

O pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) é originário da América tropical, com provável dispersão através de navegadores portugueses. Apesar de ser uma espécie que está presente em todas as regiões tropicais, alguns pesquisadores consideram o Brasil como seu país de origem e que, após a sua colonização, marinheiros portugueses contribuíram para a sua dispersão (MACIEL, 2007). Alguns estudiosos também acreditam que o México possa ser o seu país de origem e que índios que migraram da América do Norte para América do Sul são os responsáveis pela sua distribuição até a Argentina, incluindo o Brasil, e que posteriormente foi disseminado para outros países como a Índia e outros continentes como a África (HELLER, 1996 e MACIEL, 2007).

É notório identificar o grande número de informações distorcidas e discussões sobre a origem e cultivo do pinhão-mansão, pois ainda não se conhecem variedades melhoradas ou cultivares da espécie que ainda se encontra em processo de domesticação, tendo seus aspectos agrônômicos pesquisados somente nos últimos 30 anos (SATURNINO, *et al.*, 2005).

No Brasil o pinhão-mansão é conhecido por diversos nomes populares como pinhão-paraguaio, pinhão-de-purga, pinhão-de-cerca, purgante-de-cavalo, figo-do-inferno, entre outros (OLIVEIRA, *et al.*, 2002). Pertencendo à mesma família que a mamona, a *Jatropha curcas* L é uma Euforbiácea, com tendência à ramificação desde a base, com crescimento rápido, podendo atingir de 3 a 5 m de altura (CORTESÃO, 1956; BRASIL, 1985). As folhas do pinhão são verdes, esparsas e brilhantes, largas e alternas, em forma de palma com três a cinco lóbulos e pecioladas, a floração é monóica, apresentando os dois sexos na mesma planta, mas separados (ARRUDA, *et al.*, 2004).

O fruto é capsular, oblongo trilocular com uma semente em cada cavidade, inicialmente verde, passando a amarelo, castanho e por fim preto, quando atinge o estágio de maturação (DIAS, *et al.*, 2007). O florescimento do pinhão-mansão inicia com o período de chuva, e a sua reprodução é influenciada pelo estágio nutricional da planta (SANTOS, *et al.*, 2007). O sistema radicular do pinhão-mansão é do tipo pivotante, com raízes secundárias ramificadas de tamanhos variados (CORTESÃO, 1956; BRASIL, 1985).

O interesse e pesquisas com a espécie tem crescido e revelam que o pinhão-mansão tem um excelente potencial e alto valor de exploração no seu ambiente nativo. Algumas dessas pesquisas, inclusive as conduzidas no Brasil, tem se destinado ao melhoramento genético buscando maiores produtividades e adaptação a diversas condições ambientais, além de resistência a pragas e doenças (MATOS, 2007).

A utilização do pinhão-mansão foi bem sucedida com aplicações na conservação do solo, controle de erosão, adubo verde, combustível, uso medicinal e inseticida (BRANDENBURG, *et al.*, 2007). Devido à procura de alternativas para produção de óleo destinado ao biodiesel a cultura do pinhão-mansão vem sendo considerada uma opção agrícola para a região nordeste, por apresentar possível tolerância à seca, podendo desenvolver-se no semi-árido e utilizar mão-de-obra familiar. E segundo Carnielli (2003), uma planta oleaginosa, que produz no mínimo duas toneladas de óleo por hectare, levando de três a quatro anos para atingir a idade produtiva (CARNIELLI, 2003).

Com a possibilidade do uso do óleo do pinhão-mansão para a produção do biodiesel, abrem-se amplas perspectivas para o crescimento das áreas de plantio com esta cultura no semi-árido nordestino. Por todas essas potencialidades e principalmente por esta espécie fornecer matéria-prima para a produção de biocombustível, torna-se uma cultura importante para expansão da economia da região Nordeste, através da oferta de emprego e renda, nos mais diversos setores de produção.

A fluorescência da clorofila *a* tem sido utilizada para avaliar o desempenho da fotossíntese por ser um método que, além de não destrutivo, permite uma análise qualitativa e quantitativa da absorção e aproveitamento da energia luminosa através do fotossistema II e possíveis relações com a capacidade fotossintética (TORRES NETTO, 2005).

As plantas utilizam o máximo de luz para realizar a fotossíntese, em situação fisiológica normal, tornando assim, a fotossíntese um processo essencial para a produção de uma cultura, com cerca de 90% da matéria seca total de um vegetal resultante diretamente desse processo (BAKER; ROSENQVIST, 2004). É relevante também citar que as mudanças na emissão da fluorescência da clorofila *a* são indicativos de alterações na atividade fotossintética causada por vários tipos de estresse.

Os fatores climáticos, como temperatura, pluviosidade, umidade do solo e radiação solar, influenciam diretamente no comportamento vegetativo das plantas

cultivadas (LARCHER, 2000). As plantas desenvolvem mecanismos de adaptação à falta de água como: fechamento dos estômatos, ajuste osmótico, produção de folhas menores, redução da área foliar e aumento na densidade e profundidade de raízes. Os mecanismos de fechamento dos estômatos e redução da área foliar limitam a produtividade, uma vez que provocam queda na absorção de CO₂ e na intercepção de luz, respectivamente (MATTOS, *et al.* 1999).

Em condições de campo, quando o estresse hídrico moderado se desenvolve lentamente, a diminuição do CO₂ intracelular após o fechamento estomático aparentemente induz, em longo prazo, a regulação da maquinaria fotossintética, de modo a ajustar ao fluxo de carbono disponível (CHAVES, *et al.*, 2002).

Sendo uma cultura de escassas na literatura disponível, informações sobre suas exigências hídricas objetivou-se, com esta pesquisa, estudar os efeitos da aplicação de diferentes níveis de estresse hídrico em relação ao crescimento e desenvolvimento de plantas de pinhão-manso. Através de diferentes níveis de estresse hídrico, avaliando seu comportamento vegetativo, utilizando medidas biométricas e de fluorescência da clorofila *a*.

2. Referencial Teórico

2.1 A cultura do pinhão-manso

2.1.1 Origem

Alguns estudiosos acreditam que o pinhão-manso possa ter origem no Brasil e, após a colonização, ter sido disseminado através de marinheiros portugueses para outras localidades, como o restante da América do Sul e até outros continentes, como a África. Outros consideram a possibilidade de ter se originado no México e trazido ao Brasil por índios que vieram da América do Norte para América do Sul (MACIEL, 2007).

Heller (1996) afirma que o pinhão-manso foi originado no México e América Central, sendo cultivado em muitos outros países latino-americanos, africanos e asiáticos principalmente como cerca viva, e durante a primeira metade do século passado foi um importante produto de exportação nas Ilhas de Cabo Verde. Segundo o mesmo autor as informações sobre sua origem ainda são bastante controversas.

De acordo com BRASIL (1985), a sua introdução nas Ilhas do Arquipélago de Cabo Verde deveu-se do interesse dos portugueses em aproveitar suas terras inóspitas, cujos solos, de pouca fertilidade, dificilmente poderiam ser usados para outras culturas menos rústicas.

Muitas são as discussões em referência a sua origem, o que se sabe, nesses poucos trinta anos de estudo, é que o pinhão-manso é comumente encontrado em condição semi-selvagem em quintais de pequenos vilarejos em muitos países tropicais, inclusive no Brasil, nos Estados de Minas Gerais e de Goiás, mas principalmente na região Nordeste (MARTINS, *et al.*, 1984; BRASIL, 1985).

Atualmente, o pinhão-manso é conhecido e cultivado em todo o mundo, com vários nomes populares. No Brasil é identificado como: pinhão-paraguaio, pinhão-de-purga, pinhão-de-cerca, purgante-de-cavalo, manduigaçu, mandubiguaçu, figo-do-inferno, purgueira, pinhão croá, grão-de-maluco, pinhão-de-cena, tuba, tartago, tapete, siclité, pinhão-de-inferno, pinhão-das-barbadas, saci, entre outros (OLIVEIRA, *et al.*, 2002).

O pinhão-manso desenvolve-se bem tanto nas regiões tropicais secas como nas zonas equatoriais úmidas, bem como nos terrenos ao nível do mar, até 1.200 m de altitude, sendo o seu cultivo mais indicado em regiões que apresentam entre 500 e 800 m de altitude (NUNES, 2007)

2.1.2 Características botânicas e morfológicas

O pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) é uma espécie arbustiva, perene e pertencente à família das Euforbiáceas (da mesma família da mamona, mandioca e seringueira). A família *Eufhorbiaceae* compreende aproximadamente 8000 espécies com cerca de 320 gêneros. O gênero *Jatropha* possui 175 espécies de plantas herbáceas e arbustivas, distribuídas pela América Tropical, Ásia e África (HENNING, 1999; AUGUSTUS, *et al.*, 2002).

É uma planta conhecida e cultivada no continente americano desde a época pré-colombiana, como supracitado em sua origem, e está disseminada em todas as regiões tropicais e até em algumas temperadas (SATURNINO, *et al.*, 2005). Com tendência à ramificação desde a base, o aspecto geral da planta é de uma arvoreta ou arbusto grande, de crescimento rápido, cuja altura normal é dois a três metros, mas pode alcançar até cinco metros (DIAS, *et al.*, 2007; NUNES, 2007; BRASIL, 1985).

O nome *Jatropha* é derivado do grego *iatrós* (doutor) e *trophé* (comida), sinalizando a referência da espécie com as propriedades medicinais; *curcas* é o nome comum para pinhão-manso em Malabar, Índia (MATOS, 2007).

As folhas do pinhão são decíduas, esparsas e brilhantes, largas e alternas, em forma de palma com três a cinco lóbulos e pecioladas, com nervuras esbranquiçadas e salientes na face inferior, cordadas na base e filotaxia em espiral. Elas têm um limbo foliar de até 18 cm de comprimento, menor que o pecíolo, de 6 a 15 cm de comprimento, por igual largura (ARRUDA, *et al.*, 2004).

Possuem coloração vermelho-vinho quando jovens e à medida que se expandem tornam-se verdes. O pecíolo é longo e esverdeado, do qual partem as nervuras divergentes. (ARRUDA *et al.*, 2004).

Segundo Arruda, (2004), o pinhão-manso é uma planta caducifólia, as folhas caem em parte ou totalmente quando termina a estação chuvosa ou durante a estação fria, quando a planta entra em um período de repouso. Neste estado a planta permanece até o começo da primavera ou da estação chuvosa. O término do repouso vegetativo é demonstrado com o rápido surgimento dos brotos no ápice dos galhos do ano. Na mesma ocasião do surgimento dos brotos surgem também as inflorescências.

O caule é liso, macio e esverdeado, de lenho ou xilema mole e medula desenvolvida, mas pouco resistente. Floema com longos canais que se estende até as raízes, nos quais circulam a seiva (látex). O látex é uma seiva leitosa que corre com

abundância em qualquer ferimento da planta, e que depois de seco torna-se uma substância acastanhada com aspecto de resina.

O tronco (haste principal) ou fuste é dividido desde a base, em compridos ramos, com numerosas cicatrizes produzidas pela queda das folhas na estação seca, as quais ressurgem logo após as primeiras chuvas. São recobertos por uma camada cerosa, que após sua secagem se desprendem em lâminas finas. O diâmetro da haste principal é de aproximadamente 20 cm (CORTESÃO, 1956; BRASIL, 1985).

O sistema radicular do pinhão-mansó é do tipo pivotante, com uma raiz principal que atinge grandes profundidades. Apresenta grande quantidade de raízes laterais, responsáveis pela nutrição da planta. De uma forma geral, pode-se dizer que a profundidade do sistema radicular é equivalente à altura da planta, assim como o diâmetro de exploração de solo (CORTESÃO, 1956; BRASIL, 1985).

O florescimento do pinhão-mansó tende a responder ao período de chuva, assim como o crescimento e a reprodução é influenciada pelo estágio nutricional da planta, que possui odor bem característico nas suas estruturas vegetais e reprodutivas.

A floração é monóica, apresentando na mesma planta, mas com sexo separado, flores masculinas, em maior número, nas extremidades das ramificações e femininas nas ramificações, as quais são amarelo-esverdeadas e diferencia-se pela ausência de pedúnculo articulado nas femininas que são largamente pedunculadas (CORTESÃO, 1956; BRASIL, 1985).

O pinhão-mansó segue a arquitetura típica de diversas euforbiáceas, a primeira inflorescência é cimeira (Tipo de inflorescência em que cada haste produz uma flor. Brotam do topo para baixo ou do centro para fora) e assim que ela começa a crescer dois ramos ou módulos desenvolvem-se a partir da primeira inflorescência, a qual passa a ser axial (SATURNINO, *et al.*, 2005).

O fruto é capsular ovóide, deiscente, tendo em média de 1,5 a 3,0 cm de diâmetro e 2,5 cm a 4,0 cm de comprimento, e contém de 53 a 62 % de sementes e de 38 a 47 % de casca, pesando, cada uma, entre 1,53 a 2,85 g, é trilocular com uma semente em cada cavidade, ligeiramente sulcado, base e ápice agudos, endocarpo lenhoso e duro, mesocarpo carnoso e filiforme e epicarpo carnoso, semeado de pequenas elevações puntiforme, formado por um pericarpo ou casca dura e lenhosa, indeiscente, inicialmente verde, passando a amarelo, castanho e, por fim, preto quando atinge o estágio de maturação (CORTESÃO, 1956; BRASIL, 1985).

A semente é endospermica, com tegumento rijo, quebradiço, de fratura resinosa. É uma semente relativamente grande, que quando seca mede de 1,5 cm a 2 cm de comprimento e 1,0 cm a 1,5 cm de largura, dependendo da variedade e dos tratamentos culturais, pode apresentar de 33 a 45 % de casca e de 55 a 66 % de amêndoa. Na semente, são encontradas 7,2 % de água, 37,5% de óleo e 55,3 % de açúcar, amido, albuminóides e materiais minerais, sendo 4,8 % de cinzas e 4,2 % de nitrogênio (PEIXOTO, 1973).

Possui na parte superior, uma proeminência carnuda, a carúncula, que se encontra próximo à micrópila. Debaixo do invólucro da semente existe uma película branca cobrindo a amêndoa. Albúmen abundante, branco, oleaginoso, contendo um embrião provido de dois largos cotilédones planos foliáceos e arredondados (SATURNINO, *et al.*, 2005).

O desenvolvimento das plântulas originadas de sementes ou de estacas é diferenciado. Por propagação vegetativa, utilizando-se estacas, obtém-se maior precocidade de produção e reproduzem-se com maior fidelidade as características da planta mãe de origem, verifica-se, portanto, menor desenvolvimento vegetativo inicial.

Por outro lado, plantas estabelecidas a partir de sementes apresentam maior variabilidade em relação a planta mãe, são mais vigorosas ainda que iniciem a produção mais tarde. Para o êxito do plantio as estacas devem ser retiradas dos ramos mais próximos da base do caule, ladrões ou rebentões, sendo preferidos os ramos não muito grossos, retos, de entrenós curtos, casca lisa, acinzentadas e brilhantes, com 40 a 50 cm de comprimento (ARRUDA, *et al.* 2004).

As sementes e estacas devem ser mantidas na sementeira até alcançarem cerca de 8 a 12 cm de altura, quando passam da fase herbácea para lenhosa, para serem levadas para o viveiro ou diretamente para o campo de cultivo (ARRUDA, *et al.* 2004). É possível também utilizar as estacas diretamente no campo.

Ocorrendo a deficiência nutricional, a planta cresce menos e ramifica menos, isso implicará menos frutos, já que os mesmos são produzidos nas pontas dos ramos (SANTOS, *et al.*, 2007). Tal deficiência combinada com a importância dos demais usos ao qual se destina, torna relevante o estudo de sua adaptação e desenvolvimento em várias condições. No entanto, ainda não se conhecem variedades melhoradas ou cultivares de pinhão, pois a espécie ainda se encontra em processo de “domesticação” e,

segundo SATURNINO (2005), somente nos últimos 30 anos é que a espécie começou a ter seus aspectos agronômicos pesquisados.

2.1.3 Perspectivas de produção da espécie

A produção e desenvolvimento do pinhão-mansão estão diretamente relacionados às variações dos períodos das chuvas, bem como é bastante afetado pela distribuição irregular destas, ou mesmo pela ação prolongada de ventos na época da floração.

O pinhão-mansão pode ser considerado como uma potencial oleaginosa para a agricultura familiar no semi-árido Nordeste, como uma cultura adicional à mamona, devido à possível resistência ao estresse hídrico, sua grande rusticidade e possibilidade de uso na produção do biodiesel.

Pode ainda ser cultivado em consórcio com outras culturas como o amendoim, algodão, entre outras e com a vantagem de ser perene, não exigindo preparo do solo anual (ARRUDA, *et al.*, 2004).

O pinhão-mansão possui um potencial produtivo energético, que durante a década de 90 havia sido ignorado, mas tem se destacado em estudos recentes em áreas planas nas plantações da Ásia, África e América (FOIDL, *et al.*, 1996).

A espécie tem demonstrado em pesquisas realizadas um excelente potencial e significativo valor de exploração no seu ambiente nativo. A utilização do pinhão-mansão foi bem sucedida com aplicações na conservação do solo, controle de erosão, adubo verde, combustível, uso medicinal e inseticida (BRANDENBURG, *et al.*, 2007).

Em estudos realizados no Brasil, o pinhão-mansão demonstrou adaptar-se nas mais variáveis condições edafoclimáticas. Sua distribuição geográfica ocorre desde o estado de São Paulo para Norte e Oeste do país, ocorrendo, sobretudo nos estados do Nordeste (DRUMMOND, *et al.*, 1984; EPAMIG, 2003).

É uma planta oleaginosa, viável para a obtenção do biodiesel, visto que produz no mínimo duas toneladas de óleo por hectare, levando de três a quatro anos para atingir a idade produtiva (CARNIELLI, 2003).

O pinhão-mansão possui muitos atributos, múltiplos usos e considerável potencial, em especial para prevenção e controle de erosão do solo (JONGSCHAAP, *et al.*, 2007), recuperação do solo e como cerca viva, principalmente para incluir ou excluir os animais. A espécie também pode produzir sabão, cosméticos, pesticidas e medicamentos anticancerígenos (TONG, *et al.* 2006).

Outros aspectos positivos se referem à produção de óleo com a vantagem de armazenamento das sementes por longos períodos de tempo, sem os inconvenientes da deterioração do óleo por aumento da acidez livre, como acontece com os frutos de dendê, por exemplo (SLUSZZ e MACHADO, 2006). *J. curcas* L. apresenta uma grande vantagem em relação a outras culturas, pois, ela se adapta a variadas condições externas, como por exemplo, solos contaminados por metais pesados (KUMAR, *et al.*, 2008).

Existem diversos relatos do uso do óleo e sementes de pinhão-mansão em lamparinas e candeieiros, por ser inodoro e ao ser queimado não produzir fumaça (SATURNINO, *et al.*, 2005).

Usado como planta medicinal, aplica-se o látex como cicatrizante e purgante, as raízes são consideradas diuréticas e antileucêmicas e as folhas são utilizadas para combater doenças de pele. São eficazes também contra o reumatismo e possuem alto poder antisifilítico, porém, verificam-se casos de intoxicação, pelas sementes, em crianças e adultos quando ingeridas em excesso, o que pode ser perigoso e até fatal (ARRUDA *et al.*, 2004).

Em virtude do Programa Brasileiro de Biodiesel e o surgimento de grande demanda por óleos vegetais, o pinhão-mansão tem sido divulgado como uma alternativa para fornecimento de matéria-prima. Escolha esta decorrente da expectativa de que a planta tenha baixo custo de produção e seja tolerante ao estresse hídrico, relacionada com o gene *JcPIP2* da aquaporina, entre outros fatores, o que seria uma vantagem significativa principalmente na região semi-árida do país (ZHANG, *et al.*; BELTRÃO, *et al.*, 2007).

2.2 Fluorescência da Clorofila *a*

As plantas, ao serem expostas ao estresse ambiental ou biótico, sofrem alterações no estado funcional das membranas dos tilacóides dos cloroplastos as quais provocam mudanças nas características dos sinais de fluorescência, os quais podem ser quantificadas nas folhas (RIBEIRO, *et al.*, 2003; BAKER e ROSENQVIST, 2004). A fotossíntese é essencial para a produção de uma cultura. Cerca de 90% da matéria seca total de um vegetal resulta diretamente do processo fotossintético. De acordo com BAKER e ROSENQVIST (2004), mudanças na emissão da fluorescência da clorofila *a*

são indicativos de alterações na atividade fotossintética causada por vários tipos de estresse.

Todos os organismos fotossintetizantes contêm um ou mais pigmentos orgânicos capazes de absorver a radiação visível que iniciará as reações fotoquímicas da fotossíntese. Em plantas superiores, os principais pigmentos fotossintéticos são as clorofilas (a e b) e os carotenóides (TAIZ; ZEIGER, 2004). Entretanto, nem toda a luz incidente sobre a folha é absorvida pelas moléculas de clorofila, alguns fótons podem ser transmitidos e outros podem ser refletidos.

A fluorescência da clorofila *a* pode ser utilizada na avaliação de danos causados por estresse hídrico. Essas avaliações são feitas por meio de variáveis da fluorescência da clorofila *a*, como fluorescência inicial (F_0), fluorescência máxima (F_m), fluorescência variável (F_v), rendimento quântico máximo do fotossistema II (F_v/F_m), taxa relativa de transporte de elétrons (ETR), dissipação fotoquímica (qP) e dissipação não-fotoquímica (qN) (OLIVEIRA, 2005).

O F_0 representa a fluorescência com todos os centros de reação “abertos” ou oxidados e refere-se à emissão de fluorescência pelas moléculas de clorofila *a* do complexo coletor de luz do fotossistema II. O F_m indica a completa redução da quinona A (QA) a partir da incidência de um pulso de luz no centro de reação QA, gerando fluorescência máxima. A F_v representa o fluxo de elétrons do centro de reação do fotossistema II (P680) até a plastoquinona, e a diferença entre F_m e F_0 resulta na fluorescência variável (F_v). A relação F_v/F_m expressa o rendimento quântico máximo do fotossistema II, ou seja, a eficiência relativa da captura de energia luminosa pelo fotossistema II (MAXWELL e JOHNSON, 2000).

O principal parâmetro utilizado na avaliação desses danos ao sistema fotossintético é a razão F_v/F_m , que indica a eficiência fotoquímica do fotossistema II. Essa razão, normalmente, decresce em plantas submetidas a algum tipo de estresse (KRAUSE e WEIS, 1991).

O uso de parâmetros de fluorescência tem sido difundido por ser um método que, além de não destrutivo, permite uma análise qualitativa e quantitativa da absorção e aproveitamento da energia luminosa através do fotossistema II e possíveis relações com a capacidade fotossintética (TORRES NETTO, 2005). Também possibilita o estudo de características relacionadas à capacidade de absorção e transferência da energia luminosa na cadeia de transporte de elétrons, sendo possíveis também estudos das

mudanças dos tilacóides (COSTA, *et al.*, 2003). Condições extremas de estresse ambiental tais como a salinidade, radiação, seca, calor, frio e poluição podem afetar os tilacóides, interferindo na eficiência da fotossíntese e inativando o fotossistema II (P680) e a cadeia de transporte de elétrons que daria origem ao ATP e NADPH (COSTA, *et al.*, 2003; BAKER e ROSENQVIST, 2004).

Estudos realizados em diferentes espécies mostram o uso de parâmetros da cinética de emissão de fluorescência sendo utilizado para detectar danos causados por diferentes tipos de estresses. Os parâmetros de fluorescência em plantas tem sido aplicado para estudar o efeito de deficiência hídrica em *Vigna unguiculata* (SOUZA, *et al.*, 2004), estresse nutricional causa por Al em seis cultivares de cafeeiro (KONRAD, *et al.*, 2005), tolerância à salinidade em girassol (Dias, *et al.*, 2011) e amendoim (Guedes, *et al.*, 2009) entre outros.

2.3 SPAD

As clorofilas são pigmentos responsáveis pela captação e conversão da radiação luminosa em energia, sob a forma de ATP e NADPH. Por essa razão, são estreitamente relacionadas com a eficiência fotossintética das plantas e, conseqüentemente com seu crescimento e adaptabilidade aos diferentes ambientes (TAIZ; ZEIGER, 2004).

O método clássico utilizado para determinação do teor de clorofila necessita da destruição das folhas, o que é uma desvantagem em estudos que procuram determinar o efeito da ontogenia da folha no grau de esverdeamento. Esses métodos são muito demorados e onerosos. A quantificação do conteúdo de clorofilas em folhas pode ser realizada via maceração com acetona, ou outro solvente orgânico, e posterior leitura em espectrofotômetro. Porém, este método também resulta na coleta destrutiva do material vegetal e é relativamente demorado. Na década de 90 foi disponibilizado um equipamento capaz de gerar grandezas relacionadas com os teores de clorofila, o clorofilômetro Soil Plant Analysis Development (SPAD-502, Minolta, Japão). Com o advento dos medidores portáteis, que utilizam princípios ópticos não destrutivos os valores são calculados pela leitura diferencial da quantidade de luz transmitida pela folha, em duas regiões de espectro (650 nm e 940 nm), e a absorção de luz pela clorofila ocorre no comprimento de onda de 550 nm (SWIADER; MOORE, 2002).

O SPAD é um aparelho portátil que fornece leituras que se relacionam com o teor de clorofila presente na folha, permite medições de forma rápida e prática, em

campo, a um custo baixo. A perda de pigmentos biológicos e fotossintéticos durante estresse ambiental ou morte prematura é um indicador muito visível de eventos como doenças, aplicação de herbicidas, poluição ambiental, deficiência e toxicidade mineral, deficiência hídrica e extremos de temperatura (CARVALHO, *et al.*, 2003). Tem sido demonstrada a existência de relação entre índice de intensidade da cor verde e teor de clorofila em várias espécies de plantas por exemplo em *Vitis vinifera* L. para a determinação do estresse hídrico (FANIZZA *et al.*, 1991), para avaliar o efeito da severidade de doenças, como da mancha foliar no trigo (ROSYARA *et al.*, 2007) ou para determinar o grau de severidade do ataque por micoplasmas em *Fraxinus pennsylvanica* marsh (SINCLAIR *et al.*, 1997). Devido à alta correlação que existe entre os teores de nitrogênio e clorofila (MARENCO; LOPES, 2007), um dos principais usos do SPAD-502 tem sido para estimar o teor de nitrogênio da folha, em culturas como milho (ARGENTA *et al.*, 2001) e batata (GIL *et al.*, 2002).

Todavia, como o equipamento fornece uma leitura em unidades arbitrárias (leitura SPAD de teores de clorofila, na faixa de 0 a 99,9), recomenda-se que o mesmo seja previamente calibrado com as extrações de clorofilas (UDDLING *et al.*, 2007).

Zoratelli *et al.* (2002) afirma que o medidor de clorofila SPAD-502 detecta a quantidade de cor verde na folha através da quantidade de luz de comprimento de onda da região vermelho e infravermelho. A quantidade de luz vermelha absorvida indica a quantidade de clorofila, enquanto que a quantidade de luz absorvida próximo ao infravermelho serve como uma referência interna na compensação da espessura da folha e conteúdo de água.

2.4 Fatores de Estresse Hídrico

O estresse pode ser definido em um sentido geral, como sendo qualquer fator que possa inibir o normal funcionamento dos sistemas (JONES; JONES, 1991). Atualmente quase todos os fatores de estresse podem ser superados mediante a aplicação de técnicas adequadas de manejo. De fato, tanto os técnicos como os produtores rurais tem disponível uma série de pacotes tecnológicos que permitem diminuir ou até anular os efeitos desses estresses. Assim, por exemplo, para regiões que apresentam problemas relacionados com o estresse hídrico, a aplicação de quantidades adequadas de água por meio da técnica da irrigação nos momentos de déficit, permite

resolver o problema e, portanto, aumentar a produtividade da cultura (GIAVENO, *et al.*, 2010).

Os fatores climáticos, como temperatura, pluviosidade, umidade do solo e radiação solar, influenciam diretamente no comportamento vegetativo das plantas cultivadas (LARCHER, 2000). A fotossíntese destaca-se como um dos eventos fisiológicos mais afetados pelas condições ambientais a qual tem recebido especial atenção nos estudos que visam à seleção de espécies e/ou variedades adaptadas aos ambientes adversos, por ser a principal fonte de carbono orgânico e de energia para o crescimento e produção de biomassa das plantas (DENG, *et al.*, 2003).

Entretanto, na natureza, as plantas podem estar sujeitas a dois tipos de estresse hídrico, de acordo com a sua duração, podendo ser de longo prazo (de dias a semanas ou meses) ou curto prazo (de horas a dias) (CHAVES, *et al.*, 2003). As respostas das plantas à escassez de água são complexas, envolvendo alterações adaptativas. Em condições naturais, estas respostas podem ser sinérgica ou antagonisticamente modificadas por sobreposição de outros estresses, como é o caso do estresse salino (XIONG *et al.*, 2002).

As plantas desenvolvem mecanismos de adaptação à falta de água, tais como: fechamento dos estômatos, ajuste osmótico, produção de folhas menores, redução da área foliar e aumento na densidade e profundidade de raízes. Os mecanismos de fechamento dos estômatos e redução da área foliar limitam a produtividade, uma vez que provocam queda na absorção de CO₂ e na interceptação de luz, respectivamente (MATTOS *et al.* 1999).

Em um experimento de campo com videiras, foi observado uma significativa restrição à assimilação de CO₂ devido ao fechamento dos estômatos, à medida que a seca se instalava durante o período de verão (MAROCO, *et al.*, 2002). A redução da taxa de assimilação de CO₂ durante o estresse hídrico deve-se à redução da disponibilidade de CO₂ no interior da folha, causada pelo fechamento dos estômatos em resposta à redução da disponibilidade de água no solo (ROSA *et al.*, 1991).

Esse aumento da resistência à difusão gasosa e a diminuição na taxa de assimilação de CO₂ determina menor perda de água por transpiração, além afetar a fotossíntese. Em resumo, em condições de campo, quando o estresse hídrico moderado se desenvolve lentamente, a diminuição do CO₂ intracelular após o fechamento estomático, aparentemente, induz a longo prazo a regulação da maquinaria

fotossintética, de modo a ajustar ao fluxo de carbono disponível (CHAVES, *et al.*, 2002).

O pinhão-mansão tem sido pouco estudado no Brasil e por isso o crescente interesse no seu uso para produção de biocombustível atualmente, trabalhos que possam determinar padrões fenológicos, que podem fornecerem informações de interesse produtivo, são relevantes para a compreensão da dinâmica da cultura e programação de manejo. O conhecimento da fenologia dessa cultura é de grande interesse uma vez que fornece informações sobre crescimento e desenvolvimento, as quais podem ser usadas em programas de melhoramento quantitativo e qualitativo da espécie.

Conhece sobre o processo fotossintético e como os fatores do ambiente como água, temperatura e luz afetam o pinhão-mansão. Por isso estudos desta natureza, são fundamentais para compreender os processos adaptativos dessa espécie, além de fornecer informações avançadas sobre alguns processos fisiológicos para serem usados em futuros programas de melhoramento genético e para o zoneamento agrícola da espécie.

Referências

- ARRUDA, F. P.; BELTRÃO, N. E. M.; ANDRADE, A. P.; PEREIRA, W. E. SEVERINO, L. S. Cultivo de Pinhão-manso (*Jatropha Curcas* L.) como alternativa para o Semi-árido Nordeste. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**. Campina Grande, v.8, n.1, p.789-799, jan-abr. 2004.
- ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; BORTOLINI, C.G.; FORSTHOFER, E.L.; STRIEDER, M.L. Relação da leitura do cloroflômetro com os teores de clorofla extraível e de nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.13, p.158-167, 2001.
- AUGUSTUS, G. D. P. S.; JAYABALA, N. M.; SEILERB, G. J. Evaluation and bioinduction of energy components of *Jatropha curcas*. **Biomass and Bioenergy**, v. 23, p.161-164, 2002.
- BAKER, N. R. e ROSENQVIST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, n. 403, p.1607–1621, 2004.
- BELTRÃO, N. E. de M.; SEVERINO, L. S.; SUINAGA, F. A.; VELOSO, J. F.; JUNQUEIRA, N.; FIDELIS, M.; GONÇALVES, N. P.; SATURNINO, H. M.; ROSCOE, R.; GAZZONI, D.; DUARTE, J. O.; DRUMOND, M. A.; ANJOS, J. B. Recomendação técnica sobre o de pinhão - manso plantio no Brasil. Campina Grande: **Embrapa Algodão**, 2007. Folder. Disponível em: <http://www.cpa0.embrapa.br/portal/noticias/Position%20Paper>. pdf. Acesso em 05 nov. 2011.
- BRANDENBURG. W. A; BINDRABAN, P. S; CORRÉ, W.J. Claims and facts on *Jatropha curcas* L. **Plant Research International**, October, p. 66, 2007.
- 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), p.364, 1985.
- CARVALHO, L.M.; CASALI, V.W.D.; SOUZA, M.A.; CECON, P.R. Disponibilidade de água no solo e crescimento de artemísia. *Horticultura brasileira*, Brasília, v. 21, n. 4, p. 726-730, outubro-dezembro, 2003.

CHAVES M.M., MAROCO J.P., PEREIRA J.S., Understanding plant responses to drought – From genes to the whole plant. **Functional Plant Biology**, v.30, p.239-264, 2003.

CHAVES M. M., PEREIRA J.S., MAROCO J.P., RODRIGUES M.L., RICARDO C.P.P., OSÓRIO M.L., CARVALHO I., FARIA T., PINHEIRO C., How plants cope with water stress in the field. **Photosynthesis and growth. Annals of Botany**, v. 89, p. 907-916, 2002.

CORTESÃO, M. **Culturas tropicais: plantas oleaginosas**. Lisboa: Clássica, p.231, 1956.

COSTA, E. S.; BRESSAN-SMITH R ; OLIVEIRA J. G.; CAMPOSTRINI E.; Chlorophyll a fluorescence analysis in response to excitation irradiance in bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. and *Vigna unguiculata* L. Walp) submitted to high temperature stress. **Photosynthetica**, v. 41, 77-82 p., 2003.

DENG X.; HU Z.-A.; WANG H.-X.; WEN X.-G.; KUANG T.-Y.. A comparison of photosynthetic apparatus of the detached leaves of the resurrection plant *Boea hygrometrica* with its con-tolerant relative *Chirita hererotrichia* in response to dehydration and rehydration. **Plant Science**, v. 165; 851-861 p., 2003.

DIAS, D. P.; MARENCO, R. A. Fotossíntese e fotoinibição em mogno e acariquara em função da luminosidade e temperatura foliar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.3, p.305-311, 2007.

DIAS, A. A. N.; PAULO, P. A. P.; PEREIRA, D. C.; CARLA, A. C. S. Fluorescência da clorofila como uma ferramenta possível para seleção de tolerância à salinidade em girassol **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 893-897, out-dez, 2011

DRUMMOND, O. A.; PURCINO, A. A. C.; CUNHA, L. H. S.; VELOSO, J. M.; **Cultura do pinhão-manso**. EPAMIG, Belo Horizonte. 99 p ,1984.

EPAMIG (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais). **Coletânea sobre pinhão-manso**. 2003. Disponível em: <<http://www.epamig.br>> Acesso em: 06 março 2011.

FANIZZA, G.; RICCIARD, L; BAGNULO, C.; Leaf greenness measurements to evaluate water stressed genotypes in *Vitis vinifera*. **Euphytica**, v.55, p.27-31, 1991.

FOIDL, N. G.; M. SANCHEZ; M. MITELBACH; *Jatropha curcas* L. as source for the production of biofuel in Nicarágua. **Bioresource Technology**, v. 58, p. 77-82, 1996.

GIAVENO C. D.; FERRAZ R. O.; ESTRESSE AMBIENTAL: CONCEITOS GERAIS Departamento de Ciências Biológicas da ESALQ/USP – Lab. Fisiologia de Plantas Cultivadas sob Condições de Estresse, Piracicaba, SP , 2010.

GIL, P.T.; FONTES, P.C.R; CECOM, P.R; FERREIRA, F.A. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade da batata. **Horticultura Brasileira**, v.20, p.611- 615, 2002.

Guedes, C. K.; Dantas, F. P.; Raj, G. H.; Gomes, N. R.; Silva, S. T. Crescimento, produção e características de fluorescência da clorofila a em amendoim sob condições de salinidade, **Revista Ciência Agronômica**, vol. 40, n°. 4, , p. 514-521, 2009 Universidade Federal do Ceará Ceará, Brasil

HELLER, J. *Physic nut. Jatropha Curcas* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. **Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research**, Gatersleben/ International Plant Genetic Resources Institute, Rome, 66p.1996.

HENNING, R. K.; Evaluation of the existing *Jatropha* activities and proposals for an implementation strategy in Southern Province of Zambia, **The Jatropha System in Zambia** 1999. Disponível em: <<http://www.jatropha.de/zimbabwe>>. Acesso em: 17 março 2011.

JONES, H.G.; JONES, M.B. Introduction: some terminology and common mechanisms. In JONES,H.G.; FLOWERS, M; JONES, M.B. **Plants under stress**.Cambridge press. 1991.

JONGSCHAAP, R. E. E.; CORRE, W. J; BINDRABAN, P. S.; BRANDENBURG W.A. Claims and facts on *jatropha curcas*. **Plant Research International** B.V., Wageningen. Stichting Het Groene Woudt, Laren, p. 1-42, out. 2007.

KONRAD, M. L. F.; SILVA, J. A. B.; FURLANI, P. R.; MACHADO, E. C.; Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. **Bragantia**, v. 64, n. 3, p. 339-347, 2005.

KRAUSE, G.H.; WEIS, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v.42, 313-349 p., 1991.

KUMAR, G.P.; YADAV, S.K.; THAWALE, P.R.; SINGH, S.K.; JUWARKAR, A.A..Growth of *Jatropha curcas* on heavy metal contaminated soil amended with industrial wastes and *Azotobacter* – A greenhouse study. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 2078–2082, 2008.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**, São Carlos, SP: Rima artes, 531 p, 2000.

MACHADO E. C.; TAMBELLI P. S.; LÁZARO C. M.; VASCONCELOS R. R.; Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 40, n. 12, p.1161-1170, 2005.

MACIEL, R. **Origem, utilização e distribuição do pinhão-mansão**. 2007. Disponível em: <http://cearabiodiesel.blogspot.com/2007/11/pinho-manso.html>, Acesso em: 6 de dezembro de 2011.

MAROCO J.P., RODRIGUES M.L., LOPES C., CHAVES M.M., Limitations to leaf photosynthesis in grapevine under drought – Metabolic and modelling approaches. **Functional Plant Biology**, 29, 1-9, 2002.

MARTINS, H., TEIXEIRA, L. C., OLIVEIRA, A. M., Perspectivas de utilização do pinhão-mansão como fonte potencial à produção de combustíveis líquidos. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA**, III, 1984, Rio de Janeiro. Anais Rio de Janeiro: p. 1611-1613, 1984.

MARENCO, R.A.; LOPES, N.F. Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. 2 ed. **Editora UFV**, Viçosa, MG, p.469, 2007.

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

MATTOS E.A., HERZOG B., LÜTTGE U., Chlorophyll fluorescence during CAM phases in *Clusia minor* L. under drought stress. **Journal of Experimental Botany**, 50 (331), 253-261 p, 1999.

MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence: a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, p. 659-668, 2000.

NUNES, C.F. Caracterização de Frutos, Sementes e Plântulas e Cultivo de Embriões de Pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), **Dissertação (Mestrado Fitotecnia)**. Universidade Federal de Lavras. 2007.

OLIVEIRA, R.B; GODOY, S. A. P.; COSTA, F. B. **Plantas Tóxicas: Conhecimento e Prevenção de Acidentes**. Ribeirão Preto: Holos, 2002.

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

PRIOR, L. D.; EAMUS, D.; DUFF G. A. Seasonal and Diurnal Patterns of Carbon Assimilation, Stomatal Conductance and Leaf Water Potential in Eucalyptus tetrodont Saplings in a Wet–Dry Savanna in Northern Australia. **Australian Journal of Botany**, v. 45 p. 241–258 , 1997.

RIBEIRO, R.V.; MACHADO, E.C.; OLIVEIRA, R.F. Early photosynthetic responses of sweet orange plants infected with *Xylella fastidiosa*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v.62, p.167-173, 2003.

ROSA L., DILLENBURG L., FORSETH I., **Responses of soybean leaf angle, photosynthesis and stomatal conductance to leaf and soil water potential**. *Ann Botany*, 67, 51-58, 1991.

ROSYARA, U.R.; DUVEILLER, E.; PANT, K.; SHARMA, R.C.; Variation in chlorophyll content, anatomical traits and agronomic performance of wheat genotypes differing in spot blotch resistance under natural epiphytotic conditions. **Aust. Plant Pathol.**, v.36, p.245-51, 2007.

SANTOS, S.; FERRIRA JUNIOR, E. J.; PIRES, B.; NETTO, A.P. da C. Efeito de diferentes adubações no desenvolvimento inicial de mudas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). In: **5 Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel**. Varginha – MG, 2007.

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

SINCLAIR, W.A.; WHITLOW, T.H.; GRIFFTHS, H.M.. Heritable tolerance of ash yellows phytoplasmas in green ash. *Can. J. For. Res.*, v.27, p.1928-1935, 1997.

SLUSZZ, T.; MACHADO, J. A. D. Características das potenciais culturas matérias

primas do biodiesel e sua adoção pela agricultura familiar. XLIV CONGRESSO DA SOBER “Questões Agrárias, Educação no Campo e Desenvolvimento” Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, **Agreded**, p.1-10, 2006.

SOUZA, R.P.; MACHADO, E.C; SILVA ,J.A.B.; LAGÔA, A.M.M.A.; SILVEIRA, J.A.G.; Photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and some associated metabolic changes in cowpea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery. **Environmental and Experimental Botany**, n. 51, 45-56 p., 2004.

SWIADER, J.M.; MOORE, A. SPAD - chlorophyll response to nitrogen fertilization and evaluation of nitrogen status in dryland and irrigated pumpkins. **Journal of Plant Nutrition**, v. 25, p.1089-1100, 2002.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 719 p, 2004.

TONG, L.; SHU-MING, P.; WU-YUAN, D.; DAN-WEI, M.; YING, X.; MENG, X.; wastes and Azotobacter – A greenhouse study. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 2078–2082, 2008.

TORRES NETTO, A.; Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Scientia Horticulturae**, v. 104, p.199-209, 2005.

UDDLING, J.; GELANG-ALFREDSSON, J.; PIIKKI, K.; PLEIJEL, H. Evaluating the relation-ship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings. **Journal Photosynthesis Research**, Dordrecht, v.91, n.1, p.37-46, 2007.

XIONG L., SCHUMAKER K.S., ZHU J.K., Cell signaling during cold, drought, and salt stress. **The Plant Cell**, 14, 165-183,2002.

ZHANG, Y.; WANG, Y.; JIANG, L.; XU, Y.; WANG, Y.; LU, D.; CHEN, F. Aquaporin JcPIP2 is Involved in Drought Responses in *Jatropha curcas*. **Acta Biochimica et Biophysica Sinica**, v. 39, n. 10, p. 787–794, 2007.

ZORATELLI, L.; CARDOSO, E. G. ; PICCININ, J. L.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; TORRES, E.; ALVES, B. J. R.; Calibração do medidor de clorofila Minolta SPAD-502 para uso na cultura do milho. **Comunicado Técnico**, n.55, 2002.

Capítulo 2

CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DO PINHÃO-MANSO (*Jatropha curcas* *L.*) SUBMETIDO A DIFERENTES NÍVEIS DE ESTRESSE HÍDRICO

São Luís

2012

Resumo

O pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) é uma planta da família Euphorbiaceae, oleaginosa perene, possui um grande potencial como fonte para a produção de biodiesel. Este trabalho teve como objetivo, estudar os efeitos do estresse hídrico em seu crescimento e desenvolvimento por meio de medidas biométricas e fluorescência da clorofila *a*. O estudo foi conduzido na Universidade Estadual do Maranhão - UEMA em São Luís - MA, com um delineamento inteiramente casualizado, propagação por estacas, constando de três tratamentos (T1 - 200 ml, T2 - 100 ml e T3 - 50 mL de rega diária), totalizando 45 plantas. As avaliações biométricas foram feitas a partir dos 56 dias após o estaqueamento, iniciou-se a implantação dos tratamentos. As variáveis biométricas avaliadas foram: altura da planta, diâmetro do caule, número de folhas, queda das folhas, área foliar, matéria fresca e matéria seca. O número de brotos, número de flores abertas e o número de frutos por planta também foi avaliado. Foram determinados também a fluorescência inicial (F0), fluorescência máxima (Fm) e eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm), dissipação não-fotoquímica (qN) e coeficiente de dissipação não-fotoquímica (NPQ) e os parâmetros de crescimento (diâmetro do caule, altura, área foliar e número de folhas) foram afetados pelo estresse hídrico demonstrando uma diminuição no crescimento.

Palavras-chave: Pinhão-manso, estresse hídrico, fluorescência da clorofila *a*.

Abstract

The jatropha (*Jatropha curcas* L.) is a plant family Euphorbiaceae perennial oilseed, has great potential as a source for biodiesel production. This work aimed to study the effects of water stress on growth and development through biometric measurements and chlorophyll fluorescence. The study was conducted at the State University of Maranhão - UEMA in Sao Luis - MA, with a completely randomized design, propagation by cuttings, consisting of three treatments (T1 - 200 ml, T2 - T3 and 100 ml - 50 ml daily watering) , totaling 45 plants. The biometric evaluations were made from 56 days after striking, began the implementation of treatments. The biometric variables were evaluated: plant height, stem diameter, number of leaves, falling leaves, leaf area, fresh and dry matter. The number of shoots, number of open flowers and fruit number per plant was also evaluated. We also determined the initial fluorescence (F0), maximal fluorescence (Fm) and quantum efficiency of photosystem II (Fv / Fm), non-photochemical dissipation (qN) and coefficient of non-photochemical dissipation (NPQ) and Parameters growth (stem diameter, height, leaf area and leaf number) were affected by water stress demonstrating a decrease in growth.

Key words: *Jatropha*, water stress, chlorophyll a fluorescence

1.Introdução

O pinhão-manso é considerado como uma possível oleaginosa para a agricultura familiar no semi-árido nordestino. Tal potencialidade surgiu por causa da possível eficiência em tolerar o déficit hídrico, e por sua grande rusticidade e possibilidade de uso na produção do biodiesel. Pode ainda ser cultivado em consórcio com outras culturas como o amendoim, algodão, entre outras e com a vantagem de ser perene. Atualmente a preocupação com o efeito estufa, o aquecimento global e a escassez das reservas mundiais de combustível fóssil, o pinhão-manso tem despertado interesse dos produtores, do governo e das instituições de pesquisa (ARRUDA *et al.*, 2004).

O déficit hídrico é a mais importante limitação à produtividade vegetal. Segundo Taiz e Zeiger (2004), o desenvolvimento de variedades resistentes à seca assume particular importância no panorama de alterações climáticas, em que o aumento da temperatura prolonga o período de restrições hídricas das plantas. Por isso programas de seleção de espécies para uma maior tolerância ao estresse hídrico, mantendo uma boa eficiência do uso da água e uma boa capacidade fotossintética, de modo a garantir um aumento de produção em condições de regime hídrico vem sendo desenvolvido.

Pesquisas para validar sistemas de produção de pinhão manso têm sido desenvolvidas em diversas regiões do Brasil. As ações são embasadas em conhecimentos de ecofisiologia e de fenologia para melhor adequar o cultivo do pinhão-manso às diferentes características ambientais. Entretanto, pouco se conhece sobre o processo fotossintético e como os fatores do ambiente como água, temperatura e luz afetam o pinhão-manso. Sendo assim, estudos desta natureza são fundamentais para compreender os processos adaptativos dessa espécie, além de fornecer informações avançadas sobre alguns processos fisiológicos para serem usados em futuros programas de melhoramento genético e para o zoneamento agrícola da espécie.

Como o pinhão-manso vem sendo ainda pouco estudado no Brasil e diante do crescente interesse no seu uso para produção de biocombustível no cenário mundial, trabalhos que visem determinar padrões fenológicos, além de fornecerem informações de interesse produtivo, são relevantes subsídios para a compreensão da dinâmica da cultura e para planos de manejo. Além disso, o conhecimento da fenologia dessa cultura é de grande interesse uma vez que fornece uma série de informações sobre crescimento

e desenvolvimento, as quais podem ser utilizadas para programas de melhoramento quantitativo e qualitativo da espécie.

Entretanto, pouco se conhece sobre o processo fotossintético e como os fatores do ambiente como água, temperatura e luz afetam o pinhão-manso. Estudos desta natureza, porém, são fundamentais para compreender os processos adaptativos dessa espécie, além de fornecer informações avançadas sobre alguns processos fisiológicos para serem usados em futuros programas de melhoramento genético e para o zoneamento agrícola da espécie.

Esta pesquisa objetivou, avaliar o crescimento e desenvolvimento da *Jatropha curcas* L. cultivado em condições de déficit hídrico, bem como o comprometimento da fase fotoquímica da fotossíntese por esse fator.

2. Material e Métodos

2.1 Material vegetal e condições de cultivo

2.1.1 Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia. Durante o período de estudo, de julho a setembro de 2011, a precipitação média foi de 60 mm, a temperatura média foi de 28°C, com uma umidade relativa média de 80%, e precipitação total de 167,4 mm (Figura 1A e 1B).

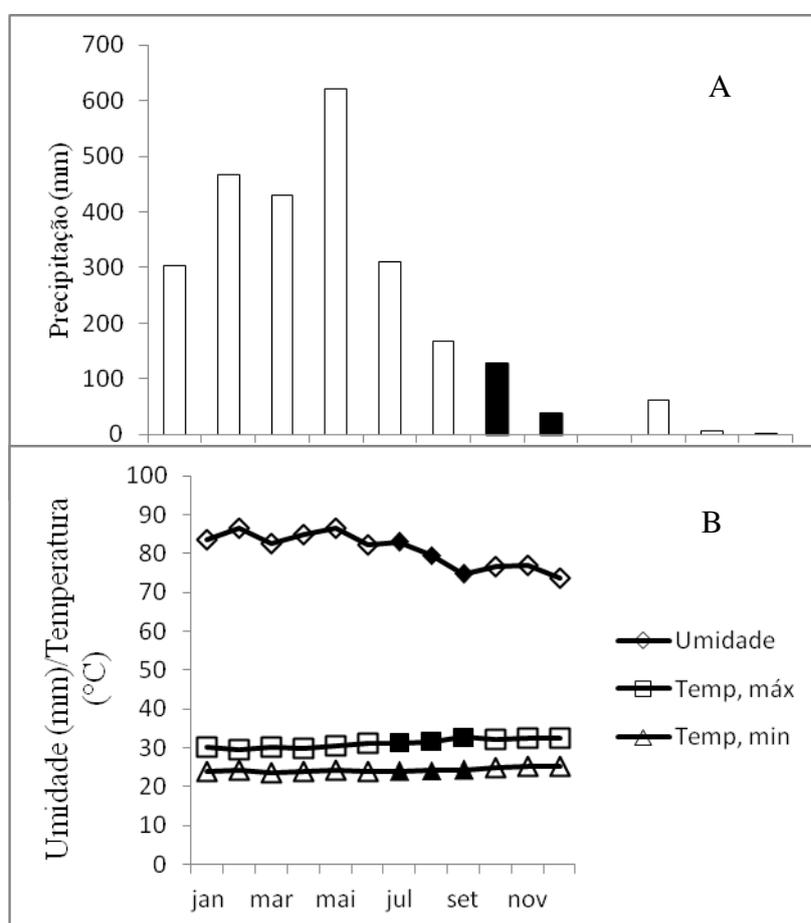


Figura 1: Distribuição de precipitação (A), umidade relativa (B), temperatura máxima (B) e mínima (B) ao longo do ano de 2011. Os meses de estudo estão em destaque (julho, agosto e setembro) no município de São Luís – MA (Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia).

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, na cidade de São Luís, localizada nas coordenadas geográficas 02° 35' 24,0"S e 044° 12' 32,1"W, com 33 m de altitude ao nível do mar. O estudo utilizou mudas fornecidas de estacas de pinhão-manso (*Jathopa curcas* L.) de um acesso originário do Paraná, cultivado no jardim clonal localizado na unidade experimental da Fazenda Escola da UEMA, no período de julho a setembro de 2011 (Figura 2).



Figura 2: Foto do experimento com planta de *Jatropha curcas* L., em casa de vegetação na Universidade Estadual do Maranhão – UEMA.

As avaliações iniciaram aos 56 dias após o estaqueamento, quando as regas diárias de manutenção foram suspensas e iniciaram-se as regas diárias conforme cada tratamento e após 5 dias começaram as anotações semanais durante os dias 26 de julho, 2, 9, 16 e 23 de agosto 2011.

Os bioensaios constaram de três tratamentos e quinze repetições totalizando 45 plantas em vasos de 20 L, que foram submetidas a diferentes níveis de estresse hídrico, com regas diárias de 200 mL (T1), 100 mL (T2) e 50 mL (T3) de água, com delineamento experimental inteiramente casualizado. Os resultados foram submetidos ao teste de Tukey a 5% de significância.

A composição do solo para a condução do experimento foi de 75% de terra preta de textura franco arenosa e 25% de esterco bovino, o qual foi esterilizado em autoclave a 120°C, durante 2 hora, devido o solo esta infectado pelo fungo *Fusarium sp* e adicionando-se 250 g de calcário e 100 g de NPK (formulação 18-18-18) por vaso, segundo a necessidade observada após as análises química e física do solo (Tabela 1).

Para o controle de pragas (pulgões e ácaros), foram realizadas pulverizações periódicas com extrato de pimenta (Henrique *et al.*2008).

Tabela 1. Resultado da análise física e química do solo, realizado no Núcleo Tecnológico de Engenharia Rural, laboratório de solos.

M.O	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	Na	Al	C	Textura
g/dm ³	CaCl ₂	mg/dm ³	mmol _c /dm ³						%	Franco Arenoso
23	4,6	131	6,7	12	11	33	10,9	0	1,32	

2.2 Análises Biométricas

Foram utilizadas 45 plantas para o acompanhamento do crescimento e obter dados de número de folhas, altura da plantas e diâmetro do coleto. Essas medidas foram realizadas no período entre julho/2011 e setembro/2011 e em seguida foram coletadas 4 plantas por tratamento, para a determinação da massa seca.

A avaliação da abscisão foliar foi estimada utilizando o número total de folhas e cicatrizes, a cada semana através da equação:

$$(\text{Número de Folhas Abscindidas}/\text{Número total de folhas}) \times 100 \quad \text{Eq. 1}$$

As observações fenológicas foram realizadas semanalmente, onde foram mensurados o número de botões florais, número de flores abertas e número de frutos por planta que foram contados, segundo a metodologia de Bencke e Morellato (2002).

A massa fresca de folha, caule e raiz foi obtida através da coleta de quatro plantas por tratamento. As amostras foram pesadas em balança de precisão, separando folhas, caules e raízes. Em seguida, a biomassa fresca, devidamente identificada, foi colocada em estufa de ventilação forçada de ar, a temperatura de 75°C, e o peso de matéria seca após 48 horas.

A área foliar total foi determinada com o Medidor de Área Portátil Laser, AM 300 da ADC (Figura 3), utilizando quatro plantas por tratamento no ultimo dia de avaliação para mensuração da área total.



Figura 3: Medidor de Área Portátil Laser, AM 300, ADC, utilizado para mensuração da área foliar de *Jatropha curcas* L.

2.3 Determinação da eficiência fotoquímica

As avaliações de fluorescência foram realizadas com um analisador portátil de CO₂ no infravermelho, IRGA, modelo LI-6400 (LI-COR, Lincoln, NE, USA) (Figura 4A e 4B). As avaliações, foram feitas nos dias 7 e 9 de setembro, nos horários de 8:00, 12:00 e 16:00 horas, utilizando-se, para isto, quatro plantas por tratamento.

As medições de fluorescência inicial (F_0), fluorescência máxima (F_m) e eficiência quântica máxima do fotossistema II (F_v/F_m), dissipação não-fotoquímica (q_N) e coeficiente de dissipação não-fotoquímica (NPQ) foram determinadas após adaptar as folhas ao escuro, por 30 minutos, por meio de pinças fornecidas pelo equipamento (Figura 3 C e D).

As leituras foram realizadas com pulsos de luz saturantes ($1500 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) de 1s, para promover o fechamento dos centros de reação do PSII, de acordo com o método descrito por Maxwell e Johnson (2000).



Figura 4: Medições da fluorescência da clorofila a por meio do Analisador portátil de CO₂ no infravermelho (A e B), e adaptação ao escuro por 30 minutos por meio de pinças (C e D), em folhas de *Jatropha curcas* L., no município de São Luís - MA.

2.4 Determinação do índice SPAD-502

A estimativa do teor de clorofila total foi avaliado por meio do medidor portátil de clorofila SPAD-502 (Minolta, Japão) nas mesmas folhas onde foram feitas as medidas dos parâmetros de fluorescência, com 5 leituras na mesma folha (Figura 5).



Figura 5: Medidor portátil de clorofila SPAD-502 (Minolta, Japão), utilizado em folhas de *Jatropha curcas* L., no município de São Luís - MA.

3. Resultados e Discussão

3.2 Análise Biométrica

O pinhão-mansão apresentou altura média de planta de 47,69 cm no tratamento T1, 46,30 cm no tratamento T2 e 46,23 cm no tratamento T3 para todo o período de avaliação. A variável altura não apresentou diferença significativa entre os tratamentos nos períodos de avaliação (Figura 6A).

Para o diâmetro do caule, as plantas apresentaram uma média para todo o período de avaliação de 15,35 mm no tratamento T1, 15,05 mm no tratamento T2 e 14,97 mm no tratamento T3, tendo uma diferença estatística no quinto dia que pode ter sido ocasionada por causa da acumulação do estresse hídrico. Rodrigues (2009), cultivando pinhão-mansão sob condições de estresse hídrico e salino, em ambiente protegido, concluiu que o estresse hídrico afetou as variáveis altura de plantas e diâmetro caulinar do pinhão-mansão nos cinco períodos estudados, ocorrendo decréscimo significativo ao nível de 1% de probabilidade nas variáveis.

As plantas de pinhão-mansão no presente estudo apresentaram, entre os meses de julho a setembro de 2011, um crescimento médio de 0,66 cm semana⁻¹ no tratamento T1, 0,90 cm semana⁻¹ no tratamento T2 e 0,68 cm semana⁻¹ no tratamento T3. É provável que a não ocorrência de diferença estatística entre os tratamentos com relação a altura das plantas tenha sido devido a uma certa tolerância ao déficit hídrico da cultura, e pela utilização de propagação vegetativa e ao curto período de avaliação para observar diferença entre os tratamentos.

Para a variável diâmetro do coleto, verificou-se aumentos médios de 0,48 mm semana⁻¹ no tratamento T1, 0,30 mm semana⁻¹ no tratamento T2 e 0,21 mm semana⁻¹ no tratamento T3, denotando desenvolvimento lento nos dias de avaliação. Observa-se na figura 6B que os dados de diâmetro das plantas não apresentaram diferença estatística entre os tratamentos, exceto no quinto dia de avaliação onde o tratamento T1 (200 mL de rega diária) diferenciou estatisticamente do tratamento T3 (50 mL de rega diária).

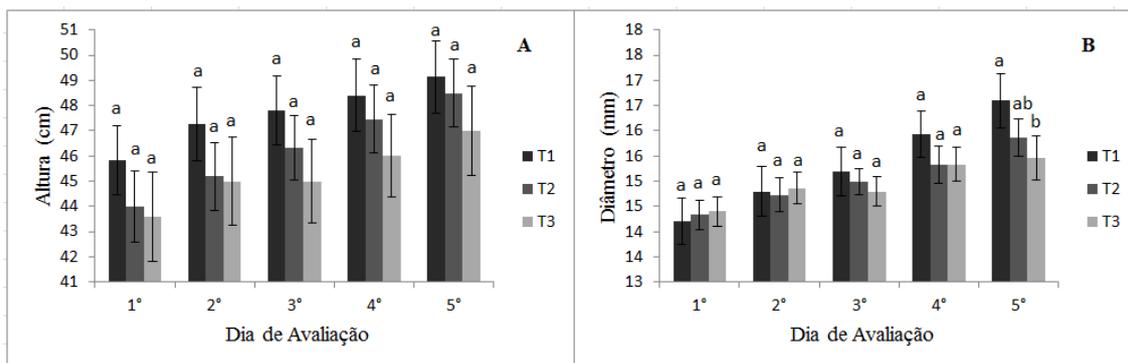


Figura 6: Valores médios de altura em cm (A) e de diâmetro do caule em mm (B), de plantas de *Jatropha Curca* L., submetidas a estresse hídrico. T1-200 mL de rega diária, T2-100 mL de rega diária e T3-50 mL de rega diária, no município de São Luís – MA. Teste de Tukey a 5% de significância.

3.2.1 Número de Folhas e Abscisão foliar

O surgimento de novas folhas foi observado com frequência durante o primeiro dia de avaliação, onde o estresse hídrico não estava estabelecido, com brotamento de gemas e crescimento de folhas (Figura 7) e com menos intensidade, durante os dias seguintes de observação. O pinhão-manso apresentou em todos os dias de avaliação uma média de 15,8 folhas no tratamento T1, 14,3 folhas no tratamento T2 e 14,3 folhas no tratamento T3. De acordo com LARCHER (2000), os eventos fenológicos estão relacionados às alterações de disponibilidade hídrica, sendo importante para o crescimento e desenvolvimento das plantas. É comum observar que a espécie diminui seu crescimento e começa a perder folhas a partir das restrições hídricas. Quanto ao número de folhas, não foi observado diferença estatística entre os tratamentos (Figura 8).

Observa-se que a variável número de folhas por tratamento sofre uma queda durante os dias de avaliação. Essa diminuição das folhas pode ter sido consequência do estresse hídrico e das altas temperaturas dentro da casa de vegetação. A queda das folhas mais velhas contribui para a diminuição do gasto de água. Segundo Rannyer (2010), em um experimento com duas procedências de pinhão-manso e seis níveis de salinidade, o autor também não observou diferença estatística entre a procedência e observou queda em número de folhas.

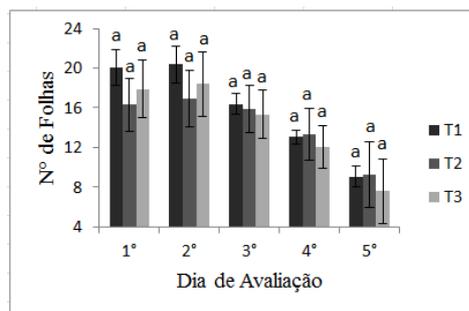


Figura 7. Valores médio de número de folhas em plantas de *Jatropha Curca* L., submetidas a estresse hídrico. T1-200 mL de rega diária, T2-100 mL de rega diária e T3-50 mL de rega diária, no município de São Luís – MA. Teste de Tukey a 5% de significância.

A perda de folhas minimiza os estresses ambientais, provocados por períodos de seca ou frio (COSTA, 2002). A queda das folhas pode ser um fator indutor do brotamento e essa abscisão foliar foi observada no início das avaliações em todos os tratamentos, com 50% no tratamento T1, 55% no tratamento T2, e 56% no tratamento T3, sendo a perda de folhas mais acentuada no último dia de avaliação com 64% de abscisão foliar no tratamento T1 (200 mL de rega diária), 62% de abscisão foliar no tratamento T2 (100 mL de rega diária) e 70% de abscisão foliar no tratamento T3 (50 mL de rega diária) (Tabela 2).

Segundo Bianchini (2006), a redução da disponibilidade de água no solo para as plantas pode ocasionar a abscisão das folhas. No período de estudo, a temperatura máxima do ar estava em torno de 31°C (Figura 5B), no entanto, nos horários mais quentes do dia a temperatura no interior da casa de vegetação passou de 45°C, sugerindo a influência de outros fatores ambientais, além da disponibilidade de água, sobre a fenologia da espécie.

A dormência do pinhão-manso é induzida pelas flutuações climáticas de temperatura e luminosidade, mas nem todas as plantas respondem a esse estímulo, podendo-se ter num cultivo, tanto ramos desfolhados, como outros cheios de folhas verdes (HENNING, 1999).

A abscisão foliar foi percebida durante todos os dias de avaliação, o que deve ter sido ocasionado pelas interferências de diversos fatores como, por exemplo, a baixa disponibilidade hídrica e umidade relativa abaixo de 80% (Figura 5B).

Em um trabalho com *Jatropha gaumeri*, o comportamento e as correlações verificadas entre fatores climáticos e a fenofase de queda foliar indicam que a precipitação é um importante fator na regulação da intensidade dessa fenofase (SAYER e NEWBERY, 2003).

Tabela 2: Porcentagem de Abscisão foliar de planta de *Jatropha curcas* L., submetidas a estresse hídrico.

Tratamentos	Dia de Avaliação				
	1°	2°	3°	4°	5°
T1	50%	49%	53%	57%	64%
T2	55%	54%	54%	58%	62%
T3	56%	55%	61%	64%	70%

T1-200 mL de rega diária, T2-100 mL de rega diária e T3-50 mL de rega diária.

3.2.2 Inflorescência

Os levantamentos fenológicos fornecem informações sobre padrões de florescimento e de frutificação de uma espécie que são a base para se compreender, tanto o processo, quanto o sucesso reprodutivo (FISCH *et al.*, 2000). Além disso, a avaliação do comportamento fenológico propicia o conhecimento e a definição das épocas em que ocorrem as diversas fases do período vegetativo das plantas, o que pode auxiliar na escolha das práticas culturais indicando, por exemplo, a melhor época de colheita e de plantio para cada espécie (BERGAMASCHI, 2008). O conhecimento da dinâmica fenológica é, portanto, indispensável para a elaboração de estratégias de conservação e manejo de espécies (FALCÃO *et al.*, 2003).

O estudo permitiu observar que o número total de inflorescências durante o período de avaliação apresentou diferença estatística apenas no primeiro dia de avaliação entre o tratamento T1 em relação aos tratamentos T2 e T3, que pode ter ocorrido devido a cultura ter respondido ao regime hídrico como estímulo de floração, o pico ocorreu no primeiro dia de avaliação (Tabela 3), observando que a floração teve presente durante os dias das avaliações. Santos *et al.* (2005) verificaram que as inflorescências de *Jathopha mutabilis* tinham duração média de 20 dias e em *J. mollissima* tinham duração média de 30 dias. Ainda na tabela 3, observa-se que na última avaliação ocorreu uma modesta iniciação de novas inflorescências nos tratamentos.

Tabela 3: Número de Inflorescência de plantas de *Jatropha curcas* L., submetidas a estresse hídrico no município de São Luís – MA.

Tratamentos	Dias de Avaliação				
	1°	2°	3°	4°	5°
T1	19 _a	4 _a	3 _a	2 _a	6 _a
T2	32 _b	8 _a	5 _a	5 _a	4 _a
T3	37 _b	2 _a	2 _a	4 _a	10 _a

*valores seguidos da mesma letra nas colunas não apresentam diferença estatística em nível de 5% de probabilidade utilizando o teste de tukey, T1-200 mL de rega diária, T2-100 mL de rega diária e T3-50 mL de rega diária.

O pico de floração, incluindo botões florais fechados e flores abertas, observados na figura 8, ocorreu no primeiro dia de avaliação. Observa-se que a espécie obteve floração com média de 14,5 botões forais fechados e 4,3 flores abertas no tratamento T1, 28,3 botões forais fechados e 3,9 flores abertas no tratamento T2 e 33,9 botões forais fechados e 2,60 flores abertas no tratamento T3 (Tabela 4 e 5). Foi observado diferença estatística no início das avaliações para o número de botões fechados entre o tratamento T1 e T3, observando-se também diferença estatística no número de flores abertas no segundo dia de avaliação entre os tratamentos T1 e T2 (Tabela 4 e 5, respectivamente). Nos dias seguintes de avaliação, nota-se uma diminuição no número de botões florais fechados e flores abertas, que foi afetado pelos dias de estresse hídrico prolongado e por terem iniciado o processo de frutificação.

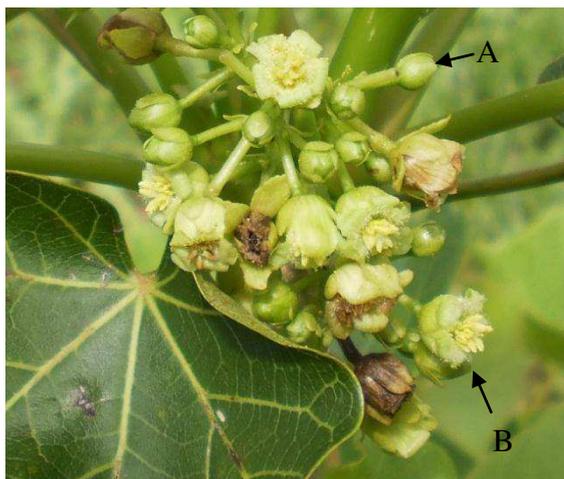


Figura 8: Botões florais fechados (A) e flores abertas (B), de planta de *Jatropha curcas* L., no dia 26/07/2011, no Município de São Luís - MA.

Tabela 4. Número de botões florais fechados de plantas de *Jatropha curcas* L., submetidas a estresse hídrico no município de São Luís - MA.

Tratamento	Dia de Avaliação				
	1°	2°	3°	4°	5°
T1	14,53 _a	3,53 _a	2,00 _a	1,68 _a	5,13 _a
T2	28,33 _b	7,33 _a	4,13 _a	4,53 _a	3,00 _a
T3	33,87 _b	1,80 _a	1,80 _a	3,87 _a	8,67 _a

*valores seguidos da mesma letra nas colunas não apresentam diferença estatística em nível de 5% de probabilidade utilizando o teste de tukey. T1-200 mL de rega diária, T2-100 mL de rega diária e T3-50 mL de rega diária.

Tabela 5. Número de flores abertas de planta de *Jatropha curcas* L., submetidas a estresse hídrico, no município de São Luís - MA.

Tratamentos	Dia de Avaliação				
	1°	2°	3°	4°	5°
T1	4,33 _a	0,20 _a	0,27 _a	0,00 _a	0,73 _a
T2	3,93 _a	1,13 _b	0,93 _a	0,07 _a	0,60 _a
T3	2,60 _a	0,27 _a	0,73 _a	0,20 _a	0,87 _a

*valores seguidos da mesma letra nas colunas não apresentam diferença estatística em nível de 5% de probabilidade utilizando o teste de tukey. T1-200 mL de rega diária, T2-100 mL de rega diária e T3-50 mL de rega diária.

3.2.3 Frutificação

As plantas de pinhão-manso apresentaram os primeiros frutos aos 63 dias após o estaqueamento no tratamento T2 (Tabela 6). Nesse período foi registrada a presença de um fruto verde e um pequenos frutos no tratamento T2 e um pequenos frutos no tratamento T3 (Tabela 6 e 7).

A maior produção de frutos foi no quarto dia de avaliação com 6 frutos no tratamento T1, 8 frutos no tratamento T2 e 15 frutos no tratamento T3 (Tabela 6).

Alguns estudos descrevem que os padrões de florescimento e frutificação do pinhão-manso são indispensáveis para auxiliar na previsão da época adequada para realização da colheita dos frutos, que é um processo dispendioso devido à maturação dos frutos ocorrerem de forma desuniforme (MICHELINE, 2010).

Estudando a fenologia da espécie *Alchornea sidifolia* da mesma família do pinhão-manso, Ferraz (1999) verificou que, essa espécie apresentou maior concentração de plantas florindo e frutificando na época chuvosa o que favorece a germinação rápida, na melhor época para o estabelecimento das plântulas.

Em Teresina, Piauí, onde os picos de emissão de flores e frutos em *Jatropha curcas* foram estudados, a produção de frutos maduros apresentou concentrações em dois períodos bem distintos, de fevereiro a abril e de agosto a outubro, configurando as safras das chuvas e de sequeiro (ARAÚJO e RIBEIRO,2008).

Em *Ricinus communis* L, Souza *et al.* (2007) constataram um aumento na produtividade de grãos em mais de 100% no período chuvoso em relação ao período seco. O período de amadurecimento e o ponto de colheita dos frutos são, sobretudo, influenciados pelas condições do clima, que podem atrasar ou acelerar os processos de maturação e envelhecimento do fruto segundo LARCHER (2000).

Tabela 6: Número total de frutos de plantas de *Jatropha curcas* L., submetidas a estresse hídrico, no município de São Luís - MA.

Tratamentos	Dias de Avaliação				
	1°	2°	3°	4°	5°
T1	0	6	6	6	3
T2	1	7	7	8	5
T3	0	12	12	15	4

T1-200 mL de rega diária, T2-100 mL de rega diária e T3-50 mL de rega diária.

Tabela 7: Números de pequenos frutos de plantas de *Jatropha curcas* L., submetidas a estresse hídrico, no município de São Luís – MA.

Tratamentos	Dias de Avaliação				
	1°	2°	3°	4°	5°
T1	0	4	0	1	0
T2	1	8	1	1	0
T3	1	5	0	0	0

T1-200 mL de rega diária, T2-100 mL de rega diária e T3-50 mL de rega diária.

A cultura do pinhão-mansão não possui uma uniformidade na maturação dos frutos e por essa razão houve diferentes registros de frutificação, onde os frutos verdes obtiveram sua melhor produção na segunda avaliação com 6 frutos no tratamento T1, 7 frutos no tratamento T2 e 12 frutos no tratamento T3, sendo observados frutos verdes na terceira e quarta avaliação com produção inferior (Tabela 8).

Os frutos maduros tiveram sua produção máxima na terceira avaliação com 2 frutos no tratamento T1, 3 frutos no tratamento T2 e 9 frutos no tratamento T3 (Tabela 9). Quanto aos frutos secos, a produção iniciou-se no quarto dia de avaliação com 2 frutos no tratamento T1, 2 frutos no tratamento T2 e 8 frutos no tratamento T3 (Tabela 10).

A restrição hídrica provoca alterações no comportamento vegetal cuja irreversibilidade vai depender do genótipo, da duração e severidade do déficit hídrico e do estágio de desenvolvimento da planta.

Por isso no estágio de renovação de folhas e floração de algumas espécies podem também ser inibidas, tanto por períodos secos prolongados quanto por períodos relativamente longos de excessiva umidade, podendo-se considerar isto como uma manifestação de hidroperiodismo (MOÇAMBITE *et al.*, 2005). A indução floral através do estresse hídrico parece também estar relacionada com a redução do crescimento do sistema radicular, uma vez que esta redução pode afetar a síntese dos fitorreguladores, alterando o balanço hormonal da planta (JACKSON, 1993).

A maior produção de frutos no tratamento T3 pode ser explicada devido ao possível hidroperiodismo, apresentando grande número de inflorescências (Tabela 3), e

ao mecanismo de disseminação da espécie, ocorrendo um deslocamento dos recursos hídricos e nutricionais para formação de frutos.

Tabela 8. Número de frutos verdes de planta de *Jatropha curcas* L., submetidas a estresse hídrico, no município de São Luís – MA.

Tratamentos	Dias de Avaliação				
	1°	2°	3°	4°	5°
T1	0	6	2	2	0
T2	1	7	4	1	0
T3	0	12	3	6	0

T1-200 mL de rega diária, T2-100 mL de rega diária e T3-50 mL de rega diária.

Tabela 9: Número de frutos maduros de plantas de *Jatropha curcas* L. submetidas a estresse hídrico, no município de São Luís – MA.

Tratamentos	Dias de Avaliação				
	1°	2°	3°	4°	5°
T1	0	0	2	0	0
T2	0	0	3	4	0
T3	0	0	9	3	0

T1-200 mL de rega diária, T2-100 mL de rega diária e T3-50 mL de rega diária.

Tabela 10: Número de frutos secos de plantas de *Jatropha curcas* L. submetidas a estresse hídrico, no município de São Luís – MA.

Tratamentos	Dias de Avaliação				
	1°	2°	3°	4°	5°
T1	0	0	0	2	3
T2	0	0	0	2	5
T3	0	0	0	8	4

T1-200 mL de rega diária, T2-100 mL de rega diária e T3-50 mL de rega diária.

3.2.4 Área foliar

A área foliar total das plantas nos tratamentos T1 e T2 não apresentou diferença, com média de 547,66 cm² e 578,33 cm², respectivamente. Entretanto, no tratamento T3

(50 mL de rega diária) observa-se diferença estatística em relação aos outros tratamentos com média de 309,09 cm² (Figura 9).

As plantas desenvolvem mecanismos de adaptação à falta de água e um dos principais mecanismos é a redução da área foliar. No entanto, o fechamento dos estômatos e a redução da área foliar são mecanismos que limitam a produtividade, uma vez que provocam queda na absorção de CO₂ e na interceptação de luz, respectivamente (MATTOS *et al.* 1999). A área foliar das plantas é de suma importância para seu desenvolvimento e, segundo Severino *et al.* (2007), esta variável se relaciona diretamente com a capacidade fotossintética de interceptação da luz e interfere na cobertura do solo, na competição com outras plantas.

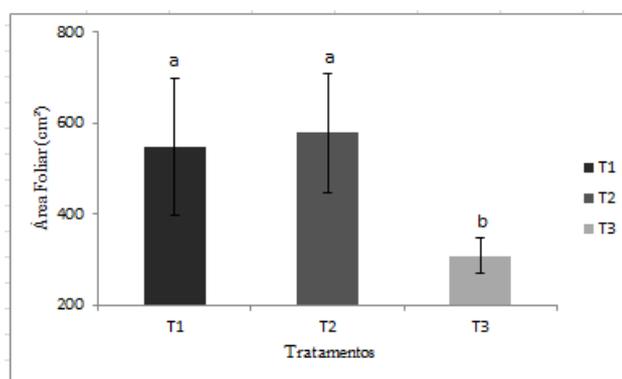


Figura 9: Valores médios de área foliar total de plantas de *Jatropha curcas* L. submetidas a três níveis de regime hídrico, no município de São Luís – MA. T1-200 mL de rega diária, T2-100 mL de rega diária e T3-50 mL de rega diária. Teste de Tukey a 5% de significância.

3.2.5 Massa Fresca e Seca

A produção de biomassa foliar (fresca e seca) de plantas de pinhão-mansão, observada no final do período experimental, apresentou um valor médio de 17,75 g de massa fresca no tratamento T1, 19,28 g no tratamento T2 e 13,09 g no tratamento T3, e não houve diferença estatística entre os tratamentos (Figura 10A).

Em relação à produção de massa seca, a média foi de 3,24 g no tratamento T1, 3,91 g no tratamento T2 e 2,39 g no tratamento T3, notando-se que não houve diferença estatística entre os tratamentos (Figura 10B). As plantas de pinhão-mansão podem estar apresentando esses valores devido a tolerância a baixa disponibilidade de água.

A água é o principal constituinte do tecido vegetal, representando 50 % da massa fresca nas plantas lenhosas e cerca de 80 a 95 % nas plantas herbáceas, sendo necessária como reagente no metabolismo vegetal, transporte e translocação de solutos, na turgescência celular, na abertura e fechamento dos estômatos e na penetração do sistema radicular (TAIZ; ZEIGER, 2004).

A redução da água disponível no solo para a planta influencia negativamente o seu crescimento e desenvolvimento, que são dependentes da turgescência celular, e é possível observar que a biomassa foliar fresca e seca da espécie *Jathopa curcas* apresentou a menor massa no tratamento T3, que recebeu 50 mL de rega diária ou seja, as plantas com maior déficit hídrico (Figura 10).

Avaliando a matéria seca e área foliar da cultura do pinhão-manso sob estresse salino, NERY et. al. (2009) observaram que a área foliar e massa seca das folhas são reduzidas sob condições severas de estresse salino.

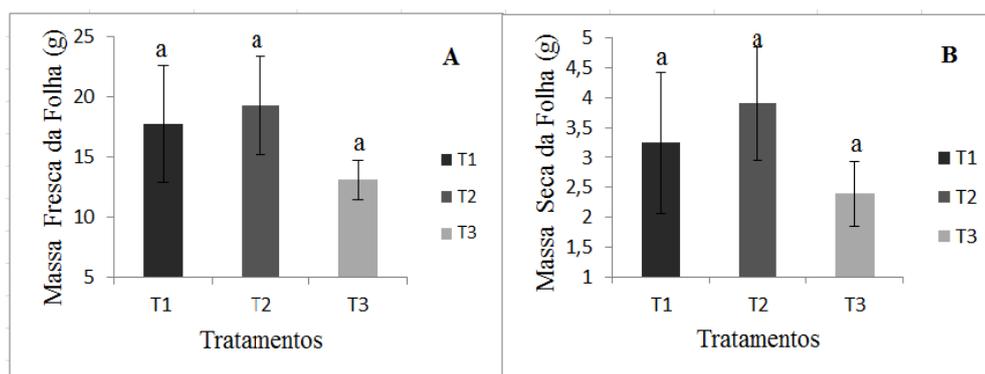


Figura 10: Valores médios de massa fresca foliar (A) e massa seca foliar (B), de planta de *Jatropha curcas* L., submetidas a estresse hídrico no município de São Luís – MA. T1-200 mL de rega diária, T2-100 mL de rega diária e T3-50 mL de rega diária. Teste de Tukey a 5% de significância.

Para os valores de biomassa fresca e seca do caule a média obtida foi de 54,84 g de biomassa fresca no tratamento T1, 48,9 g no tratamento T2 e 48,21 g no tratamento T3, não apresentando diferença estatística entre os tratamentos T1 e T3 (Figura 11A). Os valores para a biomassa seca apresentaram média de 13,79 g no tratamento T1, 14,75 g no tratamento T2 e 13,35 g no tratamento T3, não apresentando diferença estatística entre os tratamentos (Figura 11B).

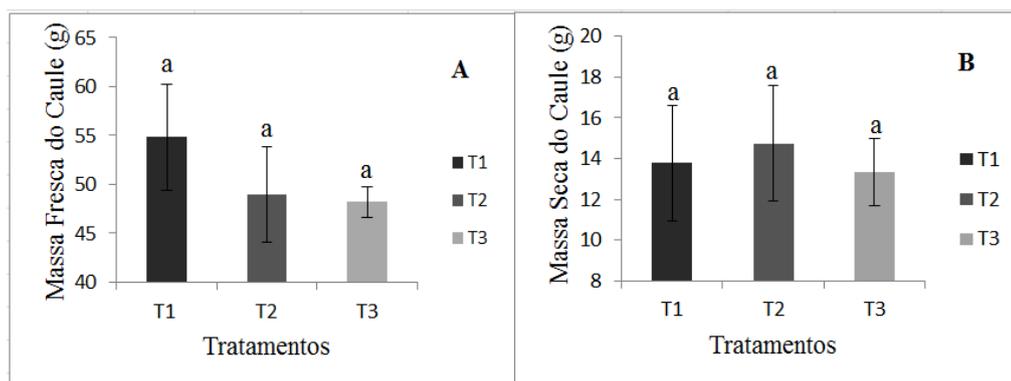


Figura 11: Valores médios de massa fresca do caule (A) e massa seca do caule (B), de planta de *Jatropha curcas* L., submetidas a estresse hídrico, no município de São Luís – MA. T1-200 mL de rega diária, T2-100 mL de rega diária e T3-50 mL de rega diária. Teste de Tukey a 5% de significância.

O órgão radicular é importante na absorção de água e de nutrientes do solo e na síntese de reguladores de crescimento da planta (LARCHER, 2000). O sistema radicular é responsável pelo acúmulo de substâncias de reserva cruciais para o desenvolvimento do pinhão-mansão, portanto, quando esta planta é cultivada em ambiente desfavorável ao seu desenvolvimento espera-se efeitos deletérios, como a redução na produção de fitomassa, bem como a distribuição de compostos entre os demais órgãos (SILVA *et al.*, 2009).

Os dados coletados apresentam valores de biomassa fresca e seca da raiz com média de 1,60 g de biomassa fresca no tratamento T1, 1,94 g no tratamento T2 e 1,15 g no tratamento T3, não apresentando diferença estatística entre os tratamentos (Figura 12A). Os valores médios de biomassa seca foram de 0,925 g no tratamento T1, 0,800 g no tratamento T2 e 0,723 g no tratamento T3, também não apresentando diferença estatística entre os tratamentos (Figura 12B). Avaliando a propagação vegetativa de pinhão manso (*Jatropha curcas*), Silva, 2010 observou nos genótipos 2, 4 e 9 uma média do peso fresco de 0,73 g, 0,89 g e 0,97 g, respectivamente. Estes valores foram obtidos em plantas sem estresse hídrico sugerindo que a produção de massa seca da raiz foi mantida.

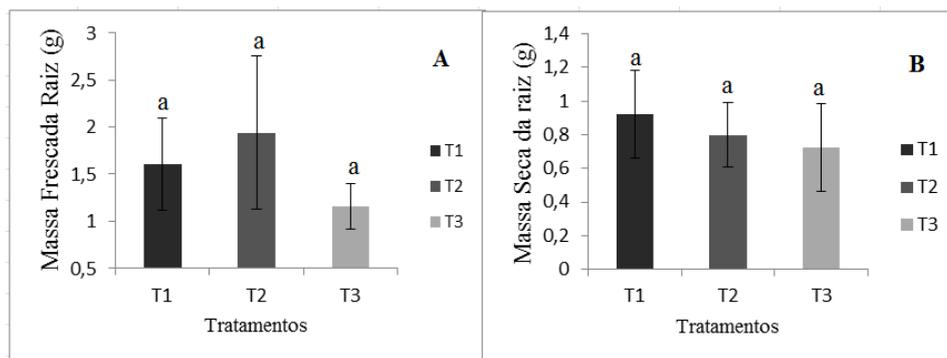


Figura 12: Valores médios de massa fresca da raiz (A) e massa seca da raiz (B), de planta de *Jatropha curcas* L., submetidas a estresse hídrico, no município de São Luís – MA. T1-200 mL de rega diária, T2-100 mL de rega diária e T3-50 mL de rega diária. Teste de Tukey a 5% de significância.

3.2.6 Índice SPAD

O teor de clorofila, estimado pelo SPAD-502, nas folhas de pinhão-mansão apresentou valores médios de 35,2 no tratamento T1, 35,1 no tratamento T2 e 34,9 no tratamento T3, não havendo diferença estatística entre os tratamentos (Figura 13). Esse resultados podem ser explicados por apresentar estresses ambientais e ausência de folhas jovens. De acordo, com as leituras do SPAD-502 valores abaixo de 40 mostram que a clorofila *a* é mais intensamente degradada do que clorofila *b* e por isso uma acentuada diminuição da razão clorofila *a* / *b* (TORRES NETTO, 2005). O estresse hídrico nas plantas não foi suficiente para ser detectado degradação de clorofila na folha, confirmando sua possível tolerância ao déficit hídrico.

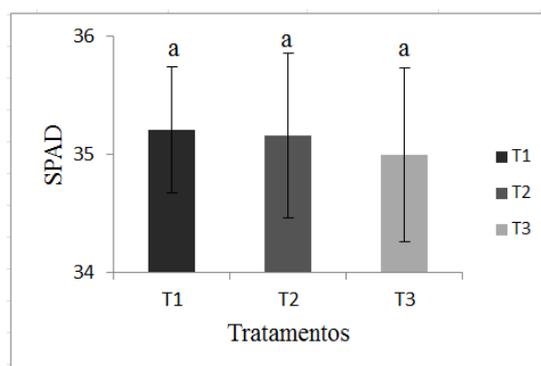


Figura 13: Valores médios de SPAD-502 em folhas de planta de *Jatropha curcas* L. submetidas a estresse hídrico, no município de São Luís – MA. T1-200 mL de rega diária, T2-100 mL de rega diária e T3-50 mL de rega diária. Teste de Tukey a 5% de significância.

3.3. Eficiência fotoquímica

É notável que, quando as plantas são expostas a qualquer estresse ambiental, alterações no estado funcional das membranas dos tilacóides dos cloroplastos provocam mudanças nas características dos sinais de fluorescência, os quais podem ser quantificados nas folhas (RIBEIRO *et al*, 2003; BAKER e ROSENQVST, 2004).

Quanto aos valores da variável F_0 relacionados à fluorescência da clorofila *a* do pinhão-mansão houve diferença estatística no dia 07/09/2011, no horário de 8 horas entre os tratamentos T1 e T2, com média de 603 e 450, respectivamente. No horário das 16 horas, a diferença está em T1 em relação aos outros tratamentos, com médias de 653, 558 e 467, respectivamente (Figura 14A).

No dia 09/09/2011, houve diferença estatística no horário das 16 horas entre os tratamentos T1 e T2 com média de 681 e 608, respectivamente (Figura 14B).

F_0 é medida quando a quinona receptora primária de elétrons (QA) do fotossistema II (PSII) está totalmente oxidada e o centro de reação (P680) está aberto, indicando iminência à ativação das reações fotoquímicas. Essa diminuição de F_0 pode estar relacionada a uma desestabilização do centro de reação do FSII ou diminuição na capacidade de transferência da energia de excitação da antena para o centro de reação (BAKER e ROSENQVST, 2004).

Um comportamento semelhante foi encontrado em folhas de acariquara, *Minquartia guianensis* Aubl, (DIAS; MARENCO, 2007) e em gramíneas forrageiras (SILVA *et al.*, 2006). Esses autores encontraram o aumento de F_0 ao longo do dia

condicionados a diferentes tipos de estresse como altas temperaturas e restrição hídrica. O estresse hídrico provoca danos irreversíveis aos vegetais, o que pode ser refletido pelos indicadores morfofisiológicos estudados no presente trabalho.

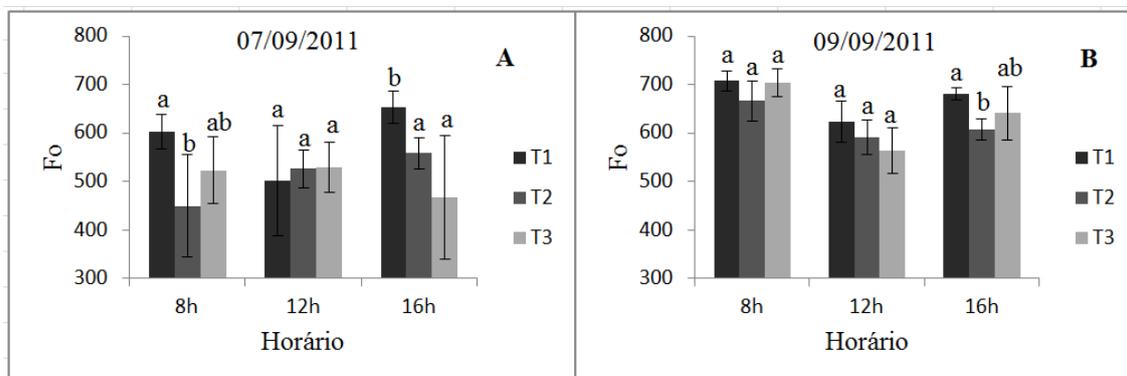


Figura 14: Valores médios da leituras de fluorescência inicial (F_0) em folhas de planta de *Jatropha curcas* L. submetidas a estresse hídrico, no município de São Luís – MA. T1-200 mL de rega diária, T2-100 mL de rega diária e T3-50 mL de rega diária. Teste de Tukey a 5% de significância.

A variável fluorescência máxima (F_m) mostrou um comportamento mais estável ao longo do dia, nos dois dias avaliados (Figura 15A e 15B). Os valores de fluorescência máxima (F_m) no dia 07/09/2011 apresentaram diferença estatística no horário das 8 horas entre os tratamentos T1 (2029 elétrons quantum⁻¹) e T2 (1338 elétrons quantum⁻¹) e às 16 horas a diferença estatística ocorreu entre os tratamentos T2 e T3 com médias de 1608 elétrons quantum⁻¹ no tratamento T2 e 2234 elétrons quantum⁻¹ no tratamento T3 (Figura 15A).

No dia 09/09/2011 houve diferença significativa no horário das 8 horas entre os tratamento T1 e T2 em relação ao tratamento T3, com médias de 2739, 2493 e 3085, elétrons quantum⁻¹, respectivamente (Figura 15B). No horário de 16 horas, a diferença está no tratamento T1 em relação aos tratamentos T2 e T3, com média de 2462, 1662 e 1973 elétrons quantum⁻¹, respectivamente.

Em 09/09/2011, pode-se observar que os valores de F_m foram reduzidos no horário de 12 horas, em todos os tratamentos, e apresentando diferença estatística entre o horário de 8 horas e o horário de 12 horas.

Segundo Baker e Rosenqvist (2004), os valores máximos de fluorescência (F_m) demonstram que o estado em que os centros de reações do PSII são incapazes de

umentar as reações fotoquímicas e a fluorescência atingiu sua capacidade máxima, evidenciando a condição reduzida de toda quinona (QA) pelos elétrons transferidos, a partir do P680.

Os valores de fluorescência máxima (Fm) mostraram um comportamento mais estável ao longo do dia, no dia 07/09/2011 (Figura 15 A). Por outro lado, no dia 09/09/2011 a diminuição dos valores absolutos de Fm caracteriza a diminuição da capacidade de reoxidação das quinonas, resultando em menor eficiência no transporte de elétrons entre os fotossistemas, esse comportamento também foi observado por Silva *et al.* (2006).

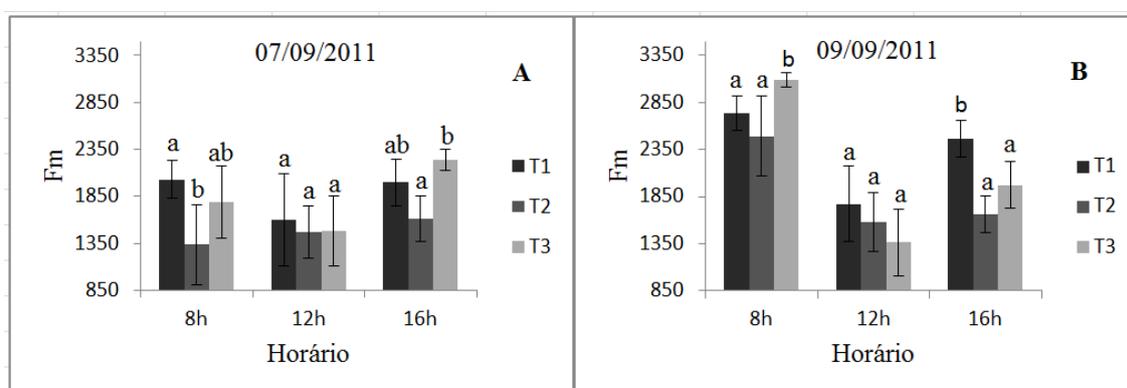


Figura 15: Valores médios de fluorescência máxima (Fm), em folhas de planta de *Jatropha curcas* L. submetidas a estresse hídrico, no município de São Luís – MA. T1-200 mL de rega diária, T2-100 mL de rega diária e T3-50 mL de rega diária. Teste de Tukey a 5% de significância.

Analisando-se os valores da eficiência quântica máxima do fotossistema II (razão Fv/Fm), observa-se valores médios nos tratamentos de Fv/Fm no dia 07/09/2011, às 8 horas com T1-0,69, T2-0,51) e T3-0,68 e 12 horas com T1-0,63, T2-0,43 e T3-0,59, não apresentaram diferença estatística. Já às 16 horas, houve diferença estatística entre os tratamentos T1-0,66 e T3-0,74 e T2-0,63 e T3-0,74 (Figura 16A). Em 09/09/2011, a diferença estatística ocorreu às 8 horas entre os tratamentos T1-0,73 e T3-0,77 e T2-0,71 e T3-0,77 (Figura 16B). No horário das 16 horas, houve diferença estatística entre o tratamento T1 em relação aos tratamentos T2 e T3 com média de 0,72, 0,62 e 0,67, respectivamente (Figura 18B). Valores abaixo de 0,83 para a razão Fv/Fm são indicativos de presença de certo grau de estresse em muitas plantas (Björkman & Demmig-Adams, 1987).

Em todos os tratamentos houve indicativos de estresse, variando, entre 0,44 e 0,78, o que pode indicar que as plantas estavam sendo afetadas pelo déficit hídrico e pelas altas temperaturas. Tais condições de estresse podem ter sido danosas à integridade funcional das células, evidência circunstancial de fotoinibição. De acordo a Taiz e Zeiger (2004), a fotoinibição crônica é resultante da exposição a níveis altos de luz, que danificam o sistema fotossintético e diminuem a eficiência quântica. A redução na taxa fotossintética máxima está associada ao dano e a substituição da proteína D1 do centro da reação do PSII. A luz passa a estar em excesso devido à redução da abertura estomática e a consequente redução de difusão do CO₂ para as células fotossintetizantes.

E essa relação Fv/Fm tem sido utilizada para detectar alguma perturbações no sistema fotossintético causado pelo estresse hídrico, visto que sua diminuição indica um declínio na eficiência fotoquímica do PSII e um distúrbio ou dano no aparato fotossintético (GLYNN et al., 2003; PERCIVAL; FRASER, 2001).

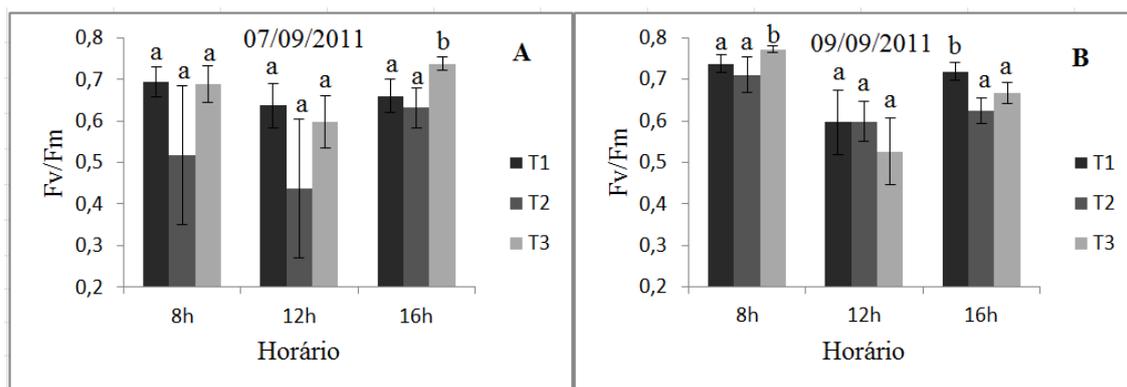


Figura 16: Valores médios da eficiência quântica potencial do FSII (Fv/Fm) em folhas de planta de *Jatropha curcas* L. submetidas a estresse hídrico, no município de São Luís – MA. T1-200 mL de rega diária, T2-100 mL de rega diária e T3-50 mL de rega diária. Teste de Tukey a 5% de significância.

A dissipação térmica é um parâmetro que, normalmente, aumenta com o excesso de energia absorvida e que pode ser medido pelo qN, que refere-se ao nível de fluorescência máxima (Fm) no qual a eficiência fotoquímica está no máximo e a dissipação térmica está no mínimo (MAXWELL e JOHNSON, 2000). A variável qN está relacionada à interconversão fotoprotetora da violaxantina em zeaxantina, no ciclo da xantofila, que leva à dissipação não-radiativa da energia.

Quando as plantas são expostas à luz, os centros de reação do PSII são progressivamente reduzidos, ocorrendo um aumento da fluorescência da clorofila *a*. Logo em seguida, a fluorescência sofre uma queda. Esse fenômeno é chamado de dissipação da fluorescência (“*quenching*”). O termo *quenching*, na literatura relacionada com a fisiologia vegetal, tem sido definido como qualquer decréscimo (dissipação) da fluorescência (Krause e Weis, 1991). Dessa forma, qN pode ser usado como um indicador da dissipação de energia não radiativa dentro das membranas dos tilacóides, ou seja, quantifica os processos de dissipação térmica dentro dos complexos PSII. O aumento de qN indica maior eficiência da dissipação de calor, em razão do aumento no gradiente de prótons entre o lúmen e o estroma do cloroplasto.

Na variável qN, no dia 07/09/2011, o horário das 16 horas apresentou diferença estatística entre tratamentos T1 e T2 em relação ao tratamento T3, com média de 0,19, 0,21 e 0,29, respectivamente (Figura 17A). Em 09/09/2011, às 8 horas obteve diferença estatística no tratamento T3 com média de 0,10 em relação aos tratamentos T1 com média de 0,14 e T2, apresentando média de 0,20. No horário de 12 horas o tratamento T2, apresentou diferença estatística, em relação aos tratamentos T1 e T3, que com média de 0,44, 0,26 e 0,28 respectivamente (Figura 17B).

A variável qN reflete a ativação dos processos não fotoquímicos de emissão da fluorescência da clorofila, levando principalmente à dissipação de energia não radiativa, tais como fotoinibição, desconexão dos complexos móveis captadores de luz, formação de zeaxantina, etc. Os valores revelam que foi influenciado pelo estresse hídrico.

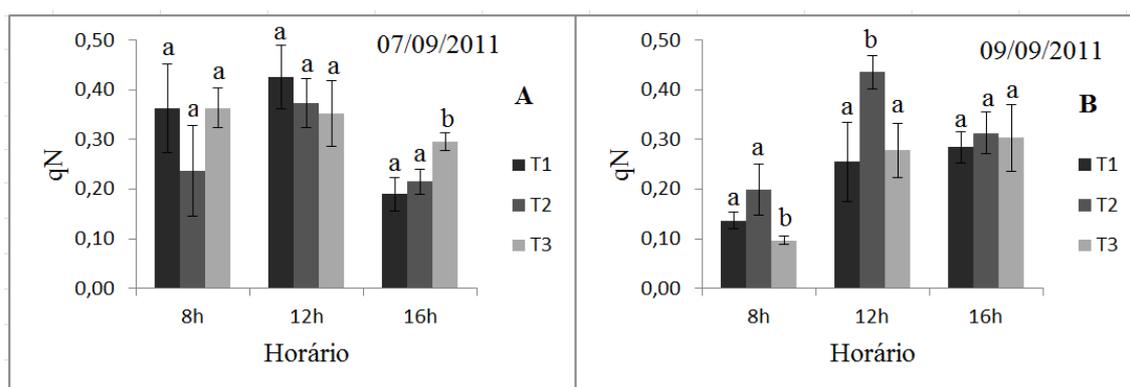


Figura 17: Valores médios da leitura de dissipação não-fotoquímica da fluorescência variável (qN) em folhas de planta de *Jatropha curcas* L. submetidas a estresse hídrico, no município de São Luís – MA. T1-200 mL de rega diária, T2-100 mL de rega diária e T3-50 mL de rega diária. Teste de Tukey a 5% de significância.

O coeficiente de dissipação não-fotoquímica (NPQ) também quantifica os processos que levam ao decréscimo da fluorescência máxima. Entretanto, NPQ indica a dissipação do excesso de energia radiante na forma de calor nos complexos antena do PSII, ou seja, a fotoproteção por meio da dissipação térmica de energia, estando intimamente correlacionado com a formação de zeaxantina (ROHÁČEK; BARTÁK, 1999).

Sob condições de estresse, a diminuição da fotossíntese pode levar à redução do PSII e, conseqüentemente, a energia absorvida que seria utilizada para fotossíntese será dissipada, pelo aumento da emissão de fluorescência da clorofila *a* e na forma de calor. Os valores de NPQ apresentaram, diferença estatística no tratamento T3 (média 0,27) em relação aos tratamentos T1 (média 0,15) e T2 (média 0,16) no horário de 16 horas do dia 07/09/2011. Às 8 horas do dia 09/09/2011, foi observado o mesmo comportamento com médias de T1 (média 0,08), T2 (média 0,17) e T3 (média 0,11) (Figura 18A e 18B). Os valores no horário de 12 horas, do dia 09/09/2011, apresentaram diferença estatística no tratamento T2 (média 0,43) em relação ao tratamento T1 (média 0,24) e T3 (média 0,20) (Figura 18B).

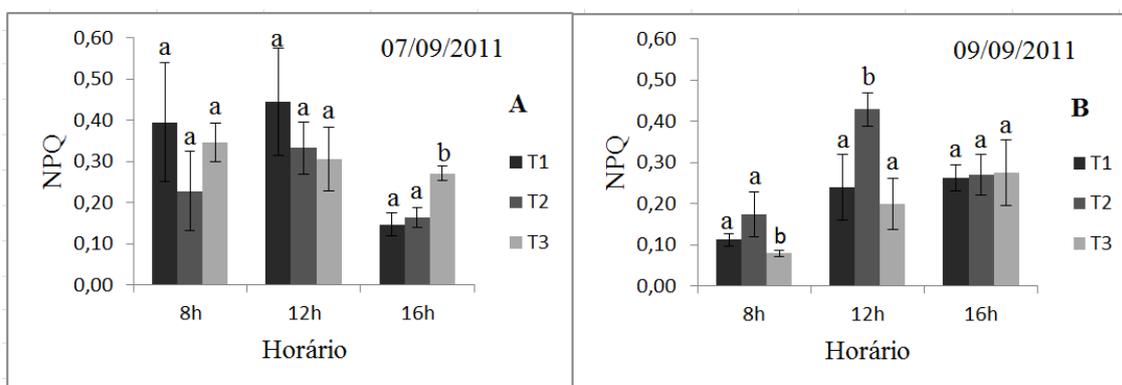


Figura 18: Valores médios da leitura do coeficiente de dissipação não-fotoquímica da fluorescência variável (NPQ) em folhas de planta de *Jatropha curcas* L. submetidas a estresse hídrico, no município de São Luís – MA. T1-200 mL de rega diária, T2-100 mL de rega diária e T3-50 mL de rega diária. Teste de Tukey a 5% de significância.

Conclusões

O desenvolvimento do pinhão-manso mensurado pelo diâmetro do coleto e área foliar total da planta foi afetado pelo estresse hídrico, com o avançado do período de restrição hídrica. No teor de clorofila não se mostrou um indicativo sensível ao nível de estresse.

A abscisão foliar foi o principal mecanismo de resposta do *jatropha curcas* ao estresse hídrico, resultando em reduzido número de folhas e queda na área foliar. O estresse hídrico atuou como estímulo à floração do pinhão-manso e prejudicou os mecanismos naturais de dissipação térmica o que pode levar a uma situação de estresse múltiplo (hídrico e térmico).

É necessário ainda, que mais pesquisas sejam feitas para uma melhor compreensão das respostas desta planta ao estresse hídrico, o que será um fator determinante para o seu processo de domesticação e melhoramento genético.

Referências

- ARAÚJO, E.C.E.; RIBEIRO, A. M. B. Avaliação fenológica do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) no município de Teresina-P) In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 5, Lavras-MG, 2008. **Anais completos...** Lavras-MG, UFLA, 2008 (CD)
- BAKER, N. R. e ROSENQVIST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, n. 403, p.1607-1621, 2004.
- BARRS, H. D. e WEATHERLEY P. E; A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. **Australian Journal of Biological Science**, v.15, p.413-428, 1962.
- BENCKE, C. S. C.; MORELLATO, P. C. Comparação de dois métodos de avaliação da fenologia de plantas, sua interpretação e representação. **Bras. Bot.** v.25, n.3, p.269-275, set, 2002.
- BERGAMASCHI, H. O clima como fator determinante da fenologia das plantas. In: REGO, G. M.; NEGRELLE, R. R. B.; MORELLATO, L. C. (Org.). Fenologia ferramenta para conservação, melhoramento e manejo de recursos vegetais arbóreos. 1. ed. Colombo: **Embrapa Florestas**, p. 291-310, 2007.
- BIANCHINI, E.; PIMENTA, J. A.; SANTOS, F. A. M. Fenologia de *Chrysophyllum gonocarpum* (Mart. & Eichler) Engl.(Sapotaceae) em floresta semidecídua do Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 29, n. 4, p.595-602, 2006.
- COSTA, F. A. P. L. Fenologia de árvores tropicais. **La insignia**, dez, 2002.
- DIAS, D. P.; MARENCO, R. A. Fotossíntese e fotoinibição em mogno e acariquara em função da luminosidade e temperatura foliar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.3, p.305-311, 2007.
- FALCÃO, M. A.; CLEMENT, C. R.; GOMES, J. B. M. Fenologia e produtividade da sorva (*Couma utilis* (mart.) MUELL. ARG.) na Amazônia central. **Acta Botanica Brasílica**, v. 17, n. 4, p.541-547, 2003.

FERRAZ, D. K.; ARTES, R.; MANTOVANI, W.; MAGALHÃES, L. M.; Fenologia de árvores em fragmento de mata em São Paulo, SP. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 59, n. 2, p.305-317, 1999.

FISCH, S. T. V.; NOGUEIRA JR, L. R.; MANTOVANI, W. Fenologia reprodutiva de euterpe edulis mart. na mata atlântica (reserva ecológica do Trabiju, Pindamonhangaba SP). **Revista de Biociências de Taubaté**, v. 6, n. 2, p.31-37, 2000.

GLYNN, P.; FRASER, C.; GILLIAN, A. Foliar salt tolerance of Acer genotypes using chlorophyll fluorescence. **Journal of Arboriculture**, v. 29, n. 02, p. 61-65, 2003.

HENRIQUE, W. P.; FERNANDES, L. M.; CASSIMIRO, F. T.F; **Prática Alternativas para a produção agropecuária agroecologia**. EMATER-MG, 2008.

HENNING, R. K.; Evaluation of the existing Jatropha activities and proposals for an implementation strategy in Southern Province of Zambia, **The Jatropha System in Zambia** 1999. Disponível em: <<http://www.jatropha.de/zimbabwe>>. Acesso em: 17 março 2011.

ISMAIL, A. M.; HALL, A. E. Reproductive stage heat tolerance, leaf membrane thermostability and plant morphology in cowpea. **Crop Science**, Madison, Wisconsin, v.39, p.1762-1768, 1999.

JACKSON, M.B. Are plants hormones involved in root to shoot communication In: CALLOW, A.J. (Ed.) *Advanced in botanical research*. New York: Academic Press, p.103–187, 1993.

KRAUSE, G.H.; WEIS, E.; Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v.42, p.313-349, 1991.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**, São Carlos, SP: Rima artes, p.531, 2000.

MATTOS E.A., HERZOG B., LÜTTGE U., Chlorophyll fluorescence during CAM phases in *Clusia minor* L. under drought stress. **Journal of Experimental Botany**, v.50, n.331, p.253-261, 1999.

MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence: a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, p.659-668, 2000.

MICHELINE, A. A. L.; CASTRO, N. H. A.; OLIVEIRA, M. A. F.; AQUINO, F. A.; ANDRADE, J. R.; BELTRÃO, N. E. M.; Descrição Do Padrão de Floração do Pinhão-manso. **Congresso Brasileiro de Mamona, Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas**, João Pessoa. Inclusão Social e Energia: Anais. Campina grande: Embrapa Algodão, p.1681-1688, 2010.

NERY, A. R., LUIS N. R., MARIA B. R. S., PEDRO D. F., LÚCIA H. G. C., DANTAS, J. N., HANS R. G; Crescimento do pinhão-manso irrigado com águas salinas em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.5, p.551-558, 2009.

NEUMANN, P. M.; The role of cell wall adjustment in plant resistance to water deficits. **Crop Science**, v.35, p.1258-1266, 1995.

PERCIVAL, G. C.; FRASER, G. A. Measurement of the salinity and freezing tolerance of *Crataegus* genotypes using chlorophyll fluorescence. *Journal Arboriculture*, v. 27, n. 05, p.233–245, 2001.

PIMENTEL, C.; SARR, B.; DIOUF, O.; ABOUD, A. C. S.; ROY-MACULEY, H. Tolerância Protoplasmática foliar à seca, em dois genótipos de caupi cultivadas em campo. **Revista Universidade Rural**. Série Ciências da Vida. Rio de Janeiro, v. 22, n. 1, p.07-14, 2002.

MOÇAMBITE, A. M. P.; RIBEIRO, R. J.; ALENCAR, J. C.; BARBOSA, A. P. Fenologia de Simarouba amara Aubl. na reserva florestal Adolpho Ducke, Manaus, AM. **Acta Amazonica** v. 35, p. 347 – 352, 2005.

RANNYER, I. S. O.; NASCIMENTO, F. O.; MEDEIROS, M. A.; TORRES, S. B.; TEIXEIRA, F. J. V.; Crescimento Inicial do Pinhão-Manso (*Jatropha Curcas* L.) em Função da Salinidade da Água de Irrigação. **Revista Caatinga, Mossoró**, v. 23, n. 4, p.40-45, out.-dez., 2010.

RIBEIRO, R.V.; MACHADO, E.C.; OLIVEIRA, R.F. Early photosynthetic responses of sweet orange plants infected with *Xylella fastidiosa*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v.62, p.167-173, 2003.

RODRIGUES, M. B. S.; NETO, J. D.; DANTAS, P. F.; SOBRAL, M. S. F.; Cultivo de Pinhão-manso sob Condições de Estresse Hídrico e Salino, em Ambiente Protegido. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.9, n.2, p.1519-5228, 2009.

ROHÁČEK, K.; BARTÁK, M. Tehcnique of the modulated chlorophyll fluorescence: basic concepts, useful parameters, and some applications. **Photosynthetica**, v. 37, n. 03, p.339-363, 1999.

SANTOS, M. J.; MACHADO, I. C.; LOPES, A. V.; Biologia reprodutiva de duas espécies de *Jatropha* L. (Euphorbiaceae) em Caatinga, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 28, n. 2, p.361-373, 2005.

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

SAYER, E. J.; NEWBERY, D. M. The role of tree size in the leafing phenology of a seasonally dry tropical forest in Belize, Central American. *Journal of Tropical Ecology*, v. 19, n. 5, p.539-548, 2003.

SEVERINO, L. S.; VALE, L. S.; BELTRÃO, N. E. de M. A simple method for measurement of *Jatropha curcas* leaf area. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 11, n. 01, p.9-14, 2007.

SILVA, M. B. R.; NERY, A. R.; FERNANDES, P. D.; NETO, J. D.; LIMA, V. L. A.; VIÉGAS, R. A.; Produção do pinhão-manso, primeiro ano, irrigado com água residuária. **I Congresso Brasileiro de Pesquisa em Pinhão-Manso**, Brasília, 2009.

SILVA, M. M. P.; VASQUEZ, H. M.; SMITH, R. B.; SILVA, J. F. C.; ERBESDOBLER, E. D.; ANDRADE P. S. C. J; Eficiência fotoquímica de gramíneas forrageiras tropicais submetidas à deficiência hídrica, **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.1, p.67-74, 2006.

SOUZA, A. S.; TÁVORA, F. J. A. F, PITOMBEIRA, J. B.; BEZERRA, F. M. L.; Épocas de plantio e manejo da irrigação para a mamoneira. II–crescimento e produtividade. **Revista de Ciências Agrônômica**, v. 38, n. 4, p.422-429, 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, p.719, 2004.

TARDIEU, F. e T. SIMONNEAU; Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demand: modeling isohydric and anisohydric behaviours. **Journal of Experimental Botany**, v.49, p.419-432, 1998

TORRES NETTO, A.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, J. G.; YAMANISHI O. K.; Portable chlorophyll meter for the quantification of photosynthetic pigments, nitrogen

and the possible use for assessment of the photochemical process in *Carica papaya* L.
Brazilian, Jorarl of Plant Physiology, v. 14, n. 3, p.203-210, 2002.