

Câmpus
Ipameri



Universidade
Estadual de Goiás



Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal

**TOLERÂNCIA DE PLANTAS DE PINHÃO MANSO AO DÉFICIT
HÍDRICO EM RESPOSTA A DOSES DE BRASSINOSTEROIDES**

DIEGO BRAGA DE OLIVEIRA

MESTRADO

**Ipameri-GO
2018**

DIEGO BRAGA DE OLIVEIRA

**TOLERÂNCIA DE PLANTAS DE PINHÃO MANSO AO
DÉFICIT HÍDRICO EM RESPOSTA A DOSES DE
BRASSINOSTEROIDES**

Orientador: Prof. Dr. Fábio Santos Matos

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Goiás – UEG, Câmpus Ipameri como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Produção Vegetal para obtenção do título de MESTRE.

Ipameri
2018

O48t Oliveira, Diego Braga de
Tolerância de plantas de pinhão manso ao déficit hídrico em resposta
a doses de brassinosteroides / Diego Braga de Oliveira; orientador
Fábio Santos Matos . -- Ipameri, 2018.
36 p.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação Mestrado
Acadêmico em Produção Vegetal) -- Câmpus-Ipameri, Universidade
Estadual de Goiás, 2018.

1. Ciências Agrárias. 2. Agronomia . 3. Produção Vegetal. I. Matos ,
Fábio Santos , orient. II. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO


TÍTULO: “TOLERÂNCIA DE PLANTAS DE PINHÃO MANSO AO DÉFICIT HÍDRICO EM RESPOSTA A DOSES DE BRASSINOSTEROIDES”


AUTOR: Diego Braga de Oliveira

ORIENTADOR: Fábio Santos Matos

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM PRODUÇÃO VEGETAL, pela comissão Examinadora:


Prof. Dr. FÁBIO SANTOS MATOS
Universidade Estadual de Goiás/Câmpus Ipameri-GO


Prof. Dr. PAULO CÉSAR RIBEIRO DA CUNHA
Instituto Federal Goiano/Câmpus Urutaí-GO


Prof. Dr. ITAMAR ROSA TEIXEIRA
Universidade Estadual de Goiás/Câmpus Ipameri-GO

Data da realização: 23 de fevereiro de 2018

DEDICATÓRIA

À Deus pela finalização de mais uma etapa acadêmica e aos meus pais Edimar Pereira de Oliveira, Rosana Braga da Silva Oliveira e minha irmã Priscila Braga de Oliveira, que dignamente me demonstraram à importância da família, o caminho da honestidade e persistência.

DEDICO

“Acima de tudo, nunca pare de acreditar.” – Life of Pi

AGRADECIMENTOS

À Deus por conferir proteção e sensatez em todas as atividades realizadas durante essa jornada;
Aos meus pais Edimar Pereira de Oliveira e Rosana Braga da Silva Oliveira, e minha irmã Priscila Braga de Oliveira, que durante todos esses anos sempre estiveram ao meu lado me motivando e apoiando em todas as minhas decisões, não medindo esforços para meu crescimento pessoal;

Aos meus amigos mestrandos Enilton José Bernardes Júnior e Camila Lariane Amaro, pelo grande carinho, amizade, alegrias compartilhadas, que levarei por toda minha vida;

Ao meu orientador Dr. Fábio Santos Matos pelas contribuições ao meu crescimento científico e intelectual;

Ao grupo de Pesquisa Fisiologia da Produção Vegetal pela oportunidade de trabalho em conjunto e amizade de todos.

As minhas amigas Dra. Patrícia Silva da Silveira, Dra. Liana Rosatto e Msc. Priscilla Gomes de Freitas Santos por trabalharem comigo incansavelmente nas atividades do grupo de pesquisa, me auxiliando na busca pelo conhecimento;

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da UEG – Câmpus Ipameri, em especial aos Drs. Adilson Pelá, Ednaldo Cândido Rocha, Márcio da Silva Araújo, Nei Peixoto, Flávio Gonçalves de Jesus e Itamar Rosa Teixeira pelos ensinamentos transmitidos;

Ao professor Dr. Ivandilson Pessoa Pinto de Menezes, Instituto Federal Goiano – Câmpus Urutaí pela prontidão e disponibilidade do laboratório para realização das análises bioquímicas deste experimento;

À Universidade Estadual de Goiás – Câmpus Ipameri pela oportunidade da bolsa de estudo para realização dos experimentos científicos.

A todos que, mesmo não citados aqui, colaboraram de alguma forma para a realização deste trabalho. Os meus mais sinceros agradecimentos!

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	3
3. MATERIAL E MÉTODOS	4
3.1 Desenho Experimental	4
3.2 Variáveis de Crescimento	5
3.3 Transpiração	5
3.4 Extravasamento de Eletrólitos	5
3.5 Pigmentos Fotossintéticos	6
3.6 Máxima Eficiência Quântica do Fotossistema II (FSII)	6
3.7 Variáveis Bioquímicas	6
3.8 Procedimentos Estatísticos	8
4. RESULTADOS	9
5. DISCUSSÃO	16
6. CONCLUSÕES	20
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21

RESUMO

Este estudo teve como objetivo identificar o efeito da aplicação de brassinosteroides nas características morfofisiológicas e bioquímicas de plantas de pinhão manso em resposta ao déficit hídrico. O trabalho foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Estadual de Goiás, Câmpus Ipameri, seguindo delineamento inteiramente casualizado em arranjo fatorial 5x2 (plantas submetidas a cinco concentrações de brassinosteroides: 0 mg L⁻¹; 2 mg L⁻¹; 4 mg L⁻¹; 8 mg L⁻¹ e 16 mg L⁻¹ com dois níveis de suprimento hídrico diários: 50 e 100% da evapotranspiração), com duas aplicações foliares do hormônio e seis repetições. As sementes de pinhão manso foram semeadas em vasos de oito litros contendo uma mistura de solo, areia e esterco bovino na proporção 3:1:0,5, respectivamente, realizando o desbaste aos 10 dias após após a emergência (DAE), deixando-se uma planta por vaso como unidade experimental. Após a análise da composição da mistura, realizou-se a adubação aos sete dias após a emergência de acordo com recomendações agronômicas para a cultura. As mudas foram irrigadas diariamente com volume de água correspondente a evapotranspiração diária, duas aplicações foliares do hormônio com as dosagens dos tratamentos de 10 mL e 20 mL de solução aos 30 e 60 DAE, utilizando como controle água destilada. O tratamento com déficit hídrico foi imposto aos 70 DAE, submetendo metade das plantas ao estresse hídrico e a outra metade irrigada diariamente. Aos 100 DAE realizou-se as análises morfofisiológicas e bioquímicas. Os dados foram avaliados pelo teste de Newman-Keuls ao nível de 5% de probabilidade e análises de regressão. Os brassinosteroides minimizaram os danos do déficit hídrico e ativaram mecanismos de tolerância de plantas de pinhão manso à seca. Os brassinosteroides potencializaram o crescimento vegetativo, produção de biomassa, atividades fotossintéticas e bioquímicas de plantas de pinhão manso sem restrição hídrica. Para incremento do crescimento vegetativo, ativação dos mecanismos antioxidantes recomenda-se a dose de 8 mg L⁻¹ em plantas irrigadas com suprimento hídrico adequado e 9 mg L⁻¹ em plantas sob déficit hídrico.

Palavras-chave: *Jatropha curcas* L.; Biocombustível; Hormônio; Seca.

ABSTRACT

This study aimed to identify the effect of brassinosteroids on the morphophysiological and biochemical characteristics of *Jatropha curcas* L in response to water deficit. The study was conducted in a greenhouse at the State University of Goiás, Ipameri Campus, using a completely randomized design in a 5x2 factorial arrangement (plants submitted to five concentrations of brassinosteroids: 0 mg L⁻¹; 2 mg L⁻¹; 4 mg L⁻¹, 8 mg L⁻¹ and 16 mg L⁻¹ with two daily water supply levels: 50% and 100 evapotranspiration), with two leaf applications of the hormone and six replicates. *Jatropha curcas* seeds were sown in eight liter pots containing a mixture of soil, sand and bovine manure in the ratio of 3: 1: 0.5, respectively, performing thinning at 10 days after the emergence (DAE), leaving one plant per pot as experimental unit. After analysis of the composition of the mixture, fertilization was carried out at seven days after germination according to agronomic recommendations for the crop. The seedlings were irrigated daily with water volume corresponding to daily evapotranspiration, two leaf applications of the hormone with treatments dosages of 10 mL and 20 mL of solution at 30 and 60 DAE, using distilled water. The treatment with water deficit was imposed at 70 DAE, subjecting half of the plants to water stress and the other half irrigated daily. At 100 DAE the morphophysiological and biochemical analyzes were performed. Data were evaluated by the Newman-Keuls test at the 5% probability level and regression analysis. The brassinosteroids minimized the damages of the water deficit and activated mechanisms of tolerance of plants of *Jatropha curcas* to the drought. Brassinosteroids potentiated the vegetative growth, biomass production, photosynthesis and biochemical activities of *Jatropha curcas* plants without water restriction. To increase vegetative growth, activation of the antioxidant mechanisms is recommended dose of 8 mg L⁻¹ in plants irrigated with adequate water supply and 9 mg L⁻¹ in plants under water deficit.

Key-words: *Jatropha curcas* L.; Biofuel; Hormone; Drought.

1. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação mundial com o meio ambiente devido à alta emissão de gases de efeito estufa intensificam a busca por alternativas energéticas mais limpas e sustentáveis. Nesse cenário, os biocombustíveis oriundos de óleo vegetal representam importante fonte de substituição aos combustíveis fósseis.

O Brasil apresenta grande capacidade produtiva de combustíveis renováveis, frente às condições favoráveis de clima, solo e diversidade de culturas. Além disso, a criação do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) incrementou a utilização de biocombustíveis através do cultivo de diferentes espécies oleaginosas à matriz energética brasileira, com misturas de 8% de biodiesel produzido ao diesel (B8) em 2017 e 10% (B10) para o ano de 2018 (ANP, 2016; ABIOVE, 2017). Entre as culturas com potencial para a produção de biodiesel destaca-se *Jatropha curcas* L pelo teor de óleo extraído das sementes (22 a 44%) com potencial energético semelhante ao petrodiesel (DURÃES et al., 2011).

Jatropha curcas é uma planta perene, arbustiva, originária da América Central, pertencente à família Euphorbiaceae (CHAVES et al., 2014). Além de matéria prima para produção de biodiesel, inúmeras utilidades ainda estão associadas a espécie, como produção de biopesticidas, cosméticos, fonte de matéria orgânica na agricultura e fabricação de fármacos através do grande potencial do látex que exerce atividades antimicrobianas, anticancerígenas e anti-inflamatórias (FERNANDEZ et al., 2010; RAMOS et al., 2010; MOUSINHO et al., 2011; RAULF, 2014; MATOS et al., 2017).

A espécie é apontada como excelente opção agrícola para diversas regiões brasileiras, mesmo sendo considerada silvestre, xerófita, caducifólia e rústica, situações adversas como salinidade, solos mal drenados, deficiência nutricional e redução do suprimento hídrico interferem significativamente no desenvolvimento das plantas (OLIVEIRA et al., 2012; CARVALHO et al., 2013; FERNANDES et al., 2013; MATOS et al., 2014b).

A redução na disponibilidade hídrica do solo é um dos principais fatores responsáveis por oscilar a produtividade e produção de espécies vegetais em diversas regiões agrícolas. O uso eficiente da água permite que a planta mantenha um fluxo de nutrientes das raízes às folhas, a diminuição severa causada pelo déficit hídrico interfere negativamente nessas atividades, reduzindo a condutância estomática, transpiração foliar e inferindo negativamente no suprimento de CO₂ para a fotossíntese (OSAKABE et al., 2014). Nessas condições, o ácido abscísico, ácido salicílico, etileno, giberelinas e brassinosteroides, classificados como

fitormônios, vem sendo amplamente utilizados para minimizar danos causados por estresses bióticos e abióticos nas diversas espécies agrícolas (SHARMA et al., 2008; DIVI et al., 2016).

Os brassinosteroides (BRs) são hormônios esteroides que desempenham funções na expansão e divisão celular, com efeitos biológicos em baixas concentrações (UNTERHOLZNER et al., 2015). A biossíntese de BRs pode ocorrer em diferentes órgãos das plantas, tais como folhas, botões florais, sementes, frutos, caules e raízes, com importante função no crescimento e reprodução vegetal (GOMES, 2011).

As atividades dos BRs estão associadas a adaptação de plantas a fatores e mudanças ambientais por meio de estímulos em complexos enzimáticos que atuam no alongamento de caules e raízes, aumento de biomassa, germinação de sementes e proteção a espécies reativas de oxigênio (EROs) (ZHIPONOVA et al., 2013; HILGENBERG e AYUB, 2014; FREITAS et al., 2015). A eficiência da aplicação deste hormônio vegetal foi evidenciada em *Brassica juncea* e *Oryza sativa* sob condição salina, *Vigna radiata* sob altas temperaturas e *Zea mays* sob déficit hídrico (HAYAT et al., 2010; ANJUM et al., 2011; ALYEMENI et al., 2013; LARRÉ et al., 2014).

O efeito de danos oxidativos induzidos mediante o aumento na severidade do estresse hídrico e inibição dos sistemas antioxidantes, interferem nos processos bioquímicos de espécies vegetais, no entanto, a utilização de brassinosteroides tem mostrado grande potencial no incremento das funções enzimáticas como a superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase (POD) e ascorbato peroxidase (APX), pelo acúmulo de EROs no apoplasto e produção de carotenoides, resultando em mecanismos de tolerância ao estresse (BHATTACHARJEE, 2010; FARIDUDDIN et al., 2014).

Diante os impactos no rendimento da produção agrícola em regiões de cultivo causados por períodos contínuos de estiagens e a necessidade de expansão das atividades devido à grande demanda, instiga-se o desenvolvimento de práticas de manejo mais satisfatórias, como a utilização de hormônios, visando incrementar a produção das culturas exploradas e minimizar os danos causados pela redução da disponibilidade hídrica em ambientes de cultivo.

2. OBJETIVO

Este estudo teve como objetivo identificar o efeito da aplicação de brassinosteroides nas características morfofisiológicas e bioquímicas de plantas de pinhão manso em resposta ao déficit hídrico.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Desenho Experimental

O trabalho foi conduzido sobre bancadas em casa de vegetação na Universidade Estadual de Goiás, Câmpus Ipameri (Lat. 17° 43' 19"S, Long. 48° 09' 35"W, altitude de 773 m, Ipameri, Goiás, Brasil), no período de setembro de 2016 à janeiro de 2017, seguindo delineamento inteiramente casualizado em arranjo fatorial 5x2 (plantas submetidas a cinco concentrações de brassinosteroides: 0 mg L⁻¹ ; 2 mg L⁻¹ ; 4 mg L⁻¹ ; 8 mg L⁻¹, 16 mg L⁻¹ e dois níveis de suprimento hídrico diários: 50 e 100% da evapotranspiração) e seis repetições. As sementes de pinhão manso foram semeadas em vasos de oito litros contendo uma mistura de solo, areia e esterco bovino na proporção 3:1:0,5, respectivamente, realizado o desbaste aos 10 dias após a emergência (DAE), deixando-se uma planta por vaso como unidade experimental. A análise química da mistura revelou os seguintes valores: pH(CaCl₂) 6,2; 21 g dm⁻³ de matéria orgânica; 22,5 mg dm⁻³ de P; 0,55 cmolc dm⁻³ de K (Mehlich-1); 2,4 cmolc dm⁻³ (Tampão SMP) de H + Al; 1,8 cmolc dm⁻³ de Ca; 0,8 cmolc dm⁻³ de Mg; 9,7 mg dm⁻³ de Zn; 3,12 cmolc dm⁻³ de SB; 5,32 cmolc dm⁻³ de CTC; e 59,62% de saturação por bases. Todos os vasos receberam o mesmo volume de solo. Após a análise da composição da mistura, realizou-se a adubação aos sete dias após a emergência (DAE) de acordo com recomendações agronômicas para a cultura do pinhão manso (DIAS et al., 2007; LAVIOLA e DIAS, 2008; MATOS et al., 2014a).

As mudas foram irrigadas diariamente, utilizando-se proveta graduada com volume de água correspondente a evapotranspiração diária. A quantidade de água a ser aplicada nos vasos foi determinada utilizando-se a pesagem dos vasos seguindo recomendações de Padilha et al. (2016). O solo foi saturado com água e posteriormente monitorada a variação do peso dos vasos, quando estes atingiram peso constante, obteve-se, então o peso que correspondia à capacidade de campo. Até os 9 DAE, os vasos foram pesados a cada três dias e o volume evapotranspirado (diferença entre peso do vaso em capacidade de campo e o peso diário) repostado de acordo com regime hídrico para cada tratamento. Dos 10 aos 100 DAE, dois vasos aleatorizados por tratamento foram pesados diariamente, a fim de se obter melhor precisão no volume de água a ser utilizado. Semanalmente foram realizados rodízio dos vasos na bancada.

O tratamento com hormônio foi realizado ao final do dia por meio da pulverização manual, protegendo cada unidade experimental para que não houvessem resíduos de aplicação nas demais plantas. Foram realizadas duas aplicações foliares, de forma que cada planta recebesse 10 mL e 20 mL de solução aos 30 e 60 DAE, como controle, utilizou-se água destilada.

O tratamento com déficit hídrico foi imposto aos 70 DAE, submetendo metade das plantas ao estresse hídrico e a outra metade irrigada com volume adequado de água. Aos 100 DAE realizou-se as seguintes análises: número de folhas, altura de planta, diâmetro do caule, comprimento da raiz, área foliar, biomassa total, transpiração, extravasamento de eletrólitos, pigmentos fotossintéticos, máxima eficiência quântica do fotossistema II (FSII), atividades da catalase (CAT), peroxidase de guaiacol (POD), superóxido dismutase (SOD), ácido tiobarbitúrico (TBARS), proteínas, açúcares e amido.

3.2 Variáveis de Crescimento

O número de folhas, altura de planta, diâmetro do caule e comprimento da raiz foram mensurados utilizando régua graduada e paquímetro digital. A área foliar foi obtida a partir das mensurações do comprimento (C) e largura (L) de 4 folhas totalmente expandidas de cada planta e posteriormente substituída na equação: $AF=0,80*C*L^{0,99}$ seguindo recomendações propostas por Severino et al. (2007). As análises destrutivas foram realizadas separando folhas, raízes e caules, posteriormente colocados para secar em estufa a 72°C até atingir massa seca constante e pesados separadamente. Com os dados de massa seca calculou-se a biomassa total.

3.3 Transpiração

A transpiração diária total da planta foi determinada mediante a diferença da massa dos vasos. O conjunto de vasos com plantas foram colocados dentro de sacos plásticos individuais fixados com borracha no caule da planta, deixando expostas a parte aérea (folhas e caule). Em seguida, realizou-se a pesagem dos vasos às 12:00 horas (massa 01) e novamente, 24 horas depois (massa 02). A transpiração total foi estimada com base na diferença entre massa 01 e massa 02 (DOS ANJOS et al., 2017).

3.4 Extravasamento de Eletrólitos

Para o cálculo da permeabilidade da membrana, foram coletados 10 discos foliares de 7 mm de diâmetro de folhas totalmente expandidas e imersos em tubos contendo 30 mL de água destilada por 24 horas, à temperatura ambiente no escuro. Após esse período, a condutividade livre das amostras foi medida usando um medidor de condutividade portátil CD-880. Em seguida, os tubos foram colocados em estufa a 100°C durante 1 hora para determinação da condutividade total ($\mu\text{S cm}^{-1}$). A taxa de liberação de eletrólitos (%) foi calculada de acordo com metodologia descrita por Vasquez-Tello et al. (1990) e Pimentel et al. (2002).

3.5 Pigmentos Fotossintéticos

Para avaliação dos pigmentos fotossintéticos, foram retirados discos foliares de 9 mm de diâmetro e macerados em almofariz com aproximadamente 100 mg de CaCO_3 e 5 mL de acetona (80%). A extração foi realizada em ambiente com luz verde. O extrato foi filtrado e o volume ajustado para 25 mL. Uma alíquota foi lida em espectrofotômetro a 470, 646,8 e 663,2 nm. Os conteúdos de clorofila *a*, clorofila *b* e carotenoides totais foram determinados seguindo Lichtenthaler (1987).

3.6 Máxima Eficiência Quântica do Fotossistema II (*FSII*)

A máxima eficiência quântica *FSII* foi determinada no terço médio da primeira folha totalmente expandida (sentido do ápice para a base da planta) e devidamente identificada com fita branca no pecíolo, utilizando um fluorômetro portátil JUNIOR-PAM (Walz, Germany). A partir dos valores de F_o (mínima intensidade da fluorescência), quando os centros de reações do *FSII* estão abertos, e de F_m (máxima intensidade da fluorescência), quando os centros de reação do *FSII* estão fechados, obteve-se a fluorescência variável (F_v). A máxima eficiência quântica do *FSII* (F_v/F_m) foi mensurada pelo aparelho. As leituras foram realizadas com auxílio de clipe foliar magnético acoplado ao fluorômetro, colocados na região mediana, no lado adaxial do limbo foliar, evitando-se a nervura central. As medições foram efetuadas no período escuro do dia entre 03:00 e 04:00 horas, com emissão de um pulso de luz saturante de 0,3 s, sob frequência de 0,6 KHz, aos 30 dias após a imposição do déficit hídrico. Os dados de fluorescência obtidos foram automaticamente armazenados no fluorômetro e, posteriormente, transferidos para um computador utilizando-se o software WinControl-3.

3.7 Variáveis Bioquímicas

As avaliações bioquímicas foram realizadas utilizando amostras da terceira folha completamente expandida a partir do ápice. Para a quantificação das enzimas antioxidantes, aproximadamente um grama de material vegetal foi homogeneizado em 3 mL de solução tampão de fosfato de sódio (0,05M, pH 7,8, EDTA 1 mM e PVP 2% p/v). O homogeneizado foi centrifugado a 13 000 x g por 20 min a 4°C. O sobrenadante (extrato bruto) foi utilizado para determinar a atividade enzimática e o teor de proteína (ZHU et al., 2004).

A atividade da catalase (CAT) foi determinada conforme Aebi (1984) no qual 30 μL do extrato bruto foram adicionados a solução de reação (tampão fosfato de potássio 15 mM, pH 7,0, H_2O_2). A atividade foi monitorada até desaparecimento do H_2O_2 medindo a decréscimo na absorvância a 240 nm.

A atividade da peroxidase de guaiacol (POD) foi determinada de acordo com Zeraik et al. (2008) utilizando guaiacol como substrato. Foi adicionado 50 µl do extrato bruto em 1,0 mL da solução de reação (tampão fosfato de potássio, 100 mM, pH 6,5; 1,0 mL de guaiacol 15 mM e 1,0 mL de H₂O₂ 3 mM). A atividade enzimática foi medida por oxidação de guaiacol em tetraguaiacol pelo aumento na absorvância a 470 nm. O coeficiente de extinção molar de 26,6 mM⁻¹ cm⁻¹ foi utilizado para o cálculo.

A atividade da superóxido dismutase (SOD) foi medida de acordo com o método espectrofotométrico descrito por Giannopolitis e Ries (1977). Foram adicionados 100 µl do extrato bruto a solução de reação (tampão de fosfato de potássio 50 mM, pH 7,8; metionina 13 mM, riboflavina 2 µM, azul de nitro-tetrazólio 75 µM e EDTA 0,1 mM). A atividade enzimática foi estimada conforme, Beauchamp e Fridovich (1971) e expressa por proteína.

A peroxidação lipídica foi determinada por meio da quantificação de espécies reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS), conforme descrito por Cakmak e Horst (1991). O TBARS forma complexos de cor avermelhada com aldeídos de baixa massa molecular, como o malonodialdeído (MDA), produto secundário do processo de peroxidação. A concentração do complexo MDA/TBA foi calculada pela seguinte equação: $MDA = \{[(Abs/155)*2]*(1700/500)\}/ms * 1000 = nmol g^{-1} ms$.

O conteúdo de proteínas solúveis totais foi determinado a partir de 25 µL de extrato bruto misturados a solução de reação (Coomassie Blue G 250 preparado com ácido ortofosfórico e etanol). A leitura foi realizada em espectrofotômetro a 595 nm (BRADFORD, 1976).

Para a análise dos açúcares e amido, aproximadamente 200 mg de tecido foliar foi imerso em etanol 80% e aquecido a 65°C por 30 minutos. O extrato foi centrifugado e o sobrenadante coletado em novo tubo. Realizou-se três lavagens do material vegetal para obtenção do extrato final. O extrato etanólico foi utilizado para determinação dos açúcares solúveis totais, redutores e não redutores. O resíduo sólido da extração foi seco em estufa a 65°C durante 72 horas, e posteriormente utilizado para a determinação do teor de amido. A determinação dos teores de açúcares e amido foram realizadas utilizando espectrofotômetro.

Para a quantificação de açúcares solúveis totais foi empregado o método fenol-sulfúrico com leitura realizada em comprimento de onda de 490 nm (DUBOIS et al., 1956) utilizando uma curva padrão de sacarose. Os açúcares redutores foram determinados conforme método do ácido dinitrosalicílico segundo recomendações de Miller (1959), com leitura em comprimento de onda de 540 nm e utilizando curva padrão de glicose. Os açúcares não redutores foram estimados pela diferença entre os teores de açúcares solúveis totais e redutores. O amido foi

determinado segundo McCready et al. (1950) em comprimento de onda de 490 nm e curva padrão de sacarose em intervalo de 0 a 50 μg .

3.8 Procedimentos Estatísticos

As variáveis foram submetidas à análise de variância seguindo o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 5x2 (concentrações de brassinosteroides x níveis de suprimento hídrico) e seis repetições. As diferenças entre os tratamentos qualitativos (suprimentos hídricos) foram analisadas utilizando o teste de Newman-Keuls ao nível de 5% de probabilidade. Adicionalmente, realizou-se a análise de regressão para os dados quantitativos (concentrações de brassinosteroides). As análises estatísticas e a construção dos gráficos de regressão foram conduzidas utilizando os softwares R 3.4 (R CORE TEAM, 2017) e SigmaPlot 10.0 (SYSTAT SOFTWARE, 2006).

4. RESULTADOS

O suprimento hídrico diferencial e as doses de brassinosteroides apresentaram variações significativas para todas as variáveis (Tabela 1). A altura de planta, diâmetro do caule, área foliar e transpiração apresentaram diferenças para os suprimentos hídricos com variações entre médias de 14%, 15%, 42%, 47% respectivamente inferiores em plantas sob déficit em relação a plantas irrigadas com volume adequado de água. Para a variável comprimento de raiz, o suprimento hídrico diferencial proporcionou aumento significativo de 13% em plantas sob déficit em relação a plantas irrigadas com volume adequado de água. A interação significativa entre doses de brassinosteroides e déficit hídrico para diâmetro do caule, transpiração e comprimento de raiz, é indicativo da dependência entre os fatores.

Tabela 1. Resumo da análise de variância, teste de médias e regressão para altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), área foliar (AF), transpiração (E) e comprimento de raiz em plantas de *Jatropha curcas* L. pulverizadas com diferentes concentrações de brassinosteroides (BRs) submetidas a dois níveis de suprimentos hídricos (SH). Ipameri, Goiás, 2018.

		Quadrados Médios					
FV	GL	AP (cm)	DC (mm)	AF (cm ²)	E (g H ₂ O dia ⁻¹)	C.RAIZ (cm)	
BRs	4	76,16**	10,9**	6418,61**	4,9E+4**	378,0**	
SH	1	1555,1**	446,6**	7,8E+4**	2,0E+5**	371,2**	
BRs*SH	4	29,7 ^{ns}	27,6**	547,38 ^{ns}	4,7E+3**	27,7**	
Resíduo	50	25,60	1,9	336,05	1457,0	6,0	
CV (%)		7,4	4,3	13,4	20,6	6,2	
		Médias					
Suprimento hídrico		100%	73,77a	35,82a	172,10a	242,30a	37,31b
		50%	63,59b	30,36b	99,87b	128,02b	42,28a
BRs – 100% SH		Regressão					
R ² Linear		ns	ns	ns	ns	ns	
R ² Quadrática		ns	ns	**	**	ns	
BRs – 50% SH							
R ² Linear		ns	ns	ns	ns	ns	
R ² Quadrática		ns	ns	**	**	ns	

*significativo a 5% de probabilidade; **significativo a 1% de probabilidade; ns= não significativo pelo teste F. Médias seguidas por mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Newman-Keuls.

O suprimento hídrico diferencial e as doses de brassinosteroides apresentaram variações significativas para todas as variáveis (Tabela 2). A biomassa total, clorofilas totais, máximo rendimento quântico do fotossistema II (Fv/Fm) e amido apresentaram diferenças para os suprimentos hídricos, com variações inferiores entre médias de 61%, 33%, 4% e 5% em plantas

sob déficit em relação às plantas irrigadas com volume adequado de água. Para as variáveis carotenoides, extravasamento de eletrólitos e substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS), o suprimento hídrico diferencial proporcionou variações significativas entre médias de 38%, 39% e 116% respectivamente superiores em plantas sob déficit em relação a plantas irrigadas com volume adequado de água. A interação significativa entre doses de brassinosteroides e déficit hídrico para clorofila total ($a+b$), rendimento quântico máximo do fotossistema II (Fv/Fm), extravasamento de eletrólitos e peroxidação lipídica (TBARS) é indicativo da dependência entre os fatores.

Tabela 2. Resumo da análise de variância, teste de médias e regressão para biomassa total (BT), clorofilas totais ($a+b$), carotenoides (Car), rendimento quântico máximo do fotossistema II (Fv/Fm), extravasamento de eletrólitos, teor de amido (AMD) e substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) em plantas de *Jatropha curcas* L. pulverizadas com diferentes concentrações de brassinosteroides (BRs) submetidas a dois níveis de suprimentos hídricos (SH). Ipameri, Goiás, 2018.

FV	GL	Quadrados Médios						
		BT (g pl ⁻¹)	Cl $a+b$ (g Kg ⁻¹)	Car (g Kg ⁻¹)	Fv/Fm	Ext.Elet (%)	AMD (%)	TBARS (nmol g ⁻¹)
BRs	4	1827,1**	11,0**	65,8*	892,1**	884,4**	2,4**	43,0**
SH	1	3,5E+5**	446,6*	761,2*	6023,6*	2095,1**	0,1**	875,6*
BRs*SH	4	29,7 ^{ns}	27,6**	4,4 ^{ns}	64,4**	689,3**	0,02 ^{ns}	1,0**
Resíduo	50	25,6	2,0	3,5	8,7	10,2	0,01	0,1
CV (%)		3,0	4,3	13,4	5,0	8,8	6,6	3,6
Suprimento hídrico		Médias						
100%		253,79a	1,47a	0,24b	0,81a	30,20b	1,85a	6,60b
50%		100,18b	0,99b	0,33a	0,78b	42,02a	1,76b	14,24a
BRs – 100% SH		Regressão						
R ² Linear		ns	ns	ns	**	**	ns	**
R ² Quadrática		**	**	**	ns	ns	ns	ns
BRs – 50% SH		Regressão						
R ² Linear		ns	ns	ns	**	**	ns	**
R ² Quadrática		**	**	**	ns	ns	ns	ns

*significativo a 5% de probabilidade; **significativo a 1% de probabilidade; ns= não significativo pelo teste F. Médias seguidas por mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Newman-Keuls.

O suprimento hídrico diferencial e as doses de brassinosteroides apresentaram variações significativas para todas as variáveis (Tabela 3). A catalase, superóxido dismutase, peroxidase do guaiacol, teor de proteína e açúcar redutor apresentaram diferenças para os suprimentos hídricos, com variações entre médias de 47%, 59%, 52%, 23% e 92% respectivamente superiores em plantas sob déficit em relação a plantas irrigadas com volume adequado de água. Para as variáveis açúcares solúveis totais e açúcares não redutores foram observadas variações significativas entre médias de 14% e 40% respectivamente inferiores em plantas sob déficit em

relação a plantas irrigadas com volume adequado de água. A interação significativa para superóxido dismutase, peroxidase do guaiacol, teor de proteína, açúcar solúvel total, açúcar redutor e açúcar não redutor entre doses de brassinosteroides e déficit hídrico é indicativo da dependência entre os fatores.

Tabela 3. Resumo da análise de variância, teste de médias e regressão para catalase (CAT), superóxido dismutase (SOD), peroxidase do guaiacol (POD), teor de proteína (PRO), açúcar solúvel total (AST), açúcar redutor (AR) e açúcar não redutor (ANR) em plantas de *Jatropha curcas* L. pulverizadas com diferentes concentrações de brassinosteroides (BRs) submetidas a dois níveis de suprimentos hídricos (SH). Ipameri, Goiás, 2018.

FV	GL	Quadrados Médios						
		CAT	SOD	POD	PRO	AST	AR	ANR
BRs	4	0,8**	5,8E+5**	4,0E+3**	6,7**	1,8**	0,5**	0,9**
SH	1	7,2**	2,3E+6**	3,5E+4**	5,5**	4,3**	6,5**	21,3**
BRs*SH	4	0,05 ^{ns}	4,7E+4*	753,4**	1,4**	0,6**	0,01**	0,7**
Resíduo	50	0,03	16891,8	38,0	0,05	0,09	0,001	0,09
CV (%)		8,8	15,4	5,3	7,8	8,9	3,5	12,8
Suprimento hídrico		Médias						
100%		1,44b	651,89b	93,34b	2,64b	3,67a	0,72b	2,95a
50%		2,12a	1039,72a	141,56a	3,25a	3,14b	1,38a	1,76b
BRs – 100% SH		Regressão						
R ² Linear		**	**	**	**	ns	ns	ns
R ² Quadrática		ns	ns	ns	ns	**	**	ns
BRs – 50% SH		Regressão						
R ² Linear		**	**	**	**	ns	ns	ns
R ² Quadrática		ns	ns	ns	ns	**	**	ns

*significativo a 5% de probabilidade; **significativo a 1% e probabilidade; ns= não significativo pelo teste F. Médias seguidas por mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Newman-Keuls.

Das variáveis apresentadas nas Tabelas 1, 2 e 3 obtiveram ajustes de regressão significativos: área foliar, teor relativo de água, transpiração, biomassa total, clorofilas totais, carotenoides, rendimento quântico máximo do fotossistema II (Fv/Fm), extravasamento de eletrólitos substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS), catalase, superóxido dismutase, peroxidase do guaiacol, teor de proteína, açúcares solúveis totais, açúcares redutores.

Os dados referentes às variáveis área foliar, transpiração e biomassa total apresentaram ajuste significativo à modelos quadráticos em relação as concentrações de brassinosteroides (Figura 1), com pontos de máximo para área foliar (132,96) na dose de 8 mg L⁻¹ BRs sob déficit hídrico e máxima área foliar (196,82) igual a 8 mg L⁻¹ de BRs em plantas com suprimento hídrico adequado; transpiração com ponto de máximo (192,33) para dose de 8 mg L⁻¹ BRs sob déficit hídrico e máxima transpiração (339,86) igual a 8 mg L⁻¹ BRs com suprimento hídrico

adequado; produção de biomassa total com ponto de máxima (113,78) para dose de 9 mg L⁻¹ BRs sob déficit hídrico e ponto de máxima produção de biomassa total (272,62) igual a 8 mg L⁻¹ de BRs com suprimento hídrico adequado.

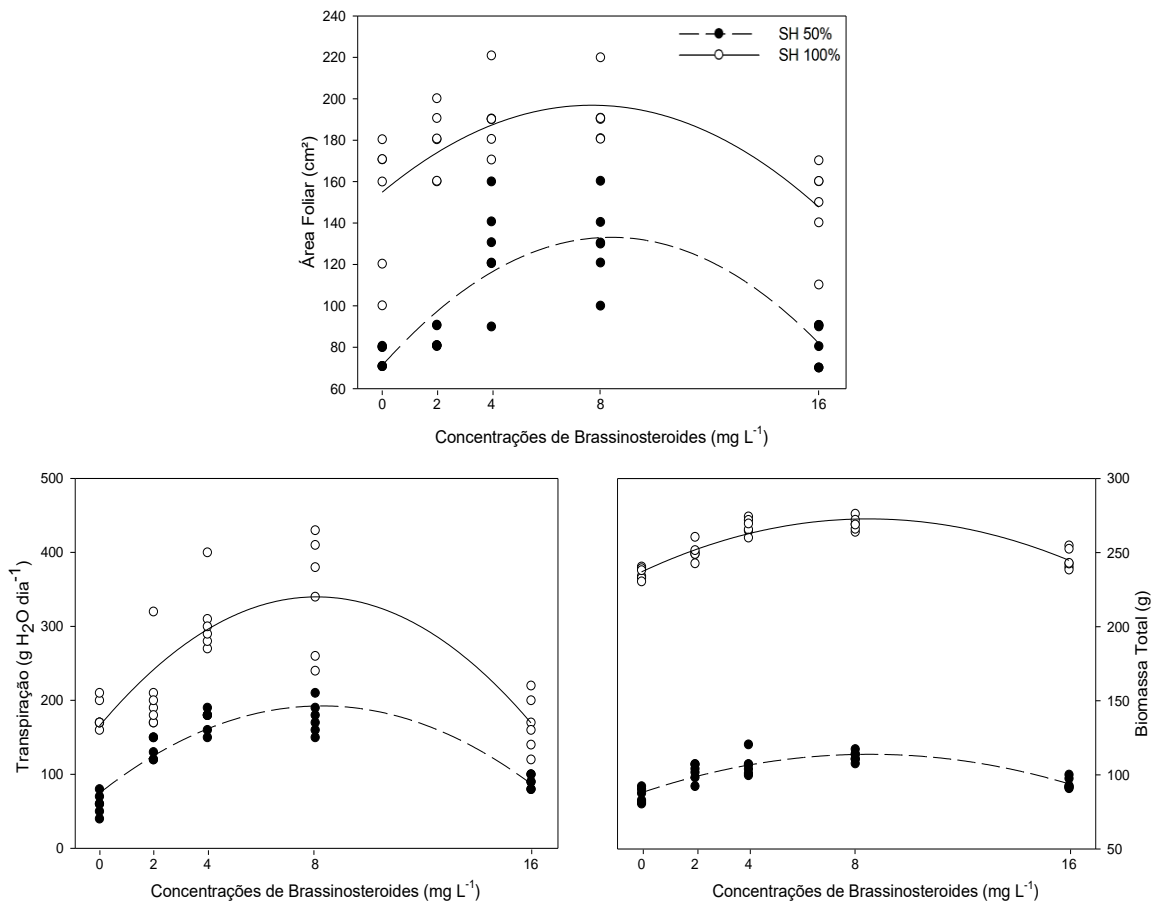


Figura 1. Equações de regressão para área foliar (SH 50%: $y = -0,8815x^2 + 14,7781x + 71,1457$, $R^2 = 0,81^{**}$; SH 100%: $y = -0,7116x^2 + 10,9374x + 154,8601$, $R^2 = 0,71^{**}$), transpiração (SH 50%: $-1,7432x^2 + 28,6791x + 74,4615$, $R^2 = 0,92^{**}$; SH 100%: $y = -2,6944x^2 + 43,3739x + 165,3077$, $R^2 = 0,87^{**}$) e biomassa total (SH 50%: $y = -0,3571x^2 + 6,0832x + 87,9601$, $R^2 = 0,91^{**}$; SH 100%: $y = -0,4961x^2 + 8,4257x + 236,9633$, $R^2 = 0,92^{**}$) de plantas de pinhão manso pulverizadas com diferentes concentrações de brassinosteroides e submetidas a dois níveis de suprimentos hídricos. SH 50%= suprimento hídrico de 50% e SH 100%= suprimento hídrico de 100%. Equações de regressão significativas * 5% e ** 1% de probabilidade.

Os dados referentes às variáveis clorofilas totais e carotenoides apresentaram ajuste significativo para modelos quadráticos, máxima eficiência quântica do *PSII* e extravasamento de eletrólitos com ajuste significativo à modelos lineares em relação as concentrações de brassinosteroides (Figura 2), com ponto máximo de clorofilas totais (1,29) para a dose de 8 mg L⁻¹ BRs sob déficit hídrico e máxima clorofilas totais (1,86) igual a 8 mg L⁻¹ BRs com suprimento hídrico adequado; carotenoides com ponto máximo (0,42) para a dose de 8 mg L⁻¹ BRs sob déficit hídrico e ponto de máximo carotenoides (0,32) igual a 9 mg L⁻¹ BRs com suprimento hídrico adequado. A máxima eficiência quântica do *PSII* e o extravasamento de

eletrólitos obtiveram aumento de 0,0036 sob déficit hídrico e 0,0034 sob plantas irrigadas adequadamente, enquanto o extravasamento de eletrólitos sofreu redução de 1,3341 em plantas sob déficit hídrico e 0,6641 sob plantas irrigadas adequadamente, para cada incremento unitário das doses de brassinosteroides.

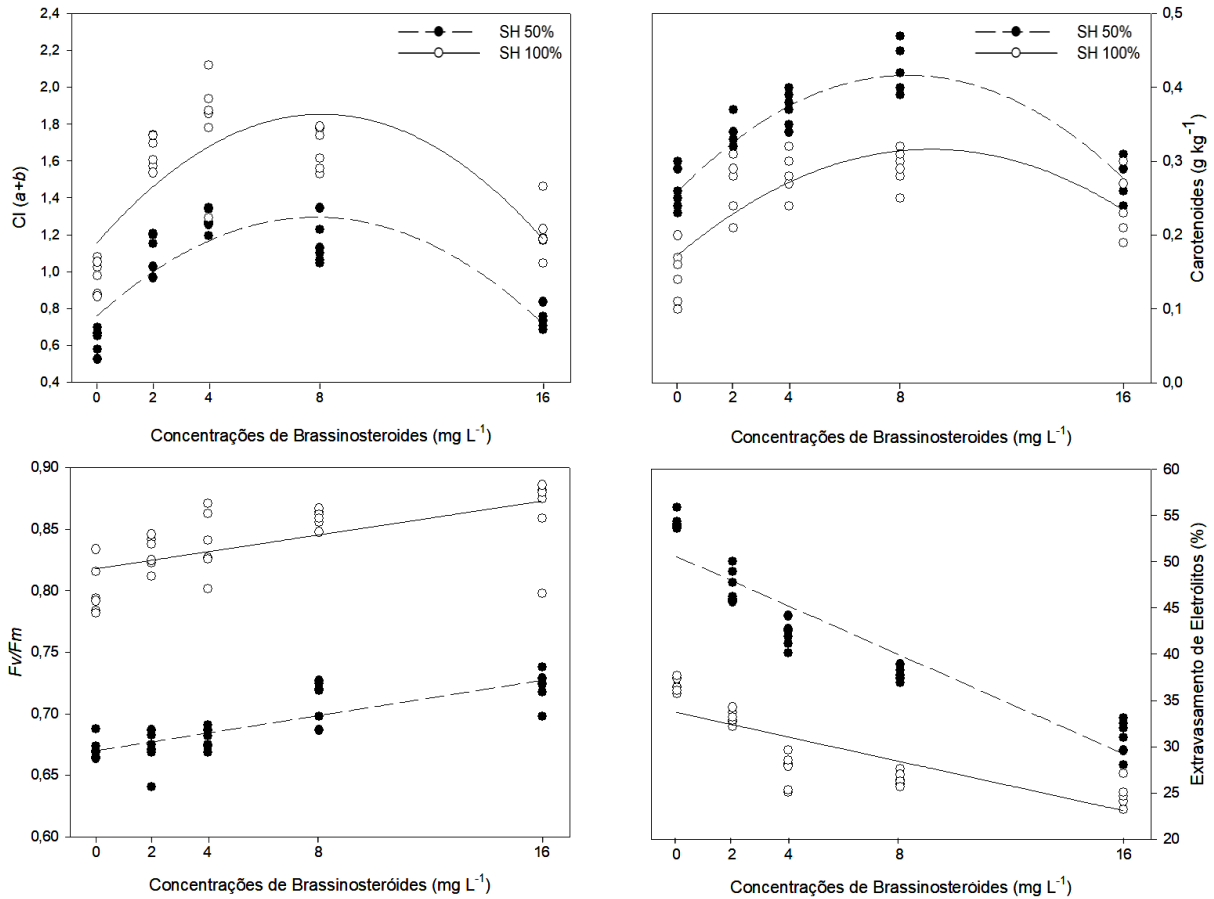


Figura 2. Equações de regressão para clorofilas totais ($a+b$) (SH 50%: $y = -0,0087x^2 + 0,1366x + 0,7589$, $R^2=0,90^{**}$; SH 100%: $y = -0,0107x^2 + 0,1730x + 1,1566$, $R^2=0,87^{**}$), carotenoides (SH 50%: $y = -0,0023x^2 + 0,0383x + 0,2581$, $R^2=0,92^{**}$; SH 100%: $y = -0,0017x^2 + 0,0316x + 0,1724$, $R^2=0,83^{**}$), máxima eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m) (SH 50%: $y = 0,0036x + 0,6700$, $R^2=0,91^{**}$; SH 100%: $y = 0,0034x + 0,8179$, $R^2=0,90^{**}$) e extravasamento de eletrólitos (SH 50%: $y = -1,3341x + 50,5577$, $R^2=0,95^{**}$; SH 100%: $y = -0,6641x + 33,6995$, $R^2=0,90^{**}$) de plantas de pinhão manso pulverizadas com diferentes concentrações de brassinosteroides e submetidas a dois níveis de suprimentos hídricos. SH 50%= suprimento hídrico de 50% e SH 100%= suprimento hídrico de 100%. Equações de regressão significativas * 5% e ** 1% de probabilidade.

Os dados referentes às variáveis catalase, POD, SOD e TBARS com ajuste significativo à modelos lineares em relação as concentrações de brassinosteroides (Figura 3), evidenciaram aumento de 0,0392 na atividade da catalase sob déficit hídrico e 0,0280 em plantas irrigadas adequadamente, incremento de 34,417 na atividade da SOD sob déficit hídrico e 26,8186 em plantas irrigadas adequadamente, aumento de 3,9137 na atividade da POD sob déficit hídrico e 1,4739 em plantas irrigadas adequadamente, para cada incremento unitário das doses de BRs. A aplicação de brassinosteroides diminuiu a atividade da peroxidação lipídica (TBARS) em

0,2938 para aumentos unitários nas concentrações de BRs em plantas sob déficit hídrico e 0,2734 para plantas irrigadas adequadamente.

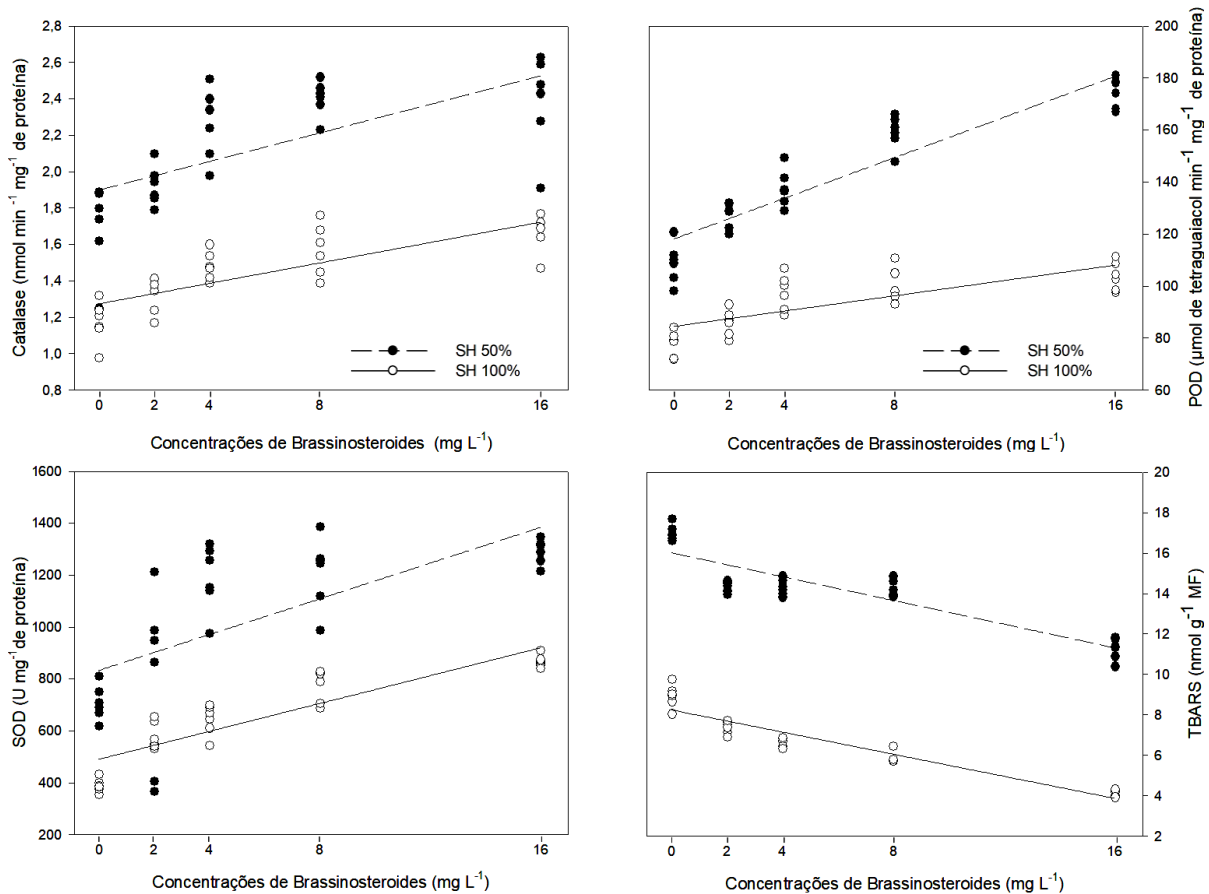


Figura 3. Equações de regressão para catalase (SH 50%: $y = 0,0392x + 1,8989$, $R^2 = 0,87^{**}$; SH 100%: $y = 0,0280x + 1,2745$, $R^2 = 0,89^{**}$), POD (SH 50%: $y = 3,9137x + 118,0789$, $R^2 = 0,93^{**}$; SH 100%: $y = 1,4739x + 84,4927$, $R^2 = 0,84^{**}$), SOD (SH 50%: $34,4170x + 833,2170$, $R^2 = 0,83^{**}$; SH 100%: $y = 26,8186x + 490,9795$, $R^2 = 0,89^{**}$) e TBARS (SH 50%: $y = -0,2938x + 16,0018$, $R^2 = 0,92^{**}$; SH 100%: $y = -0,2734x + 8,2400$, $R^2 = 0,96^{**}$) de plantas de pinhão manso pulverizadas com diferentes concentrações de brassinosteroides e submetidas a dois níveis de suprimentos hídricos. SH 50%= suprimento hídrico de 50% e SH 100%= suprimento hídrico de 100%. Equações de regressão significativas * 5% e ** 1% de probabilidade.

Os dados referentes às variáveis açúcares redutores e açúcares solúveis totais com ajuste significativo à modelos quadráticos, proteínas totais com ajuste significativo para modelos lineares em relação as concentrações de brassinosteroides (Figura 4), evidenciou ponto máximo de açúcares redutores (1,65) para dose de 8 mg L⁻¹ BRs sob déficit hídrico e máximo açúcares redutores (0,90) igual a 7 mg L⁻¹ BRs com suprimento hídrico adequado; açúcares solúveis totais com ponto de máximo (3,66) para dose de 9 mg L⁻¹ BRs sob déficit e ponto de máximo açúcares solúveis totais (4,12) igual a 9 mg L⁻¹ BRs com suprimento hídrico adequado e incremento na produção de proteínas de 0,1510 em plantas sob déficit hídrico e 0,0679 em plantas irrigadas adequadamente, para cada aumento unitário na concentração de brassinosteróide.

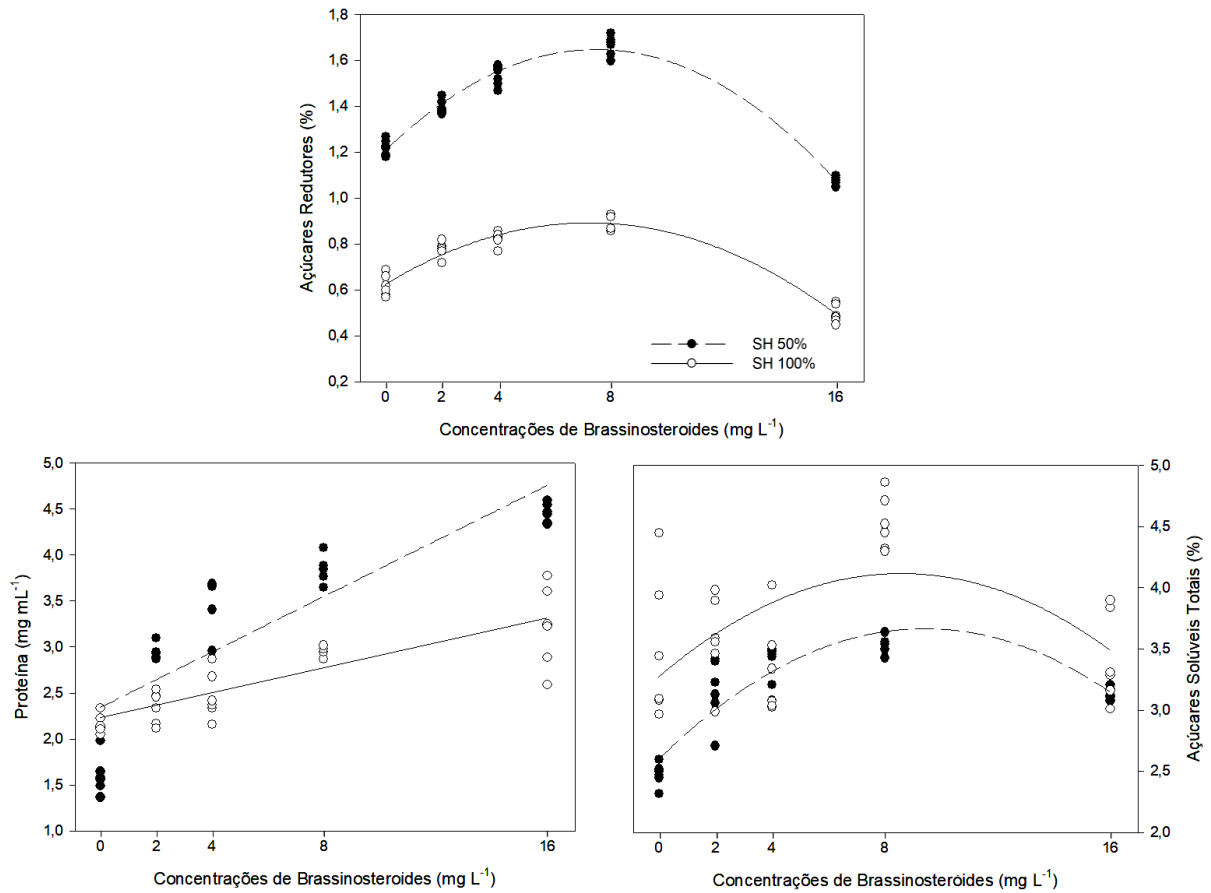


Figura 4. Equações de regressão para açúcares redutores (SH 50%: $-0,0078x^2 + 0,1174x + 1,2079$, $R^2 = 0,98^{**}$; SH 100%: $y = -0,0051x^2 + 0,0744x + 0,6238$, $R^2 = 0,97^{**}$), proteína (SH 50%: $y = 0,15x + 2,3403$, $R^2 = 0,91^{**}$; SH 100%: $y = 0,0679x + 2,2312$, $R^2 = 0,90^{**}$) e açúcar solúveis totais (SH 50%: $y = -0,0120x^2 + 0,2265x + 2,5977$, $R^2 = 0,93^{**}$; SH 100%: $y = -0,0114x^2 + 0,1966x + 3,2718$, $R^2 = 0,81^{**}$) de plantas de pinhão manso pulverizadas com diferentes concentrações de brassinosteroides e submetidas a dois níveis de suprimentos hídricos. SH 50% = suprimento hídrico de 50% e SH 100% = suprimento hídrico de 100%. Equações de regressão significativas * 5% e ** 1% de probabilidade.

5. DISCUSSÃO

As plantas de pinhão manso apresentaram incremento significativo nas variáveis de crescimento vegetativo quando irrigadas diariamente com suprimento hídrico adequado em relação as plantas sob déficit hídrico, uma vez que a redução da disponibilidade hídrica limita a expansão celular e deste modo, o crescimento vegetativo, observadas pelas análises da altura de planta, diâmetro do caule, área foliar, biomassa e transpiração.

O déficit hídrico resultou no maior investimento das plantas em raiz e menor transpiração, indícios que o estresse ocasionou redução do status hídrico. O crescimento de plantas está diretamente relacionado com o turgor celular, pois a hidratação dos tecidos proporciona a expansão das células e conseqüentemente seu crescimento (TAIZ e ZEIGER, 2013). Como forma de amenizar a redução de água no solo, algumas plantas ajustam-se às situações adversas, reduzindo o desenvolvimento da parte aérea e incrementando em raiz, tornando evidente a relação raiz/aérea (FINI, 2013).

As características metabólicas associadas a espécie do pinhão manso, conferem-na importante mecanismo de resistência ao déficit hídrico, através do caule, funcionando como tampão hídrico, assegurando a manutenção dos processos fisiológicos (CARMO et al., 2014.; MATOS et al., 2014b). Embora o suprimento hídrico adequado de água proporcionou maiores resultados nas variáveis de crescimento, plantas com essa característica, reduzem a abertura estomática e ajustam-se osmoticamente, a fim de se manterem hidratadas e economizar água, característica observada através da redução na transpiração em plantas sob déficit hídrico.

Estresses abióticos, como a seca, que limitam a fixação de CO_2 , provocam o aumento de energia disponível dos tilacóides, fazendo com que, reações fotoquímicas gerem um excesso de espécies reativas de oxigênio (EROs), como peróxido de hidrogênio (H_2O_2), oxigênio singlete ($^1\text{O}_2$), superóxido (O_2^-), causando estresses oxidativos, através da degradação de lipídios, proteínas, pigmentos fotossintéticos, induzindo a morte celular (SILVA et al., 2012; PYNGROPE et al., 2013).

A diminuição do suprimento hídrico induziu a redução na disponibilidade de CO_2 e conseqüentemente na fotossíntese, comprovadas pela diferença na produção da biomassa total, pigmentos fotossintéticos e variáveis bioquímicas, quando comparados os suprimentos hídricos diferenciais. Em adição, a restrição hídrica inferiu diretamente no aumento de radicais livres (TBARS), extravasamento de eletrólitos e na ativação dos complexos de enzimas antioxidantes. Trabalhos realizados por Vilela et al. (2011), Carneiro et al. (2011) e Darmanti et al. (2016)

também demonstraram aumento nas atividades antioxidantes em resposta a redução hídrica, corroborando com o presente estudo.

As concentrações de brassinosteroides (BRs) influenciaram o crescimento vegetativo em plantas sob déficit hídrico e com suprimento hídrico adequado, indicando que a utilização do hormônio vegetal intensificou a absorção de água, através do aumento no crescimento radicular, transpiração, e conseqüentemente na expansão de área foliar. Segundo Gomes et al. (2011), a concentração de hormônios vegetais, como os brassinosteroides, é decisiva e de extrema importância para que haja respostas morfofisiológicas positivas das plantas ao ambiente. Estudos relatando as atividades dos BRs, identificaram a ativação e o controle de canais transportadores de água (aquaporinas) e atuação de auxinas, através da aplicação do hormônio, refletindo no crescimento de plantas (LI et al., 2014; MAHARJAN et al., 2014; MARAKLI e GOZUKIRMIZI, 2017).

A redução da produção de fotoassimilados em plantas sob déficit hídrico é indicativo de danos fotoinibitórios, que diminuem a eficiência do sistema em utilizar elétrons gerados pela radiação, produzindo grandes quantidades de EROs pelo fotossistema II, resultando na menor taxa de produção fotossintética (SNIDER et al., 2014; EL-MAGEER et al., 2016).

O aumento nas atividades fotossintéticas foi observado através da aplicação do hormônio, pelo incremento no rendimento quântico do fotossistema II (F_v/F_m), clorofilas totais ($a+b$) e carotenoides, demonstrando maior eficiência fotossintética pela intensificação na bioquímica da fotossíntese, aumento do consumo de energia formada através fotoquímica (energia luminosa/energia química) pelo metabolismo celular. A atividade dos carotenoides pode estar relacionada além da fotoproteção, como também pigmentos acessórios, para auxiliar as clorofilas na absorção luminosa, produção de fotoassimilados e conseqüentemente acúmulo de biomassa, conforme observado no presente estudo.

Para Taiz e Zeiger (2013), importantes funções na fotossíntese são desempenhadas pelos pigmentos fotossintéticos, sendo as clorofilas responsáveis pelas reações da fotoquímica e os carotenoides importantes fotoprotetores. Trabalhos relacionando a utilização de BRs nas atividades fotossintéticas foram relatados por Hu et al. (2010), Larré et al. (2014) e Pocięcha et al. (2017), influenciados positivamente pela aplicação do hormônio e corroborando com o presente estudo.

A atividade das enzimas antioxidantes e diminuição dos níveis de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) foram intensificadas com a aplicação de brassinosteroides em ambas condições de suprimento hídrico diferencial. O menor acúmulo, ou formação de EROs é consequência de um mecanismo dissipador mais eficiente e de maior atividade de enzimas antioxidantes (SHARMA et al., 2008; HOJATI et al., 2011). A diminuição dos valores de

TBARS e extravasamento de eletrólitos, demonstram a eficiência do sistema fotossintético e da alta atividade enzimática da CAT, SOD, POD, em plantas sob déficit hídrico e com volume adequado de água, sendo suficiente para evitar possíveis danos oxidativos as membranas.

O aumento de EROs induz a perda da integridade da membrana celular, afetando negativamente as atividades fotossintéticas e maximizando a perda de elétrons através da membrana em resposta ao nível de estresse (DEMIDCHIK et al., 2014; YE et al., 2016). Trabalhos realizados com tomate (YUAN et al., 2010), feijão caupi (AHAMMED et al., 2013) e canola (MOUSAVI et al., 2009), demonstraram o aumento da atividade de enzimas antioxidantes, corroborando com o presente estudo.

O conteúdo de açúcares e proteínas, sofreram aumento com a utilização das doses de brassinosteroides, tanto em plantas sob déficit hídrico, quanto irrigadas com suprimento hídrico adequado.

Para Pedroso et al. (2014), plantas submetidas a condições adversas utilizam os açúcares sintetizados nas folhas para a manutenção do metabolismo celular. Sob estresse hídrico ocorre uma redução da atividade da enzima Rubisco levando diminuição da concentração de sacarose (açúcares não redutores) e acúmulo de glicose e frutose (açúcares redutores) (JANECZKO et al., 2016). Em pepino Yu et al. (2004) observaram que a aplicação de brassinosteroides promoveu um aumento da síntese de açúcares solúveis e amido. Para Mendes et al. (2007), a elevação nos teores de carboidratos está relacionada com o ajustamento osmótico visando equilíbrio celular, mantendo-se assim maiores níveis de água nas folhas.

Durante o estresse hídrico, ocorre um ajuste do potencial osmótico através do acúmulo de solutos como açúcares, aminoácidos, ácidos orgânicos e íons inorgânicos promovendo a manutenção do turgor celular (TAIZ e ZEIGER, 2013). Entretanto o aumento da concentração de proteínas pode estar intimamente relacionado ao aumento da atividade e síntese das enzimas antioxidantes principalmente em plantas sob estresse hídrico. A aplicação de brassinosteroides promove um aumento da atividade e da síntese das enzimas antioxidantes (MOUSAVI et al., 2009; YUAN et al., 2010; AHAMMED et al. 2013).

A evidência deste aumento é indicativo ao analisar o crescimento vegetativo, variáveis fotossintéticas e bioquímicas, demonstrando um possível mecanismo de tolerância à degradação de solutos osmóticos. De acordo com Vandoorne et al. (2012), a inibição do crescimento associado à manutenção da atividade fotossintética leva ao acúmulo de açúcares solúveis nas células em condições de déficit hídrico, e este pode desempenhar funções importantes como sinalizador e protetor de moléculas, observado no presente estudo em ambos os suprimentos hídricos.

As proteínas são fundamentais na estruturação e funcionamento celular, e suas alterações podem representar danos no crescimento e desenvolvimento de plantas (COSCOLIN et al., 2011). Para Duque e Setter (2013), as folhas tornam-se fontes limitadas de reservas de carboidratos durante o período de estresse, havendo uma redução nas concentrações de carboidratos e proteínas. Estudos realizados por Anjum et al. (2011) com brassinosteroides em plantas de milho, obtiveram aumento nas concentrações de proteínas, corroborando com o presente estudo.

A utilização de brassinosteroides proporcionou respostas positivas no crescimento vegetativo, atividade das enzimas antioxidantes, pigmentos fotossintéticos, produção de carboidratos e proteínas, refletindo positivamente no desenvolvimento de plantas de pinhão manso em condições de estresse hídrico e suprimento hídrico adequado, relacionando a utilização desta prática no manejo da cultura, em ambientes que carecem ou não de disponibilidade hídrica para produção.

6. CONCLUSÕES

- Os brassinosteroides minimizaram os danos do déficit hídrico e ativaram mecanismos de tolerância de plantas de pinhão manso à seca;
- Os brassinosteroides potencializaram o crescimento vegetativo, produção de biomassa, atividades fotossintéticas e bioquímicas de plantas de pinhão manso sem restrição hídrica;
- Para incremento no crescimento vegetativo e ativação dos mecanismos antioxidantes, recomenda-se a dose de 8 mg L⁻¹ em plantas com suprimento hídrico adequado e 9 mg L⁻¹ em plantas sob déficit hídrico.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AEBI, H. Catalase in vitro. **Meth Enzymol**, v. 105, p. 121-126, 1984.

Agência nacional do petróleo, gás natural e biocombustíveis - ANP. **Boletim Mensal do Biodiesel**. Disponível em: < http://www.anp.gov.br/wwwanp/images/publicacoes/Anuario_Estatistico_ANP_2016.pdf > Acesso em: 24 de novembro, de 2016.

AHAMMED, G. J.; RUAN, Y. P.; ZHOU, J.; XIA, X. J.; SHI, K.; ZHOU, Y. H.; YU, J. Q. Brassinosteroid alleviates polychlorinated biphenyls-induced oxidative stress by enhancing antioxidant enzymes activity in tomato. **Chemosphere**, v. 90, n. 11, p. 2645-2653, 2013.

ALYEMENI, M. N.; HAYAT, S.; WIJAYA, L.; ANAJI, A. Foliar application of 28-homobrassinolide mitigates salinity stress by increasing the efficiency of photosynthesis in *Brassica juncea*. **Acta Botanica Brasilica**, v. 27, n. 3, p. 502-505, 2013.

ANJUM, S. A.; WANG, L. C.; FAROOQ, M.; HUSSAIN, M.; XUE, L. L.; AND ZOU, C. M. Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 197, n. 3, p. 177-185, 2011.

Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais - ABIOVE. **Antecipação do B10 para Março de 2018 aumentará empregos e trará melhoria dos indicadores ambientais e de saúde**. São Paulo: ABIOVE, 2017. disponível em <http://www.abiove.org.br/site/_FILES/Portugues/09112017-140855-09_11_2017_-_antecipacao_do_b10.pdf> Acesso em Novembro de 2017.

BEAUCHAMP, C.; FRIDOVICH, I. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. **Analytical Biochemistry**, v. 8, p. 276-287, 1971.

BHATTACHARJEE, S. Sites of generation and physicochemical basis of formation of reactive oxygen species in plant cell. In: GUPTA, S.D. Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants. **Enfield: Science Publishers**, 2010. p. 1-30.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the qualification of microgram quantities of protein utilize the principle of protein dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 7, p. 248-254, 1976.

CAKMAK, I.; HORST, W. J. Effect of aluminum on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase, and peroxidase activities on root tips of soybean (*Glycine max*). **Physiologia Plantarum**, v. 83, p. 463-468, 1991.

CARMO, M. S.; BORGES, L. P.; TORRES JUNIOR, H. D.; SANTOS, P. G. F.; MATOS, F. S. Efeito da disponibilidade de nitrogênio e déficit hídrico no crescimento inicial de plantas de pinhão manso. **Revista Agrotecnologia**, v. 5, n. 2, p. 33-49, 2014.

CARNEIRO, M. M. L. C.; DEUNER, S.; OLIVEIRA, P. O. D.; TEIXEIRA, S. B.; SOUSA, C. P.; BACARIN, M. A.; MORAES, D. M. Atividade antioxidante e viabilidade de sementes de girassol após estresse hídrico e salino. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 4, p. 755-764, 2011.

CARVALHO, C. M., VIANA, T. V. A., MARINHO, A. B.; LIMA JÚNIOR, L. A. L. VALNIR JÚNIOR, M. Pinhão-manso: Crescimento sob condições diferenciadas de irrigação e de adubação no semi-árido nordestino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 5, p. 487-496, 2013.

CHAVES, M. C. C.; GOMES, C. F. S. Avaliação de biocombustíveis utilizando o apoio multicritério à decisão. **Production**, v. 24, n. 3, p. 495-507, 2014.

COSCOLIN, R. B. D. S.; BROETTO, F.; MARCHESE, J. A.; CAMPOHERMOSO, M. C.; PALADINI, M. V. Effects of hydric deficiency on gas exchange parameters and metabolism of *Eucalyptus grandis* clones. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 23, n. 4, p. 255-262, 2011.

DARMANTI, S.; SANTOSA.; DEWI, K.; NUGROHO, L. H. Antioxidative defenses of soybean [*Glycine max* (L.) Merr. cv. Grobogan] against purple nutsedge (*Cyperus rotundus* L.) interference during drought stress. **Journal of Animal and Plant Sciences**, v. 26, n. 1, p. 225-232, 2016.

DEMIDCHIK V.; STRALTSOVA, D.; MEDVEDEV, S. S.; POZHVANOV, G. A.; SOKOLIK, A.; YURIN, V. Stress-induced electrolyte leakage: the role of K⁺-permeable channels and involvement in programmed cell death and metabolic adjustment. **Journal of Experimental Botany**, v. 65, n. 5, p. 1259-1270, 2014.

DIAS, L. A. S.; LEME, L. P.; LAVIOLA, B. G.; PALLINI, A.; PEREIRA, O. L.; CARVALHO, M.; MANFIO, C. E.; SANTOS, A. S.; SOUSA, L. C. A.; OLIVEIRA, T. S.; DIAS, D. C. F. S. **Cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) para produção de óleo combustível**. Viçosa, MG: UFV, v. 1, 2007, 40 p.

DIVI, U. K.; RAHMAN, T.; KRISHNA, P. Gene expression and functional analyses in brassinosteroid-mediated stress tolerance. **Plant Biotechnol Journal**, v. 14, n. 1, p. 419-432, 2016.

DOS ANJOS, R. A. R.; SANTOS, L. C. S.; OLIVEIRA, D. B.; AMARO, C. L.; RIOS, J. M.; ROCHA, G. T.; MELO, B. S.; MATOS, F. S. Initial growth of *Jatropha curcas* plants subjected to drought stress and silicon (Si) fertilization. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 4, p. 479-484, 2017.

DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical chemistry**, v. 28, n. 3, p. 350-356, 1956.

DUQUE, L. O.; SETTER, T. L. Cassava response to water deficit in deep pots: root and shoot growth, ABA, and carbohydrate reserves in stems, leaves and storage roots. **Tropical Plant Biology**, v. 6, p. 199-209, 2013.

DURÃES, F. O. M.; LAVIOLA, B. G.; ALVES, A. A. Potential and challenges in making physic nut (*Jatropha curcas* L.) a viable biofuel crop: the Brazilian perspective. **CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources, Oxfordshire**, v. 6, n. 43, p. 1-8, 2011.

- EL-MAGEER, T.A.A.; SEMIDA, W.M.; MOHAMED, G.F.; RADY, M.M. Combined effect of foliar-applied salicylic acid and deficit irrigation on physiological-anatomical responses; and yield of squash plants under saline soil. **South African Journal of Botany**, v. 106, p. 8-16, 2016.
- FARIDUDDIN, Q.; YUSUF, M.; AHMAD, I.; AHMAD, A. Brassinosteroids and their role in response of plants to abiotic stresses. **Biologia Plantarum**, v. 58, n. 1, p. 9-17, 2014.
- FERNANDES, J. D.; CHAVES, L. H. G.; DANTAS, J. P.; DA SILVA, J. R. Fenologia e produção do pinhão-mansão cultivado com diferentes fontes de adubação. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 44, n. 2, p. 339-346, 2013.
- FERNANDEZ, A. A.; SAENZ, M. T.; ARROYO, M.; DE LA PUERTA, R.; GARCIA, M. D. Topical anti-inflammatory effect of tirucallol, a triterpene isolated from *Euphorbia lactea* latex. **Phytomedicine**, v.17, p. 146-8, 2010.
- FINI, A.; BELLASIOA, C.; POLLASTRI, S.; TATTINI M.; FERRINI, F. Water relations, growth, and leaf gas exchange as affected by water stress in *Jatropha curcas*. **Journal of Arid Environments**, v. 89, p. 21-29, 2013.
- FREITAS, J. A. A.; MARINHO, C. S.; DE JESUS FREITAS, I. L.; SANTOS, P. C.; DA SILVA, M. P. S.; CARVALHO, A. J. C. Brassinosteroides e fungo micorrízico arbuscular na produção do porta-enxerto tangerineira 'Cleópatra'. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária)**, v. 10, n. 1, p. 54-59, 2015.
- GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Purification and quantitative relationship with watersoluble protein in seedlings. **Journal of Plant Physiology**, v. 48, p. 315-318, 1977.
- GOMES, M. M. A. Physiological effects related to brassinosteroid application in plants. In: HAYAT, S.; AHMAD, A. Brassinosteroids: a class of plant hormone. **New York: Springer**, p. 119-142, 2011.
- HAYAT, S.; HASAN, S. A.; HAYAT, Q.; AHMAD, A. Brassinosteroids protect *Lycopersicon esculentum* from cadmium toxicity applied as shotgun approach. **Protoplasma**, v. 239, n. 4, p. 3-14, 2010.
- HILGENBERG, T.; AYUB, R. A. Avaliação de Brassinosteróides na quebra de dormência e no crescimento de ramos de Macieira (*Malus domestica*). **AMBIÊNCIA**, v. 10, n. 2, p. 625-630, 2014.
- HOJATI, M.; MODARRES-SANAVY, S. A. M.; KARIMI, M.; GHANATI, F. Responses of growth and antioxidant systems in *Carthamus tinctorius* L. under water deficit stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 33, p. 105-112, 2011.
- HU, W. H.; WU, Y.; ZENG, J. Z.; HE, L.; ZENG, Q. M. Chill-induced inhibition of photosynthesis was alleviated by 24-epibrassinolide pretreatment in cucumber during chilling and subsequent recovery. **Photosynthetica**, v. 48, n. 4, p. 537-544, 2010.
- JANECZKO, A.; GRUSZKA, D.; POCIECHA, E.; DZIURKA, M.; FILEK, M.; JURCZYK, B.; KALAJI, H. M.; KOCUREK, M.; WALIG-ORSKI, P. Physiological and biochemical characterisation of watered and drought-stressed barley mutants in the HvDWARF gene

encoding C6-oxidase involved in brassinosteroid biosynthesis. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 99, p. 126-141, 2016.

LARRÉ, C. F.; MARINI, P.; MOARES, C. L.; DO AMARANTE, L.; DE MORAES, D. M. Influência do 24-epibrassinolídeo na tolerância ao estresse salino em plântulas de arroz. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 67-76, 2014.

LAVIOLA, B. G.; DIAS, L. A. S. Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão manso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 5, p. 1969-1975, 2008.

LI, G.; SANTONI, V.; MAUREL, C. Plant aquaporins: Roles in plant physiology. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1840, n. 5, p. 1574-1582, 2014.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes. **Methods in Enzymology**, v. 148, p. 350-382, 1987.

MAHARJAN, P. M.; DILKES, B. P.; FUJIOKA, S.; PĚNČÍK, A.; LJUNG, K.; BUROW, M.; HALKIER, B. A.; CHOE, S. Arabidopsis *gulliver1/superroot2-7* identifies a metabolic basis for auxin and brassinosteroid synergy. **The Plant Journal**, v. 80, n. 5, p. 797-808, 2014.

MARAKLI, S.; GOZUKIRMIZI, N. Analyses of abiotic stress and brassinosteroid-related some genes in barley roots grown under salinity stress and HBR treatments: Expression profiles and phylogeny. **Plant Biosystems**, p. 1-9, 2017. D.O.I: <https://doi.org/10.1080/11263504.2016.1271054>.

MATOS, F. S.; CARVALHO, D. D. C.; SOUZA, A. C.; NEVES, T. G.; RIBEIRO, R. P.; CRUVINEL, C. K. L.; ROSA, V. R.; SANTOS, P. G. F. Viabilidade agrônômica do consórcio entre pinhão manso e soja. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 7, n. 24, p. 226-232, 2014a.

MATOS, F. S.; CIAPPINA, A. L.; ROCHA, E. C.; ALMEIDA, L. M.; Factors that influence in *Jatropha curcas* L. latex production. **Bragantia**, Campinas, 2017. D.O.I: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.2016468>

MATOS, F. S.; TORRES, H. D. J.; ROSA, V. R.; SANTOS P. G. F.; BORGES L. F. O.; NEVES T. G.; CRUVINEL C. K. L.; Estratégia morfofisiológica de tolerância ao déficit hídrico de mudas de pinhão manso. **Magistra**, Cruz das Almas - BA, v. 26, n. 1, p. 19-27, 2014b.

MENDES, R. M. S.; TÁVORA, F. J. A. F.; PITOMBEIRA, J. B.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Relações fonte-dreno em feijão-de-corda submetido à deficiência hídrica. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 38, n. 1, p. 95-103, 2007.

MCCREADY, R. M.; GUGGOLZ, J.; SILVIERA, V.; OWENS, H. S. Determination of starch and amylose in vegetables. **Application to peas Analytical Chemistry**, v. 22, p. 1156-1158, 1950.

MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical chemistry**, v. 31, n. 3, p. 426-428, 1959.

MOUSAVI, E. A.; KALANTARI, K. M.; JAFARI, S. R. Change of some osmolytes accumulation in water-stressed colza (*Brassica napus* l.) as affected by 24-epibrassinolide. **Iranian Journal of Science and Technology**, v. 33, n. 1, p. 1-11, 2009.

MOUSINHO, K. C.; OLIVEIRA, C. C.; FERREIRA, J. R. O.; CARVALHO, A. A.; MAGALHÃES, H. I. F.; BEZERRA, D. P.; ALVES, A. P. N. N.; LOTUFO-COSTA, L. V.; PESSOA, C.; MATOS, M. P. V.; RAMOS, M. V.; MORAES, M. O. Antitumor effect of laticifer proteins of *Himatanthus drasticus* (Mart.) Plumel - Apocynaceae. **Journal of Ethnopharmacol**, v. 137, n. 1, p. 421-6, 2011.

OLIVEIRA, E. L.; FARIA, M. A.; EVANGELISTA, A. W. P.; MELO, P. C. Resposta do pinhão-manso à aplicação de níveis de irrigação e doses de adubação potássica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 6, p. 593-598, 2012.

OSAKABE, Y.; OSAKABE, K.; SHINOZAKI, K.; TRAN, L. S. P. Response of plants to water stress. **Plant Science**, 2014. D.O.I: <http://doi: 10.3389/fpls.2014.00086>.

PADILHA, N. S.; SILVA, C. J.; PEREIRA, S. B.; SILVA, J. A. N.; HEID, D. M.; BOTTEGA, S.P.; SCALON, S. P. Q. Crescimento inicial do pinhão manso submetido a diferentes regimes hídricos em Latossolo Vermelho Distrófico. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 513-521, 2016.

PEDROSO, F. K. J. V.; PRUDENTE, D. A.; BUENO, A. C. R.; MACHADO, E. C.; RIBEIRO, R. V. Drought tolerance in citrus trees is enhanced by rootstock dependent changes in root growth and carbohydrate availability. **Environmental and Experimental Botany**, v. 101, p. 26-35, 2014.

PIMENTEL, C.; SARR, B.; DIOUF, O.; ABOUD, A. C. S.; MACAULEY, H. R. Tolerância protoplasmática foliar a seca, em dois genótipos de caupi cultivados em campo. **Revista Universidade Rural - Série Ciências da Vida**, v. 22, n.1, p.7-14, 2002.

POCIECHA, E.; DZIURKA, M.; WALIGÓRSKI, P.; KRĘPSKI, T.; JANECZKO, A. 24-epibrassinolide pre-treatment modifies cold-induced photosynthetic acclimation mechanisms and phytohormone response of perennial ryegrass in cultivar-dependent manner. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 36, n. 3, p. 618-628, 2017.

PYNGROPE, S.; BHOOMIKA, K.; DUBEY, R. S. Reactive oxygen species; ascorbateglutathione pool; and enzymes of their metabolism in drought-sensitive and tolerant indica rice (*Oryza sativa* L.) seedlings subjected to progressing levels of water deficit. **Protoplasma**, v. 250, p. 585-600, 2013. D.O.I:10.1007/s00709-012-0444-0.

R, CORE TEAM. **R: A language and environmental for statistical computing**. Vienna, Austria. [Internet]. Disponível em: <http://www.R-project.org>. Acesso em: 06 dez. 2017.

RAMOS, M. V.; GRANGEIRO, T. B.; FREIRE E. A.; SALES, M. P.; SOUZA, D. P.; ARAÚJO, E. S.; FREITAS, C. D. T. The defensive role of latex in plants: detrimental effects on insects. **Arthropod-Plant Interactions**, v. 4, n. 1, p. 57-67, 2010.

RAULF, M. The latex story. **Chemical Immunol Allergy**, v. 100, p. 248-55, 2014.

SEVERINO, L. S.; VALE, L. S.; BELTRÃO, N. E. M. Método para medição da área foliar do pinhão manso. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 14, n. 1, p.73-77, 2007.

SHARMA, P.; BHARDWAJ, R.; ARORA, N.; ARORA, H. K.; KUMAR, A. Effects of 28-homobrassinolide on nickel uptake, protein content and antioxidative defence system in *Brassica juncea*. **Biologia Plantarum**, v. 52, n. 4, p. 767-70, 2008.

SILVA, R. L. O.; PACHECO, C. M.; LUCENA, A. A. L.; NASCIMENTO, H. H. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Influência do estresse salino sobre a concentração de solutos compatíveis em jatobá submetido a estresse de NaCl. In: 64ª Reunião Anual da SBPC. 2012, São Luís. *Anais...* São Luís: SBPC, 2012.

SNIDER, J. L.; COLLINS, G. D.; WHITAKER, J.; PERRY, C. D.; CHASTAIN, D. R. Electron transport through photosystem II is not limited by a wide range of water deficit conditions in field-grown *Gossypium hirsutum*. **Journal Agronomy & Crop Science**, v. 200, p. 77–82, 2014.

SYSTAT SOFTWARE, Inc. For windows, version 10.0. **SigmaPlot**, Chicago, Illinois, 2006.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013, 954 p.

UNTERHOLZNER, S. J.; ROZHON, W.; PAPACEK, M.; CIOMAS, J.; LANGE, T.; KUGLER, K. G.; MAYER, K. F.; SIEBERER, T.; POPPENBERGER, B. Brassinosteroids Are Master Regulators of Gibberellin Biosynthesis in Arabidopsis. **The Plant Cell**, v. 27, n. 8, p. 2261-2272, 2015.

VANDOORNE, B.; MATHIEU, A. S.; VAN DE ENDE, W.; VERGAUWEN, R.; PERILLEUX, C.; JAVAUX, M.; LUTTS, S. Water stress drastically reduces root growth and inulin yield in *Cichorium intybus* (var. sativum) independently of photosynthesis. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 63, p. 4359-4373, 2012.

VASQUEZ-TELLO, A. Y.; ZUILY-FODIL, A. T.; PHAM THI J.; VIEIRA, S. Electrolyte and Pi leakages and soluble sugar content as physiological tests for screening resistance to water stress in *Phaseolus* and *Vigna species*. **Experimental Botany**, v. 41, p. 827-32, 1990.

VILELA, R. D.; GONÇALVES, E. R.; BEZERRA, B. K. L.; CRUZ, S. C. S.; MULLER, C.; SILVEIRA, S. F. S.; SOUZA, F. C.; ENDRES, L. Resposta antioxidativa e fotoquímica de duas variedades de cana-de-açúcar ao estresse hídrico. **Journal of Plant Physiology**, v. 1, p. 62-63, 2011.

YE, J.; WANG, S.; DENG, X.; YIN, L.; XIONG, B.; WANG, X. Melatonin increased maize (*Zea mays* L.) seedling drought tolerance by alleviating drought-induced photosynthetic inhibition and oxidative damage. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 38, n. 2, p. 1-13, 2016.

YU, J. Q.; HUANG, L. F.; HU, W. H.; ZHOU, Y. H.; MAO, W. H.; YE, S. F.; NOGUES, S. A role for brassinosteroids in the regulation of photosynthesis in *Cucumis sativus*. **Journal Experimental Botany**, v. 55, p. 1135-1143, 2004.

YUAN, G. F.; JIA, C. G.; LI, Z.; SUN, B.; ZHANG, L. P.; LIU, N.; WANG, Q. M. Effect of brassinosteroids on drought resistance and abscisic acid concentration in tomato under water stress. **Scientia Horticulturae**, v. 126, n. 2, p. 103-108, 2010.

ZERAIK, A. E.; SOUZA, F. S.; FATIBELLO-FILHO, O. Development of a spot test for peroxidase activity monitoring during a purification procedure. **Química Nova**, v. 31, p. 731-734, 2008.

ZHIPONOVA, M. K.; VANHOUTTE, I.; BOUDOLF, V.; BETTI, C.; DHONDT, S.; COPPENS, F.; MYLLE, E.; MAES, S.; GONZÁLES-GARCIA, M. P.; CAÑO-DELGADO, A. L.; INZÉ, D.; BEEMSTER, G. T.; DE VEYLDER, L.; RUSSINOVA, E. Brassinosteroid

production and signaling differentially control cell division and expansion in the leaf. **New Phytologist**, v. 197, n. 2, p. 490-502, 2013.

ZHU, Z.; WEI, G.; LI, J.; QIAN, Q.; YU, J.; Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). **PlantScience**, v. 167, p. 527-533, 2004.