



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA
RENORBIO

RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS NA GERMINAÇÃO E
DESENVOLVIMENTO INICIAL DE DOIS GENÓTIPOS DE *Jatropha curcas* L.
SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA

CIBELE ALVES DOS SANTOS

RECIFE-PE
2018



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA
PONTO FOCAL: UFRPE

RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS NA GERMINAÇÃO E
DESENVOLVIMENTO INICIAL DE DOIS GENÓTIPOS DE *Jatropha curcas* L.
SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como pré-requisito para a obtenção do título de Doutor em Biotecnologia.

Orientadora: Profa. Dra. Rejane Jurema Mansur Custódio Nogueira

Área de concentração: Biotecnologia em Agropecuária

RECIFE-PE

2018

TERMO DE APROVAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA
RENORBIO

TESE DE DOUTORADO ELABORADA POR:

CIBELE ALVES DOS SANTOS

Respostas fisiológicas e bioquímicas na germinação e desenvolvimento inicial de dois genótipos de *Jatropha curcas* L. sob deficiência hídrica

BANCA EXAMINADORA

Tese defendida e aprovada pela Banca Examinadora em: 28 de fevereiro de 2018

Orientadora:

Profa. Dra. Rejane Jurema Mansur Custódio Nogueira
Departamento de Biologia – UFRPE

Examinadores:

Profa. Dra. Ana Lúcia Figueiredo Porto
Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal – UFRPE

Profa. Dra. Cláudia Ulisses de Carvalho Silva
Departamento de Botânica – UFRPE

Profa. Dra. Jarcilene Silva de Almeida Cortez
Departamento de Botânica – UFPE

Prof. Dr. Péricles de Albuquerque Melo Filho
Departamento de Agronomia – UFRPE

RECIFE-PE
2018

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida e por me dar força e coragem nos momentos mais difíceis.

Ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia (RENORBIO) pela aprovação na seleção e assim me permitir obter meu tão sonhado doutorado.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, pelo acolhimento e infraestrutura oferecida.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco, pela concessão da bolsa.

À professora Rejane Mansur, por me orientar e me dar incentivo para exercer o ofício da docência e também da pesquisa.

Aos colegas e ex-colegas do Laboratório de Fisiologia Vegetal, que sempre me ajudaram seja diretamente, na realização dos experimentos e das coletas, ou indiretamente, me dando apoio e suporte emocional: Elaine Silva, Cinthya Pacheco, Natalia Vaz, Hugo Bentzen, Marcelle Almeida, David Medeiros, Rafaela Pereira, Tássia Melo, Clarissa Freire, Amanda Araújo e Marcelo Ribeiro.

Aos meus “filhos científicos” (estagiários e ex-estagiários): Letícia Walter, Leonardo Modesto, Lucas Moura e Laura Oliveira, por tudo que aprendemos juntos.

Ao meu esposo Clovis Lapa Neto, por me ajudar, sempre com carinho e boa vontade, nas montagens dos experimentos, nas coletas e por compreender os meus momentos de estresse, ausência e cansaço.

Aos meus pais Alda e Joel Santos e também à minha irmã Cilene Alves, por compreenderem os momentos em que fui ausente quando estava dedicada à minha vida acadêmica.

À professora da UFPE Jarcilene Cortez pelo suporte nas análises das trocas gasosas.

Ao professor Manoel Adrião, pelo suporte nas análises enzimáticas.

Ao pesquisador da Embrapa Agroenergia Bruno Laviola, por fornecer as sementes utilizadas na pesquisa.

À secretária da RENORBIO Sandra Morgado pelo suporte dado, sempre que precisei de sua ajuda.

Aos professores e professoras que conheci em meu trajeto (graduação, mestrado e doutorado), pelos ensinamentos e experiências trocadas.

Enfim, agradeço a todos que me ajudaram, torceram pelo meu sucesso e de alguma forma contribuíram para a minha chegada até aqui.

RESUMO

Jatropha curcas L., vulgarmente denominada pinhão-mansão, é uma espécie de grande importância econômica, pois o óleo contido em suas sementes tem potencial para a produção de biodiesel, além de ser utilizado na fabricação de sabão, nas indústrias farmacêuticas e de cosméticos. O pinhão-mansão ainda não está pronto para ser cultivado em larga escala, pois faltam mais estudos sobre a fisiologia e melhoramento genético da espécie. A baixa precipitação pluviométrica é um dos fatores climáticos que caracteriza regiões áridas e semiáridas, que mais afetam o desenvolvimento do vegetal, desde a germinação até o final do seu ciclo de vida e, as espécies que ali habitam, são dotadas de uma adaptação para sobreviver nessas condições de clima e de solo. Dessa forma esta pesquisa objetivou avaliar a tolerância ao estresse hídrico induzido pelo polietilenoglicol (PEG) 6000 em dois genótipos de pinhão-mansão. Foram desenvolvidos dois experimentos e os genótipos utilizados (CNPAE 263 e CNPAE 256) foram provenientes da Embrapa Agroenergia, Brasília-DF. O primeiro experimento avaliou a porcentagem de germinação (%G), o índice de velocidade de germinação (IVG) e o tempo médio de germinação (TMG) das sementes, nos tratamentos 0,0 (controle); -0,2; -0,4 e -0,6 MPa. Também foram quantificados os teores de solutos orgânicos (aminoácidos solúveis totais, proteínas solúveis, carboidratos totais e prolina livre) e determinada a atividade de enzimas antioxidantes (ascorbato peroxidase - APX, catalase - CAT e guaiacol peroxidase - GPX), nas plântulas dos tratamentos controle e -0,2 MPa. A %G do CNPAE 263 foi mais afetada do que o controle, a partir de -0,4 MPa, enquanto que CNPAE 256, reduziu significativamente a %G no tratamento -0,2 MPa, em 64%, em relação ao controle. O IVG de ambos os genótipos foi reduzido a partir de -0,2 MPa, porém no CNPAE 256 esta redução foi mais significativa (95%). O TMG das sementes sob estresse, foi maior que na condição controle, sendo estes resultados mais expressivos no CNPAE 256. As plântulas do genótipo CNPAE 263 reduziram os teores de proteínas solúveis e de carboidratos totais e não apresentaram alterações nos teores de aminoácidos solúveis totais e prolina livre. Plântulas do genótipo CNPAE 256 reduziram os teores de aminoácidos solúveis totais, proteínas solúveis e prolina livre, e não alteraram os de carboidratos totais. Com relação às enzimas antioxidantes, os genótipos apresentam o mesmo padrão de comportamento, com diferenças na magnitude dos valores. O segundo experimento avaliou alguns mecanismos de resposta das mudas dos dois genótipos de pinhão-mansão utilizados no primeiro experimento, submetidos ao estresse hídrico de -0,2 MPa, em meio de cultivo hidropônico. Após 30 dias de aclimação, foi aplicado o PEG e os tratamentos foram: controle (sem adição de PEG), após 2, 24 e 48 h de imposição do estresse. Foram avaliadas as relações hídricas (potencial hídrico foliar - Ψ_f e teor relativo de água - TRA), as trocas gasosas (fotossíntese líquida - A, transpiração - E, condutância estomática - g_s e eficiência do uso da água - EUA), os teores de pigmentos fotossintetizantes e acessórios (clorofilas *a*, *b*, total e carotenoides), os teores de solutos orgânicos (carboidratos solúveis totais, proteínas solúveis, aminoácidos livres totais e prolina livre), além da atividade de enzimas antioxidantes (catalase - CAT e ascorbato peroxidase - APX) em folhas e raízes das plantas. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 2x2, correspondendo a dois genótipos (CNPAE 263 e 256) e dois tratamentos hídricos (controle e estresse - 0,2 MPa). As relações hídricas de ambos os genótipos foram pouco afetadas pelo estresse, não havendo alteração do Ψ_f no CNPAE 263, em relação ao controle. O TRA de ambos os genótipos foi recuperado, sendo mais evidente no CNPAE 263. As trocas gasosas de ambos os genótipos foram afetadas pela deficiência hídrica, sendo mais evidente após 48 h, com destaque para a eficiência o uso a água, que após 2 e 24 h de imposição do estresse não

tiveram redução desta variável. Os teores de pigmentos fotossintéticos foram alterados pelo estresse hídrico em ambos os genótipos, havendo aumento da clorofila *b* para o CNPAE 263 após 2 h. Os teores de solutos orgânicos foram maiores nas folhas do que nas raízes. No CNPAE 263, o estresse hídrico aumentou os teores de carboidratos totais, aminoácidos solúveis totais e prolina livre nas folhas, e de carboidratos totais e proteínas solúveis nas raízes, enquanto que no CNPAE 256, promoveu aumento da prolina livre nas folhas e de proteínas solúveis e prolina livre nas raízes. A atividade das enzimas antioxidativas foi aumentada nas folhas e nas raízes em função do estresse, em ambos os genótipos, com destaque para as raízes, quando a atividade da CAT e da APX foi significativamente maior já a partir de 2 h de imposição do estresse. Pode-se concluir que ambos os genótipos apresentam diferenças no grau de tolerância ao estresse, onde o CNPAE 263 evidenciou ter maior grau, por germinar em condição de estresse de -0,2 MPa, além de não alterar as relações hídricas e acumular mais solutos orgânicos com o objetivo de ajustar-se osmoticamente, tanto nas plântulas, quanto nas plantas de pinhão-manso.

Palavras chave: pinhão-manso, seca, potencial hídrico, fotossíntese, prolina, enzimas antioxidantes.

ABSTRACT

Jatropha curcas L., commonly known as jatropha, is a species of great economic importance, because the oil contained in its seeds has great potential for the production of biodiesel, besides being used in the manufacture of soap, in the pharmaceutical and cosmetic industries. Physic nut is not yet ready to be cultivated on a large scale, since there is a lack of further studies on the physiology and genetic improvement of the species, among others. On the other hand, water deficiency is one of the climatic factors that characterizes semiarid of the Northeast of Brazil and that most affects the development of the plant, from the germination to the end of its life cycle, and the species that inhabit there, are endowed with an adaptation to survive in these conditions of climate and soil. Thus, this research aimed to evaluate the tolerance to water stress induced by polyethylene glycol (PEG) 6000 in two jatropha genotypes. For that, two experiments were developed and the genotypes used (CNPAE 263 and CNPAE 256) were from Embrapa Agroenergia, Brasília-DF. The first experiment evaluated the percentage of germination (%G), the germination speed index (GSI) and the mean germination time (MGT) of the seeds, in treatments 0,0 (control); -0.2; (Total soluble amino acids, soluble proteins, total carbohydrates and free proline) and the activity of antioxidant enzymes (ascorbate peroxidase - APX, catalase - CAT and guaiacol peroxidase - GPX), in the seedlings of the control treatments and -0.2 MPa. The %G of CNPAE 263 was more affected than the control, from -0.4 MPa, whereas CNPAE 256, significantly reduced the %G in the treatment -0.2 MPa, in 64%, in relation to the control. The GSI of both genotypes was reduced from -0.2 MPa, but in the CNPAE 256 this reduction was more significant (95%). The MGT of the seeds under stress was higher than in the control condition, and these results were more expressive in the CNPAE 256. The seedlings of the genotype CNPAE 263 reduced the protein and carbohydrates contents and did not present changes in the levels of amino acids and proline. Seedlings of the genotype CNPAE 256 reduced the levels of amino acids, proteins and proline, and did not alter those of carbohydrates. With respect to the anti-oxidative enzymes, the genotypes present the same pattern of behavior, with differences in the magnitude of the values. The second experiment evaluated some mechanisms of response of the two Genotypes of jatropha used in the first experiment (CNPAE 263 and CNPAE 256), submitted to the water stress of -0.2 MPa induced by PEG 6000, in hydroponic culture medium. After 30 days of acclimation, the PEG was applied and the treatments were: control (without addition of PEG), after 2, 24 and 48 h of stress imposition. The water relations (leaf water potential - relative water content - RWC), gas exchanges (liquid photosynthesis - A, transpiration - E, stomatal conductance - g_s and water use efficiency - WUE) were evaluated. (Total soluble carbohydrates, soluble proteins, total free amino acids and free proline), as well as the activity of antioxidant enzymes (catalase - CAT and ascorbate peroxidase - APX), photosynthetic pigments (chlorophyll a, b, total and carotenoids) In leaves and roots of plants. The experimental design was completely randomized, in a 2x2 factorial arrangement, corresponding to two genotypes (CNPAE 263 and 256) and two water treatments (control and stress - 0.2 MPa of PEG 6000). The water relations of both genotypes were little affected by stress, and there was no change of YL in CNPAE 263, in relation to the control. The RWC of both genotypes were recovered, being more evident in the CNPAE 263. The gas exchanges of both genotypes were affected by the water deficit, being more evident after 48 h, with emphasis on the USA, that after 2 and 24 h of stress were not reduced by this variable. The photosynthetic pigment contents were slightly altered by water stress in both genotypes, with increase of chlorophyll b to CNPAE 263 after 2 h. The organic solutes contents were higher in the leaves than in the

roots. At CNPAE 263, water stress increased the carbohydrate, amino acid and proline levels in the leaves, and of carbohydrates and proteins in the roots, while in the CNPAE 256, promoted increase of proline in the leaves and of proteins and proline in the roots. The activity of the antioxidative enzymes was increased in leaves and roots due to stress, in both genotypes, with emphasis on the roots, when CAT and APX activity was significantly higher after 2 h of stress imposition. It can be concluded that both genotypes show differences in the degree of stress tolerance, where the CNPAE 263 showed a higher degree of germination in a stress condition of -0.2 MPa, besides not altering the water relations and accumulating more solutes. With the aim of adjusting osmotically, both in the seedlings and in the jatropha plants

Key words: physic nut, drought, water potential, photosynthesis, proline, antioxidant enzymes.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Figura 1. Respostas fisiológicas, bioquímicas e moleculares ao estresse hídrico em plantas. Fonte: Reddy et al., 2004 (adaptado).....23

CAPÍTULO II: EFEITOS DO ESTRESSE HÍDRICO SOBRE A GERMINAÇÃO, SOLUTOS ORGÂNICOS E ATIVIDADE ENZIMÁTICA DE DOIS GENÓTIPOS DE *Jatropha curcas* L.

Figura 1. Médias dos teores de aminoácidos solúveis totais (A), proteínas solúveis (B), carboidratos totais (C) e prolina livre (D) na parte aérea de plântulas de dois genótipos (CNPAE 263 e CNPAE 256) de *Jatropha curcas* L. submetidas ao estresse hídrico induzido pelo polietilenoglicol 6000. Letras minúsculas comparam os genótipos e maiúsculas, os tratamentos. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.....47

Figura 2. Média da atividade das enzimas ascorbato peroxidase (A), catalase (B) e guaiacol peroxidase (C) na parte aérea de plântulas de dois genótipos (CNPAE 263 e CNPAE 256) de *Jatropha curcas* L. submetidas ao estresse hídrico induzido pelo polietilenoglicol 6000. Letras minúsculas comparam os genótipos e maiúsculas, os tratamentos. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.....49

CAPÍTULO III: CARACTERIZAÇÃO FISIOLÓGICA E BIOQUÍMICA DE DOIS GENÓTIPOS DE PINHÃO-MANSO SOB ESTRESSE HÍDRICO

Figura 1. Potencial hídrico foliar (Ψ_f) em plantas de dois genótipos de *Jatropha curcas* L. sob estresse hídrico induzido pelo PEG 6000 na concentração de -0,2 MPa. **A** – 2 horas após aplicação do estresse; **B** – 24 horas após aplicação do estresse; **C** – 48 horas após aplicação do estresse. Letras minúsculas comparam os genótipos e maiúsculas os tratamentos. Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade.....61

Figura 2. Teor relativo de água (TRA) em plantas de dois genótipos de *Jatropha curcas* L. sob estresse hídrico induzido pelo PEG 6000 na concentração de -0,2 MPa. **A** – 2 horas após aplicação do estresse; **B** – 24 horas após aplicação do estresse; **C** – 48 horas após aplicação do estresse. Letras minúsculas comparam os genótipos e maiúsculas os tratamentos. Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade.....62

Figura 3. Trocas gasosas em plantas de dois genótipos de *Jatropha curcas* L. sob estresse hídrico induzido pelo PEG 6000 na concentração de -0,2 MPa. **A, B e C** – Fotossíntese líquida (A) após 2, 24 e 48 h de aplicação do estresse; **D, E e F** – Transpiração (E) após 2, 24 e 48 h de aplicação do estresse; **G, H e I** – Condutância estomática (gs) após 2, 24 e 48 h de aplicação do estresse; **J, K e L** – Eficiência do uso da água (EUA) após 2, 24 e 48 h de aplicação do estresse. Letras minúsculas comparam os genótipos e maiúsculas os

tratamentos. Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade.....64

Figura 4. Teores de pigmentos fotossintetizantes em plantas de dois genótipos de *Jatropha curcas* L. sob estresse hídrico induzido pelo PEG 6000 na concentração de -0,2 MPa. **A, B e C** – Clorofila *a* após 2, 24 e 48 h de aplicação do estresse; **D, E e F** – Clorofila *b* após 2, 24 e 48 h de aplicação do estresse; **G, H e I** – Clorofila total após 2, 24 e 48 h de aplicação do estresse; **J, K e L** – Carotenoides após 2, 24 e 48 h de aplicação do estresse. Letras minúsculas comparam os genótipos e maiúsculas os tratamentos. Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade.....66

Figura 5. Teores de carboidratos solúveis totais em dois genótipos de *Jatropha curcas* L. sob estresse hídrico induzido pelo PEG 6000 na concentração de -0,2 MPa. **A, B e C** – Carboidratos nas folhas após 2, 24 e 48 h de aplicação do estresse; **D, E e F** – Carboidratos nas raízes após 2, 24 e 48 h de aplicação do estresse. Letras minúsculas comparam os genótipos e maiúsculas os tratamentos. Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade.....67

Figura 6. Teores de proteínas solúveis em dois genótipos de *Jatropha curcas* L. sob estresse hídrico induzido pelo PEG 6000 na concentração de -0,2 MPa. **A, B e C** – Proteínas nas folhas após 2, 24 e 48 h de aplicação do estresse; **D, E e F** – Proteínas nas raízes após 2, 24 e 48 h de aplicação do estresse. Letras minúsculas comparam os genótipos e maiúsculas os tratamentos. Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade.....68

Figura 7. Teores de aminoácidos livres totais em dois genótipos de *Jatropha curcas* L. sob estresse hídrico induzido pelo PEG 6000 na concentração de -0,2 MPa. **A, B e C** – Aminoácidos nas folhas após 2, 24 e 48 h de aplicação do estresse; **D, E e F** – Aminoácidos nas raízes após 2, 24 e 48 h de aplicação do estresse. Letras minúsculas comparam os genótipos e maiúsculas os tratamentos. Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade.....69

Figura 8. Teores de prolina livre em dois genótipos de *Jatropha curcas* L. sob estresse hídrico induzido pelo PEG 6000 na concentração de -0,2 MPa. **A, B e C** – Prolina nas folhas após 2, 24 e 48 h de aplicação do estresse; **D, E e F** – Prolina nas raízes após 2, 24 e 48 h de aplicação do estresse. Letras minúsculas comparam os genótipos e maiúsculas os tratamentos. Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade.....70

Figura 9. Atividade da enzima catalase (CAT) em dois genótipos de *Jatropha curcas* L. sob estresse hídrico induzido pelo PEG 6000 na concentração de -0,2 MPa. **A, B e C** – Catalase nas folhas após 2, 24 e 48 h de aplicação do estresse; **D, E e F** – Catalase nas raízes após 2, 24 e 48 h de aplicação do estresse. Letras minúsculas comparam os genótipos e maiúsculas os tratamentos. Médias seguidas por mesma letra não diferem

entre si pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade.....71

Figura 10. Atividade da enzima ascorbato peroxidase (APX) em dois genótipos de *Jatropha curcas* L. sob estresse hídrico induzido pelo PEG 6000 na concentração de -0,2 MPa. **A, B e C** – APX nas folhas após 2, 24 e 48 h de aplicação do estresse; **D, E e F** – APX nas raízes após 2, 24 e 48 h de aplicação do estresse. Letras minúsculas comparam os genótipos e maiúsculas os tratamentos. Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade.....72

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II: EFEITOS DO ESTRESSE HÍDRICO SOBRE A GERMINAÇÃO, SOLUTOS ORGÂNICOS E ATIVIDADE ENZIMÁTICA DE DOIS GENÓTIPOS DE *Jatropha curcas* L.

Tabela 1. Quantidade de PEG 6000 empregada para obtenção dos potenciais osmóticos referentes aos tratamentos utilizados, de acordo com Villela et al. (1991), a uma temperatura de 30°C.....41

Tabela 2. Análise descritiva da morfometria de sementes de dois genótipos de *Jatropha curcas* L.: CNPAE 263 e CNPAE 256.....44

Tabela 3. Média da porcentagem de germinação (%G) de sementes de dois genótipos de *Jatropha curcas* L. (CNPAE 263 e CNPAE 256) submetidas à deficiência hídrica induzida pelo polietilenoglicol 6000.....45

Tabela 4. Média do índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes de dois genótipos de *Jatropha curcas* L. (CNPAE 263 e CNPAE 256) submetidas à deficiência hídrica induzida pelo polietilenoglicol 6000.....45

Tabela 5. Média do tempo médio de germinação (TMG) em dias, de sementes de dois genótipos (CNPAE 263 e CNPAE 256) de *Jatropha curcas* L. submetidas ao estresse hídrico induzido pelo polietilenoglicol 6000.....46

CAPÍTULO III: CARACTERIZAÇÃO FISIOLÓGICA E BIOQUÍMICA DE DOIS GENÓTIPOS DE *Jatropha curcas* L. SOB ESTRESSE HÍDRICO.

Tabela 1. Quantidade de PEG 6000 empregada para obtenção dos potenciais osmóticos referentes aos tratamentos utilizados, de acordo com Villela et al. (1991), a uma temperatura de 30°C.....59

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

%G – Porcentagem de germinação

Ψ_f – Potencial hídrico foliar

A – Fotossíntese líquida

ANOVA – Análise de variância

APX – Ascorbato peroxidase

CAT – Catalase

E – Transpiração

EROs – Espécies reativas de oxigênio

EUA – Eficiência do uso da água

IVG – Índice de velocidade de germinação

GPX – Guaiacol peroxidase

gs – Condutância estomática

H₂O₂ – Peróxido de hidrogênio

O₂⁻ – Radical superóxido

OH⁻ – Radical hidroxila

PEG – Polietilenoglicol

SOD – Superóxido dismutase

TMG – Tempo médio de germinação

TRA – Teor relativo de água

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	16
CAPÍTULO I.....	18
1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
1.1 PINHÃO-MANSO: CARATERÍSTICAS BOTÂNICAS E UTILIDADES.....	19
1.2 BIOCOMBUSTÍVEIS E PINHÃO-MANSO.....	21
1.3 ESTRESSE HÍDRICO E SUAS CONSEQUÊNCIAS PARA O VEGETAL.....	23
1.4 O ESTRESSE HÍDRICO EM PINHÃO-MANSO.....	25
2. OBJETIVOS.....	29
2.1. OBJETIVO GERAL.....	29
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	29
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30
CAPÍTULO II.....	37
1. INTRODUÇÃO.....	39
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	40
2.1. MORFOMETRIA DAS SEMENTES.....	40
2.2. CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS E TRATAMENTOS.....	40
2.3. GERMINAÇÃO, ÍNDICE DE VELOCIDADE E TEMPO MÉDIO DE GERMINAÇÃO.....	41
2.4. ANÁLISES BIOQUÍMICAS.....	42
2.5. ATIVIDADE ENZIMÁTICA.....	43
2.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	43
3. RESULTADOS.....	43
3.1. MORFOMETRIA DAS SEMENTES.....	43
3.2. PORCENTAGEM DE GERMINAÇÃO, ÍNDICE DE VELOCIDADE E TEMPO MÉDIO DE GERMINAÇÃO.....	44
3.3. TEORES DE SOLUTOS ORGÂNICOS.....	46
3.4. ATIVIDADE ENZIMÁTICA.....	48
4. DISCUSSÃO.....	49
5. REFERÊNCIAS.....	52
CAPÍTULO III.....	55
1. INTRODUÇÃO.....	57

2. MATERIAL E MÉTODOS.....	58
2.1. LOCAL DE REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO E AQUISIÇÃO DO MATERIAL VEGETAL.....	58
2.2. TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	58
2.3. ANÁLISE DAS RELAÇÕES HÍDRICAS.....	59
2.4. AVALIAÇÃO DAS TROCAS GASOSAS.....	59
2.5. TEORES DE PIGMENTOS FOTOSSINTETIZANTES.....	60
2.6. TEORES DE SOLUTOS ORGÂNICOS.....	60
2.7. DETERMINAÇÃO DA ATIVIDADE ENZIMÁTICA.....	60
2.8. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	61
3. RESULTADOS.....	61
3.1. ANÁLISE DAS RELAÇÕES HÍDRICAS.....	61
3.2. AVALIAÇÃO DAS TROCAS GASOSAS.....	62
3.3. TEORES DE PIGMENTOS FOTOSSINTETIZANTES.....	65
3.4. TEORES DE SOLUTOS ORGÂNICOS.....	67
3.5. ATIVIDADE ENZIMÁTICA.....	70
4. DISCUSSÃO.....	72
5. CONCLUSÃO.....	75
6. AGRADECIMENTOS.....	76
7. REFERÊNCIAS.....	76
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	80
ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NO PERÍODO DE REALIZAÇÃO DO DOUTORADO (2014-2018).....	81

1. INTRODUÇÃO GERAL

Tendo em vista a busca por alternativas que substitua o uso de combustíveis fósseis, a utilização de combustíveis provenientes de óleos vegetais é uma alternativa relevante por reduzir a emissão de gases poluentes, principalmente os que contribuem para o aumento do efeito estufa. Diversas espécies de oleaginosas podem ser utilizadas na produção de biocombustíveis, dentre elas, destaca-se *Jatropha curcas* L., conhecida popularmente como pinhão-mansão.

O pinhão-mansão é uma espécie de grande importância econômica, pois além do óleo contido em suas sementes, pode ser utilizado na fabricação de sabão, nas indústrias farmacêuticas e de cosméticos e também pode ser utilizada como adubo orgânico para recuperação de áreas degradadas. Apesar desse potencial agrônomo, o pinhão-mansão ainda não está pronto para ser cultivado em larga escala, pois faltam mais estudos quanto aos aspectos fisiológicos e genéticos da espécie.

Algumas espécies vegetais são indicadas para serem cultivadas em ambientes desfavoráveis e o pinhão-mansão é uma delas, já que esta espécie é considerada como tolerante à seca. As plantas de uma forma geral estão susceptíveis a condições de estresse, seja por causas naturais ou antrópicas. O estresse pode ser considerado como qualquer desvio das condições ótimas da planta e dentre os principais tipos, destaca-se o estresse hídrico causado pela deficiência de água, que é um fato muito comum em regiões secas, principalmente no Nordeste brasileiro, que afeta o desenvolvimento e a produtividade das culturas, uma vez que a água é fundamental para os diversos processos fisiológicos do vegetal.

A deficiência hídrica afeta a germinação das sementes, já que a presença da água é fundamental para que os processos metabólicos que antecedem a germinação ocorram. Além disso, as relações hídricas do vegetal também são afetadas, ocorrendo redução do potencial hídrico e do teor relativo de água da planta, bem como ocorre alterações nas trocas gasosas, através da redução da abertura estomática e por consequência, limita a entrada de CO₂ nas folhas, reduzindo a fotossíntese, ocasionando a diminuição da produtividade da planta. A nível bioquímico, o estresse hídrico causa alterações na concentração de solutos orgânicos celulares, que são utilizados para a planta ajustar-se osmoticamente e também altera as atividades de enzimas do complexo antioxidativo da planta, já que em condições de estresse as plantas produzem radicais livres que são altamente tóxicos.

35 Portanto, o conhecimento dos parâmetros fisiológicos associados aos bioquímicos
36 em espécies de importância econômica, como é o caso da *Jatropha curcas*, sob condição
37 de estresse hídrico é de fundamental importância para os programas de melhoramento
38 genético.

CAPÍTULO I

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

40 1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

41

42 1.1 PINHÃO-MANSO: CARACTERÍSTICAS BOTÂNICAS E UTILIDADES

43

44 O gênero *Jatropha* pertence à família das euforbiáceas e sua origem é da América
45 Central. Dentre as 175 espécies desse gênero, encontra-se a espécie *Jatropha curcas* L.,
46 conhecida popularmente como pinhão-mansó (SATURNINO, 2005). Sobre a sua
47 origem, há relatos que *J. curcas* se originou na América Central, e depois se estendeu pela
48 Ásia, África e hoje está bem expandida nas regiões tropicais e subtropicais (FAO, 2010).
49 Segundo Dias et al., (2012), a origem do pinhão-mansó é mais precisamente na região
50 costeira do Golfo do México, inclusive, o México é o único país onde existem tipos
51 nativos de plantas não tóxicas, o que se sugere que houve uma seleção feita pelos Maias.

52 Com relação às suas características botânicas, o pinhão-mansó é um arbusto
53 suculento, suas folhas tem um pecíolo longo, são decíduas, alternas a subopostas e
54 apresentam filotaxia em espiral. Quando jovens, as folhas são de cor avermelhada e
55 quando adultas, são verdes, brilhantes e glabras. A sua inflorescência é composta por
56 flores monoicas, de coloração amarelo-esverdeada, com flores masculina e feminina na
57 mesma inflorescência e polinização feita por insetos, principalmente as abelhas. Seu fruto
58 é capsular com três locos e de coloração amarela quando ainda jovem e marrom ao
59 amadurecer, com três sementes de cor preta. O tronco pode chegar a cinco metros de
60 altura e é revestido por uma cera esbranquiçada e geralmente é bem ramificado, com
61 cicatrizes bem evidentes, deixadas pelas folhas ao caírem (SATURNINO, 2005; ALVES
62 et al., 2008; NUNES et al., 2009; BRASILEIRO et al., 2012).

63 *J. curcas* é conhecida como uma planta rústica e tolerante à seca, pois adapta-se a
64 condições de solo e clima que para outras plantas seria desfavorável, além de ser uma
65 planta perene e pouco atacada por insetos e outros animais, porém ainda está em processo
66 de domesticação e o melhoramento genético ainda é incipiente (SATURNINO, et al.,
67 2005; ROCHA et al, 2012). No entanto, ela surge como uma opção de cultivo em
68 ambientes secos, uma vez que é indicada para recuperar áreas degradadas, para prevenir
69 ou controlar a erosão do solo, além de contribuir para o desenvolvimento da agricultura
70 familiar dessas regiões, através do aumento da renda com a venda das sementes e do
71 favorecimento do plantio em consórcio com outras plantas, como por exemplo, as que
72 são utilizadas como alimento (OPENSHAW, 2000; SATO et al., 2009; FAO, 2010).

73 As sementes de pinhão-manso possuem óleo que pode ser utilizado na produção
74 de biodiesel. Após a extração do óleo das sementes, o material resultante, chamado de
75 torta, tem grande importância econômica, sendo utilizado na adubação do solo, por conter
76 muitos nutrientes (MONTES et al., 2011; LAVIOLA et al., 2013). Estima-se um
77 rendimento de 650 a 700 kg de torta para cada tonelada de sementes esmagadas
78 (LAVIOLA et al., 2013). Abou-Arab e Abu-Salem (2010) em estudo sobre a qualidade
79 nutricional de sementes de pinhão-manso encontraram além do óleo, altos teores de
80 elementos minerais, aproximadamente 30% de proteínas e carboidratos nas sementes e
81 cerca de 80% de fibras nas cascas. Estes autores sugerem que a farinha com sementes de
82 pinhão-manso poderia ser inserida na alimentação e ajudar a eliminar a desnutrição,
83 apesar de conter saponinas, inibidores de tripsinas e fenóis, que através de processos
84 químicos seriam inativados, não causando danos à saúde.

85 Ainda a respeito da farinha de sementes de pinhão-manso, Workagegn et al.
86 (2013), comprovaram em sua pesquisa, que a adição dessa farinha à ração de peixes
87 tilápia configura uma excelente fonte proteica aos animais, destacando-se então a
88 importância deste material. Apesar de ter um bom rendimento e conter alto valor proteico,
89 alguns pesquisadores não recomendam que ela seja utilizada na alimentação animal,
90 devido à sua toxicidade causada por ésteres de forbol, que podem levar os animais à morte,
91 dependendo da quantidade de sementes utilizadas (LAVIOLA et al., 2011; ANDRADE-
92 VIEIRA et al., 2014; LAVIOLA et al., 2015).

93 No entanto, Laviola et al. (2011), em estudo com 10 acessos nacionais,
94 observaram que três deles não apresentaram quantidade de forbol detectável. Desta
95 forma, através da manipulação genética, cultivares que não causem toxicidade e sejam
96 utilizadas também na alimentação de animais poderão ser desenvolvidas. Inekwe et al.
97 (2012) também constataram que a torta do pinhão-manso tem alto índice de proteínas,
98 carboidratos, lipídios e fibras, e seu uso na alimentação animal seria indicado, porém o
99 material deveria passar por um processo prévio de destoxificação.

100 Além da produção de biodiesel, o pinhão-manso possui também outros usos,
101 sendo utilizado, por exemplo, na fabricação de tintas, de verniz para móveis, construção
102 de cercas vivas, na produção de lã, além de seu uso na medicina popular, como
103 cicatrizante, purgante, diurético, para aliviar a dor de picada de alguns insetos, como
104 abelhas e vespas, e também no tratamento do reumatismo, da malária, da hipertensão,
105 sífilis, gonorreia e de doenças de pele (FENNER et al., 2006; FAO, 2010). Na África e
106 na Ásia, as populações mais pobres utilizam o caule do pinhão-manso como lenha para

107 cozinhar (SATURNINO et al., 2005). Há também alguns estudos que comprovam que
108 tanto o óleo quanto extratos das folhas e do caule tem atividade acaricida (HOLTZ et al.,
109 2016), o sabão produzido a partir do pinhão-manso tem atividade antimicrobiana
110 (SHAHINUZZAMAN et al., 2016), extratos de folhas, sementes e raízes da planta são
111 eficazes contra larvas do *Aedes aegypti* (BESERRA et al., 2014), além de ter atividade
112 anti-inflamatória (OTHMAN et al., 2015), antitumoral (OSKOUUEIAN et al., 2011;
113 PRAYITNO et al., 2016) e também antimicrobiana (ARANTES et al., 2013).

114

115 1.2 BIOCOMBUSTÍVEIS E PINHÃO-MANSO

116

117 Os biocombustíveis, como o etanol e o biodiesel, são obtidos através de fontes
118 renováveis, como por exemplo, óleos vegetais e gorduras animais e surgem como uma
119 alternativa aos combustíveis tradicionais (ANP, 2017). Uma vez que a emissão de gases
120 contribui para o aumento do efeito estufa, o uso da bioenergia é uma alternativa à
121 utilização de combustíveis fósseis, principal causa de problemas relacionados aos gases
122 derivados de combustíveis utilizados no transporte (AZEVEDO & LIMA, 2016).
123 Miragaya (2005) aponta algumas características principais sobre o biodiesel, tais como
124 boa lubricidade, menor estabilidade se comparado ao diesel, a emissão de gases poluentes
125 é reduzida, uma vez que é isento de enxofre, além da geração de empregos,
126 principalmente na agricultura.

127 A maior parte da produção nacional de etanol é oriunda da cana-de-açúcar, já o
128 biodiesel é oriundo do óleo de soja (*Glycine max* L.). Entretanto, no Brasil há outras
129 espécies de plantas com potencial para a produção de biodiesel, dentre elas estão a
130 mamona (*Ricinus communis* L.), o girassol (*Helianthus annuus* L.), a canola (*Brassica*
131 *napus* L.), a macaúba (*Acromia aculeata*), o babaçu (*Orbignya phalerata* Mart.) e o
132 pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), espécie utilizada no presente estudo (TEIXEIRA,
133 2005; LIMA et al., 2012; BHERING et al., 2015; LAVIOLA et al., 2016).

134 Por volta do final do século 20, aproximadamente 46% da energia utilizada no
135 Brasil era oriunda do Petróleo. Neste sentido, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE)
136 elaborou o Plano Nacional de Energia 2030, que tem a expectativa de que o uso do
137 petróleo no ano de 2030 seja reduzido e que corresponda ao percentual de 30%
138 (GARAGORRY et al., 2012). Dados da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e
139 Biocombustíveis, mostram que nos últimos cinco anos (2012-2016), o somatório da
140 produção nacional de biodiesel foi de 16.499,645 milhões de metros cúbicos, enquanto

141 que a produção de etanol foi de 137.312,272 milhões de metros cúbicos (ANP, 2016a).
142 Percebe-se que a produção nacional de etanol é maior que a de biodiesel, uma vez que o
143 Brasil é um dos maiores produtores mundiais de etanol, sendo considerado um pioneiro
144 na produção deste biocombustível (BRASIL, 2007).

145 Sendo o pinhão-manso uma planta oleaginosa, há muito tempo usa-se o óleo
146 produzido pelas suas sementes. Na literatura é relatado, por exemplo, o seu uso na
147 iluminação de vias públicas no Rio de Janeiro, uma vez que a sua combustão não libera
148 fumaça. Esse óleo foi também utilizado como combustível automotivo durante a Segunda
149 Guerra Mundial, nos países africanos e asiáticos (SATURNINO, 2005).

150 Uma vantagem do cultivo do pinhão-manso com fins para a produção de
151 biocombustível é o fato de que esta planta não compete com o cultivo de alimentos.
152 Porém, apesar de crescer de forma abundante na natureza, esta planta não foi ainda
153 domesticada. Tendo em vista a necessidade de reduzir a emissão de gases que contribuem
154 para o efeito estufa, outra vantagem do uso do biodiesel proveniente do pinhão-manso é
155 o fato de ser menos poluente quando comparado ao diesel fóssil (CARNIELLI, 2003;
156 FAIRLESS, 2007; DURÃES et al., 2011). Além disso, o pinhão-manso não é uma planta
157 exigente quanto às condições nutricionais e hídricas do solo se comparada a outras
158 oleaginosas, como por exemplo, a mamona (TEIXEIRA, 2005).

159 Nos anos iniciais, a produtividade de *J. curcas* é mais baixa que nos anos
160 seguintes, porém, estima-se que o pinhão-manso tenha um potencial de produção de 930
161 a 1.250 kg de óleo por hectare e, apesar de ser considerado uma planta rústica, a sua
162 produção e o seu desenvolvimento sofre influência das condições ambientais,
163 principalmente em seu estágio inicial de desenvolvimento, uma vez que este período é
164 primordial para o estabelecimento e crescimento efetivo da planta (DURÃES et al., 2011;
165 FERREIRA et al., 2013).

166 Alguns fatores, como por exemplo, doenças, ataques de pragas e a restrição
167 hídrica, afetam a produtividade de grãos em *J. curcas*. Inicialmente, houve uma
168 expectativa de uma produção de grãos acima de quatro toneladas por hectare, mas esses
169 fatores afetam de tal forma que esse valor é bastante reduzido. Aliada à baixa
170 produtividade de grãos, a maturação desuniforme dos frutos limita a completa
171 implantação do cultivo do pinhão-manso (ROCHA, et al., 2012). Por isso, torna-se cada
172 vez mais importante o desenvolvimento de pesquisas que viabilizem o estabelecimento e
173 o sucesso do cultivo desta planta.

174

175 1.3 ESTRESSE HÍDRICO E SUAS CONSEQUÊNCIAS PARA O VEGETAL

176

177 De forma geral, o estresse pode ser definido como algum fator externo ao
178 organismo, que pode causar efeitos negativos no mesmo (OLIVEIRA et al., 2013). Esses
179 efeitos podem ser causados pela deficiência ou pelo excesso de água, por sais, por baixas
180 ou altas temperaturas e ainda por metais pesados (JALEEL et al., 2009). Dentre os tipos
181 de estresse, um deles é o estresse hídrico causado pela deficiência hídrica, que causa
182 efeitos diversos nos vegetais, que podem variar de acordo com a espécie ou o genótipo,
183 além da intensidade e da duração dessa condição estressante. Na figura 1 podem ser
184 observadas algumas respostas das plantas ao estresse hídrico.

185

186

187

188

189

190

191

192

193

194

195

196

197

198

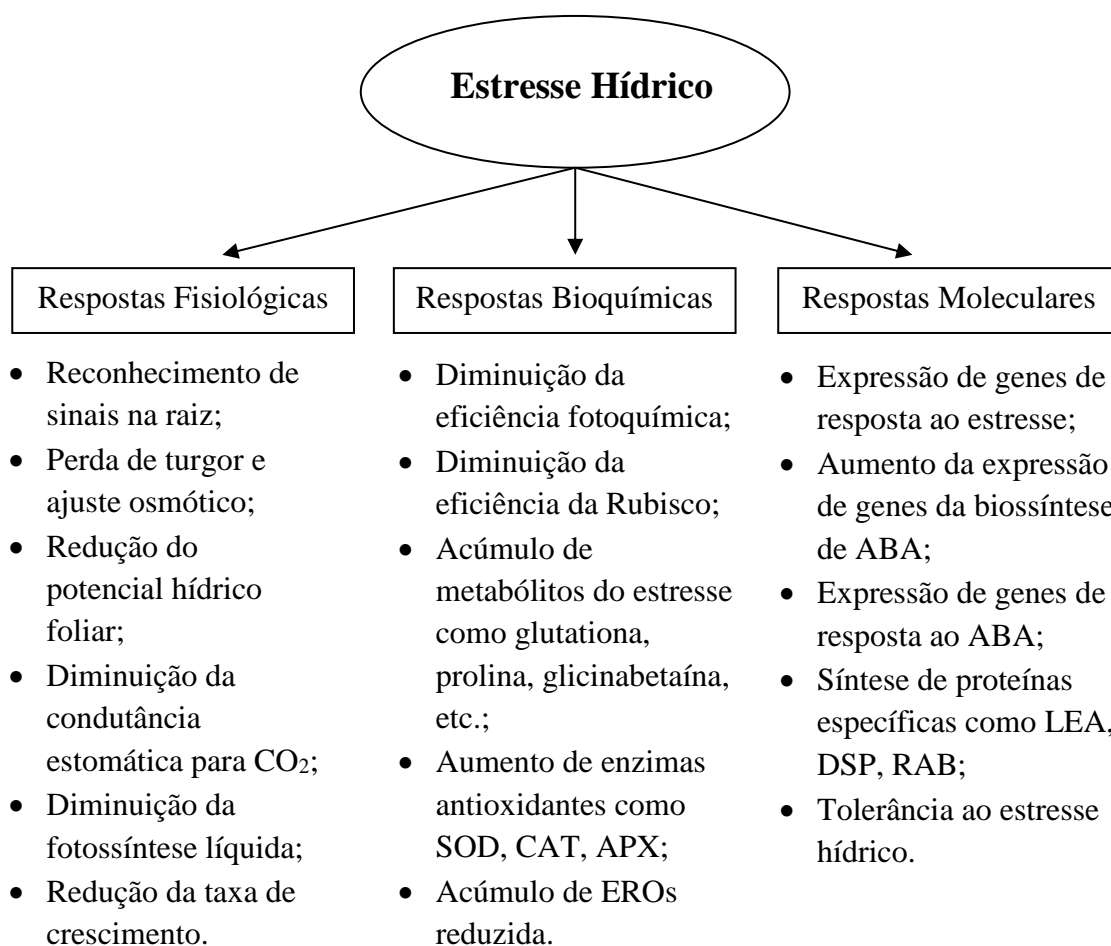
199

200

201

202

203



204

205

206

207

208

Figura 1. Respostas fisiológicas, bioquímicas e moleculares ao estresse hídrico em plantas. Fonte: Reddy et al., 2004 (adaptado).

As plantas de um modo geral, quando em situação de estresse podem alterar as trocas gasosas, apresentando como um dos primeiros sintomas o fechamento dos

209 estômatos, seguido de redução da taxa fotossintética e da transpiração foliar
210 (ARCOVERDE et al., 2011; MEDEIROS et al., 2013; GRACIANO et al., 2016;
211 MATHOBO et al., 2017). Como consequência do fechamento estomático, o fluxo de água
212 no interior do vegetal é afetado e ocorre uma redução da absorção de nutrientes essenciais
213 do solo, prejudicando todo o desenvolvimento da planta (BONFIM-SILVA et al., 2015).
214 O estresse hídrico também provoca alterações no status hídrico do vegetal, através da
215 redução do potencial hídrico foliar e do teor relativo de água da planta (BINKS et al.,
216 2016; MOURA et al., 2016; NXELE et al., 2017). Além disso, podem ocorrer alterações
217 nos teores de pigmentos fotossintéticos, como as clorofilas e os carotenoides (SANKAR
218 et al., 2013; SILVA et al., 2016; MIBEI et al., 2017).

219 O estresse hídrico pode levar o vegetal a um estresse oxidativo, devido ao aumento
220 desordenado da formação de espécies reativas de oxigênio (EROs), que são subprodutos
221 do metabolismo celular e são produzidas por exemplo, nos cloroplastos, nas mitocôndrias,
222 no retículo endoplasmático, na membrana plasmática, na parede e nos peroxissomos
223 (GILL & TUTEJA, 2010; RAO & CHAITANYA, 2016; DAR et al., 2017). São exemplos
224 de EROs, o ânion superóxido (O_2^-), o peróxido de oxigênio (H_2O_2) e hidroxila (OH^-), que
225 são formados após a redução incompleta do oxigênio (SHARMA et al., 2012). Os
226 vegetais podem utilizar mecanismos antioxidantes de defesa, sendo estes mecanismos
227 enzimáticos, através da atividade de enzimas do complexo antioxidante, como por
228 exemplo, a catalase (CAT), a ascorbato peroxidase (APX), guaiacol peroxidase (GPX),
229 além dos mecanismos não enzimáticos, como a síntese de carotenoides, ácido ascórbico
230 e glutathione (JALEEL et al., 2009; PEREIRA et al., 2015; ALVES et al., 2016; RAO &
231 CHAITANYA, 2016).

232 As enzimas catalase e ascorbato peroxidase são enzimas que possuem alta
233 especificidade para o H_2O_2 , convertendo-o em água e oxigênio. (SHARMA et al., 2012).
234 Ascorbato peroxidases podem ser encontradas no citosol, nas mitocôndrias e cloroplastos,
235 além dos peroxissomos, onde também podem ser encontradas catalases (MITTLER et al.,
236 2004). A enzima guaiacol peroxidase também remove o H_2O_2 e pode estar em atividade
237 no citosol e no vacúolo, além da parede celular (DAS & ROYCHOUDHURY, 2014).
238 Quando em altas concentrações, as espécies reativas de oxigênio são prejudiciais às
239 plantas e provocam na mesma o estresse oxidativo, causando danos nas biomoléculas,
240 como por exemplo, lipídios, proteínas e DNA, o que ocorre quando os mecanismos de
241 defesa das plantas são inferiores à produção dos EROs, devido a uma série de fatores,
242 dentre eles a deficiência hídrica (SHARMA et al., 2012; DAR et al., 2017).

243 Outra resposta das plantas à seca é a alteração nos teores de solutos que interferem
244 no potencial osmótico celular, como por exemplo, carboidratos solúveis totais, proteínas
245 solúveis, aminoácidos livres totais e prolina livre. Nxele et al. (2017) observaram que o
246 estresse hídrico aumenta o teor de prolina em plantas de sorgo sob deficiência hídrica,
247 sendo este um indicador de tolerância. Lechinoski et al. (2007), verificaram que plantas
248 de *Tectona grandis* L.F. submetidas ao estresse hídrico reduzem o teor de proteínas
249 solúveis e aumentam o teor de aminoácidos livres totais. Os autores atribuem este
250 resultado à diminuição da síntese de proteínas e também à ação de proteases, que agem
251 degradando as proteínas de reserva do vegetal. Azevedo-Neto et al. (2010), encontraram
252 aumento nos teores de carboidratos solúveis totais, aminoácidos livres totais, proteínas
253 solúveis e prolina livre, em plantas de amendoim sob restrição hídrica.

254

255 1.4 O ESTRESSE HÍDRICO EM PINHÃO-MANSO

256

257 As plantas de *J. curcas* desenvolvem-se bem em regiões com precipitações
258 pluviométricas de 1000 a 1500 mm ao ano e temperaturas que variam de 20°C a 28 °C
259 (FAO, 2010). De acordo com Wani et al. (2016), a exigência da cultura é de 750 a 1000
260 mm ao ano, sendo considerada uma espécie resistente à seca por se desenvolver nesses
261 ambientes, mas que mesmo assim, requer água para ter um melhor desenvolvimento e
262 uma boa produtividade. Uma das características de adaptação apresentadas pelo pinhão-
263 manso para resistir às condições impostas pelas regiões áridas e semiáridas é a
264 deciduidade, quando as plantas perdem suas folhas em períodos de seca prolongada ou
265 quando a precipitação pluviométrica é baixa (OPENSHAW, 2000; SATURNINO, 2005;
266 DIAS et al., 2012).

267

268 Uma das etapas de desenvolvimento do vegetal é a germinação, nesta etapa a
269 água desempenha papel fundamental, pois após a embebição das sementes ocorre a
270 ativação de diversos processos metabólicos que são primordiais para que a semente
271 germine e a planta se desenvolva (FERREIRA & BORGHETTI, 2008). Portanto, a água
272 é considerada fator limitante da germinação, pois em situação de escassez hídrica este
273 processo é severamente afetado (MARCOS FILHO, 2005). As sementes de pinhão-
274 manso têm a germinação afetada pelo estresse hídrico, ocorrendo redução ou até mesmo
275 inibição, pois a escassez de água reduz a porcentagem de germinação, o índice de
velocidade de germinação e o tempo médio de germinação, além de retardar o

276 desenvolvimento inicial de plântulas (PEREIRA & LOPES, 2011; WINDAUER et al.,
277 2011).

278 Resultados indicam que a primeira linha de defesa da espécie é o fechamento
279 estomático, que reduz a fotossíntese, a transpiração e aumenta o estresse oxidativo. Por
280 ter a condutância estomática reduzida, as plantas perdem menos água e mantêm o teor
281 relativo de água das células elevado, mesmo em condição de estresse, sendo este
282 comportamento um indicativo da tolerância do pinhão-manso ao estresse hídrico
283 (ARCOVERDE et al., 2011; DÍAS-LÓPEZ et al., 2012). Outro comportamento que
284 indica que o pinhão-manso é uma espécie tolerante é destacado por Matos et al. (2014),
285 que sugerem que em condição de seca, as plantas adotam um metabolismo intermediário
286 C₃-CAM, apresentando baixa taxa de transpiração e elevada eficiência do uso da água.

287 Em estudo com plantas de pinhão-manso cultivadas por 105 dias em vasos com
288 30 kg de solo, nos tratamentos de 33%, 66% e 100% de disponibilidade hídrica no solo,
289 Simões et al. (2014) verificaram reduções na fotossíntese, na transpiração e na
290 condutância estomática apenas no tratamento de maior estresse hídrico (33% de
291 disponibilidade de água no solo), o que evidencia um certo grau de tolerância da espécie
292 à falta de água. Em adição, Pérez-Vázquez et al. (2013) fizeram um estudo com plantas
293 de pinhão-manso mantidas em vasos preenchidos com 6 kg de solo, nos tratamentos 0
294 (sem adição de água), 20%, 40%, 60% e 80% de água disponível no solo, durante 60 dias.
295 Os autores verificaram que apenas abaixo do tratamento de 40%, houve redução da
296 fotossíntese e da transpiração, portanto, os mesmos recomendam que esta cultura seja
297 cultivada em solos com teor de água em torno de 60% e 80%.

298 O estresse hídrico também provoca alterações das relações hídricas, através da
299 redução do potencial hídrico foliar das plantas e do teor de relativo de água, no entanto,
300 esta variável muitas vezes é mantida ou aumentada nas plantas sob deficiência hídrica
301 (SILVA et al., 2010b; DÍAS-LÓPEZ et al., 2012; PARWATA et al., 2012; OLIVEIRA
302 et al., 2016). Maes et al. (2009), consideram que o caule das plantas de pinhão-manso,
303 por ser suculento, desempenha papel fundamental na economia de água quando a planta
304 está sob condições de seca, contribuindo para a manutenção do teor relativo de água nas
305 células das plantas.

306 Parwata et al. (2012) em estudo com plantas com sete meses de idade de quatro
307 genótipos de pinhão-manso (IP-1A, IP-2M, Local superior-NTB e Yellow leaf),
308 cultivados nos tratamentos irrigado e sequeiro em condição de campo, verificaram que
309 após cinco meses de diferenciação dos tratamentos houve aumento do teor de prolina,

310 além de reduções das relações hídricas, das trocas gasosas e dos teores de clorofila, exceto
311 nos genótipos tolerantes (IP-1A e IP-2M), quando o teor de clorofila foi aumentado nas
312 plantas sob estresse quando comparados com os genótipos sensíveis (Local superior-NTB
313 e Yellow leaf).

314 Días-López et al. (2012) ao cultivarem plantas de *J. curcas* em vasos com 1 kg de
315 substrato, mantidas em câmara de ambiente controlado por 27 dias, sob os tratamentos
316 100% (controle), 75%, 50%, 25% e 0% da capacidade de campo (CC), observaram que
317 as plantas não reduziram o teor relativo de água, mas houve redução da taxa fotossintética
318 e da abertura estomática (exceto no tratamento controle). Já nos tratamentos de 0% e 25%
319 da CC, houve também redução do potencial hídrico foliar, além do aumento nos teores
320 de prolina livre e apenas quando submetidas a 0% da CC, os teores de carboidratos
321 solúveis nas folhas foram reduzidos, sendo mantidos iguais ao das plantas controle para
322 os demais tratamentos. Segundo os autores, esta espécie é considerada como tolerante à
323 falta de água, uma vez que utiliza como estratégia fisiológica, o fechamento estomático e
324 assim mantém o teor de água na planta mesmo em situação de deficiência hídrica.

325 Com relação às respostas de plantas de pinhão-manso ao estresse oxidativo
326 causado pela falta de água, Silva et al. (2010a) ao submeterem plantas com 23 dias de
327 idade, mantidas em câmara de crescimento sob os tratamentos controle (com irrigação) e
328 seca, verificaram que após 5 dias a falta de água aumentou a atividade da enzima
329 ascorbato peroxidase (APX), mas reduziu a atividade da catalase (CAT), prejudicando na
330 remoção das EROs e na prevenção dos danos oxidativos, já que os autores verificaram
331 aumento na concentração de H₂O₂ nas células. Resultados semelhantes foram observados
332 por Silva et al. (2015), em estudo com plantas de pinhão-manso com 30 dias de idade,
333 cultivadas em casa de vegetação em vasos com capacidade para 2 litros, preenchidos com
334 vermiculita, nos tratamentos controle (rega diária) e seca (sem rega) durante 20 dias. Os
335 autores constataram aumento da atividade da APX e redução da CAT nas folhas de
336 pinhão-manso em função do estresse hídrico, no entanto, apenas a APX foi eficaz na
337 remoção do H₂O₂ intracelular, minimizando danos oxidativos.

338 Apesar da importância do pinhão-manso, pesquisas relacionadas à adaptabilidade
339 e tolerância desta espécie às condições ambientais desfavoráveis ainda são escassas,
340 fazendo-se necessário o desenvolvimento de mais pesquisas com esta espécie, para que
341 seja obtido um conhecimento mais aprofundado dos mecanismos fisiológicos que a
342 mesma utiliza para se desenvolver. Sobretudo com relação aos genótipos estudados nesta
343 pesquisa, uma vez que os resultados aqui apresentados são inéditos.

344 **2. OBJETIVOS**

345

346 2.1. OBJETIVO GERAL

347

348 O objetivo da presente pesquisa foi identificar mecanismos de respostas
349 fisiológicas e bioquímicas na germinação e desenvolvimento inicial de dois genótipos de
350 *Jatropha curcas* L. sob estresse hídrico induzido pelo polietilenoglicol (PEG) 6000.

351

352 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

353

- 354 • Realizar a análise morfométrica de sementes de dois genótipos de pinhão-mansó;
- 355 • Avaliar a porcentagem de germinação, o índice de velocidade e o tempo médio de
356 germinação em sementes de dois genótipos de pinhão-mansó submetidas ao
357 estresse hídrico;
- 358 • Quantificar os teores de solutos orgânicos (carboidratos solúveis totais, proteínas
359 solúveis, aminoácidos livres totais e prolina livre) em plântulas e mudas de dois
360 genótipos de pinhão-mansó submetidos ao estresse hídrico;
- 361 • Determinar a atividade de enzimas antioxidantes (ascorbato peroxidase, catalase
362 e guaiacol peroxidase) em plântulas e mudas de dois genótipos de pinhão-mansó
363 submetidas ao estresse hídrico;
- 364 • Avaliar as relações hídricas (potencial hídrico foliar e teor relativo de água) em
365 mudas de dois genótipos de pinhão-mansó submetidas ao estresse hídrico;
- 366 • Verificar as trocas gasosas (fotossíntese, transpiração, condutância estomática e
367 eficiência do uso da água) em mudas de dois genótipos de pinhão-mansó
368 submetidas ao estresse hídrico;
- 369 • Quantificar os teores de pigmentos fotossintéticos e acessórios (clorofila *a*, *b*, total
370 e carotenoides) em mudas de dois genótipos de pinhão-mansó submetidas ao
371 estresse hídrico.

372 **3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- 373 ABOU-ARAB, A. A.; ABU-SALEM, F. M. Nutritional quality of *Jatropha curcas* seeds
374 and effect of some physical and chemical treatments on their anti-nutritional factors.
375 **African Journal of Food Science**, v.4, n.3, p.93-103, 2010.
- 376 ALVES, J. M. A.; SILVA, A. A. S.; SILVA, S. R. G.; LOPES, G. N.; SMIDERIE, O. J.;
377 UCHÔA, S. C. P. Pinhão-manso: uma alternativa para produção de biodiesel na
378 agricultura familiar da Amazônia brasileira. **Revista Agro@ambiente**, v.2, n.1, p.57-68,
379 2008. DOI: 10.18227/1982-8470ragro.v2i1.160
- 380 ALVES, G. M. R.; PEREIRA, J. W. L.; LUZ, L. N.; LIMA, L. M.; SANTOS, R. C.
381 Genotypic variability of peanut lines in response to water stress, based on biochemical
382 descriptors. **Revista Caatinga**, v.29, n.3, p.528-536, 2016. DOI: 10.1590/1983-
383 21252016v29n302rc
- 384 ANDRADE-VIEIRA, L. F.; BOTELHO, C. M.; LAVIOLA, B. G.; PALMIERI, M. J.;
385 PRAÇA-FONTES, M. M. Effects of *Jatropha curcas* oil in *Lactuca sativa* root tip
386 bioassays. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.86, n.1, p.373-382, 2014. DOI:
387 10.1590/0001-3765201420130041
- 388 ANP. **Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis: Dados**
389 **estatísticos**, 2016a. Disponível em: <[http://www.anp.gov.br/wwwanp/dados-](http://www.anp.gov.br/wwwanp/dados-estatisticos)
390 [estatisticos](http://www.anp.gov.br/wwwanp/dados-estatisticos)> Acesso em: 20 de janeiro de 2017.
- 391 ANP. **Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis:**
392 **Biocombustíveis**, 2017. Disponível em:
393 <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/biocombustiveis>> Acesso em: 20 de janeiro de 2017.
- 394 ARANTES, A. V.; ANDRADE, M. C.; BARACHO, N. C. V. Estudo da atividade
395 antimicrobiana das folhas de *Jatropha curcas* L. frente ao *Staphylococcus aureus* e
396 *Escherichia coli*. **Revista Ciências em Saúde**, v.3, n.2, 2013. DOI:
397 10.21876/rcsfmit.v3i2.249
- 398 ARCOVERDE, G. B.; RODRIGUES, B. M.; POMPELLI, M. F.; SANTOS, M. G. Water
399 relations and some aspects of leaf metabolism of *Jatropha curcas* young plants under two
400 water deficit levels and recovery. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v.23, n.2, p.123-
401 130, 2011. DOI: 10.1590/S1677-04202011000200004
- 402 AZEVEDO, A. N. G.; LIMA, B. G. A. Biocombustíveis: desenvolvimento e inserção
403 internacional. **Revista Direito Ambiental e Sociedade**, v.6, n.1, 2016.
- 404 AZEVEDO NETO, A. D.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; MELO FILHO, P. A.; SANTOS,
405 R. C. Physiological and biochemical responses of peanut genotypes to water deficit.
406 **Journal of Plant Interactions**, v.5, n.1, p.1-10, 2010. DOI:
407 10.1080/17429140902999243
- 408 BESERRA, F. P.; AGUIAR, R. W. S.; CARVALHO, E. E. N.; BORGES, J. C. M.;
409 VALE, B. N. *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae) como novo bioinseticida: análise
410 fitoquímica preliminar e atividade larvicida contra *Aedes aegypti* (Diptera: culicidae).
411 **Revista Amazônia Science & Health**, v.2, n.3, p.17-25, 2014.

- 412 BHERING, L. L.; PEIXOTO, L. A.; LEITE, N. L. S. F.; LAVIOLA, B. G. Molecular
 413 analysis reveals new strategy for data collection in order to explore variability in
 414 *Jatropha*. **Industrial Crops and Products**, n.74, p.898-902, 2015. DOI:
 415 10.1016/j.indcrop.2015.06.004
- 416 BINKS, O.; MEIR, P.; ROWLAND, L.; COSTA, A. C. L.; VASCONCELOS, S. S.;
 417 OLIVEIRA, A. A. R.; FERREIRA, L.; CHRISTOFFERSEN, B.; NARDINI, A.;
 418 MENCUCCINI, M. Plasticity in leaf-level water relations of tropical rainforest trees in
 419 response to experimental drought. **New Phytologist**, v.211, p.477-488, 2016. DOI:
 420 10.1111/nph.13927
- 421 BONFIM-SILVA, E. M.; KROTH, B. E.; SILVA, T. J. A.; KOETZ, M. Desenvolvimento
 422 inicial de pinhão-mansô sob disponibilidades hídricas do solo. **Irriga**, v.20, n.1, p.73-81,
 423 2015. DOI: 10.15809/irriga.2015v20n1p73
- 424 BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030**, Brasília,
 425 2007.
- 426 BRASILEIRO, B. G.; DIAS, D. C. F. S.; BHERING, M. C.; DIAS, L. A. S. Floral biology
 427 and characterization of seed germination in physic nut (*Jatropha curcas* L.). **Revista**
 428 **Brasileira de Sementes**, v.34, n.4, p.556-562, 2012. DOI: 10.1590/S0101-
 429 31222012000400005
- 430 CARNIELLI, F. O combustível do futuro. **Boletim Informativo**, UFMG, n.1413, ano
 431 29, 2003. Disponível em: <<https://www.ufmg.br/boletim/bol1413/quarta.shtml>>. Acesso
 432 em 11 de abril de 2016.
- 433 DAR, M. I.; NAIKOO, M. I.; KHAN, F. A.; REHMAN, F.; GREEN, I. D.; NAUSHIN,
 434 F.; ANSARI, A. A. An introduction to reactive oxygen species metabolism under
 435 changing climate in plants. In: KHAN, M.; KHAN, N. **Reactive oxygen species and**
 436 **antioxidant systems in plants: Role and regulation under abiotic stress**. Springer,
 437 Singapore, p.25-52, 2017. DOI: 10.1007/978-981-10-5254-5_2
- 438 DAS, K.; ROYCHOUDHURY, A. Reactive oxygen species (ROS) and response of
 439 antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants. **Frontiers in**
 440 **Environmental Science**, v.2, p.2-53, 2014. DOI: 10.3389/fenvs.2014.00053
- 441 DÍAS-LÓPEZ, L.; GIMENO, V.; SIMÓN, I.; MARTÍNEZ, V.; RODRÍGUEZ-
 442 ORTEGA, W. M.; GARCÍA-SÁNCHEZ, F. *Jatropha curcas* seedlings show a water
 443 conservation strategy under drought conditions based on decreasing leaf growth and
 444 stomatal conductance. **Agricultural Water Management**, v.105, p.49-56, 2012. DOI:
 445 10.1016/j.agwat.2012.01.001
- 446 DIAS, L. A. S.; MISSIO, R. F.; DIAS, D. C. F. S. Antiquity, botany, origin and
 447 domestication of *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae), a plant species with potential for
 448 biodiesel production. **Genetics and Molecular Research**, n.11, v.3, p.2719-2728, 2012.
 449 DOI <http://dx.doi.org/10.4238/2012.June.25.6>
- 450 DURÃES, F. O. M.; LAVIOLA, B. G.; ALVES, A. A. Potential and challenges in making
 451 physic nut (*Jatropha curcas* L.) a viable biofuel crop: the Brazilian perspective.
 452 **Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources**,
 453 v.6, n.43, p.1-8, 2011. DOI: 10.1079/PAVSNNR20116043

- 454 FAIRLESS, D. Jatropha–Palm biodiesel blends: An optimum mix for Asia. **Nature**,
455 n.449, p.652-655, 2007. DOI: 10.1038/449652a
- 456 FAO. Food and Agriculture Organization of The United Nations. **Jatropha: A**
457 **Smalholder Bioenergy Crop. The Potential for Pro-Poor Development**. Roma, 2010.
458 114p.
- 459 FENNER, R.; BETTI, A. H.; MENTZ, L. A.; RATES, S. M. K. Plantas utilizadas na
460 medicina popular brasileira com potencial atividade antifúngica. **Revista Brasileira de**
461 **Ciências Farmacêuticas**, v.42, n.3, p.369-394, 2006.
- 462 FERREIRA, W. J.; BATISTA, G. T.; CASTRO, C. M.; DEVIDE, A. C. P. Biodiesel de
463 pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) em países emergentes: alternativa para o
464 desenvolvimento regional. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**,
465 v.9, n.1, p.3-16, 2013.
- 466 FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. **Germinação: do básico ao aplicado**. Porto
467 Alegre: Atmed, 2008. 323p.
- 468 GARAGORRY, F. L.; SOUZA, M. O.; DIAS, J. M. C. S. Cenários territoriais para 15
469 produtos agroenergéticos. **Documentos Embrapa Agroenergia**, Brasília, doc. 12, 152p.,
470 2012.
- 471 GILL, S. S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic
472 stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.48, p.909-930,
473 2010. DOI:10.1016/j.plaphy.2010.08.016
- 474 GRACIANO, E. S. A.; SANTOS, H. R. B.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Trocas gasosas,
475 eficiência fotoquímica e pigmentos fotossintéticos de cultivares de amendoim sob
476 deficiência hídrica no solo. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural**
477 **Science**, v.9, n.1, p.27-36, 2016. DOI: 10.5935/PAeT.V9.N1.03
- 478 HOLTZ, A. M.; RONDELLI, V. M.; PAULO, H. H.; FRANZIN, M. L.; BOTTI, J. M.
479 C.; SANTOS, V. V.; PRATISSOLI, D. Toxicidade de extratos de pinhão manso ao ácaro-
480 rajado, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). **Magistra**, v.28, n.1, p.74-80,
481 2016.
- 482 INEKWE, U. V.; ONYIKE, E.; ODEY, M. O.; AGBAJI, A. S.; JOEL, J. T.; DIAFE, P.
483 Comparative proximate composition of *Jatropha curcas* seed from India, Kaduna and
484 Edo. **International Journal of Science and Technology**, v.2, n.6, p.379-381, 2012.
- 485 JALEEL, C. A.; MANIVANNAN, P.; WAHID, A.; FAROOQ, M., AL-JUBURI, H. J.;
486 SOMASUNDARAM, R.; PANNEERSELVAM, R. Drought stress in plants: a review on
487 morphological characteristics and pigments composition. **International Journal of**
488 **Agriculture & Biology**, v.11, p.100-105, 2009.
- 489 LAVIOLA, B. G.; ALVES, A. A.; KOBAYASHI, A. K.; FORMIGHIERI, E. F. Pinhão-
490 manso na Embrapa Agroenergia. **Comunicado Técnico Embrapa**, n.12, p.1-7, Brasília,
491 2015.
- 492 LAVIOLA, B. G.; ALVES, A. A.; ROCHA, R. B. Estratégias agronômicas para
493 aproveitamento da torta de pinhão-manso e melhoramento genético visando ao
494 desenvolvimento de cultivares atóxicas de alto desempenho. In: RODRIGUES, C. M.;

- 495 ABDELNUR, P. V. Anais do Simpósio Destoxificação e Aproveitamento das Tortas de
496 Pinhão-manso e Mamona. **Embrapa Agroenergia**, documentos 16, Brasília, 2013.
- 497 LAVIOLA, B. G.; BHERING, L. L.; MENDONÇA, S.; ROSADO, T. B.; ALBRECHT,
498 J. C. Caracterização morfo-agronômica do banco de germoplasma de pinhão manso na
499 fase jovem. **Bioscience Journal**, v.23, n.3, p.371-379, 2011.
- 500 LAVIOLA, B. G.; RODRIGUES, E. V.; ALVES, A. A.; CONCEIÇÃO, L. D. H. C. S.;
501 BRAGA, M. F.; JUNQUEIRA, N. T. V. Potencial do pinhão-manso e de palmeiras para
502 a diversificação de matéria-prima na produção de biodiesel. In: MENEZES, R. S.
503 **Biodiesel no Brasil: impulso tecnológico**, vol.1, Lavras: UFLA, 244p., 2016.
- 504 LECHINOSKI, A.; FREITAS, J. M. N.; CASTRO, D. S.; LOBATO, A. K. S.;
505 OLIVEIRA NETO, C. F.; CUNHA, R. L. M. Influência do estresse hídrico nos teores de
506 proteínas e aminoácidos solúveis totais em folhas de teca (*Tectona grandis* L. f.). **Revista**
507 **Brasileira de Biociências**, v.5, supl.2, p. 927-929, 2007.
- 508 LIMA, M. L. B.; LIMA, V. S. F.; SILVA, T. M.; ALMEIDA, J. P. N. Pinhão manso como
509 alternativa para produção de biodiesel. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v.8, n.4,
510 p.1-7, 2012. DOI: <http://150.165.111.246/ojs-patos/index.php/ACSA>
- 511 MAES, W. H.; ACHTEN, W. M. J.; REUBENS, B.; RAES, D.; SAMSON R.; MUYS B.
512 Plant-water relationships and growth strategies of *Jatropha curcas* L. seedlings under
513 different levels of drought stress. **Journal of Arid Environments**, v.73, p.877-884, 2009.
514 DOI: 10.1016/j.jaridenv.2009.04.013
- 515 MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: Fealq,
516 v.12, 2005. 495p.
- 517 MATHOBO, R.; MARAIS, D.; STEYN, J. M. The effect of drought stress on yield, leaf
518 gaseous exchange and chlorophyll fluorescence of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.).
519 **Agricultural Water Management**, v.180, p.118, 125, 2017. DOI:
520 10.1016/j.agwat.2016.11.005
- 521 MATOS, F. S.; TORRES JUNIOR, H. D.; ROSA, V. R.; SANTOS, P. G. F.; BORGES,
522 L. F. O.; RIBEIRO, R. P.; NEVES, T. G.; CRUVINEL, C. K. L. Estratégia
523 morfofisiológica de tolerância ao déficit hídrico de mudas de pinhão manso. **Magistra**,
524 v.26, n.1, p.19-27, 2014.
- 525 MEDEIROS, D. B.; SILVA, E. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; TEIXEIRA, M. M.;
526 BUCKERIDGE, M. S. Physiological limitations in two sugarcane varieties under water
527 suppression and after recovering. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**,
528 v.25, n.3, p.213-222, 2013. DOI: 10.1590/S2197-00252013000300006
- 529 MIBEI, E. K.; AMBUKO, J.; GIOVANNONI, J. J.; ONYANGO, A. N.; OWINO, W. O.
530 Carotenoid profiling of the leaves of selected African eggplant accessions subjected to
531 drought stress. **Food Science & Nutrition**, v.5, n.1, p.113-122, 2017. DOI:
532 10.1002/fsn3.370
- 533 MIRAGAYA, J. C. G. Biodiesel: tendências no mundo e no Brasil. **Informe**
534 **Agropecuário**, Belo Horizonte, v.26, n.229, p.7-13, 2005.

- 535 MITTLER, R.; VANDERAUWERA, S.; GOLLERY, M.; BREUSEGEM, F. V. Reactive
536 oxygen gene network of plants. **TRENDS in Plant Science**, v.9, n.10, 2004. DOI:
537 10.1016/j.tplants.2004.08.009
- 538 MONTES, J. M.; ALICIARDI, M. R.; CHÁVEZ, J. V.; GUZMÁN, C.; CALANDRI, E.
539 Characterization of *Jatropha curcas* L. seed and its oil, from Argentina and Paraguay.
540 **Journal of the Argentine Chemical Society**, v.98, p.1-9, 2011.
- 541 MOURA, A. R.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; SILVA, J. A. A.; LIMA, T. V. Relações
542 hídricas e solutos orgânicos em plantas jovens de *Jatropha curcas* L. sob diferentes
543 regimes hídricos. **Ciência Florestal**, v.26, n.2, p.245-254, 2016. DOI:
544 10.5902/1980509822735
- 545 NUNES, C. F.; SANTOS, D. N.; PASQUAL, M.; VALENTE, T. C. T. Morfologia
546 externa de frutos, sementes e plântulas de pinhão-manso. **Pesquisa Agropecuária**
547 **Brasileira**, v.44, n.2, p.207-210, 2009. DOI: 10.1590/S0100-204X2009000200014
- 548 NXELE, X.; KLEIN, A.; NDIMBA, B. K. Drought and salinity alters ROS accumulation,
549 water retention, and osmolyte content in sorghum plants. **South African Journal of**
550 **Botany**, v.108, p.261-266, 2017. DOI: 10.1016/j.sajb.2016.11.003
- 551 OLIVEIRA, A. B.; ALENCAR, N. L. M.; GOMES-FILHO, E. **Comparison between**
552 **the water and salt stress effects on plant growth and development**. In: Responses of
553 Organisms to Water Stress, Publisher InTech, p.67-94, 2013. DOI: 10.5772/54223
- 554 OLIVEIRA, P. S.; SILVA, L. D.; SANTANA, T. A.; LAVIOLA, B. G.; PAIVA, A. Q.;
555 MIELKE, M. S.; GOMES, F. P. Morphophysiological changes in Young plants of
556 *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae) subjected to water stress and recovery. **Full Length**
557 **Research Paper**, v.11, n.45, p.4692-4703, 2016. DOI: 10.5897/AJAR2016.11435
- 558 OPENSHAW, K. A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise.
559 **Biomass and Bioenergy**, n.19, p.1-15, 2000.
- 560 OSKOEIAN, E.; ABDULLAH, N.; SAAD, W. Z.; OMAR, A. R.; AHMAD, S.;
561 KUAN, W. B.; ZOLKIFLI, N. A.; HENDRA, R.; HO, Y. W. Antioxidant, anti-
562 inflammatory and anticancer activities of methanolic extracts from *Jatropha curcas* Linn.
563 **Journal of Medicinal Plants Research**, v.5, n.1, p.49-57, 2011.
- 564 OTHMAN, A. R.; ABDULLAH, N.; AHMAD, S.; ISMAIL, I. S.; ZAKARIA, M. P.
565 Elucidation of in-vitro anti-inflammatory bioactive compounds isolated from *Jatropha*
566 *curcas* L. plant root. **BMC Complementary and Alternative Medicine**, v.15, n.11, p.1-
567 10, 2015. DOI: 10.1186/s12906-015-0528-4
- 568 PARWATA, G. M. A.; INDRADEWA, D.; YUDONO, P.; KERTONEGORO, B. D.;
569 KUSMARWIYAH, R. Physiological responses of *Jatropha* to drought stress in coastal
570 sandy land conditions. **Makara Journal of Science**, v.16, n.2, p.115-121, 2012. DOI:
571 10.7454/mss.v16i2.1406
- 572 PEREIRA, M. D.; LOPES, J. C. Germinação e desenvolvimento de plântulas de pinhão
573 manso sob condições de estresse hídrico simulado. **Semina: Ciências Agrárias**, v.32,
574 supl.1, p.1837-1842, 2011. DOI: 10.5433/1679-0359.2011v32Supl1837

- 575 PEREIRA, J. W. L.; SILVA, E. C. A.; LUZ, L. N.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; MELO
576 FILHO, P. A.; LIMA, L. M.; SANTOS, R. C. Cluster analysis to select peanut drought
577 tolerance lines. **Australian Journal of Crop Science**, v.9, n.11, p.1095-1105, 2015.
- 578 PÉREZ-VÁZQUEZ, A.; HERNÁNDEZ-SALINAS, G.; ÁVILA-RESÉNDIZ, C.;
579 VALDÉS-RODRÍGUEZ, O. A.; GALLARDO-LÓPEZ, F.; GARCÍA-PÉREZ, E.; RUIZ-
580 ROSADO, O. Effect of the soil water content on *Jatropha* seedlings in a tropical climate.
581 **International Agrophysics**, v.27, p.351-357, 2013. DOI: 10.2478/intag-2013-0004
- 582 PRAYITNO, A.; FITRIA, M. S.; ELMANDA, A. Y. Tumoricidal activation of
583 macrophages using *Jatropha curcas* leaf extract: as a proxy for the treatment of cancer.
584 **Immunome Research**, v.12, n.1, p.1-3, 2016. DOI: 10.4172/1745-7580.10000112
- 585 RAO, D. E., CHAITANYA, K. V. Photosynthesis and antioxidative defense mechanisms
586 in deciphering drought stress tolerance of crop plants. **Biologia Plantarum**, v.60, n.2,
587 p.201-218, 2016. DOI: 10.1007/s10535-016-0584-8
- 588 REDDY, A. R.; CHAITANYA, K. V.; VIVEKANANDAN, M. Drought-induced
589 responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. **Journal of**
590 **Plant Physiology**, v.161, p.1189-1202, 2004. DOI: 10.1016/j.jplph.2004.01.013
- 591 ROCHA, R. B.; RAMALHO, A. R.; TEIXEIRA, A. L.; LAVIOLA, B. G.; SILVA, F. C.
592 G.; MILITÃO, J. S. L. T. Eficiência da seleção para incremento do teor de óleo do pinhão-
593 manso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.1, p.44-50, 2012. DOI:
594 10.1590/S0100-204X2012000100007
- 595 SANKAR, B. KARTHISHWARAN, K.; SOMASUNDARAM, R. Photosynthtic
596 pigment content alterations in *Arachis hypogea* L. in relation to varied irrigation levels
597 with growth hormone and triazoles. **Journal of Ecobiotechnology**, v.5, p.7-13, 2013.
- 598 SATO, M.; BUENO, O. C.; ESPERANCINI, M. S. T.; FRIGO, E. P. A cultura do pinhão-
599 manso (*Jatropha curcas* L.): uso para fins combustíveis e descrição agrônômica. **Revista**
600 **Varia Scientia**, v.7, n.13, p.47-62, 2009.
- 601 SATURNINO, H. M.; PACHECO, D. D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N.;
602 GONÇALVES, N. P. Cultura do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). **Informe**
603 **Agropecuário**, Belo Horizonte, v.26, n.229, p.44-78, 2005.
- 604 SHAHINUZZAMAN, M.; YAAKOB, Z.; MONIRUZZAMAN, M. Medicinal and
605 cosmetics soap production from *Jatropha* oil. **Journal of Cosmetic Dermatology**, v.15,
606 n.2, p.185-193, 2016. DOI: 10.1111/jocd.12209
- 607 SHARMA, P.; JHA, A. B.; DUBEY, R. S.; PESSARAKLI, M. Reactive oxygen species,
608 oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful
609 conditions. **Journal of Botany**, n.ID 217037, p.1-26, 2012. DOI: 10.1155/2012/217037
- 610 SILVA, E. N.; FERREIRA-SILVA, S. L.; FONTENELE, A. V.; RIBEIRO, R. V.;
611 VIÉGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. G. Photosynthetic changes and protective mechanisms
612 against oxidative damage subjected to isolated and combined drought and heat stresses in
613 *Jatropha curcas* plants. **Journal of Plant Physiology**, v.167, p.1157-1164, 2010a. DOI:
614 10.1016/j.jplph.2010.03.005
- 615 SILVA, E. N.; RIBEIRO, R. V.; FERREIRA-SILVA, S. L.; VIÉGAS, R. A.; SILVEIRA,
616 J. A. G. Comparative effects of salinity and water stress on photosynthesis, water relations

- 617 and growth of *Jatropha curcas* plants. **Journal of Arid Environments**, v.74, p.1130-
618 1137, 2010b. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2010.05.036
- 619 SILVA, P. A.; OLIVEIRA, I. V.; RODRIGUES, K. C. B.; COSME, V. S.; BASTOS, A.
620 J. R.; DETMANN, K. S. C.; CUNHA, R. L.; FESTUCCI-BUSELLI, R. A.; DAMATTA,
621 F. M.; PINHEIRO, H. A. Leaf gas exchange and multiple enzymatic and non-enzymatic
622 antioxidant strategies related to drought tolerance in two oil palm hybrids. **Trees**, v.30,
623 n.1, p.203-214, 2016. DOI: 10.1007/s00468-015-1289-x
- 624 SILVA, E. N.; SILVEIRA, J. A. G.; RIBEIRO, R. V.; VIEIRA, S. A. Photoprotective
625 function of energy dissipation by thermal processes and photorespiratory mechanisms in
626 *Jatropha curcas* plants during different intensities of drought and after recovery.
627 **Environmental and Experimental Botany**, v.110, p.36-45, 2015. DOI:
628 10.1016/j.envexpbot.2014.09.008
- 629 SIMÕES, W. L.; DRUMOND, M. A.; GUIMARÃES, M. J. M.; OLIVEIRA, A. R.;
630 FERREIRA, P. P. B.; SOUZA, M. A. Desenvolvimento inicial e respostas fisiológicas do
631 pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) a diferentes lâminas de irrigação e doses de
632 nitrogênio. **Revista Brasileira de Biociências**, v.12, n.4, p.188-195, 2014.
- 633 TEIXEIRA, L. C. Potencialidades de oleaginosas para produção de biodiesel. **Informe**
634 **agropecuário**, Belo Horizonte, v.26, n.229, p.18-27, 2005.
- 635 WANI, S. P.; GARG, K. K.; CHANDER, G. Water needs and productivity of *Jatropha*
636 *curcas* in India: myths and facts. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v.10, n.3,
637 p.240-254, 2016. DOI: 10.1002/bbb.1630
- 638 WINDAUER, L. B.; MARTINEZ, J.; RAPOPORT, D.; WASSNER, D.; BENECH-
639 ARNOLD, R. Germination responses to temperature and water potential in *Jatropha*
640 *curcas* seeds: a hydrotime model explains the difference between dormancy expression
641 and dormancy induction at different incubation temperatures. **Annals of Botany**, v.109,
642 n.1, p.265-273, 2011. DOI: 10.1093/aob/mcr242.
- 643 WORKAGEGN, K. B.; ABABBO, E. D.; TOSSA, B. T. The effect of dietary inclusion
644 of *Jatropha curcas* kernel meal on growth performance, feed utilization efficiency and
645 survival rate of juvenile Nile tilapia. **Aquaculture Research & Development**, v.4, n.5,
646 p.1-5, 2013. DOI: 10.4172/2155-9546.1000193

647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660

CAPÍTULO II

EFEITOS DE DIFERENTES POTENCIAIS OSMÓTICOS SOBRE A GERMINAÇÃO, SOLUTOS ORGÂNICOS E ATIVIDADE DE DOIS GENÓTIPOS DE *Jatropha curcas* L.

Artigo submetido à revista Plant Ecology

661 **Resumo**

662 *Jatropha curcas* L. é uma espécie promissora na produção de biodiesel, através do óleo
663 presente nas suas sementes. Sabe-se que para que a planta germine e se desenvolva, ela
664 necessita de água, e a deficiência hídrica é um fator que prejudica o estabelecimento de
665 plantas, incluindo o pinhão-manso. Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a tolerância
666 de dois genótipos de pinhão-manso (CNPAE 263 e CNPAE 256) ao estresse hídrico
667 induzido pelo PEG 6000, nos tratamentos: controle (0 MPa), -0,2 MPa, -0,4 MPa e -0,6
668 MPa. Avaliou-se a porcentagem de germinação, o índice de velocidade e o tempo médio
669 de germinação das sementes, além dos teores de solutos orgânicos (aminoácidos solúveis
670 totais, proteínas solúveis, carboidratos totais e prolina livre) e a atividade de enzimas
671 antioxidativas (ascorbato peroxidase, catalase e guaiacol peroxidase). Os parâmetros
672 fisiológicos e os teores de solutos orgânicos foram afetados no processo de germinação
673 no genótipo CNPAE 256. Com relação às enzimas antioxidativas, em ambos os genótipos
674 a atividade da catalase foi reduzida e da guaiacol peroxidase aumentada. Portanto, este
675 estudo indica que o genótipo CNPAE 263 é mais tolerante ao estresse hídrico que o
676 CNPAE 256, por ter os parâmetros avaliados menos afetados no nível de -0,2 MPa.

677 INTRODUÇÃO

678

679 Estima-se que as reservas de petróleo no Brasil poderão ser esgotadas em cerca
680 de 40 anos, portanto, há cada vez mais a necessidade em utilizar biocombustíveis. Dentre
681 as espécies que podem ser utilizadas para esse fim está o pinhão-manso, onde a idade
682 produtiva se inicia aos três ou quatro anos de cultivo e pode durar até 40 anos (Carnielli,
683 2003).

684 O pinhão-manso, como fonte de matéria-prima para a produção de
685 biocombustível, é objeto de interesse em diversos países, dentre eles estão Índia, China,
686 México, Guatemala, Argentina e nos Estados Unidos. No Brasil, há diversos estudos para
687 se conhecer as necessidades do pinhão-manso para que haja uma boa produtividade, além
688 do desenvolvimento de genótipos que sejam mais tolerantes às condições ambientais
689 adversas (Laviola, et al., 2015; Drumond et al., 2016; Moura et al., 2016; Rocha et al.,
690 2016).

691 *Jatropha curcas* L. é uma espécie rústica, que tolera a deficiência hídrica e
692 também radiação solar elevada, além de não exigir solos adubados. Porém, as suas
693 sementes são sensíveis à seca, o que pode dificultar o estabelecimento das plantas sob
694 essa condição (Pereira & Lopes, 2011). As suas sementes armazenam óleo, que pode ser
695 utilizado para a produção de biodiesel, sendo então matéria prima para uma fonte de
696 energia renovável (Pascualli et al., 2012). Após a extração do óleo, a torta resultante que
697 corresponde a dois terços da semente, também pode ser utilizada na produção de energia,
698 mas devido a sua toxicidade, não é recomendada para uso como alimentação animal
699 (Jongschaap et al., 2009).

700 A deficiência hídrica é um dos fatores que mais limita a produção agrícola e que
701 afeta o ciclo natural da planta e dependendo do grau de deficiência, pode até mesmo
702 impedir que a semente inicie seu processo de germinação, já que a água é um fator
703 essencial para iniciar esse processo (Ouattara et al., 2011). Além de prejudicar a
704 germinação das sementes, o índice de velocidade e o tempo médio de germinação
705 (Almeida et al., 2014; Azerêdo et al., 2016; Santos et al., 2016), o estresse hídrico pode
706 causar a formação de espécies reativas de oxigênio (EROs), como por exemplo, o
707 oxigênio singlete ($^1\text{O}_2$), o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e o radical hidroxila (OH^\cdot), que
708 causam danos oxidativos às células. Em função disso, ocorrem alterações na atividade
709 das enzimas que atuam na defesa das plantas, agindo como antioxidantes, eliminando
710 essas EROs (Reddy et al., 2004; Carneiro et al., 2011; Sharma et al., 2012).

711 Outra resposta de plântulas que germinam em condições de diferença de potencial
712 hídrico, é a alteração na concentração de solutos orgânicos compatíveis, como por
713 exemplo, os carboidratos totais, as proteínas totais, os aminoácidos solúveis totais e
714 também a prolina livre (Monteiro et al., 2014; Paixão et al., 2014).

715 A tolerância à falta de água no solo pode variar de acordo com a espécie e também
716 com as modificações genéticas. O polietilenoglicol (PEG) 6000, que é um polímero de
717 baixo peso molecular, diminui o potencial osmótico, dificultando a absorção de água
718 pelos tecidos/células sem causar efeitos tóxicos, sendo utilizado para simular condições
719 de deficiência hídrica (Pelegri et al., 2013).

720 Uma vez que a água é o principal recurso para que a semente germine, pesquisas
721 que possam contribuir para a determinação do grau de tolerância ao déficit hídrico em
722 sementes de *J. curcas* L. são cada vez mais importantes, com o objetivo de se obter
723 genótipos que consigam se estabelecer e se desenvolver em ambientes com pouca água
724 disponível. Portanto, esta pesquisa teve por objetivo avaliar a germinação de sementes de
725 dois genótipos de pinhão-manso sob estresse hídrico simulado pelo polietilenoglicol,
726 além de determinar os teores de solutos orgânicos e a atividade de enzimas antioxidantes
727 nas plântulas.

728

729 **MATERIAL E MÉTODOS**

730

731 *Morfometria das sementes*

732 Para realização da análise morfométrica das sementes, foram selecionadas ao
733 acaso 200 sementes de cada genótipo e separadas em quatro repetições, cada uma com 50
734 sementes. Com uso de uma balança analítica, as sementes foram pesadas individualmente
735 e com um paquímetro digital foram mensuradas as medidas de comprimento, largura e
736 espessura de cada semente. De posse dos dados, foi feita a análise descritiva dos mesmos
737 e obtidos os valores de média geral, valor máximo, valor mínimo, desvio padrão e
738 coeficiente de variação.

739

740 *Condições experimentais e tratamentos*

741 O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Fisiologia Vegetal do
742 Departamento de Biologia da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Foram
743 utilizados dois genótipos de *J. curcas* L. (CNPAE 263 e CNPAE 256) fornecidos pela

744 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) Agroenergia, Brasília-DF,
745 Brasil.

746 Para a análise da germinação, as sementes foram dispostas em rolos de papel
747 *germitest*, umedecidos com três vezes o peso do papel e postas para germinar em B.O.D.
748 (*Biochemical Oxygen Demand*) a uma temperatura de 30°C e luz constante. Foram
749 utilizadas três folhas para cada rolo de papel. Para induzir o estresse hídrico, foi utilizado
750 o polietilenoglicol 6000 (PEG 6000) como indutor de seca. Os tratamentos adotados
751 foram: Controle (água destilada); -0,2 MPa; -0,4 MPa; e -0,6 MPa. Para obtenção dos
752 referidos potenciais osmóticos, seguiu-se a metodologia descrita por Villela et al. (1991)
753 e as concentrações de PEG utilizadas constam na tabela abaixo:

754

755 **Tabela 1.** Quantidade de PEG 6000 empregada para obtenção dos potenciais osmóticos
756 referentes aos tratamentos utilizados, de acordo com Villela et al. (1991), a uma
757 temperatura de 30 °C.

Tratamentos (MPa)	Quantidade de PEG 6000 (g.L ⁻¹ H ₂ O)
Controle	0,0
-0,2	127,780
-0,4	188,168
-0,6	234,637

758

759 Em cada tratamento foram utilizadas quatro repetições com 25 sementes cada,
760 totalizando 100 sementes por tratamento e 400 sementes para cada genótipo. Antes da
761 montagem do experimento foi realizada a assepsia das sementes, através da imersão das
762 em uma solução contendo água e detergente comercial por dois minutos, com agitação
763 manual e logo em seguida foram enxaguadas com água corrente em abundância, para que
764 o detergente fosse removido completamente.

765

766 *Germinação, índice de velocidade e tempo médio de germinação*

767 Por um período de 30 dias, diariamente foram contadas as sementes germinadas
768 para que fosse calculada a porcentagem de germinação (%G), tendo como critério de
769 semente germinada a emissão da radícula. Foi calculado o índice de velocidade de
770 germinação (IVG), de acordo com a fórmula proposta por Maguire (1962) e o tempo
771 médio de germinação (TMG) de acordo com Edmond & Drapala (1965).

772 Para o IVG:

773
$$IVG = \frac{G1}{N1} + \frac{G2}{N2} + \dots + \frac{Gn}{Nn}$$

774 Onde:

775 G1, G2 e Gn = número de sementes germinadas na primeira, segunda e na última
776 contagem;

777 N1, N2 e Nn = número de dias da sementeira à primeira, segunda e última contagem.

778

779 Para o TMG:

780
$$TMG = \frac{G1T1 + G2T2 + \dots + GnTn}{G1 + G2 + \dots + Gn}$$

781 Onde:

782 G1, G2 e Gn = número de sementes germinadas na primeira, segunda e na última
783 contagem;

784 T1, T2 e Tn = tempo em dias, a partir da sementeira.

785

786 *Análises bioquímicas*

787 Após a emissão das folhas cotiledonares do embrião, foram coletadas amostras de
788 matéria fresca da parte aérea para realização da quantificação de solutos orgânicos e da
789 atividade de enzimas antioxidantes. A coleta foi realizada após 25 dias de montagem do
790 experimento, nos tratamentos com material vegetal disponível. As amostras foram
791 imediatamente congeladas e armazenadas em freezer a -20°C até o momento do preparo
792 dos extratos. Para isso, o material vegetal foi macerado em gral com pistilo e foi
793 adicionado 4 mL de tampão fosfato de potássio monobásico 100 mM, pH 7,0 contendo
794 EDTA 0,1 mM. Após a maceração e homogeneização, o macerado foi filtrado em tecido
795 do tipo musseline, vertido para tubos plásticos do tipo eppendorff e centrifugado em
796 centrífuga refrigerada a 15.000 rpm por 10 minutos a 4°C. Depois da centrifugação, o
797 sobrenadante foi coletado e armazenado em tubos eppendorff para a realização das
798 análises, enquanto que o precipitado foi descartado, seguindo a metodologia proposta por
799 Azevedo Neto et al. (2010).

800 Foram quantificados os teores de aminoácidos solúveis totais pelo método da
801 ninhidrina (Yemm & Cocking, 1955), utilizando-se glicina como padrão, com as leituras
802 realizadas na faixa de 570 nm. A determinação do teor de proteínas solúveis foi feita pelo
803 método da ligação ao corante Coomassie Brilliant Blue, de acordo com Bradford (1976),
804 utilizando-se albumina sérica bovina como padrão a 595 nm. Já os carboidratos totais

805 foram determinados pelo método do fenol-ácido sulfúrico, utilizando como padrão a D
806 (+) glucose e a leitura foi feita em espectrofotômetro a 490 nm, de acordo com a
807 metodologia de Dubois et al. (1956). Finalmente o teor da prolina livre avaliou-se pelo
808 método da ninhidrina ácida (Bates, 1973) com curva de padronização feita a partir de L-
809 prolina e suas leituras foram feitas no comprimento de onda de 520 nm. Todas as leituras
810 foram feitas em espectrofotômetro modelo SP 220 Biospectro.

811

812 *Atividade enzimática*

813 Foram avaliadas as atividades das enzimas ascorbato peroxidase (APX), catalase
814 (CAT) e guaiacol peroxidase (GPX). A atividade da APX foi determinada através da
815 atividade da enzima durante intervalo de 1 minuto no comprimento de onda de 290 nm,
816 usando o coeficiente de extinção molar para ascorbato de $2,8 \text{ mM}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$, (Nakano &
817 Asada, 1981). A atividade da CAT foi determinada através do monitoramento do
818 decréscimo de H_2O_2 na faixa de 240 nm por 1 minuto, sendo considerado o coeficiente
819 de extinção molar de $36 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1} \text{ s}^{-1}$ (Beers & Sizer, 1952). Por fim, a atividade da GPX
820 foi determinada pela quantidade de tetraguaiacol formado durante 1 minuto no
821 comprimento de onda de 470 nm, usando o coeficiente de extinção molar de $26,6$
822 $\text{mmol} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ (Urbanek et al., 1991). As leituras foram realizadas em espectrofotômetro
823 do modelo Thermo Scientific Biomate.

824

825 *Análise estatística*

826 De posse dos dados, os mesmos foram submetidos à análise de variância e suas
827 médias comparadas entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, com
828 uso do software Assistat, versão 7.7 beta (Silva & Azevedo, 2016).

829

830 **RESULTADOS**

831

832 *Morfometria das sementes*

833 A análise descritiva dos dados relativos à morfometria das sementes de *J. curcas*
834 L. pode ser observada na Tabela 2. Os valores obtidos para a massa de cada semente
835 foram em média de 0,547 g e 0,561 g para os genótipos CNPAE 263 e CNPAE 256,
836 respectivamente. A média dos valores do comprimento, da largura e da espessura foi de
837 1,670 cm, 1,042 cm e 0,801 cm para o genótipo CNPAE 263, e 1,663 cm, 1,044 cm e
838 0,807 cm para o genótipo CNPAE 256, respectivamente. Destaca-se a variável massa

839 como a que apresentou maior coeficiente de variação e o comprimento, a menor variação,
 840 em ambos os genótipos (Tabela 2).

841

842 **Tabela 2.** Análise descritiva da morfometria de sementes de dois genótipos de *Jatropha*
 843 *curcas* L.: CNPAE 263 e CNPAE 256.

Variáveis					
Massa (g)					
Genótipos	Média	Valor Máximo	Valor Mínimo	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação
CNPAE 263	0,547	0,686	0,324	0,065	11,90%
CNPAE 256	0,561	0,762	0,396	0,064	11,40%
Comprimento (cm)					
Genótipos	Média	Valor Máximo	Valor Mínimo	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação
CNPAE 263	1,670	1,886	1,401	0,740	4,40%
CNPAE 256	1,663	1,819	1,025	0,885	5,30%
Largura (cm)					
Genótipos	Média	Valor Máximo	Valor Mínimo	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação
CNPAE 263	1,042	1,167	0,879	0,584	5,60%
CNPAE 256	1,044	1,198	0,787	0,609	5,80%
Espessura (cm)					
Genótipos	Média	Valor Máximo	Valor Mínimo	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação
CNPAE 263	0,801	1,002	0,641	0,560	7,00%
CNPAE 256	0,807	0,923	0,680	0,452	5,60%

844

845 *Porcentagem de germinação, índice de velocidade e tempo médio de germinação*

846 De modo geral, em ambos os genótipos, a porcentagem de germinação foi
 847 reduzida, à medida que o potencial osmótico referente a cada tratamento se tornou mais
 848 negativo, não havendo germinação no tratamento -0,6 MPa. No genótipo CNPAE 256
 849 apesar de ter uma maior germinação no tratamento controle (95%), a germinação foi
 850 reduzida consideravelmente a partir de -0,2 MPa (Tabela 3). A %G do CNPAE 263 foi
 851 de 81%, a do CNPAE 256 foi de 34% demonstrando que este último genótipo é sensível
 852 à baixa disponibilidade hídrica na germinação. Já no tratamento -0,4 MPa, o estresse

853 hídrico afetou ambos os genótipos, porém de forma mais severa no CNPAE 256. A partir
 854 de -0,6 MPa não houve germinação, evidenciando que esses genótipos não germinam sob
 855 tal condição de deficiência hídrica.

856

857 **Tabela 3.** Média da porcentagem de germinação (%G) de sementes de dois genótipos de
 858 *Jatropha curcas* L. (CNPAE 263 e CNPAE 256) submetidas a diferentes potenciais
 859 osmóticos induzidos pelo polietilenoglicol 6000.

Genótipo/ Tratamentos	% G			
	Controle	-0,2 Mpa	-0,4 MPa	-0,6 MPa
CNPAE 263	93,00 ± 6,00 aA	81,00 ± 2,0 aB	10,00 ± 6,92 aC	0,00 ± 0,00 aD
CNPAE 256	95,00 ± 3,83 aA	34,00 ± 10,06 bB	2,00 ± 2,31 bC	0,00 ± 0,00aC
CV (%)	12,99			

860 Letras minúsculas na coluna comparam os genótipos e maiúsculas nas linhas, os
 861 tratamentos. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
 862 CV: coeficiente de variação.

863

864 De forma semelhante ao observado na %G, à medida que se elevou o grau de
 865 deficiência hídrica, o IVG das sementes foi afetado em ambos os genótipos utilizados,
 866 porém no genótipo CNPAE 256 as reduções foram mais significativas (Tabela 4). Em
 867 condições controle, o índice de velocidade de germinação das sementes teve uma média
 868 de 7,5. No tratamento -0,2 MPa, já houve uma redução expressiva dessa variável, quando
 869 as sementes dos genótipos CNPAE 263 e CNPAE 256 reduziram a velocidade da
 870 germinação em 62% e 93%, respectivamente. Para o tratamento -0,4 MPa, o IVG
 871 apresentou valores muito próximos de zero. O IVG do tratamento -0,6 MPa não foi
 872 calculado, uma vez que as sementes não germinaram em ambos os genótipos.

873

874 **Tabela 4.** Média do índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes de dois
 875 genótipos de *Jatropha curcas* L. (CNPAE 263 e CNPAE 256) submetidas diferentes
 876 potenciais osmóticos induzidos pelo polietilenoglicol 6000.

. Genótipo/ Tratamentos	IVG		
	Controle	-0,2 Mpa	-0,4 MPa
CNPAE 263	7,31 ± 0,52 bA	2,76 ± 0,24 aB	0,18 ± 0,12 aC
CNPAE 256	7,77 ± 0,47 aA	0,54 ± 0,30 bB	0,02 ± 0,02 aB

CV (%)	10,71
--------	-------

877 Letras minúsculas na coluna comparam os genótipos e maiúsculas na linha, os
878 tratamentos. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
879 CV: coeficiente de variação.

880 Com relação ao tempo médio que as sementes levaram para germinar, observou-
881 se que foram necessários 3,24 dias para o CNPAE 263 e 3,75 dias no CNPAE 256 (Tabela
882 5). No genótipo CNPAE 256 as sementes dos tratamentos -0,2 MPa e -0,4 MPa
883 demoraram mais tempo para germinar do que as do genótipo CNPAE 263. Em ambos os
884 genótipos as sementes não germinaram no tratamento -0,6 MPa, portanto o TMG das
885 mesmas não foi calculado.

886

887 **Tabela 5.** Média do tempo médio de germinação (TMG) em dias, de sementes de dois
888 genótipos (CNPAE 263 e CNPAE 256) de *Jatropha curcas* L. submetidas a diferentes
889 potenciais osmóticos induzidos pelo polietilenoglicol 6000.

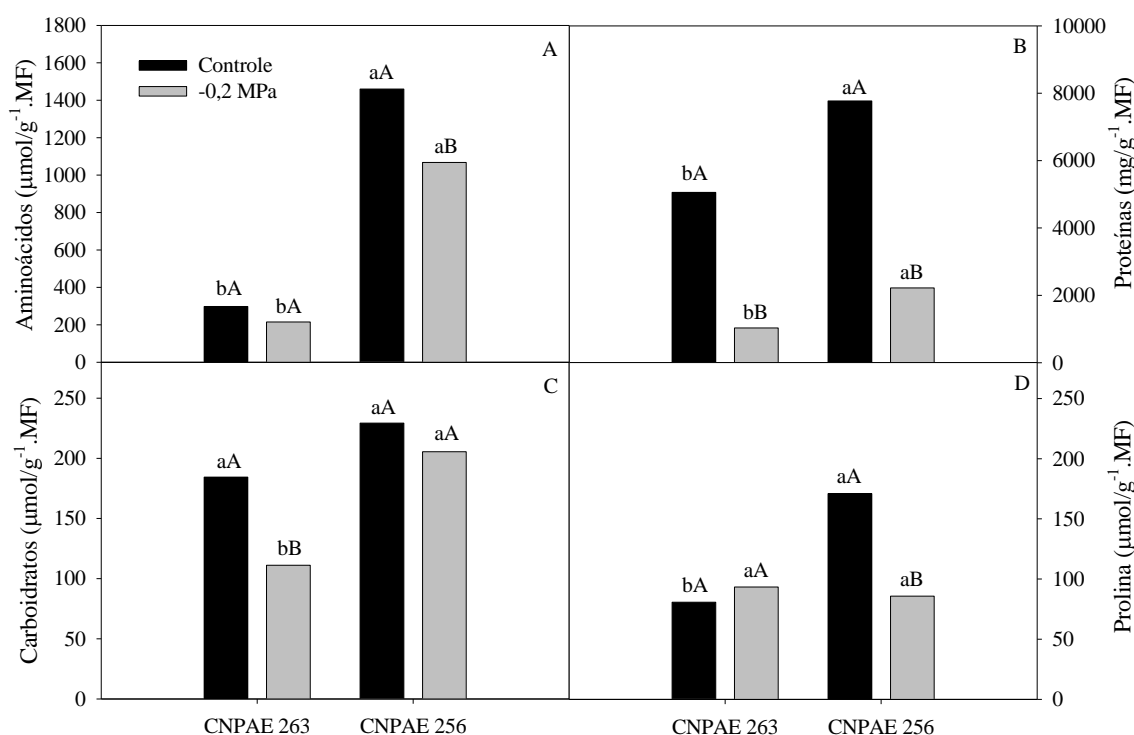
Genótipo/ Tratamentos	TMG (dias)		
	Controle	-0,2 Mpa	-0,4 MPa
CNPAE 263	3,24 ± 0,04 aC	8,30 ± 0,33 bB	15,23 ± 7,86 bA
CNPAE 256	3,75 ± 0,70 aB	20,39 ± 3,99 aA	20,50 ± 11,84 aA
CV (%)	14,89		

890 Letras minúsculas na coluna comparam os genótipos e maiúsculas na linha, os
891 tratamentos. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
892 CV: coeficiente de variação.

893

894 *Teores de solutos orgânicos*

895 Na figura 1 observam-se os teores de solutos orgânicos presentes nas plântulas de
896 *J. curcas* L.. Em condição de estresse, o genótipo CNPAE 263 reduziu os teores de
897 proteínas e carboidratos, enquanto que o CNPAE 256 reduziu os teores de aminoácidos
898 solúveis totais, proteínas solúveis e prolina livre. Estas reduções foram significativas ao
899 nível de 5% de probabilidade.



900

901 **Figura 1.** Médias dos teores de aminoácidos solúveis totais (A), proteínas solúveis (B),
 902 carboidratos totais (C) e prolina livre (D) na parte aérea de plântulas de dois genótipos
 903 (CNPAE 263 e CNPAE 256) de *Jatropha curcas* L. submetidas ao estresse hídrico
 904 induzido pelo polietilenoglicol 6000. Letras minúsculas comparam os genótipos e
 905 maiúsculas, os tratamentos. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%
 906 de probabilidade.

907

908 Para os teores de aminoácidos solúveis totais, foi verificado no genótipo CNPAE
 909 256 os valores foram superiores ao CNPAE 263, sendo esses valores cerca de cinco vezes
 910 superior, em ambos os tratamentos, podendo ser um comportamento inerente ao próprio
 911 genótipo (Figura 1A). Ao comparar os tratamentos, observa-se que apesar de apresentar
 912 valores mais elevados, apenas os representantes do genótipo CNPAE 256 tiveram seus
 913 teores de aminoácidos reduzidos em 27% com o estresse hídrico, não havendo diferença
 914 estatística entre os tratamentos no genótipo CNPAE 263. Os teores de proteínas solúveis
 915 foram reduzidos em condição de estresse hídrico em ambos os genótipos. O genótipo
 916 CNPAE 263 apresentou redução de aproximadamente 80%, enquanto que o CNPAE 256
 917 teve uma redução de cerca de 70% (Figura 1B).

918

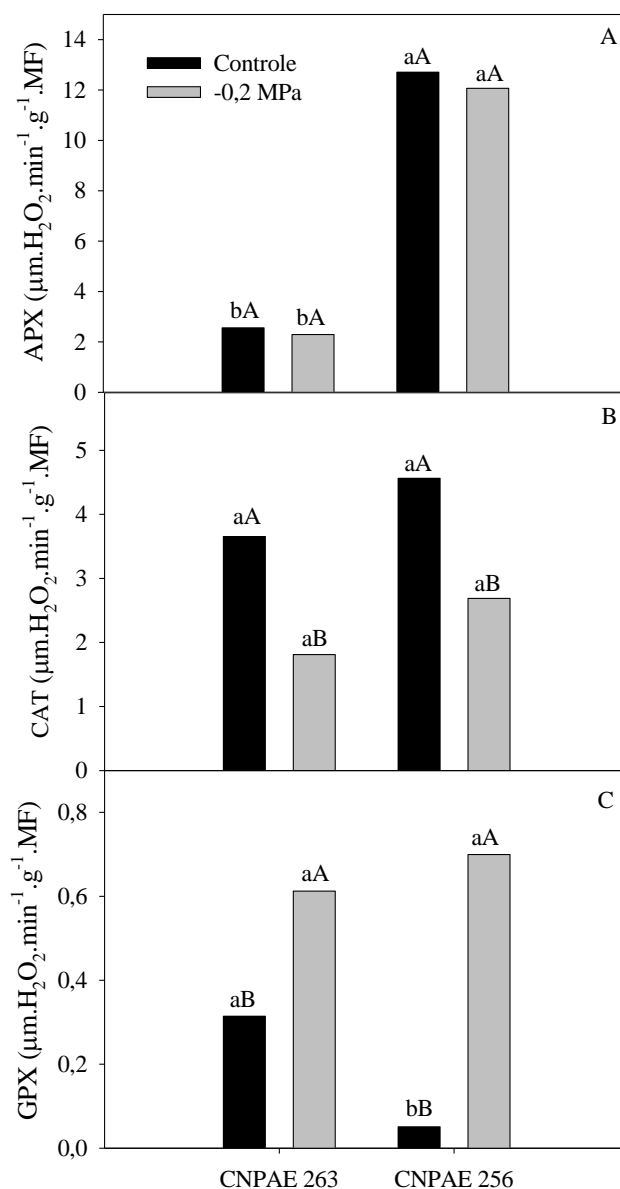
919 Os teores de carboidratos totais foram alterados pela deficiência hídrica apenas no
 920 genótipo CNPAE 263, apresentando redução de 40% em relação ao tratamento controle.
 Ao fazer uma comparação entre os genótipos, observa-se que no tratamento -0,2 MPa

921 houve redução de 46% no genótipo CNPAE 263 em relação ao CNPAE 256, que manteve
922 os teores de carboidratos semelhantes ao encontrado nas plântulas controle (Figura 1C).
923 O teor de prolina livre foi reduzido em função do estresse hídrico apenas nas plântulas do
924 genótipo CNPAE 256, sendo essa redução em torno de 50% (Figura 1D). Já o genótipo
925 CNPAE 263 não teve seu teor de prolina alterado quando comparados os tratamentos
926 controle e -0,2 MPa.

927

928 *Atividade enzimática*

929 Na determinação da atividade de enzimas antioxidantes, foi observado que a
930 atividade da ascorbato peroxidase não foi alterada pela deficiência hídrica (-0,2 Mpa) em
931 nenhum dos dois genótipos estudados na presente pesquisa (Figura 2A). O genótipo
932 CNPAE 263 apresentou em ambos os tratamentos valores inferiores aos encontrados pelo
933 genótipo CNPAE 256, sendo esta uma resposta do genótipo. Já a atividade da catalase e
934 da guaiacol peroxidase foi alterada pelo estresse hídrico. Para a catalase, em ambos os
935 genótipos o tratamento -0,2 MPa provocou reduções de aproximadamente 50% e 40%,
936 nos genótipos CNPAE 263 e CNPAE 256, respectivamente (Figura 2B). A atividade da
937 enzima guaiacol peroxidase foi aumentada no tratamento -0,2 MPa, sendo este aumento
938 de 95% para o genótipo CNPAE 263, enquanto que no CNPAE 256 a atividade desta
939 enzima foi 12 vezes superior ao encontrado nas plântulas do tratamento controle (Figura
940 2C).



941

942 **Figura 2.** Médias da atividade das enzimas ascorbato peroxidase (A), catalase (B) e
 943 guaiacol peroxidase (C) na parte aérea de plântulas de dois genótipos (CNPAE 263 e
 944 CNPAE 256) de *Jatropha curcas* L. submetidas ao estresse hídrico induzido pelo
 945 polietilenoglicol 6000. Letras minúsculas comparam os genótipos e maiúsculas, os
 946 tratamentos. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

947

948 DISCUSSÃO

949

950 Os dados da morfometria das sementes obtidos na presente pesquisa foram
 951 semelhantes ao encontrado por Santos et al. (2012), que observaram médias de 0,694 g,
 952 1,809 cm, 1,085 cm e 0,864 cm para a massa, o comprimento, a largura e a espessura das
 953 sementes de *J. curcas* L. Os referidos autores destacam o fato de que como o comprimento

954 das sementes é maior que a largura, isto faz com que as mesmas tenham o formato
955 alongado, o que também foi observado no presente estudo. Os resultados de Pimenta et
956 al. (2014) também corroboram com o presente estudo, já que os autores encontraram
957 médias de 1,75 cm, 1,09 cm e 0,87 cm para o comprimento, largura e espessura,
958 respectivamente.

959 Ao avaliarem a germinação de sementes de pinhão-manso oriundas do município
960 de Janaúba - MG, submetidas ao estresse hídrico induzido pelo PEG 6000 nos níveis de
961 0,0; -0,2; -0,4; -0,6; -0,8; -1,0 e -1,2 MPa, Pereira & Lopes (2011) observaram resultados
962 semelhantes aos da presente pesquisa, onde a %G e o IVG foram reduzidos, à medida que
963 o potencial osmótico do substrato tornara-se mais negativo, inviabilizando a germinação.
964 Estes mesmos autores consideram esta espécie como sensível à deficiência hídrica, pois
965 já a partir do nível de -0,2 MPa, a %G foi abaixo de 70% e o IVG foi inferior em cerca
966 de 10 unidades se comparado com as sementes na condição controle.

967 No entanto, é importante ressaltar que no presente estudo, o genótipo CNPAE 263
968 apresentou %G de 81% no tratamento -0,2 MPa, indicando que este genótipo apresenta
969 tolerância ao nível de estresse aplicado. Este fato é de fundamental importância, pois
970 viabiliza a germinação da semente mesmo quando o solo apresentar níveis de seca desta
971 magnitude.

972 Carneiro et al. (2011), em estudo com sementes da oleaginosa *Helianthus annuus*
973 L., cultivar M735 sob estresse hídrico simulado pelo PEG 6000 nos níveis de 0,0; -0,2; -
974 0,4 e -0,8 MPa, encontraram resultados diferentes aos da presente pesquisa, quando no
975 potencial osmótico de -0,2 MPa, o IVG foi estatisticamente semelhante ao das plântulas
976 controle, havendo uma diminuição dessa variável apenas a partir do tratamento -0,4 MPa.
977 Em estudo sobre germinação de pinhão-manso em condições controle, Pimenta et al.
978 (2014) obtiveram valores de tempo para que as sementes germinassem semelhantes ao da
979 presente pesquisa, confirmando então que as sementes de *J. curcas* demoram cerca de
980 três a quatro dias para germinar, em condições satisfatórias de umidade.

981 De um modo geral, o estresse hídrico não provocou aumento dos teores de solutos
982 orgânicos nos genótipos utilizados no presente estudo. Azevedo Neto et al. (2010)
983 sugerem que quando ocorre esse aumento, é um indicador de sensibilidade do genótipo
984 ao estresse e para que ocorra esse acúmulo de solutos nas células da planta, há um
985 desprendimento de energia maior.

986 Na presente pesquisa, a diminuição do teor de proteínas solúveis que ocorreu nas
987 plântulas de ambos genótipos que estavam sob estresse, pode estar atrelada ao fato da

988 redução da síntese de proteínas e também à atividade de enzimas proteolíticas, que
989 degradam proteínas de reserva (Lechinoski et al., 2007).

990 Nogueira et al. (2001) sugerem que a prolina livre é um soluto que age diretamente
991 no ajustamento osmótico celular, proporcionando às plantas tolerância ao estresse hídrico.
992 Portanto, o fato do teor de prolina no genótipo CNPAE 263, em condição de deficiência
993 hídrica, ter se mantido igual ao encontrado nas plântulas do tratamento controle, pode ter
994 influenciado na porcentagem de germinação, uma vez que a mesma manteve-se elevada
995 no tratamento -0,2 MPa, o que não ocorreu no genótipo CNPAE 256.

996 Ao avaliarem a atividade enzimática em plântulas de *Helianthus annuus* L.,
997 Carneiro et al. (2011) observaram que o PEG 6000 no potencial de -0,8 MPa causa uma
998 diminuição na atividade da APX e também da CAT. Os autores indicam que esta resposta
999 pode ser causada devido ao acúmulo excessivo de H₂O₂. Alves et al. (2016) observaram
1000 que em condição de estresse hídrico (suspensão da rega por 15 dias), cultivares de
1001 amendoim diminuem a atividade da CAT e da GPX. Segundo os autores, quando o
1002 estresse não é tão severo, a CAT tem a sua atividade aumentada, mas quando o estresse
1003 se agrava, essa atividade é diminuída, fato este que corrobora com a presente pesquisa. O
1004 fato de haver uma redução ou ausência de diferença entre plântulas dos tratamentos
1005 utilizados nesta pesquisa, não significa ausência de defesa antioxidante contra as EROS,
1006 uma vez que as plantas contam com componentes enzimáticos e não enzimáticos de
1007 proteção, como por exemplo, ascorbato, glutathione e carotenoides (Sharma et al., 2012).

1008 Pereira et al. (2012), em estudo com cultivares de amendoim sob os tratamentos
1009 controle (rega diária) e estresse (sete dias sem rega), analisaram a atividade de enzimas
1010 antioxidantes e constataram que sob deficiência hídrica, a atividade da APX não foi
1011 alterada, enquanto que a da GPX foi significativamente maior nas plantas sob estresse.
1012 Estes resultados corroboram com os encontrados na presente pesquisa, para ambos os
1013 genótipos estudados. Nas plântulas sob estresse da presente pesquisa, quando a atividade
1014 da CAT diminuiu, a da GPX aumentou. Este comportamento foi verificado também por
1015 Moraes et al. (2015) em plantas de mamona sob seca induzida pelo PEG, na concentração
1016 de 10 g/L⁻¹, que equivale a 0,006095 MPa.

1017 Quando os níveis de EROs são muito altos e a oxidação está em um estágio
1018 avançado, ocorrem danos em biomoléculas, como por exemplo, as proteínas (Sharma et
1019 al., 2012), este fato pode justificar a diminuição dos teores de proteínas totais na presente
1020 pesquisa, já que em condição de estresse a atividade das enzimas CAT e APX foi
1021 diminuída. Segundo Reddy et al. (2004), o expressivo aumento do estresse oxidativo em

1022 condição de deficiência hídrica é uma das respostas da planta às mudanças do potencial
1023 osmótico celular, e a compreensão deste mecanismo é de fundamental importância para
1024 estudos de melhoramento genético.

1025 Esta pesquisa indica que nas condições testadas, o genótipo CNPAE 263 é mais
1026 tolerante ao estresse hídrico que o CNPAE 256, por ter os parâmetros %G, IVG e TMG
1027 menos afetados ou inalterados no nível de -0,2 MPa de PEG 6000. Sendo este genótipo
1028 indicado para germinar em áreas com deficiência hídrica desta magnitude.

1029

1030 REFERÊNCIAS

1031

1032 Almeida JPN, Pinheiro CL, Lessa BFT, Gomes FM, Medeiros Filho S. (2014) Estresse
1033 hídrico e massa de sementes na germinação e crescimento de plântulas de *Amburana*
1034 *cearensis* (Allemão) A.C. Smith. Revista Ciência Agronômica 45(4): 777-787. DOI:
1035 10.1590/S1806-66902014000400016

1036 Alves GMR, Pereira JW, Luz LN, Lima LM, Santos RC (2016) Genotypic variability
1037 of peanut lines in response to water stress, based on biochemical descriptors. Revista
1038 Caatinga 29(3): 528-536. DOI: 10.1590/1983-21252016v29n302rc

1039 Azerêdo GA, Paula RC, Valeri SV (2016) Germinação de sementes de *Piptadenia*
1040 *moniliformis* Benth. sob estresse hídrico. Ciência Florestal 26(1): 193-202, 2016. DOI:
1041 10.5902/1980509821112.

1042 Azevedo Neto AD, Nogueira RJMC, Melo Filho PA, Santos RC (2010) Physiological
1043 and biochemical responses of peanut genotypes to water deficit. Journal of Plant
1044 Interactions 5(1): 1-10. DOI: 10.1080/17429140902999243

1045 Bates LS (1973) Rapid determination of free proline for water-stress studies. Short
1046 communication. Plant and Soil 39: 205-207.

1047 Beers Junior RF, Sizer IW (1952) A spectrophotometric method for measuring the
1048 breakdown of hydrogen peroxidase by catalase. Journal of Biological Chemistry 195(2):
1049 133-140.

1050 Bradford MM (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram
1051 quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical
1052 Biochemistry 72: 248-254.

1053 Carneiro MMLC, Deuner S, Oliveira PV, Teixeira SB, Sousa CP, Bacarin MA, Moraes
1054 DM (2011) Atividade antioxidante e viabilidade de sementes de girassol após estresse
1055 hídrico e salino. Revista Brasileira de Sementes 33(4): 752-761. DOI: 10.1590/S0101-
1056 31222011000400017

1057 Carnielli F. (2003) O combustível do futuro. Boletim Informativo, UFMG, n.1413, ano
1058 29. Available: <https://www.ufmg.br/boletim/bol1413/quarta.shtml>. Accessed in 11 de
1059 abril de 2016.

1060 Drumond MA, Oliveira AR, Simões WL, Junqueira NTV, Anjos JB, Laviola BG (2016)
1061 Produção e distribuição da biomassa de *Jatropha curcas* no semiárido brasileiro. Cerne
1062 22(1): 35-42. DOI: 10.1590/01047760201622012031

- 1063 Dubois M, Gilles KA, Hamilton JK, Rebers PA, Smith F. (1956) Colorimetric method
1064 for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry* 28: 350-356.
- 1065 Edmond JB, Drapala WJ (1965) The effects of temperature, sand and soil, and acetone
1066 on germination of okra seed. *Proceedings of the American Journal Society for Horticultural*
1067 *Science* 71: 428-434.
- 1068 Jongschaap REE, Blesgraaf RAR, Bogaard TA, Loo ENV, Savenije HHG (2009) The
1069 water footprint of bioenergy from *Jatropha curcas* L. *Proceedings of The National*
1070 *Academy of Sciences* 106(35). DOI: 10.1073/pnas.0907272106
- 1071 Laviola BG, Alves AA, Kobayashi AK, Formighieri EF (2015) Pinhão-mansô na
1072 Embrapa Agroenergia. *Comunicado Técnico Embrapa* 12: 1-7, Brasília.
- 1073 Lechinoski A, Freitas JMN, Castro DS, Lobato AKS, Oliveira Neto CF, Cunha RLM
1074 (2007) Influência do estresse hídrico nos teores de proteínas e aminoácidos solúveis totais
1075 em folhas de teca (*Tectona grandis* L. f.). *Revista Brasileira de Biociências* 5 supl.2: 927-
1076 929.
- 1077 Maguire JD (1962) Speed of germination-aid in evaluation for seedling emergence and
1078 vigour. *Crop Science Madson* 2(2): 176-177.
- 1079 Monteiro JG, Cruz FJR, Nardin MB, Santos DMM (2014) Crescimento e conteúdo de
1080 prolina em plântulas de guandu submetidas a estresse osmótico e à putrescina exógena.
1081 *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 49(1): 18-25. DOI: 10.1590/S0100-
1082 204X2014000100003
- 1083 Moraes PF, Laat DM, Santos MEHP, Colombo CA, Kiihl T (2015) Expressão gênica
1084 diferencial em genótipos de mamona (*Ricinus communis* L.) submetidos a déficit hídrico
1085 induzido por PEG. *Bragantia* 74(1): 25-32. DOI: 10.1590/1678-4499.0207
- 1086 Moura AR, Nogueira RJMC, Silva JAA, Lima TV. (2016) Relações hídricas e solutos
1087 orgânicos em plantas jovens de *Jatropha curcas* L. sob diferentes regimes hídricos.
1088 *Ciência Florestal* 26(2): 245-254. DOI: 10.5902/1980509822735
- 1089 Nakano Y, Asada K (1981) Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific
1090 peroxidases in spinach chloroplast. *Plant Cell Physiology* 22(5): 867-880.
- 1091 Nogueira RJMC, Moraes JAPV, Burity HA, Bezerra Neto E (2001) Alterações na
1092 resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas a
1093 déficit de água. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal* 13(1): 75-87. DOI:
1094 10.1590/S0103-31312001000100009
- 1095 Ouattara B, Diedhiou I, Ndir KN, Diouf D, Akpo LE (2011) Effect of water regimes and
1096 pré-sowing treatments on seeds germination of different provenances of *Jatropha curcas*
1097 L. in Senegal. *International Journal os Science and Advanced Technology* 1(9): 151-156.
- 1098 Pascuali LC, Silva FS, Porto AG, Silva-Filho A, Meneghello GE (2012) Germinação de
1099 sementes de pinhão mansô em diferentes temperaturas, luz e substratos. *Semina: Ciências*
1100 *Agrárias* 33(4): 1435-1440.
- 1101 Pelegrini LL, Borbocioni E, Nogueira AC, Koehler HS, Quoirin MGG (2013) Efeito do
1102 estresse hídrico simulado com NaCl, manitol e PEG (6000) na germinação de sementes
1103 de *Erythrina falcata* Benth. *Ciência Florestal* 23(2): 511-519.
- 1104 Pereira MD, Lopes JC (2011) Germinação e desenvolvimento de plântulas de pinhão
1105 mansô sob condições de estresse hídrico simulado. *Semina: Ciências Agrárias* 32 supl.1:
1106 1837-1842. DOI: 10.5433/1679-0359.2011v32Suplp1837

- 1107 Pereira JW, Melo Filho PA, Albuquerque MB, Nogueira RJMC, Santos RC (2012)
1108 Mudanças bioquímicas em genótipos de amendoim submetidos a déficit hídrico
1109 moderado. *Revista Ciência Agronômica* 43(4): 766-773.
- 1110 Pimenta AC, Zuffellato-Ribas KC, Laviola BG (2014) Morfologia de frutos, sementes e
1111 plântulas de *Jatropha curcas*. *Floresta* 44(1): 73-80.
- 1112 Reddy AR, Chaitanya KV, Vivekanandan M (2004) Drought-induced responses of
1113 photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*
1114 161: 1189-1202. DOI: 10.1016/j.jplph.2004.01.013
- 1115 Rocha RB, Laviola BG, Silva SDA, Juház ACP, Albrecht JC, Rosado TB (2016)
1116 Adaptabilidade e estabilidade de progênies de meios-irmãos de pinhão-mansão em
1117 diferentes regiões do Brasil. *Revista Ceres* 63(2): 174-182. DOI: 10.1590/0034-
1118 737X201663020008
- 1119 Santos HRB, Ribeiro MS, Medeiros DB, Nogueira RJMC (2012) Morfometria de
1120 sementes de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.). *Scientia Plena* 8(4): 1-4.
- 1121 Silva FAS, Azevedo CAV (2016) The Assstat Software Version 7.7 and its use in the
1122 analysis of experimental data. *African Journal of Agricultural Research* 11(39): 3733-
1123 3740. DOI: 10.5897/AJAR2016.11522
- 1124 Sharma P, Jha AB, Dubey RS, Pessarakli M (2012) Reactive oxygen species, oxidative
1125 damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions.
1126 *Journal of Botany* n.ID 217037: 1-26. DOI: 10.1155/2012/217037
- 1127 Urbanek H, Kuzniak-Gebarska E, Herka K (1991) Elicitation of defense responses in
1128 bean leaves by *Botrytis cinerea* polygalacturonase. *Acta Physiologiae Plantarum* 13(1):
1129 43-50.
- 1130 Villela FA, Doni Filho L, Sequeira EL (1991) Tabela de potencial osmótico em função
1131 da concentração de polietileno glicol 6.000 e da temperatura. *Pesquisa Agropecuária*
1132 *Brasileira* 26(11/12): 1957-1968.
- 1133 Yemm EW, Cocking EC (1955) Determination of amino acids with ninhydrin. *Analyst*
1134 80: 209-213.

1135
1136
1137
1138
1139
1140
1141
1142
1143
1144

CAPITULO III

CARACTERIZAÇÃO FISIOLÓGICA E BIOQUÍMICA DE DOIS GENÓTIPOS DE *Jatropha curcas* L. SOB ESTRESSE HÍDRICO

Artigo submetido à revista Journal of Plant Physiology

1145 **RESUMO** – O objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento fisiológico dos
1146 genótipos CNPAE 263 e CNPAE 256 sob estresse hídrico. Após 30 dias de aclimação,
1147 foi aplicado PEG 6000 na concentração de -0,2 MPa e os tratamentos foram: controle
1148 (sem adição de PEG), 2, 24 e 48 horas de indução ao estresse. Foram avaliadas as relações
1149 hídricas, as trocas gasosas, os teores de pigmentos fotossintetizantes, os teores de solutos
1150 orgânicos, além da determinação da atividade de enzimas antioxidantes. As relações
1151 hídricas de ambos os genótipos foram pouco afetadas pelo estresse, com destaque para o
1152 CNPAE 263. As trocas gasosas de ambos os genótipos foram afetadas pela deficiência
1153 hídrica, sendo mais evidente após 48 h, já os teores de pigmentos foram pouco alterados.
1154 Para os solutos, no CNPAE 263 houve aumento dos teores de carboidratos, aminoácidos
1155 e prolina nas folhas, e de carboidratos e proteínas nas raízes, enquanto que no CNPAE
1156 256, houve aumento da prolina nas folhas e proteínas e prolina nas raízes. A atividade das
1157 enzimas foi aumentada nas folhas e nas raízes em função do estresse, em ambos os
1158 genótipos, com destaque para as raízes, quando a atividade da CAT e APX foi maior a
1159 partir de 2 h de imposição do estresse. Pode-se concluir que ambos os genótipos
1160 apresentam certo grau de tolerância ao estresse, porém o CNPAE 263 evidenciou ser mais
1161 tolerante, por não alterar as relações hídricas e acumular mais solutos orgânicos para
1162 ajustar-se osmoticamente.

1163

1164 **Palavras chave:** pinhão-manso, relações hídricas, estresse hídrico, prolina, catalase

1165 **INTRODUÇÃO**

1166

1167 *Jatropha curcas* L. (pinhão-mansão) é uma espécie de planta oleaginosa, nativa da
1168 América do Sul e da América Central, cujo gênero é representado por 170 espécies. O
1169 pinhão-mansão tem porte arbustivo-arbóreo, é uma planta perene, que pode medir até 5 ou
1170 7 metros de altura e tem uma expectativa de vida de 50 anos (Basili & Fontini, 2012; Dias
1171 et al., 2012).

1172 As sementes de pinhão-mansão contêm teor de óleo que podem variar de 30% a
1173 50%, portanto, esta espécie é considerada de grande potencial na produção de biodiesel,
1174 com um período de produção de aproximadamente 40 anos. Além de ter as vantagens de
1175 tolerar ambientes quentes e secos, com precipitação anual de 500 a 600 mm, tem a
1176 capacidade de ser cultivada em solos pobres, que não seriam recomendados para outras
1177 culturas de oleaginosas, como por exemplo, a soja e o girassol e não competir com a
1178 produção de alimentos (Basili & Fontini, 2012; Dias et al., 2012; Basir et al., 2015;
1179 Montes & Melchinger, 2016).

1180 O pinhão-mansão é uma planta de múltiplos usos. Ela pode ser utilizada como cerca
1181 viva, no controle da erosão do solo, por contribuir para elevar a quantidade de nutrientes
1182 no mesmo, o seu óleo pode ser utilizado também na fabricação de sabão, pesticidas e no
1183 fornecimento de calor através da combustão do caule, suas folhas contêm propriedades
1184 medicinais e há estudos que apontam que o extrato foliar possui atividade antitumoral
1185 (FAO, 2010, Dias et al., 2012, Moniruzzaman et al., 2016; Prayitino et al., 2016). Por
1186 possuir a capacidade de adaptar-se a solos degradados, o pinhão-mansão é indicado para
1187 recuperação de áreas degradadas, principalmente nas regiões onde predominam a
1188 agricultura familiar, fortalecendo o desenvolvimento regional (Ferreira et al., 2013).

1189 Uma das adversidades encontradas pelo vegetal ao longo de seu ciclo de vida é o
1190 estresse hídrico, que pode causar alterações nos processos fisiológicos e bioquímicos do
1191 vegetal, como por exemplo, nas relações hídricas, reduzindo o potencial hídrico e o teor
1192 relativo de água; nas trocas gasosas, interferindo no processo fotossintético, na
1193 transpiração celular e também na abertura dos estômatos; nos teores de pigmentos
1194 fotossintetizantes; na concentração de solutos orgânicos; e na atividade de enzimas
1195 antioxidantes (Pereira et al., 2015; Alves et al., 2016; Graciano et al., 2016; Moura et al.,
1196 2016; Oliveira et al., 2016; Rao & Chaitanya, 2016; Nxele et al., 2017).

1197 Diante da busca por alternativas de fontes de energia, o pinhão-mansão é uma
1198 opção para suprir essa demanda. Deste modo, estudos a respeito da tolerância e dos

1199 mecanismos fisiológicos e bioquímicos que as plantas utilizam quando submetidas a
1200 estresses abióticos, como por exemplo, a deficiência hídrica é de fundamental
1201 importância neste cenário. Portanto, esta pesquisa objetivou avaliar a fisiologia de dois
1202 genótipos de pinhão-mansão, uma vez que dados a respeito dos mesmos são inéditos, sob
1203 estresse hídrico simulado pelo polietilenoglicol 6000 em casa de vegetação.

1204

1205 **MATERIAL E MÉTODOS**

1206

1207 *Local de realização do experimento e aquisição do material vegetal*

1208 O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Laboratório de Fisiologia
1209 Vegetal da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Para obtenção do material
1210 vegetal, foram utilizadas sementes de dois genótipos (CNPAE 263 e CNPAE 256),
1211 provenientes da Embrapa Agroenergia, Brasília. As sementes foram postas para germinar
1212 em bandejas plásticas contendo areia lavada e foram regadas diariamente com água.

1213 Após a emergência das plântulas, as mesmas foram selecionadas quanto à sanidade
1214 e uniformidade e em seguida, foram transferidas para meio hidropônico, composto por
1215 recipientes plásticos contendo 30 litros de solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950)
1216 à meia força. Em cada recipiente foram postas cinco plantas, cada uma delas
1217 correspondendo a uma repetição, e cada tratamento era equivalente a um recipiente. Em
1218 todos os recipientes foram adicionadas bombas compressoras de ar, para permitir a
1219 oxigenação do meio e a solução foi trocada semanalmente, para garantir que as
1220 necessidades nutricionais das plantas fossem supridas.

1221

1222 *Tratamentos e delineamento experimental*

1223 Após o período de aclimação de 30 dias, as plantas foram submetidas ao estresse
1224 hídrico induzido pelo polietilenoglicol (PEG 6000). Os tratamentos foram: controle (sem
1225 adição de PEG) e estresse (-0,2 MPa de PEG). No tratamento estresse foi adicionado PEG
1226 6000 na solução nutritiva, para atingir o potencial osmótico de -0,2 MPa, conforme
1227 Tabela 1.

1228

1229

1230 **Tabela 1.** Quantidade de PEG 6000 empregada para obtenção dos potenciais osmóticos
1231 referentes aos tratamentos utilizados, de acordo com Villela et al. (1991), a uma
1232 temperatura de 30 °C.

Tratamentos (MPA)	Quantidade de PEG 6000 (g.L ⁻¹ H ₂ O)
Controle	0,0
-0,2	127,780

1233

1234 Após 2, 24 e 48 h da aplicação do estresse, foram realizadas as análises fisiológicas,
1235 assim como a coleta do material vegetal para as análises posteriores. O delineamento
1236 experimental utilizado foi inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 2 x 2,
1237 correspondendo a dois genótipos (CNPAE 263 e CNPAE 256) e dois tratamentos
1238 (controle e estresse).

1239

1240 *Análise das relações hídricas*

1241 Foram analisadas as relações hídricas, através da mensuração do potencial hídrico
1242 (Ψ_f) foliar e da determinação do teor relativo de água (TRA). Para o potencial hídrico, foi
1243 utilizada a segunda folha completamente expandida, que foi imediatamente envolta em
1244 filme plástico e armazenada em recipiente refrigerado e logo em seguida foi realizada a
1245 análise em bomba de pressão de Scholander (Scholander et al., 1965). Na ocasião da
1246 coleta de material para o Ψ_f , coletou-se o material para analisar o TRA. Foi coletada a
1247 terceira folha completamente expandida e de cada folha foram cortados seis discos do
1248 limbo foliar que foram pesados e obtidos o seu peso fresco, túrgido e seco, de acordo com
1249 Cairo (1995).

1250

1251 *Avaliação das trocas gasosas*

1252 As variáveis analisadas foram: fotossíntese líquida (A), transpiração (E),
1253 condutância estomática (gs) e eficiência do uso da água (EUA - A/E). As medidas foram
1254 feitas na terceira folha completamente expandida, através de um analisador portátil de
1255 CO₂ a infravermelho (IRGA), ADC, modelo Lci. As análises foram realizadas entre as
1256 10 h da manhã e o meio-dia, obedecendo aos horários de aplicação do estresse.

1257 *Teores de pigmentos fotossintetizantes*

1258 Das mesmas folhas que foram avaliadas as trocas gasosas, foi coletado 100 mg do
1259 limbo foliar, que foi cortado em pequenos fragmentos e vertidos para tubos rosqueáveis,
1260 protegidos da luz, contendo 10 mL de álcool etílico P.A., onde permaneceram
1261 armazenados em geladeira durante 24 horas. Após esse período, foram realizadas as
1262 leituras em espectrofotômetro (modelo SP-220, Biospectro), para a determinação da
1263 clorofila *a*, *b*, total e carotenoides. Os teores dos pigmentos foram calculados de acordo
1264 com a metodologia de Lichtenthaler & Buschmann (2001).

1265

1266 *Teores de solutos orgânicos*

1267 Para as análises dos solutos orgânicos, foi coletado 1,0 g de matéria fresca das
1268 folhas e das raízes, que foram armazenados a -20°C. Para o preparo dos extratos, o
1269 material vegetal foi macerado com tampão fosfato de potássio 100 mM, pH 7,0 contendo
1270 EDTA 0,1 mM. O macerado foi filtrado em tecido musseline e posto em tubos plásticos
1271 do tipo eppendorf e em seguida, foi centrifugado em centrífuga refrigerada a 4°C, na
1272 rotação de 15.000 rpm durante 10 minutos. O sobrenadante foi coletado e armazenado
1273 em eppendorfs a -20°C para a posterior determinação dos teores de carboidratos solúveis
1274 totais, proteínas solúveis, aminoácidos livres totais e prolina livre (Azevedo Neto et al.,
1275 2010).

1276 Os carboidratos solúveis totais foram determinados pelo método do fenol-ácido
1277 sulfúrico, tendo como padrão a D (+) glucose e a leitura foi feita em espectrofotômetro a
1278 490 nm (Dubois et al., 1956). As proteínas solúveis foram determinadas pelo método da
1279 ligação ao corante Coomassie Brilliant Blue, utilizando como padrão a albumina do soro
1280 bovino (BSA) a 595 nm (Bradford, 1976). Os teores de aminoácidos livres totais foram
1281 determinados pelo método da ninhidrina, tendo a leucina como padrão, a 570 nm (Yemm
1282 & Cocking, 1955). A prolina livre foi determinada pelo método da ninhidrina ácida,
1283 utilizando a L-prolina como padrão, a 520 nm (Bates et al., 1973).

1284

1285 *Determinação da atividade enzimática*

1286 Foram determinadas as atividades das enzimas catalase (CAT) e ascorbato
1287 peroxidase (APX) nas folhas e nas raízes, utilizando os mesmos extratos preparados para
1288 as análises dos solutos orgânicos.

1289 A atividade da catalase foi determinada de acordo com Beers & Sizer (1952),
1290 através do monitoramento do decréscimo de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) durante 1

1291 minuto, a 240 nm. Foi considerado o coeficiente de extinção molar da catalase de 36 M^{-1}
 1292 $\text{cm}^{-1}\text{s}^{-1}$. A atividade da ascorbato peroxidase foi determinada através da diminuição da
 1293 atividade da enzima durante 1 minuto, a 290 nm, utilizando o coeficiente de extinção
 1294 molar para ascorbato de $2,8 \text{ mM}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Nakano & Asada, 1981).

1295

1296 *Análise estatística*

1297 Todos os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias
 1298 comparadas entre si pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade. Foi utilizado o
 1299 software Assistat, versão 7.7 beta (Silva & Azevedo, 2016). Para elaboração dos gráficos,
 1300 foi utilizado o programa SigmaPlot 11.0.

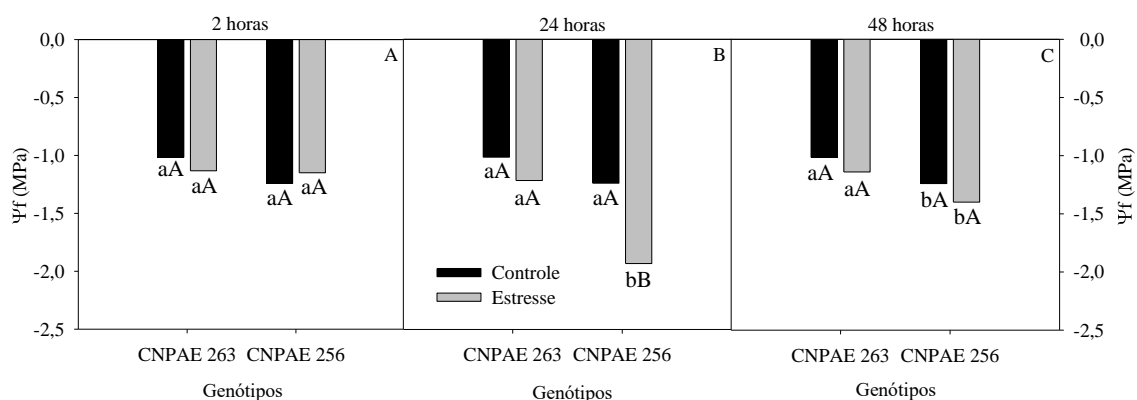
1301

1302 **RESULTADOS**

1303

1304 *Análise das relações hídricas*

1305 O potencial hídrico foliar das plantas de pinhão-mansão do genótipo CNPAE 263
 1306 não foi afetado, apresentando uma média geral de $-1,13 \text{ MPa}$, não havendo diferença
 1307 estatística entre os tratamentos nos períodos de avaliação (Figura 1). Já no genótipo
 1308 CNPAE 256 as plantas controle tiveram o seu Ψ_f de $-1,24 \text{ MPa}$, enquanto que as plantas
 1309 após 24 horas de exposição ao PEG tiveram Ψ_f de $-1,93 \text{ MPa}$, o que configura uma
 1310 redução de 56% (Figura 1B). Ainda sobre este genótipo, foi observado que houve uma
 1311 recuperação dessa variável, não havendo diferença entre as plantas que estavam há 48
 1312 horas sob estresse com as plantas do tratamento controle (Figura 1C).



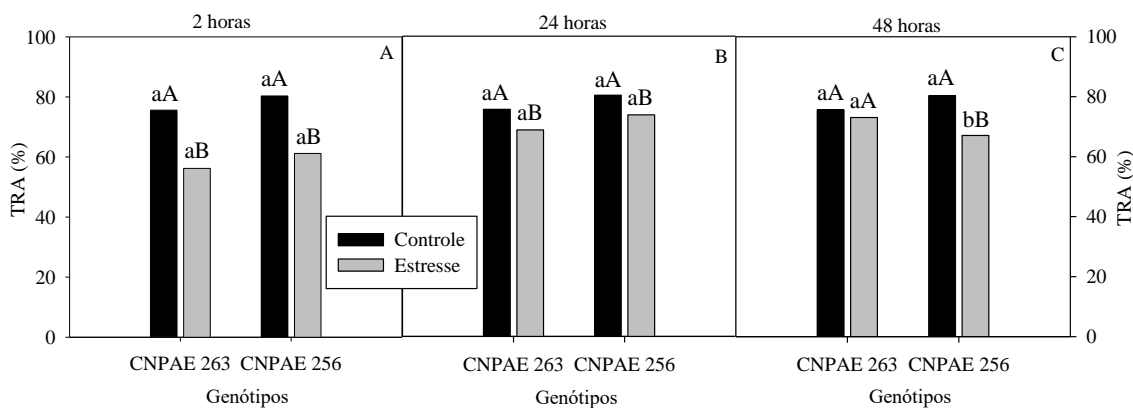
1313

1314 **Figura 1.** Potencial hídrico foliar (Ψ_f) em plantas de dois genótipos de *Jatropha curcas*
 1315 L. sob estresse hídrico induzido pelo PEG 6000 na concentração de $-0,2 \text{ MPa}$. **A** – 2 horas
 1316 após aplicação do estresse; **B** – 24 horas após aplicação do estresse; **C** – 48 horas após
 1317 aplicação do estresse. Letras minúsculas comparam os genótipos e maiúsculas os

1318 tratamentos. Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey
1319 com 5% de probabilidade.

1320

1321 Para o teor relativo de água, observa-se que em ambos os genótipos o TRA foi
1322 reduzido e após o passar das horas ocorre uma notável recuperação desta variável no
1323 genótipo CNPAE 263, que após 48 horas não diferiu das plantas do tratamento controle
1324 (Figura 2), enquanto que o genótipo CNPAE 256 não apresentou recuperação nesta
1325 variável. No genótipo CNPAE 263, as plantas do tratamento controle apresentaram TRA
1326 de aproximadamente 76%, já as plantas que estavam por 2, 24 e 48 horas sob estresse,
1327 tiveram TRA de 56, 69 e 73%, respectivamente. As plantas do tratamento controle do
1328 genótipo CNPAE 256 tiveram 80% de TRA, enquanto nas plantas sob estresse esses
1329 valores foram de 61, 74 e 67%, após 2, 24 e 48 horas, respectivamente.



1330

1331 **Figura 2.** Teor relativo de água (TRA) em plantas de dois genótipos de *Jatropha curcas*
1332 L. sob estresse hídrico induzido pelo PEG 6000 na concentração de -0,2 MPa. **A** – 2 horas
1333 após aplicação do estresse; **B** – 24 horas após aplicação do estresse; **C** – 48 horas após
1334 aplicação do estresse. Letras minúsculas comparam os genótipos e maiúsculas os
1335 tratamentos. Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey
1336 com 5% de probabilidade.

1337

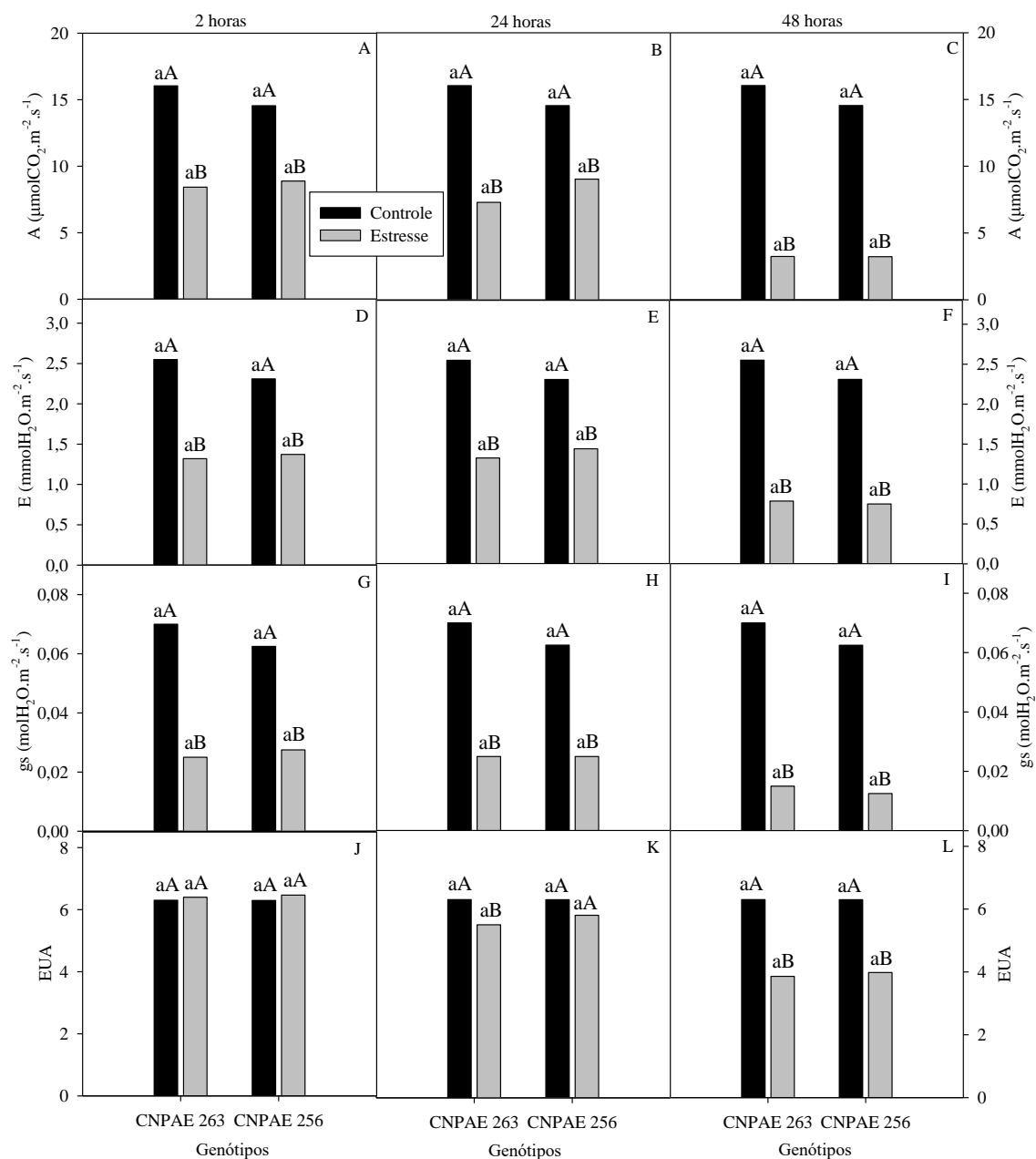
1338 *Avaliação das trocas gasosas*

1339 Na figura 3 pode-se verificar que em ambos os genótipos, as trocas gasosas foram
1340 afetadas em condição de estresse. No genótipo CNPAE 263, a taxa de fotossíntese líquida
1341 foi de $16 \mu\text{molCO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ e após 2, 24 e 48 horas houveram reduções de 47, 54 e 80%,
1342 respectivamente (Figuras 3A, 3B e 3C). Comportamento semelhante foi verificado no
1343 genótipo CNPAE 256, que apresentou fotossíntese de $14,5 \mu\text{molCO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ no controle
1344 e sob estresse teve reduções de 39, 38 e 78%, após 2, 24 e 48 horas, respectivamente.

1345 A transpiração das plantas teve comportamento similar ao que foi verificado na
1346 fotossíntese, ou seja, as plantas dos tratamentos sob estresse tiveram valores
1347 significativamente inferiores às plantas controle (Figuras 3D, 3E e 3F). No genótipo
1348 CNPAE 263 houve reduções de 48, 48 e 69% e no CNPAE 256, as reduções foram de 40,
1349 37 e 67,5% após 2, 24 e 48 horas, respectivamente.

1350 Para a condutância estomática, observa-se na figura 3I que o tratamento com
1351 menor abertura dos estômatos foi o de 48 horas, quando as plantas apresentaram
1352 condutância estomática de 0,015 e 0,012 molH₂O.m⁻².s⁻¹, nos genótipos CNPAE 263 e
1353 CNPAE 256, respectivamente, enquanto as plantas controle tiveram condutância
1354 estomática de 0,070 e 0,062 molH₂O.m⁻².s⁻¹. Após 2 e 24 horas de aplicação do PEG, a
1355 condutância estomática também foi reduzida nas plantas sob estresse em comparação com
1356 as plantas controle em ambos os genótipos, sendo os valores médios de aproximadamente
1357 0,025 molH₂O.m⁻².s⁻¹.

1358 Com relação à eficiência do uso da água, houve redução de aproximadamente 13%
1359 e 39% para o genótipo CNPAE 263 após 24 e 48 h, respectivamente (Figuras 3K e 3L).
1360 Já para o genótipo CNPAE 256 houve redução de 37% após 48 h de aplicação do PEG
1361 6000 (Figura 3L), indicando que os genótipos respondem de maneira diferente ao
1362 tratamento exposto.



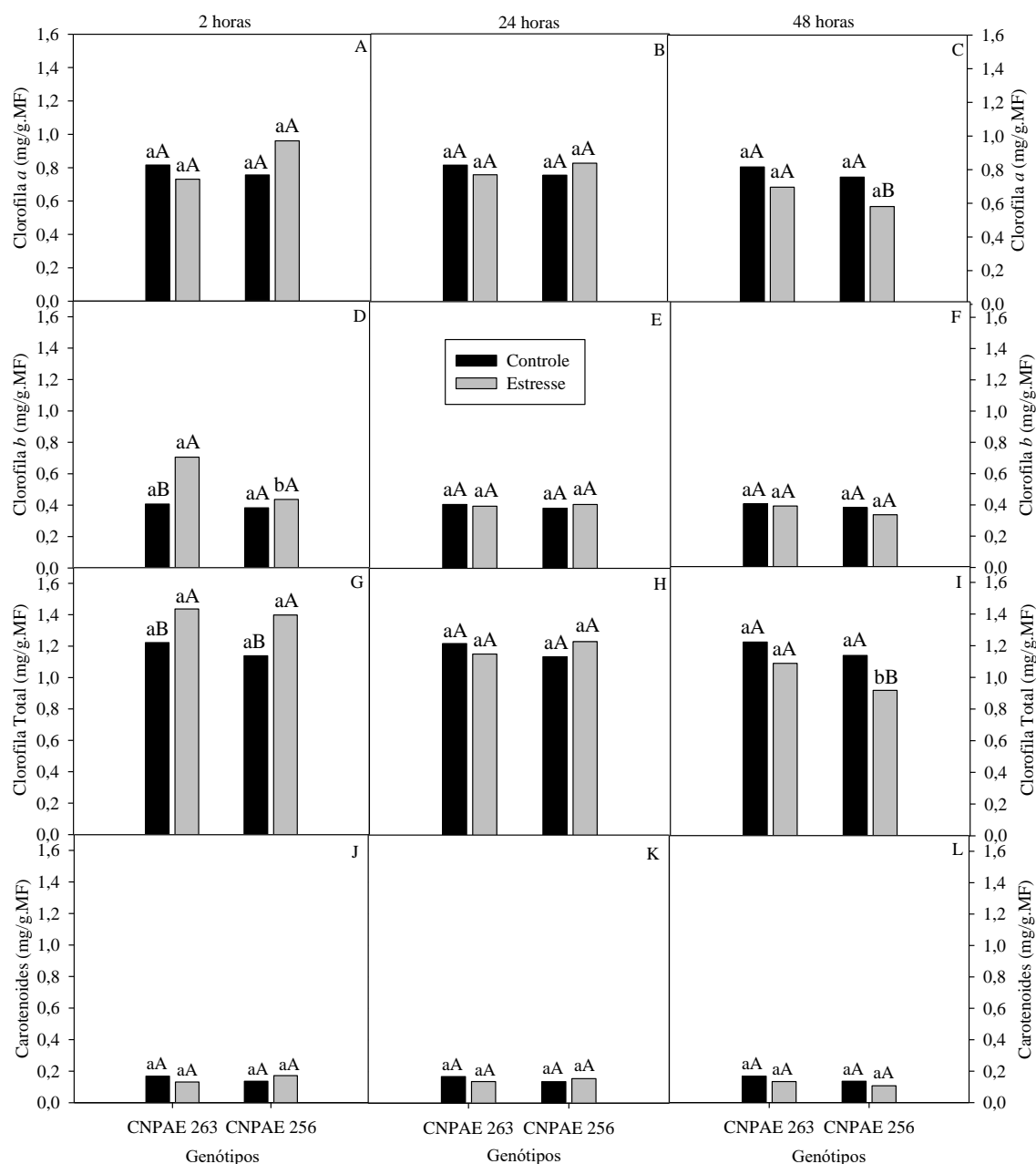
1363

1364 **Figura 3.** Trocas gasosas em plantas de dois genótipos de *Jatropha curcas* L. sob estresse
 1365 hídrico induzido pelo PEG 6000 na concentração de -0,2 MPa. **A, B e C** – Fotossíntese
 1366 líquida (A) após 2, 24 e 48 h de aplicação do estresse; **D, E e F** – Transpiração (E) após
 1367 2, 24 e 48 h de aplicação do estresse; **G, H e I** – Condutância estomática (gs) após 2, 24
 1368 e 48 h de aplicação do estresse; **J, K e L** – Eficiência do uso da água (EUA) após 2, 24 e
 1369 48 h de aplicação do estresse. Letras minúsculas comparam os genótipos e maiúsculas os
 1370 tratamentos. Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey
 1371 com 5% de probabilidade.

1372 *Teores de pigmentos fotossintetizantes*

1373 Os teores de pigmentos fotossintéticos foram pouco alterados pelo estresse hídrico
1374 em ambos os genótipos, como pode ser observado na Figura 4. No genótipo CNPAE 263
1375 o teor de clorofila *a* não teve alteração, e no genótipo CNPAE 256 houve redução desta
1376 variável apenas após 48 horas de estresse, quando as plantas do tratamento controle e
1377 estresse apresentaram média de 0,75 e 0,58 mg/g.MF, respectivamente (Figuras 4A, 4B
1378 e 4C). Para o teor de clorofila *b*, houve aumento após 2 horas de estresse no genótipo
1379 CNPAE 263, tendo as plantas uma média de 0,70 mg/g.MF, enquanto as plantas do
1380 controle tiveram média de 0,41 mg/g.MF (Figura 4D). Para os demais tempos de
1381 avaliação não houve diferença significativa.

1382 O teor de clorofila total das plantas de ambos os genótipos tiveram as maiores
1383 médias após 2 horas de estresse, com média de 1,44 mg/g.MF para o CNPAE 263 e 1,40
1384 mg/g.MF para o CNPAE 256 (Figura 4G). Após 48 horas de estresse as plantas
1385 apresentaram as menores médias de clorofila total, 1,09 e 0,92 mg/g.MF para os genótipos
1386 CNPAE 263 e CNPAE 256, respectivamente (Figura 4I). Os teores de carotenoides não
1387 foram alterados pelo estresse hídrico, não havendo diferenças significativas entre os
1388 tempos avaliados (Figuras 4J, 4K e 4L).

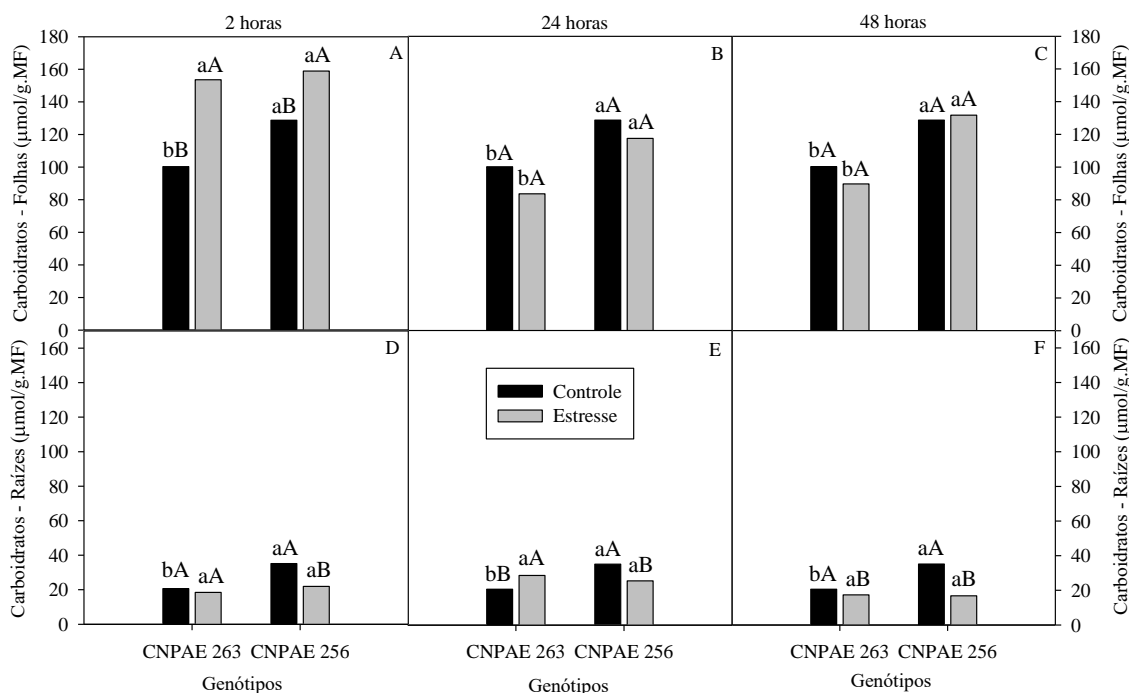


1389

1390 **Figura 4.** Teores de pigmentos fotossintetizantes em plantas de dois genótipos de
 1391 *Jatropha curcas* L. sob estresse hídrico induzido pelo PEG 6000 na concentração de -0,2
 1392 MPa. **A, B e C** – Clorofila a após 2, 24 e 48 h de aplicação do estresse; **D, E e F** – Clorofila
 1393 b após 2, 24 e 48 h de aplicação do estresse; **G, H e I** – Clorofila total após 2, 24 e 48 h
 1394 de aplicação do estresse; **J, K e L** – Carotenoides após 2, 24 e 48 h de aplicação do
 1395 estresse. Letras minúsculas comparam os genótipos e maiúsculas os tratamentos. Médias
 1396 seguidas por mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey com 5% de
 1397 probabilidade.

1398 *Teores de solutos orgânicos*

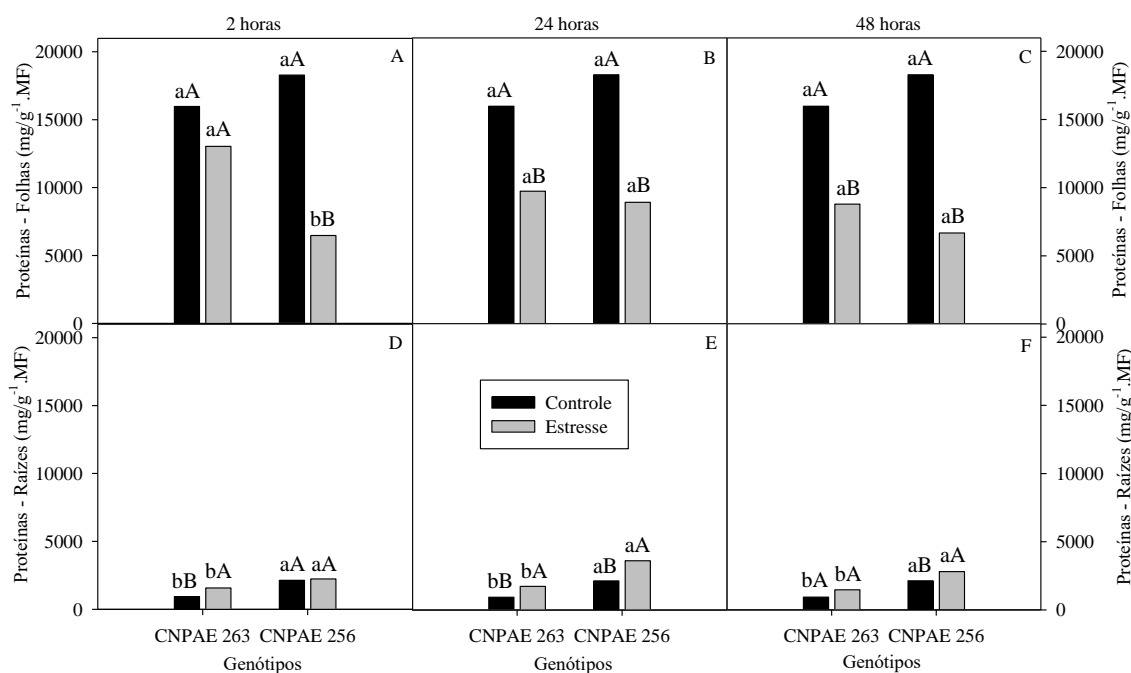
1399 De maneira geral, os teores de solutos orgânicos foram maiores nas folhas do que
 1400 nas raízes para ambos os genótipos estudados. O teor de carboidratos solúveis totais nas
 1401 folhas de ambos os genótipos, diferiu do controle apenas após 2 horas de aplicação do
 1402 estresse com redução de aproximadamente 53 e 23% para CNPAE 263 e CNPAE 256,
 1403 respectivamente (Figura 5A). Nas raízes das plantas do genótipo CNPAE 256, o estresse
 1404 hídrico causou uma diminuição de 37, 27 e 52% após 2, 24 e 48 horas, respectivamente
 1405 (Figuras 5D, 5E e 5F). No entanto, o genótipo CNPAE 263 só apresentou redução de 16%
 1406 após 48 h de estresse em relação às plantas do tratamento controle (Figura 5F).



1407 **Figura 5.** Teores de carboidratos solúveis totais em dois genótipos de *Jatropha curcas* L.
 1408 sob estresse hídrico induzido pelo PEG 6000 na concentração de -0,2 MPa. **A, B e C** –
 1409 Carboidratos nas folhas após 2, 24 e 48 h de aplicação do estresse; **D, E e F** – Carboidratos
 1410 nas raízes após 2, 24 e 48 h de aplicação do estresse. Letras minúsculas comparam os
 1411 genótipos e maiúsculas os tratamentos. Médias seguidas por mesma letra não diferem
 1412 entre si pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade.

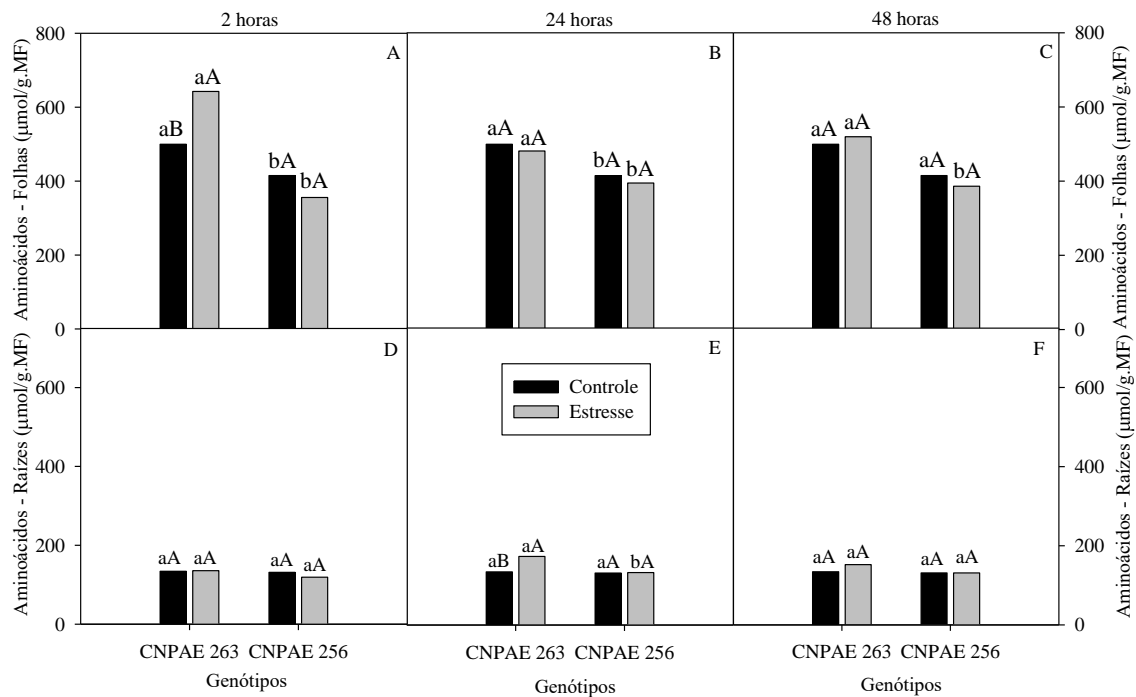
1413
 1414
 1415 Nas figuras 6A, 6B e 6C observa-se que os teores de proteínas solúveis nas folhas
 1416 do genótipo CNPAE 263 foi reduzido gradativamente com o aumento do tempo de
 1417 imposição ao estresse, havendo diferença estatística a partir de 24 horas de estresse,
 1418 enquanto que no genótipo CNPAE 256, a partir de 2 horas já houve diferença significativa
 1419 das plantas do tratamento controle. Nas raízes das plantas de ambos os genótipos o

1420 estresse provocou aumento de 69, 85 e 58% das proteínas após 2, 24 e 48 h,
 1421 respectivamente, para o genótipo CNPAE 263, e no CNPAE 256, foi verificado aumento
 1422 de 69 e 32% após 24 e 48h (Figuras 6D, 6E e 6F).



1423 **Figura 6.** Teores de proteínas solúveis em dois genótipos de *Jatropha curcas* L. sob
 1424 estresse hídrico induzido pelo PEG 6000 na concentração de -0,2 MPa. **A, B e C** –
 1425 Proteínas nas folhas após 2, 24 e 48 h de aplicação do estresse; **D, E e F** – Proteínas nas
 1426 raízes após 2, 24 e 48 h de aplicação do estresse. Letras minúsculas comparam os
 1427 genótipos e maiúsculas os tratamentos. Médias seguidas por mesma letra não diferem
 1428 entre si pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade.

1430
 1431 Houve incremento nos teores de aminoácidos livres totais das folhas do genótipo
 1432 CNPAE 263 de aproximadamente 26% após 2 horas da imposição ao estresse, não
 1433 havendo diferença para as demais avaliações (Figuras 7A, 7B e 7C). No genótipo CNPAE
 1434 256, não houve diferença significativa entre os tratamentos em nenhum tempo de
 1435 avaliação. Para as raízes das plantas apenas foi observado aumento de 29% para o
 1436 genótipo CNPAE 263 após 24 h, não havendo diferença para as demais avaliações
 1437 (Figuras 7D, 7E e 7F).

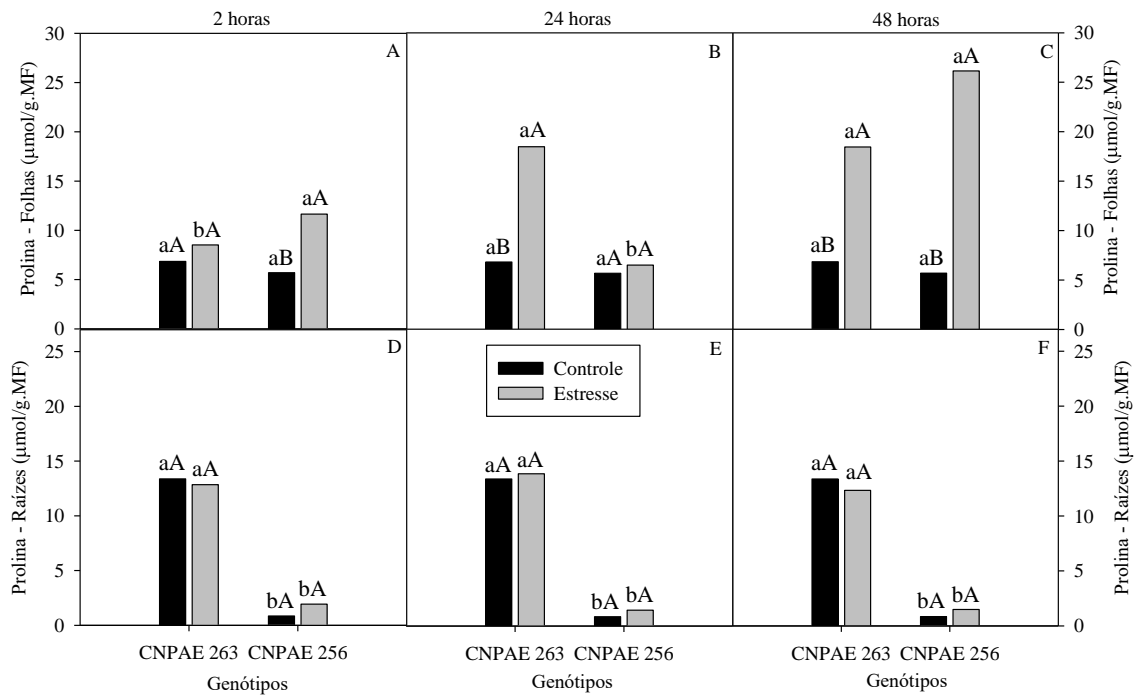


1438

1439 **Figura 7.** Teores de aminoácidos livres totais em dois genótipos de *Jatropha curcas* L.
 1440 sob estresse hídrico induzido pelo PEG 6000 na concentração de -0,2 MPa. **A, B e C** –
 1441 Aminoácidos nas folhas após 2, 24 e 48 h de aplicação do estresse; **D, E e F** –
 1442 Aminoácidos nas raízes após 2, 24 e 48 h de aplicação do estresse. Letras minúsculas
 1443 comparam os genótipos e maiúsculas os tratamentos. Médias seguidas por mesma letra
 1444 não diferem entre si pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade.

1445

1446 Com relação aos teores de prolina livre nas folhas, verificou-se que as plantas do
 1447 genótipo CNPAE 263 apresentaram aumento de 25% a partir de 2 h de aplicação do PEG
 1448 6000, sendo mais expressivo (170%) após 24 e 48 h (Figuras 8A, 8B e 8C). Já no genótipo
 1449 CNPAE 256 houve aumento mais significativo (3,6 vezes) do teor de prolina em
 1450 comparação ao tratamento controle após 48 horas de estresse (Figura 8C). Nas raízes das
 1451 plantas do genótipo CNPAE 263, não foram observadas diferenças significativas entre os
 1452 tratamentos. Resultados diferentes foram observados nas plantas do genótipo CNPAE
 1453 256, quando houve acúmulo de prolina nas raízes após 2, 24 e 48 h (Figuras 8D, 8E e 8F).



1454

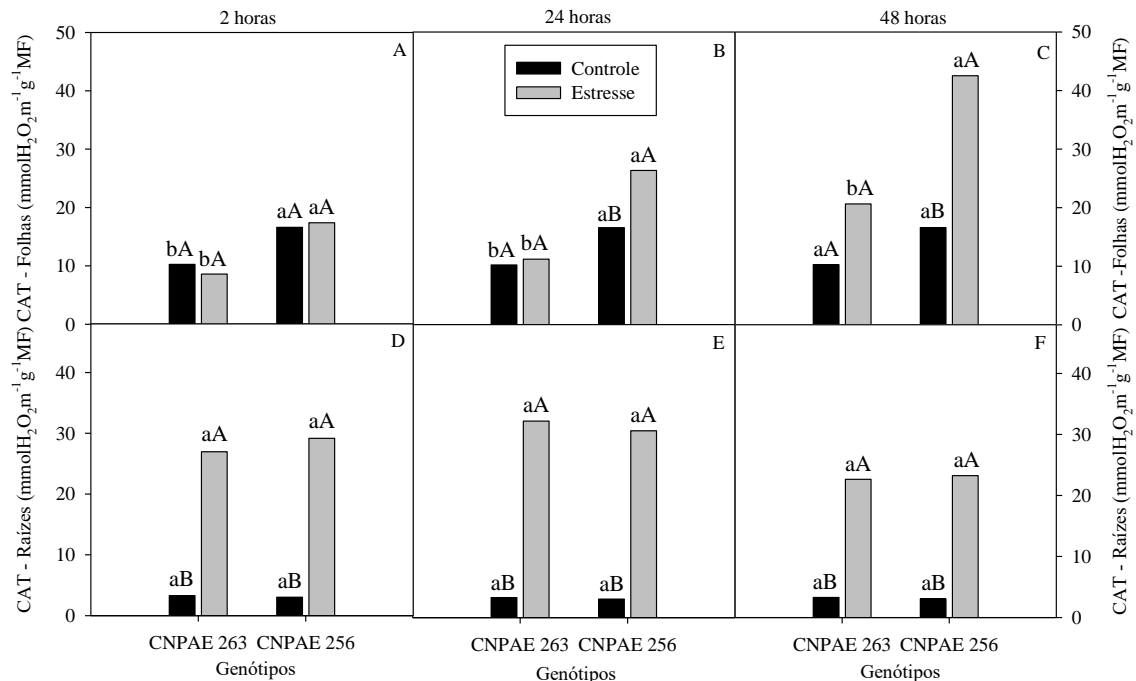
1455 **Figura 8.** Teores de prolina livre em dois genótipos de *Jatropha curcas* L. sob estresse
 1456 hídrico induzido pelo PEG 6000 na concentração de -0,2 MPa. **A, B e C** – Prolina nas
 1457 folhas após 2, 24 e 48 h de aplicação do estresse; **D, E e F** – Prolina nas raízes após 2, 24
 1458 e 48 h de aplicação do estresse. Letras minúsculas comparam os genótipos e maiúsculas
 1459 os tratamentos. Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey
 1460 com 5% de probabilidade.

1461

1462 *Atividade enzimática*

1463 A atividade das enzimas antioxidantes foi aumentada com o estresse hídrico em
 1464 ambos os genótipos estudados, tanto nas folhas quanto nas raízes (Figuras 9 e 10). Nas
 1465 folhas, a catalase teve maior atividade após 48 horas de exposição ao estresse,
 1466 apresentando valores médios de 21 e 42,5 $\mu\text{molH}_2\text{O}_2\text{m}^{-1}\text{g}^{-1}\text{MF}$ para os genótipos CNPAE
 1467 263 e 256, respectivamente (Figura 9C). Entretanto, no genótipo CNPAE 263 o estresse
 1468 hídrico não alterou a atividade dessa enzima nas folhas após 2 h, enquanto que no
 1469 genótipo CNPAE 256 houve aumento em todos horários avaliados (Figuras 9A, 9B e 9C).
 1470 Já nas raízes das plantas do genótipo CNPAE 263, a atividade da catalase foi de 27, 32 e
 1471 23 $\mu\text{molH}_2\text{O}_2\text{m}^{-1}\text{g}^{-1}\text{MF}$ após 2, 24 e 48 horas, respectivamente, enquanto que na condição
 1472 controle, esta atividade foi de 3 $\mu\text{molH}_2\text{O}_2\text{m}^{-1}\text{g}^{-1}\text{MF}$ (Figura 6B). Comportamento
 1473 semelhante também foi verificado nas raízes das plantas do genótipo CNPAE 256 que
 1474 tiveram a atividade da CAT de 29, 30,5 e 23 $\mu\text{molH}_2\text{O}_2\text{m}^{-1}\text{g}^{-1}\text{MF}$ quando submetidas a 2,

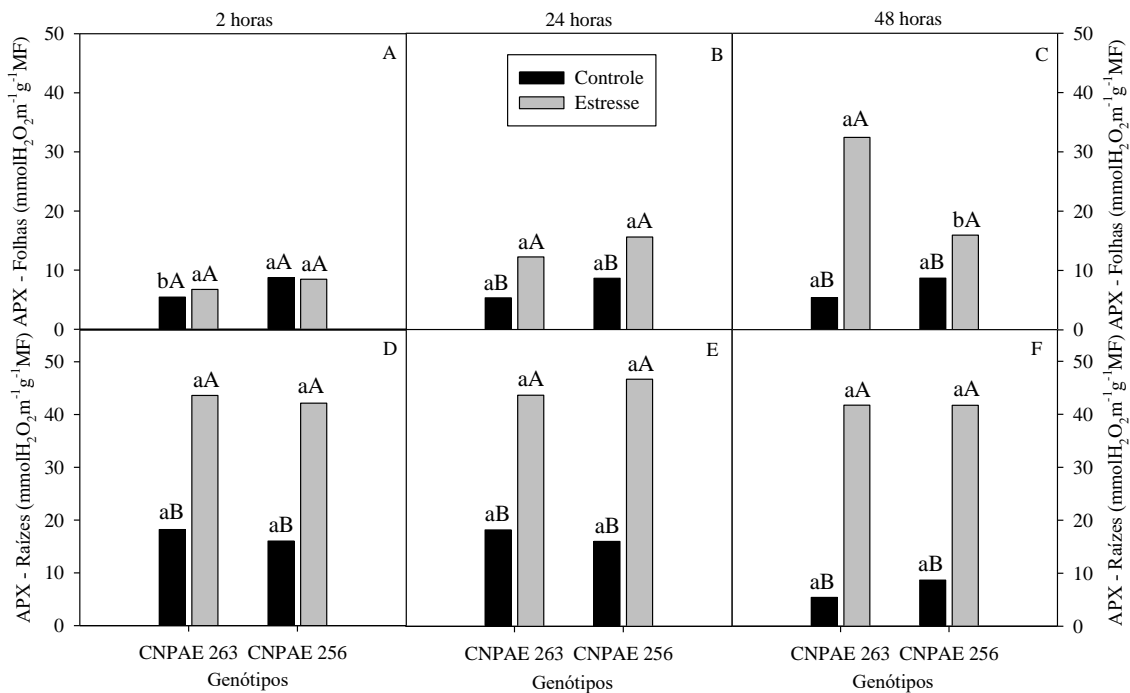
1475 24 e 48 horas de deficiência hídrica, respectivamente, e $3 \mu\text{molH}_2\text{O}_2\text{m}^{-1}\text{g}^{-1}\text{MF}$ no
 1476 tratamento controle (Figuras 9D, 9E e 9F).



1477
 1478 **Figura 9.** Atividade da enzima catalase (CAT) em dois genótipos de *Jatropha curcas* L.
 1479 sob estresse hídrico induzido pelo PEG 6000 na concentração de -0,2 MPa. **A, B e C** –
 1480 Catalase nas folhas após 2, 24 e 48 h de aplicação do estresse; **D, E e F** – Catalase nas
 1481 raízes após 2, 24 e 48 h de aplicação do estresse. Letras minúsculas comparam os
 1482 genótipos e maiúsculas os tratamentos. Médias seguidas por mesma letra não diferem
 1483 entre si pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade.

1484
 1485 Foi observado que a enzima ascorbato peroxidase tem maior atividade nas raízes
 1486 do que nas folhas e sua atividade foi aumentada em função do estresse hídrico, tantas nas
 1487 folhas quanto nas raízes. No genótipo CNPAE 263, a atividade da APX das folhas só
 1488 diferiu estatisticamente, em relação ao controle, após 24 e 48 horas, com médias de 12 e
 1489 $32 \mu\text{molH}_2\text{O}_2\text{m}^{-1}\text{g}^{-1}\text{MF}$, enquanto no controle, essa média foi de $5 \mu\text{molH}_2\text{O}_2\text{m}^{-1}\text{g}^{-1}\text{MF}$
 1490 (Figuras 10B e 10C). No CNPAE 256, a atividade da APX também foi maior após 24 e
 1491 48 horas, que apresentaram em média valores de aproximadamente $16 \mu\text{molH}_2\text{O}_2\text{m}^{-1}\text{g}^{-1}$
 1492 ^1MF e o controle, $9 \mu\text{molH}_2\text{O}_2\text{m}^{-1}\text{g}^{-1}\text{MF}$. Nas raízes de ambos os genótipos houve
 1493 aumento da atividade da APX em todos os períodos de avaliação sob estresse hídrico,
 1494 com valor médio de aproximadamente $43 \mu\text{molH}_2\text{O}_2\text{m}^{-1}\text{g}^{-1}\text{MF}$ nas plantas estressadas,

1495 enquanto que nas plantas controle, esse valor foi em média de 17 $\mu\text{molH}_2\text{O}_2\text{m}^{-1}\text{g}^{-1}\text{MF}$
 1496 (Figuras 10D, 10E e 10F).



1497 **Figura 10.** Atividade da enzima ascorbato peroxidase (APX) em dois genótipos de
 1498 *Jatropha curcas* L. sob estresse hídrico induzido pelo PEG 6000 na concentração de -0,2
 1499 MPa. **A, B e C** – APX nas folhas após 2, 24 e 48 h de aplicação do estresse; **D, E e F** –
 1500 APX nas raízes após 2, 24 e 48 h de aplicação do estresse. Letras minúsculas comparam
 1501 os genótipos e maiúsculas os tratamentos. Médias seguidas por mesma letra não diferem
 1502 entre si pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade.
 1503

1504

1505 DISCUSSÃO

1506

1507 O fato das relações hídricas do genótipo CNPAE 263 ter se mantido pode ser
 1508 explicado graças à redução da abertura dos estômatos (Figura 4) e, apesar do genótipo
 1509 CNPAE 256 também ter reduzido a condutância estomática, estas plantas tiveram suas
 1510 relações hídricas mais afetadas pela redução TRA, indicando uma maior sensibilidade ao
 1511 estresse hídrico em comparação ao genótipo CNPAE 263.

1512 Díaz-López et al. (2012), submetaram plantas de pinhão-mansão a diferentes níveis
 1513 de estresse hídrico (100, 75, 50, 25 e 0% da capacidade de campo) e verificaram que o Ψ_f
 1514 foi reduzido com o aumento da intensidade do estresse, mas o TRA não foi afetado, estes
 1515 resultados corroboram com os encontrados na presente pesquisa, para o genótipo CNPAE
 1516 263. Em adição, Oliveira et al. (2016) também observaram que plantas de pinhão-mansão

1517 de dois genótipos (CNPAE 183 e CNPAE 191) reduziram o Ψ_f em condições 60% da
1518 capacidade de campo durante o período de 55 dias, além de aumentarem o TRA.

1519 Parwata et al. (2012) realizaram um estudo de campo com quatro genótipos de
1520 pinhão-manso (IP-1A, IP-2M, Local superior e Yellow leaf) e dois tratamentos (controle
1521 – irrigação a cada três dias; e estresse hídrico – irrigação a cada nove dias), em plantas
1522 com 7 meses de idade. Passados cinco meses do início da diferenciação dos tratamentos,
1523 os autores observaram que o estresse hídrico provocou reduções tanto do potencial hídrico
1524 (aproximadamente 20%), quanto do teor relativo de água (aproximadamente 5%) em
1525 todos os genótipos estudados, incluindo os tolerantes (IP-1A e IP-2M). Estes resultados
1526 são contrários aos observados na presente pesquisa, já que no genótipo CNPAE 263 não
1527 teve alteração do potencial hídrico e nem do TRA após 48 h de estresse; e embora no
1528 genótipo CNPAE 256 o potencial hídrico tenha sido afetado, houve logo em seguida uma
1529 recuperação. Segundo Santana et al. (2015), a manutenção do potencial hídrico foliar em
1530 plantas de *J. curcas* pode ser atribuída à capacidade de armazenar água no caule.

1531 Para Arcoverde et al. (2011), plantas de pinhão-manso com três meses de idade
1532 submetidas à deficiência hídrica (50 e 25% da irrigação), têm um eficiente controle da
1533 abertura e fechamento dos estômatos, e o primeiro sintoma observado nas trocas gasosas
1534 após 48 horas de indução dos tratamentos é o fechamento estomático, que por
1535 consequência reduz a transpiração. O que corrobora com a presente pesquisa, uma vez
1536 que ambos os genótipos avaliados apresentaram reduções na transpiração e também na
1537 condutância estomática, sendo este resultado mais evidente no maior período de
1538 exposição ao estresse (Figura 3). O fato dos estômatos terem sua abertura reduzida pode
1539 explicar a manutenção do teor relativo de água, que se manteve elevado no genótipo
1540 CNPAE 263, mesmo nas plantas que estavam em condições de estresse hídrico.

1541 Os resultados obtidos por Santana et al. (2015) em estudo com plantas de três
1542 genótipos de pinhão-manso (CNPAE 126, CNPAE 137 e CNPAE 139) submetidas à
1543 deficiência hídrica durante 108 dias, sendo o tratamento aplicado 15 dias após a
1544 germinação das mesmas, corroboram com os resultados da presente pesquisa, pois o
1545 estresse hídrico induzido pela ausência da irrigação após 55 dias reduziu de forma
1546 significativa as taxas de fotossíntese, transpiração e também a condutância estomática,
1547 sendo essas reduções na ordem de 91, 80 e 90%, respectivamente. Sapeta et al. (2013) e
1548 Oliveira et al. (2016) também verificaram que o estresse hídrico reduz a fotossíntese, a
1549 condutância estomática e a transpiração de plantas de pinhão-manso, porém ao serem

1550 reidratadas, ocorre recuperação dessas variáveis, evidenciando a plasticidade das plantas
1551 ao estresse.

1552 Ao submeterem plantas de pinhão-manso com 71 dias de idade de dois acessos
1553 distintos (Ind e CVi), aos tratamentos de rega diária e deficiência hídrica (redução da água
1554 a cada dois dias de 10%, seguidos de reidratação a cada sete dias) durante 28 dias, Sapeta
1555 et al. (2013) não constataram alterações nos teores das clorofilas *a* e *b*, evidenciando que
1556 esta variável não foi sensível ao estresse hídrico. Moura et al. (2016), ao avaliarem o
1557 efeito dos tratamentos 100, 80, 60 e 40% da capacidade de pote (CP), também não
1558 verificaram alterações nos pigmentos fotossintetizantes em plantas de pinhão-manso após
1559 60, 90 e 120 dias de diferenciação dos tratamentos, com exceção to teor de clorofila *a*
1560 após 120 dias, que nos tratamentos de 60 e 40% da CP duplicaram o valor desta variável.
1561 Estes resultados corroboram em parte com os dados da presente pesquisa, visto que os
1562 teores de clorofila *a* foram reduzidos apenas no genótipo CNPAE 256 após 48 h de
1563 estresse, os de clorofila *b* foram aumentados apenas no CNPAE 263 após 2 h, enquanto
1564 que não houve alteração nos teores de carotenoides, semelhante ao verificado pelos
1565 autores citados anteriormente. De acordo com Anjum et al. (2011), o estresse hídrico
1566 contribui para a degradação da clorofila, reduzindo os teores de pigmentos fotossintéticos,
1567 o que foi verificado no teor de clorofila total do genótipo CNPAE 256 após 48 h de
1568 aplicação estresse.

1569 Segundo Anjum et al. (2011), as plantas em condição de deficiência hídrica
1570 acumulam em suas células solutos orgânicos, com o objetivo de manter o turgor celular
1571 e manter a absorção de água do solo. Parwata et al. (2012) e Wang et al. (2011)
1572 verificaram aumento do teor de prolina livre nas folhas de plantas pinhão-manso
1573 submetidas à seca, o que corrobora com os resultados da presente pesquisa, pois em
1574 ambos os genótipos houve aumento deste aminoácido em situação de deficiência hídrica.
1575 Wang et al. (2011) sugerem que este aumento do teor de prolina livre seria uma adaptação
1576 do pinhão-manso à condição de seca. Portanto, a prolina é um osmólito que se acumula
1577 nas plantas, como uma estratégia de tolerância ao estresse, além de ser considerado um
1578 antioxidante celular (Jaleel et al., 2007; Gill & Tuteja et al., 2010).

1579 Em um estudo com plantas de *J. curcas* submetidas ao estresse hídrico (50 e 25%
1580 da irrigação) por 12 dias, Arcoverde et al. (2011) verificaram reduções significativas nos
1581 teores de carboidratos solúveis totais e não observaram alterações nos teores de
1582 aminoácidos livres totais e proteínas solúveis. Porém, na presente pesquisa ambos os
1583 genótipos estudados aumentaram os teores de carboidratos solúveis totais nas folhas após

1584 2 horas de estresse, reduziram os teores de proteínas solúveis e não houve alteração para
1585 os aminoácidos livres, exceto para o genótipo CNPAE 263, que aumentou os teores de
1586 aminoácidos livres em suas folhas em resposta ao estresse após 2 horas (Figura 5).

1587 Segundo Pereira et al. (2015), a ação das enzimas antioxidantes tais como a
1588 catalase e a ascorbato peroxidase reduz os danos causados pelas EROs, e quando em
1589 conjunto com o metabolismo não enzimático, confere à planta tolerância ao estresse
1590 hídrico. Para Jaleel et al. (2009) e Gill & Tuteja (2010), os carotenoides também possuem
1591 a capacidade de eliminar as espécies reativas de oxigênio, sendo considerados como
1592 fotoprotetores, por atuar dissipando o excesso de energia e na proteção contra os danos
1593 oxidativos.

1594 Silva et al. (2015) avaliaram os efeitos da deficiência hídrica em plantas de *J.*
1595 *curcas* da cultivar FT1 aos 30 dias de idade. Os autores submeteram as plantas aos
1596 tratamentos controle (rega diária) e seca (20 dias sem irrigação - com análises a cada
1597 cinco dias) e verificaram que houve aumento significativo na atividade da enzima
1598 ascorbato peroxidase nas folhas após 10 dias, que se manteve constante até os 20 dias de
1599 estresse, enquanto que reduziram de forma gradativa a atividade da enzima catalase nas
1600 folhas após 5, 10, 15 e 20 dias de diferenciação dos tratamentos.

1601 Na presente pesquisa, a ação das enzimas foi uma estratégia adotada por ambos
1602 os genótipos estudados, já que tanto nas folhas quanto nas raízes, as enzimas CAT e APX
1603 tiveram sua atividade aumentada em função do estresse hídrico e os teores de carotenoides
1604 não foram alterados. Rao & Chaitanya (2016) afirmam que o aumento da atividade da
1605 catalase previne danos oxidativos à célula, através da dismutação do H₂O₂. Silva et al.
1606 (2015) também verificaram aumento na atividade da ascorbato peroxidase em função do
1607 estresse hídrico, evitando o acúmulo de H₂O₂, haja vista que a APX está envolvida na
1608 remoção do H₂O₂ (Gill & Tuteja, 2010).

1609

1610 **CONCLUSÃO**

1611

1612 Diante do exposto, sugere-se que o genótipo CNPAE 263 evidencia ser mais
1613 tolerante ao estresse hídrico em comparação com o genótipo CNPAE 256. Essa tolerância
1614 se dá através do ajuste osmótico, para manutenção das relações hídricas e também pela
1615 não redução dos teores de pigmentos fotossintetizantes.

1616 **AGRADECIMENTOS**

1617 Os autores agradecem ao pesquisador da Embrapa Agroenergia Bruno Laviola,
1618 por fornecer as sementes de pinhão-manso e à Profa. Dra. Jarcilene Cortez, por dar
1619 suporte nas análises das trocas gasosas. O primeiro autor agradece à FACEPE pela
1620 concessão da bolsa de pós-graduação.

1621

1622 REFERÊNCIAS

1623

1624 Alves, G.M.R., Pereira, J.W.L., Luz, L.N., Lima, L.M., Santos, R.C., 2016. Genotypic
1625 variability of peanut lines in response to water stress, based on biochemical descriptors.
1626 Revista Caatinga, 29(3), 528-536. DOI: 10.1590/1983-21252016v29n302rc

1627

1628 Anjum, S.A., Xie, X.Y., Wang, L.C., Saleem, M.F., Man, C., Lei, W., 2011.
1629 Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress.
1630 African Journal of Agricultural Research, 6(9), 2026-2032. DOI: 10.5897/AJAR10.027

1631

1632 Arcoverde, G.B., Rodrigues, B.M., Pompelli, M.F., Santos, M.G., 2011. Water relations
1633 and some aspects of leaf metabolism of *Jatropha curcas* young plants under two water
1634 deficit levels and recovery. Brazilian Journal Plant Physiology, 23(2), 123-130. DOI:
1635 10.1590/S1677-04202011000200004

1636

1637 Azevedo Neto, A.D., Nogueira, R.J.M.C., Melo Filho, P.A., Santos, R.C., 2010.
1638 Physiological and biochemical responses of peanut genotypes to water deficit. Journal of
1639 Plant Interactions, 5(1), 1-10. DOI: 10.1080/17429140902999243

1640

1641 Basili, M., Fontini, F., 2012. Biofuel from *Jatropha curcas*: environmental sustainability
1642 and option value. Ecological Economics, 78, 1-8. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2012.03.010

1643

1644 Basir, F.A., Datta, S., Roy, P.K., 2015. Studies on biodiesel production from *Jatropha*
1645 *curcas* oil using chemical and biochemical methods – A mathematical approach. Fuel,
1646 158, 503-511. DOI: 10.1016/j.fuel.2015.05.048

1647

1648 Bates, L.S., Waldren, R.P., Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for
1649 water-stress studies. Plant and Soil, 39(1), 205-207. DOI: 10.1007/BF00018060

1650

1651 Beers Junior, R.F., Sizer, I.W., 1952. A spectrophotometric method for measuring the
1652 breakdown of hydrogen peroxide by catalase. Journal of Biological Chemistry, 195(2),
1653 133-140.

1654

1655 Bradford, M.M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram
1656 quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical
1657 Biochemistry, 72, 248-254. DOI: 10.1016/0003-2697(76)90527-3

1658

1659 Cairo, P.A.R., 1995. Curso básico de relações hídricas de plantas. Vitória da Conquista:
1660 Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Departamento de Fitotecnia e Zootecnia,
1661 32 p.

1662 Días-López, L., Gimeno, V., Simón, I., Martínez, V., Rodríguez-Ortega, W.M., García-
1663 Sánchez, F., 2012. *Jatropha curcas* seedlings show a water conservation strategy under

1664 drought conditions based on decreasing leaf growth and stomatal conductance.
1665 Agricultural Water Management, 105, 48-56. DOI: 10.1016/j.agwat.2012.01.001
1666
1667 Dias, L.A.S., Missio, R.F., Dias, D.C.F.S., 2012. Antiquity, botany, oringin and
1668 domestication of *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae), a plant species with potential for
1669 biodiesel production. Genetics and Molecular Research, 11(3), 2719-2728. DOI:
1670 10.4238/2012.June.25.6
1671
1672 Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.A., Smith, F., 1956. Colorimetric
1673 method for determination of sugars and related substances. Analytical Chemistry, 28,
1674 350-356. DOI: 10.1021/ac60111a017
1675
1676 FAO. Food and Agriculture Organization of The United Nations, 2010. *Jatropha: A*
1677 *Smalholder Bioenergy Crop. The Potential for Pro-Poor Development.* Roma, 114p.
1678
1679 Ferreira, W.J., Batista, G.T., Castro, C.M., Devide, A.C.P., 2013. Biodiesel de pinhão
1680 manso (*Jatropha curcas* L.) em países emergentes: alternativa para o desenvolvimento
1681 regional. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, 9(1), 3-16.
1682
1683 Gill, S.S., Tuteja, N., 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in a
1684 abiotic stress tolerance in crop plants. Plant Physiology and Biochemistry, 48, 909-930.
1685 DOI: 10.1016/j.plaphy.2010.08.016
1686
1687 Graciano, E.S.A., Santos, H.R.B., Nogueira, R.J.M.C., 2016. Trocas gasosas, eficiência
1688 fotoquímica e pigmentos fotossintéticos de cultivares de amendoim sob deficiência
1689 hídrica no solo. Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science, 9(1),
1690 27-36. DOI: 10.5935/PAeT.V9.N1.03
1691
1692 Hoagland, D., Arnon, D.I., 1950. The water culture method for growing plants without
1693 soil. California Agriculture Experimental Station Circular, 347p.
1694
1695 Jaleel, C.A., Manivannan, P., Kishorekumar, A., Sankar, B., Gopi, R., Somasundaram,
1696 R., Panneerselvam., 2007. Alterations in osmoregulation, antioxidant enzymes and indole
1697 alkaloid levels in *Catharanthus roseus* exposed to water deficit. Colloids and Surfaces B:
1698 Biointerfaces, 59, 150-157. DOI: 10.1016/j.colsurfb.2007.05.001
1699
1700 Jaleel, C.A., Manivannan, P., Wahid, A. Farooq, M. Al-Juburi, H.J., Somasundaram, R.,
1701 Panneerselvam, R., 2009. Drought stress in plants: a review on morphological
1702 characteristics and pigments composition. International Journal of Agriculture &
1703 Biology, 11, 100-105.
1704
1705 Lichtenthaler, H.K., Buschmann, C., 2001. Chlorophylls and carotenoids: measurement
1706 and characterization by UV-VIS spectroscopy. Current Protocols in Food Analytical
1707 chemistry, F4.3.1-F4.3.8.
1708
1709 Moniruzzaman, W., Yaakob, Z., Khatun, R., 2016. Biotechnology for *Jatropha*
1710 improvement: A worthy exploration. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 54,
1711 1262-1277. DOI: 10.1016/j.rser.2015.10.074
1712 Montes, J.M.; Melchinger, A.E., 2016. Domestication and breeding of *Jatropha curcas*
1713 L. Trends in Plant Science, 21(12), 1045-1057. DOI: 10.1016/j.tplants.2016.08.008

1714
1715 Moura, A.R., Nogueira, R.J.M.C., Silva, J.A.A., Lima, T.V. 2016. Relações hídricas e
1716 solutos orgânicos em plantas jovens de *Jatropha curcas* L. sob diferentes regimes
1717 hídricos. *Ciência Florestal*, 26(2), 245-254. DOI: 10.5902/1980509822735
1718
1719 Nakano, Y., Asada, K., 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific
1720 peroxidase in spinach chloroplast. *Plant Cell Physiology*, 22(5), 867-880. DOI:
1721 10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232
1722
1723 Nxele, X., Klein, A., Ndimba, B.K., 2017. Drought and salinity stress alters ROS
1724 accumulation, water retention, and osmolyte content in sorghum plants. *South African
1725 Journal of Botany*, 108, 261-266. DOI: 10.1016/j.sajb.2016.11.003
1726
1727 Oliveira, P.S., Silva, L.D., Santana, T.A., Laviola, B.G., Paiva, A.Q., Mielke, M.S.,
1728 Gomes, F.P., 2016. Morphophysiological changes in Young plants of *Jatropha curcas* L.
1729 (Euphorbiaceae) subjected to water stress and recovery. Full Length Reseach Paper,
1730 11(45), 4692-4703. DOI: 10.5897/AJAR2016.11435
1731
1732 Parwata, G.M.A., Indradewa, D., Yudono, P., Kertonegoro, B.D., Kusmarwiyah, R.,
1733 2012. Physiological responses of *Jatropha* to drought stress in coastal sandy land
1734 conditions. *Makara Journal of Science*, 16(2), 115-121. DOI: 10.7454/mss.v16i2.1406
1735
1736 Prayitno, A., Fitria, M.S., Elmanda, A.Y., 2016. Tumoricidal activation of macrophages
1737 using *Jatropha curcas* leaf extract: as a proxy for the treatment of cancer. *Immunome
1738 Research*, 12(1), 1-3. DOI: 10.4172/1745-7580.10000112
1739
1740 Pereira, J.W.L., Silva, E.C.A., Luz, L.N., Nogueira, R.J.M.C., Melo Filho, P.A., Lima,
1741 L.M., Santos, R.C., 2015. Cluster analysis to select peanut drought tolerance lines.
1742 *Australian Journal of Crop Science*, 9(11), 1095-1105.
1743
1744 Rao, D.E., Chaitanya, K.V., 2016. Photosynthesis and antioxidative defense mechanisms
1745 in deciphering drought stress tolerance of crop plants. *Biologia Plantarum*, 60(2), 201-
1746 218. DOI: 10.1007/s10535-016-0584-8
1747
1748 Santana, T.A., Oliveira, P.S., Silva, L.D., Laviola, B.G., Almeida, A.A.F., Gomes, F.P.,
1749 2015. Water use efficiency and consumption in different Brazilian genotypes of *Jatropha
1750 curcas* L. subjected to soil water deficit. *Biomass and Bioenergy*, 75, 119-125. DOI:
1751 10.1016/j.biombioe.2015.02.008
1752
1753 Sapeta, H., Costa, J.M., Lourenço, T., Maroco, J., Linde, P.V.D., Oliveira, M.M., 2013.
1754 Drought stress response in *Jatropha curcas*: Growth and physiology. *Environmental and
1755 Experimental Botany*, 85, 76-84. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2012.08.012
1756
1757 Scholander, P.F., Bradstreet, E.D., Hemmingsen, E.A., Hammel, H.T, 1965. Sap pressure
1758 in vascular plants: negative hydrostatic pressure can be measured in plants. *Science*,
1759 148(3668), 339-346. DOI: 10.1126/science.148.3668.339
1760
1761 Silva F.A.S., Azevedo C.A.V., 2016. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the
1762 analysis of experimental data. *African Journal of Agricultural Research*, 11(39), p.3733-
1763 3740. DOI: 10.5897/AJAR2016.11522

- 1764
1765 Silva, E.N., Silveira, J.A.G., Ribeiro, R.V., Vieira, S.A., 2015. Photoprotective function
1766 of energy dissipation by thermal processes and photorespiratory mechanisms in *Jatropha*
1767 *curcas* plants during different intensities of drought and after recovery. Environmental
1768 and Experimental Botany, 110, 36-45. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2014.09.008
1769
- 1770 Villela, F.A., Doni Filho, L., Sequeira, E.L., 1991. Tabela de potencial osmótico em
1771 função da concentração de polietileno glicol 6.000 e da temperatura. Pesquisa
1772 Agropecuária Brasileira, 26(11/12), 1957-1968.
1773
- 1774 Wang, W.G., Li, R., Liu, B., Li, L., Wang, S.H., Chen, F., 2011. Effects of low nitrogen
1775 and drought stresses on proline synthesis of *Jatropha curcas* seedling. Acta Physiologiae
1776 Plantarum, 33(5), 1591-1595. DOI: 10.1007/s11738-010-0692-6
1777
- 1778 Yemm, E. W., Cocking, E. C., 1955. The determination of amino-acids with ninhydrin.
1779 Analyst, 80, 209-214. DOI: 10.1039/AN9558000209

CONSIDERAÇÕES FINAIS

1780

1781

1782 O genótipo CNPAE 263 pode ser considerado como tolerante ao nível de -0,2
1783 MPa de PEG 6000, por ter os parâmetros germinativos avaliados nesta pesquisa, menos
1784 afetados, além de aumentar a concentração de solutos orgânicos, como forma de
1785 tolerância ao estresse através do ajuste osmótico, para manutenção das relações hídricas,
1786 principalmente no teor relativo de água nas plantas após 48 horas. Além de não reduzir
1787 os teores de pigmentos fotossintéticos, mesmo após 48 horas de exposição ao PEG 6000
1788 ao nível de -0,2 MPa, sugerindo que o genótipo CNPAE 263 tem maior grau de tolerância
1789 ao estresse hídrico em comparação com o genótipo CNPAE 256.

1790 **ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NO PERÍODO DE REALIZAÇÃO DO**
1791 **DOUTORADO (2014-2018):**

1792

1793 **FORMAÇÃO COMPLEMENTAR**

1794

1795 **CURSOS DE CURTA DURAÇÃO:**

1796 ➤ Word 2010 Intermediário. Carga horária: 15 horas. Serviço Nacional de
1797 Aprendizagem Rural – DF, Brasília, 2018.

1798 ➤ Introdução aos Sistemas de IPLF. Carga horária: 10 horas. Serviço Nacional de
1799 Aprendizagem Rural – DF, Brasília, 2017.

1800 ➤ Informática e Internet Intermediário. Carga horária: 20 horas. Serviço Nacional
1801 de Aprendizagem Rural – DF, Brasília, 2017.

1802 ➤ Digitação. Carga horária: 10 horas. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural –
1803 DF, Brasília, 2017.

1804 ➤ Elementos de Paisagem e Processos Ecológicos. Carga horária: 30 horas. Serviço
1805 Nacional de Aprendizagem Rural – DF, Brasília, 2017.

1806 ➤ Doenças Transmissíveis e Saneamento Básico. Carga horária: 20 horas. Serviço
1807 Nacional de Aprendizagem Rural – DF, Brasília, 2016.

1808 ➤ Mapa Conceitual e a Aprendizagem Significativa. Carga horária: 2 horas.
1809 Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2016.

1810 ➤ Produção de Sementes e Mudanças de Espécies Florestais Nativas. Carga horária: 20
1811 horas. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural – DF, Brasília, 2016.

1812 ➤ Sustentabilidade no Dia a Dia: Orientações Para o Cidadão. Carga horária: 12
1813 horas. Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 2015.

1814 ➤ Ciência e Tecnologia. Carga horária: 15 horas. Fundação Getúlio Vargas, Rio de
1815 Janeiro, 2015.

1816

1817 **PROJETOS DE PESQUISA**

1818

1819 ➤ Manejos de cultivo e interferência na fisiologia e produção de princípios ativos
1820 em nim indiano. (2013-2015)

1821 ➤ “Descritores fisiológicos em espécies florestais da Caatinga visando à produção
1822 de mudas para reflorestamento em áreas degradadas. (2012-2014)

- 1823 ➤ Caracterização morfofisiológica e bioquímica em variedades de cana-de-açúcar
1824 cultivadas sob estresse hídrico em casa de vegetação para avaliação de graus de
1825 tolerância. (2014-2015).
- 1826 ➤ Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes e mudas de *Moringa oleifera*
1827 Lam. submetidas a estresses abióticos (2013-2017).
- 1828 ➤ Validação de parâmetros fisiológicos e bioquímicos para seleção de genótipos
1829 promissores de cana-de-açúcar, frente ao estresse hídrico e aplicação de gesso.
1830 (2016-2018).
- 1831 ➤ Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes e mudas de *Jatropha curcas*
1832 submetida a estresses abióticos (2014-2018).

1833

1834

REVISÃO DE PERIÓDICOS

1835

- 1836 ➤ Periódico: Iheringia. Série Botânica. Desde o ano de 2016.
- 1837 ➤ Periódico: Biota Amazônia. Desde o ano de 2017.
- 1838 ➤ Periódico: Irriga. Desde o ano de 2017.
- 1839 ➤ Periódico: Científica (Jaboticabal. Online). Desde o ano de 2017.
- 1840 ➤ Periódico: Pesquisa Agropecuária Pernambucana. Desde o ano de 2017.
- 1841 ➤ Periódico: Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences.
1842 Desde o ano de 2018.

1843

1844

ARTIGOS PUBLICADOS EM PERIÓDICOS

1845

- 1846 ➤ ARAUJO, R. P. S.; SILVA, E. C. A.; SANTOS, C. A.; PACHECO, C. M.;
1847 NOGUEIRA, R. J. M. C. Influência da salinidade no crescimento inicial de mudas
1848 de *Jatropha curcas* L.. Revista Agrotecnologia, v.8, p.55 - 62, 2017.
- 1849 ➤ SILVA, M. A.; PACHECO, C. M.; SANTOS, C. A.; NASCIMENTO, H. H. C.;
1850 NOGUEIRA, R. J. M. C. Tolerance mechanisms in *Hymenaea courbaril* L. and
1851 *Jatropha curcas* L. plants as a response to water deficit and contamination by oil
1852 derivatives. Revista Árvore (on-line), v.41, p.1-10, 2017.
- 1853 ➤ SILVA, E. C. A.; LUCENA, P. G. C.; NASCIMENTO, R. M.; SANTOS, C. A.;
1854 ARAÚJO, R. P. S.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Mecanismos bioquímicos em
1855 *Moringa oleifera* Lam. para tolerância à salinidade. Acta Iguazu, v. 6, p. 54-71,
1856 2017.

- 1857 ➤ ARAÚJO, R. P. S.; SILVA, E. C. A.; **SANTOS, C. A.**; SILVA, N. V.;
1858 NOGUEIRA, R. J. M. C. Alterações fisiológicas de sementes e plântulas de
1859 *Jatropha curcas* L. submetidas ao cloreto de sódio. Revista Agrotecnologia, v.8,
1860 n.2, p.1-9, 2017.
- 1861 ➤ **SANTOS, C. A.**; SILVA, N. V.; WALTER, L. S.; Silva, E. C. A.; NOGUEIRA,
1862 R. J. M. C. Germinação de duas espécies da caatinga sob déficit hídrico e
1863 salinidade. Pesquisa Florestal Brasileira, v.36, p.219, 2016.
- 1864 ➤ NASCIMENTO, H. H. C.; **SANTOS, C. A.**; FREIRE, C. S.; SILVA, M. A.;
1865 NOGUEIRA, R. J. M. C. Ajustamento osmótico em mudas de jatobá submetidas
1866 à salinidade em meio hidropônico. Revista Árvore (Online), v.39, p.641 - 653,
1867 2015.

1868

1869 **ARTIGOS ACEITOS PARA PUBLICAÇÃO EM PERIÓDICOS**

1870

- 1871 ➤ **SANTOS, C. A.**; WALTER, L. S.; LADISLAU, C. M. P.; ARAÚJO, R. P. S.;
1872 NOGUEIRA, R. J. M. C. Resilience degree in two species of the brazilian
1873 semiarid under water stress. Revista Iheringia.Série Botânica, 2017.

1874

1875 **TRABALHOS PUBLICADOS EM ANAIS DE EVENTOS (RESUMO SIMPLES)**

1876

- 1877 ➤ MODESTO, A. L. S.; **SANTOS, C. A.**; SILVA, E. C. A.; NOGUEIRA, R. J. M.
1878 C. Quantificação dos teores de solutos orgânicos em folhas e raízes de moringa.
1879 XVII Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão da UFRPE, 2017, Recife.
- 1880 ➤ MODESTO, A. L. S.; **SANTOS, C. A.**; SILVA, E. C. A.; NOGUEIRA, R. J. M.
1881 C. Influência do CaCl₂ sobre os pigmentos fotossintéticos em plantas de *Jatropha*
1882 *curcas* L. XVII Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão da UFRPE, 2017, Recife.
- 1883 ➤ MODESTO, A. L. S.; **SANTOS, C. A.**; SILVA, E. C. A.; NOGUEIRA, R. J. M.
1884 C. Relações hídricas em mudas de pinhão-mansó sob estresse salino com CaCl₂.
1885 XVII Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão da UFRPE, 2017, Recife.
- 1886 ➤ SANTOS, H. R. B.; SILVA, E. C. A.; **SANTOS, C. A.**; ARAUJO, R. P. S.;
1887 NOGUEIRA, R. J. M. C. Efeito da salinidade de curta duração nos pigmentos
1888 fotossintéticos em folhas de *Moringa oleifera* In: VI Encontro Nacional de
1889 Moringa, 2016, Juazeiro, BA.

- 1890 ➤ **SANTOS, C. A.**; SANTOS, H. R. B.; SILVA, M. A.; MELO, T. T. A. T.;
1891 LADISLAU, C. M. P.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Efeito do estresse hídrico nos
1892 teores de solutos orgânicos em duas variedades de cana-de-açúcar In: XVI
1893 Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão da UFRPE, 2016, Recife.
- 1894 ➤ **SANTOS, C. A.**; SILVA, E. C. A.; LIMA, A. A.; ARAUJO, R. P. S.;
1895 LADISLAU, C. M. P.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Emergência e crescimento inicial
1896 em *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L.P. em condições de salinidade In: XVI
1897 Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão da UFRPE, 2016, Recife.
- 1898 ➤ MODESTO, A. L. S.; **SANTOS, C. A.**; SILVA, M. A.; PACHECO, C. M.;
1899 SILVA, N. V.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Influência do estresse hídrico na
1900 fotossíntese de variedades de cana-de-açúcar In: XVI Jornada de Ensino, Pesquisa
1901 e Extensão da UFRPE, 2016, Recife.
- 1902 ➤ MODESTO, A. L. S.; **SANTOS, C. A.**; SILVA, E. C. A.; SANTOS, J. M.;
1903 NOGUEIRA, R. J. M. C. Quantificação de solutos orgânicos em plântulas de
1904 moringa sob diferentes concentrações de CaCl₂ In: VI Encontro Nacional de
1905 Moringa, 2016, Juazeiro, BA.
- 1906 ➤ **SANTOS, C. A.**; MEDEIROS, D. B.; NASCIMENTO, H. H. C.; SILVA, N. V.;
1907 SIMOES NETO, D. E.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Relações hídricas de duas
1908 variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica In: XVI Jornada de
1909 Ensino, Pesquisa e Extensão da UFRPE, 2016, Recife.
- 1910 ➤ **SANTOS, C. A.**; SILVA, E. C. A.; ARAUJO, R. P. S.; SANTOS, H. R. B.;
1911 NOGUEIRA, R. J. M. C. Relações hídricas e integridade das membranas em
1912 mudas de moringa submetidas á salinidade In: VI Encontro Nacional de Moringa,
1913 2016, Juazeiro, BA.
- 1914 ➤ MODESTO, A. L. S.; **SANTOS, C. A.**; ARAUJO, R. P. S.; SILVA, M. A. M.;
1915 SILVA, E. C. A.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Relações hídricas em mudas de
1916 mulungu sob deficiência hídrica e posterior reirrigação. In: XVI Jornada de
1917 Ensino, Pesquisa e Extensão da UFRPE, 2016, Recife.
- 1918 ➤ MODESTO, A. L. S.; **SANTOS, C. A.**; SILVA, E. C. A.; SILVA, M. A. M.;
1919 LIMA, A. A.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Teores de pigmentos fotossintéticos e
1920 índice SPAD em plantas de *Erythrina velutina* In: XVI Jornada de Ensino,
1921 Pesquisa e Extensão da UFRPE, 2016, Recife.
- 1922 ➤ BRAZ, L. S.; WALTER, L. S.; ARAUJO, R. P. S.; SILVA, E. C. A.; **SANTOS,**
1923 **C. A.**; NOGUEIRA, R. J. M. C. Análises fisiológicas em mudas de *Mimosa*

- 1924 *caesalpiniaefolia* submetidas à escassez hídrica. In: XV Jornada de Ensino,
1925 Pesquisa e Extensão da UFRPE, 2015, Recife.
- 1926 ➤ WALTER, L. S.; SILVA, N. V.; SILVA, E. C. A.; PACHECO, C. M.; SANTOS,
1927 C. A.; BRAZ, L. S.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Avaliação das relações hídricas em
1928 mudas de nim indiano submetidas a diferentes concentrações de NaCl. In: XV
1929 Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão da UFRPE, 2015, Recife.
- 1930 ➤ WALTER, L. S.; SILVA, N. V.; PACHECO, C. M.; SANTOS, C. A.; SILVA, E.
1931 C. A.; ARAUJO, R. P. S.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Trocas gasosas em mudas de
1932 nim indiano submetidas a diferentes concentrações de NaCl. In: XV Jornada de
1933 Ensino, Pesquisa e Extensão da UFRPE, 2015, Recife.
- 1934 ➤ SILVA, M. F. L. T.; SANTOS, C. A.; WALTER, L. S.; PACHECO, C. M.;
1935 SILVA, N. V.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Avaliação das relações hídricas de sorgo
1936 sacarino (*Sorghum bicolor* moench) em estresse hídrico In: XIV Jornada de
1937 Ensino, Pesquisa e Extensão da UFRPE, 2014, Recife.
- 1938 ➤ LIMA, O. M. L. R.; BARRETO, T. H. L.; SANTOS, C. A.; PACHECO, C. M.;
1939 SILVA, N. V.; WALTER, L. S.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Avaliação de
1940 crescimento, relações hídricas e trocas gasosas em mudas de uma espécie florestal
1941 da Caatinga submetida ao estresse hídrico In: XIV Jornada de Ensino, Pesquisa e
1942 Extensão da UFRPE, 2014, Recife.

TRABALHOS PUBLICADOS EM ANAIS DE EVENTOS

(RESUMO EXPANDIDO)

- 1944
- 1945
- 1946
- 1947 ➤ ARAÚJO, R. P. S.; LIMA, A. A.; SILVA, E. C. A.; SANTOS, C. A.;
1948 NOGUEIRA, R. J. M. C. Efeito da salinidade nas relações hídricas e trocas
1949 gasosas de *Jatropha curcas* L. In: 6º Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia
1950 de Biodiesel e 9º Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e
1951 Biodiesel, Natal, 2016.
- 1952 ➤ VITOR, I. T.; LIMA, A. A.; SILVA, E. C. A.; SANTOS, C. A.; ARAÚJO, R. P.
1953 S.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Potencial hídrico foliar e teor relativo de água em
1954 *Moringa oleifera* submetida ao déficit hídrico. In: 6º Congresso da Rede Brasileira
1955 de Tecnologia de Biodiesel e 9º Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas,
1956 Óleos, Gorduras e Biodiesel, Natal, 2016.

- 1957 ➤ WALTER, L. S.; SANTOS, C. A.; SILVA, N. V.; BRAZ, L. S.; NOGUEIRA, R.
1958 J. M. C. Avaliação de crescimento inicial em mudas de nim indiano submetidas a
1959 diferentes níveis de salinidade. In: XVIII Semana de Engenharia Florestal da
1960 UFRPE, 2015, Recife.
- 1961 ➤ WALTER, L. S.; SANTOS, C. A.; SILVA, N. V.; Silva, E. C. A.; NOGUEIRA,
1962 R. J. M. C. Produção de matéria seca e alocação de biomassa em mudas de nin
1963 indiano sob estresse salino. In: XVIII Semana de Engenharia Florestal da UFRPE,
1964 2015, Recife.

1965

1966 CO-ORIENTAÇÕES CONCLUÍDAS

1967

1968 INICIAÇÃO CIENTÍFICA

- 1969 ➤ Antonio Leonardo de Souza Modesto. Influência do CaCl_2 sobre a fisiologia de
1970 *Jatropha curcas*. 2016. Iniciação científica (Engenharia Florestal) - Universidade
1971 Federal Rural de Pernambuco.
- 1972 ➤ Laura dos Santos Oliveira. Estudo Fisiológico de Variedades de Cana-de-Açúcar
1973 Submetidas à Seca em Campo. 2014. Iniciação científica (Engenharia Florestal) -
1974 Universidade Federal Rural de Pernambuco.

1975

1976 TRABALHOS DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO

- 1977 ➤ Laura dos Santos Oliveira. Crescimento inicial de mudas de *Handroanthus*
1978 *impetiginosus* submetidas a ciclos de rega em diferentes recipientes. 2017. Curso
1979 (Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural de Pernambuco.
- 1980 ➤ Letícia Siqueira Walter. Pré-germinativos em Sementes e Crescimento Inicial de
1981 Mudas de pau ferro (*Caesalpinia ferrea* Mart.). 2017. Curso (Engenharia
1982 Florestal) - Universidade Federal Rural de Pernambuco.

1983

1984 CO-ORIENTAÇÕES EM ANDAMENTO

1985

1986 INICIAÇÃO CIENTÍFICA

- 1987 ➤ Lucas Araújo Moura. Atividade antioxidante e trocas gasosas de três variedades
1988 de cana-de-açúcar sob estresse hídrico e aplicação de gesso. 2017. Iniciação
1989 científica (Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural de Pernambuco.

- 1990 ➤ Antonio Leonardo de Souza Modesto. Influência do estresse hídrico e aplicação
1991 de gesso em três variedades de cana-de-açúcar. 2017. Iniciação científica
1992 (Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural de Pernambuco.

1993

1994

PARTICIPAÇÃO EM EVENTOS

1995

- 1996 ➤ XVII Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão da UFRPE, Recife, 2017.
1997 **(Avaliadora de Resumos Científicos).**

- 1998 ➤ VI Encontro Nacional de Moringa, UNIVASF, Juazeiro, 2016.

- 1999 ➤ XV Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão da UFRPE, Recife, 2016.
2000 **(Avaliadora de Resumos e de Pôsteres).**

- 2001 ➤ I Encontro Estadual do SISEMAS, Recife, 2015.

- 2002 ➤ Novas Perspectivas para Pesquisa e Inovação no Estado de Pernambuco -
2003 FACEPE: 25 Anos, Recife, 2015.

- 2004 ➤ XV Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão da UFRPE, Recife, 2015.
2005 **(Avaliadora de Pôsteres).**

- 2006 ➤ II Simpósio de Morfologia e Fisiologia Animal, Recife, 2014. **(Avaliadora de**
2007 **Pôsteres).**

2008

2009

PARTICIPAÇÃO EM BANCAS

2010

- 2011 ➤ NOGUEIRA, R. J. M. C.; **SANTOS, C. A.**; SILVA, E. C. A.; PACHECO, C. M.
2012 Participação em banca de Maria Francyllen Lima Tavares da Silva. Caracteres
2013 Fisiológicos de três Variedades de Sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench sob
2014 Déficit Hídrico, 2014. (Ciências Biológicas) Universidade Federal Rural de
2015 Pernambuco.