

**ATENUAÇÃO DE ESTRESSE HÍDRICO EM PLANTAS DE FEIJÃO-
CAUPI TRATADAS COM ÁCIDO SALICÍLICO**

RAYSSA RIBEIRO DA COSTA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA

CAMPINA GRANDE – PB

FEVEREIRO DE 2016

ATENUAÇÃO DE ESTRESSE HÍDRICO EM PLANTAS DE FEIJÃO- CAUPI TRATADAS COM ÁCIDO SALICÍLICO

RAYSSA RIBEIRO DA COSTA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Paraíba/Embrapa Algodão, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre (M.Sc.) em Ciências Agrárias/Área de concentração: Agrobioenergia e Agricultura Familiar.

Orientador: Prof. Dr. Alberto Soares de Melo

Coorientador: Prof. Dr. Janivan Fernandes Suassuna

CAMPINA GRANDE – PB

FEVEREIRO DE 2016

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

C837a Costa, Rayssa Ribeiro da
Atenuação de estresse hídrico em plantas de Feijão-caupi tratadas com ácido salicílico [manuscrito] / Rayssa Ribeiro da Costa. - 2016.
90 p. : il. color.

Digitado.
Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, 2016.
"Orientação: Prof. Drº. Alberto Soares de Melo, Departamento de Biologia".

1. Fitormônio. 2. *Vigna unguiculata*. 3. Estresse abiótico I.
Título.

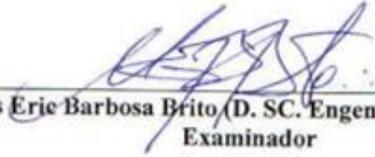
21. ed. CDD 631.4

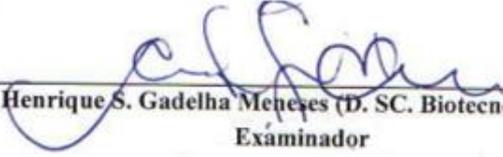
**ATENUAÇÃO DE ESTRESSE HÍDRICO EM PLANTAS DE FEIJÃO-
CAUPI TRATADAS COM ÁCIDO SALICÍLICO**

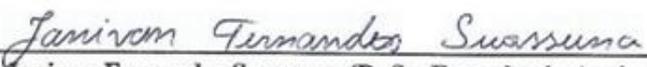
RAYSSA RIBEIRO DA COSTA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Paraíba/Embrapa Algodão, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre (M.Sc.) em Ciências Agrárias/Área de concentração: Agrobioenergia e Agricultura Familiar.

Aprovada em: 19 de fevereiro de 2016


Prof. Marcos Eric Barbosa Brito (D. SC. Engenharia Agrícola) - UFCG
Examinador


Prof. Carlos Henrique S. Gadelha Menezes (D. SC. Biotecnologia Vegetal) - UEPB
Examinador


Prof. Janivan Fernandes Suassuna (D. Sc. Engenharia Agrícola) - UNIFAP
Coorientador


Prof. Alberto Soares de Melo (D. SC. Recursos Naturais) - UEPB
Orientador

Ofereço ao Digníssimo,
Onipotente e Soberano Deus.
A Ele toda honra, glória e louvor
por tudo o que tenho em minha vida.

Dedico a minha mãe,
pelo estímulo, carinho e compreensão.
Mulher de garra que com muita luta e determinação me criou,
E que em nenhum momento negou auxílio,
Amor e carinho a mim,
Que nos momentos mais difíceis somou suas experiências e me
fez crer que na vida só se vence através da determinação e da fé em Deus.

Você é meu exemplo de vida.

AGRADECIMENTOS

"A cada vitória o reconhecimento devido ao meu Deus, pois só Ele é digno de toda honra, glória e louvor"

Agradeço ao Soberano Deus, O qual é o verdadeiro merecedor de todos os méritos alcançados por mim, pois Este compreendeu meus anseios e com imensa bondade me deu a necessária coragem para que eu pudesse atingir os meus objetivos.

À todos da minha família, pelo amor, pela paciência e pelo apoio que me deram em todos os momentos de minha vida. Agradeço eternamente a minha querida mãe, Silvana Ribeiro da Costa, mulher guerreira que com grande afinco me ensinou a lutar pelos meus sonho e que, sem medir esforços, me deu a mão para me ajudar a caminhar nos momentos mais difíceis da vida.

Aos amigos queridos, de perto e de longe, a minha eterna gratidão. Um amigo verdadeiro é um porto seguro para a alma, tesouro que recebemos das mãos do Senhor. Amigo de verdade, é aquele que cuida, divide, ampara, protege, quer ser corrigido e corrige, chora com o fracasso dele e se alegra com seu sucesso, sabe a hora de ir e de voltar. Então não poderia de deixar de externar minha gratidão a Ana Rakel Soares Dantas, a José Alberto de Souza Barbosa e a Larissa Dias Tavares, por toda amizade, companheirismo e cumplicidade, não só de hoje, mas de todo o sempre.

Aos que estiveram ao meu lado durante estes dois anos de aprendizado no mestrado, meus colegas de mestrado, as “princesinhas das Agrárias”, a família ECOLAB, em especial, Maria Rocha, Duval, Adriana, Wellerson, Emannuella, Andrezza, Rebeca, Kamila, Edilene e Rosa, os trabalhadores do Horto Florestal próximo ao Campus I da UEPB, em especial, Naldo e Beto. Além destes, externo também minha gratidão àquelas me ajudaram durante esses dois anos até na distância, em especial Lucas Cavalcante Costa e Raylson de Melo.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias, em especial o meu orientador Prof. Alberto Soares de Melo e meu coorientador Prof. Janivan Fernandes Suassuna,

mestres que tiveram a graça de receber a missão de serem professores. "Ser professor é um privilégio. Ser professor é semear em terreno sempre fértil e se encantar com a colheita. Ser professor é ser condutor de almas e de sonhos, é lapidar diamantes" (Gabriel Chalita)

Ao Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias (PPGCA) da UEPB/Embrapa-Algodão, pela oportunidade a mim concedida de poder aprender mais e obter alicerce para novos sonhos, e aqui externo minha gratidão, também, ao secretário da coordenação do Programa, Danilo Cavalcante de Sousa Forte, pela atenção e ajuda a mim concedida durante o período de mestrado.

À Embrapa Meio-Norte na pessoa de Dr. Maurisrael de Rocha Moura pela concessão das sementes utilizadas na pesquisa, assim como ao Prof. Eric Barbosa Brito pela concessão de equipamento para realização de análises.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Enfim, agradeço a todos que fazem parte da minha vida, por acreditarem na minha pessoa, nas minhas ideias, nos meus devaneios, principalmente quando nem eu mais acreditava.

Sem vocês nada disso seria possível.

*"Ando devagar porque já tive pressa
E levo esse sorriso porque já chorei demais
Hoje me sinto mais forte, mais feliz, quem sabe?
Só levo a certeza de que muito pouco eu sei
Nada sei."*

(Renato Teixeira)

*"É preciso força pra sonhar e perceber
Que a estrada vai além do que se vê!"
(Los Hermanos)*

SUMÁRIO

Lista de Tabelas.....	viii
Lista de Figuras.....	ix
Lista de Abreviaturas.....	xii
Resumo.....	xiv
Abstract.....	xvi
1. Introdução.....	1
1.1. Objetivo Geral.....	2
1.2. Objetivos específicos.....	2
2. Revisão de Literatura.....	4
2.1. A cultura do feijão-caupi.....	4
2.2. Importância econômica e social do feijão-caupi.....	6
2.3. Estresse hídrico nas plantas.....	6
2.3.1. Efeito do déficit hídrico no desenvolvimento da planta.....	7
2.3.2. Efeito do déficit hídrico na fisiologia da planta.....	8
2.3.3. Enzimas de proteção ao estresse oxidativo.....	9
2.3.4. Efeito do déficit hídrico na produtividade do feijoeiro.....	10
2.3.5. Acúmulo de prolina em decorrência do déficit hídrico.....	11
2.4. Ácido Salicílico como atenuador do estresse hídrico.....	12
3. Material e métodos.....	14
3.1. Localização da pesquisa.....	14
3.2. Fatores em estudo e tratamentos.....	14
3.3. Instalação e condução do experimento.....	15
3.4. Avaliações realizadas.....	19
3.4.1. Avaliações fisiológicas.....	19
3.4.2. Avaliações de crescimento.....	19
3.4.3. Atividade das enzimas antioxidantes.....	20
3.4.4. Quantificação de prolina livre.....	21

3.4.5. Avaliações de produção.....	22
3.4.6. Análises estatísticas.....	22
4. Resultados e discussão.....	23
4.1. Avaliações fisiológicas.....	23
4.2. Avaliações de crescimento.....	28
4.3. Atividade das enzimas antioxidantes.....	35
4.4. Quantificação de prolina livre.....	40
4.5. Avaliações de produção.....	41
4.6. Síntese dos resultados.....	48
5. Conclusões.....	50
6. Referências.....	51
Apêndice.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Principais características agronômicas dos genótipos utilizadas na pesquisa. Campina Grande, 2016.....	15
Tabela 2. Características físicas e químicas do solo usado para o preenchimento dos vasos. Campina Grande, 1016.....	17
Tabela 3. Nomenclatura utilizada para expor os dias das avaliações do experimento. Campina Grande, 2016.....	19
Tabela 4. Quadrado médio para as variáveis: fotossíntese (A), condutância estomática (g_s), eficiência de uso da água (EU_{Ai}), relação C_i/C_a (C_i/C_a), transpiração (E) e potencial hídrico foliar (Ψ_f) em plantas de feijoeiro (genótipos) sob duas condições de regime hídrico em diferentes concentrações de ácido salicílico, nos dias 23, 32, 40 após a emergência (DAE). Campina Grande, 2016.....	65
Tabela 5. Quadrado médio para as variáveis: altura da planta (AP), número de folhas (NF) e área foliar (AF) em plantas de feijoeiro (genótipos) sob duas condições de regime hídrico em diferentes concentrações de ácido salicílico, nos dias 23, 32 e 40 após a emergência (DAE). Campina Grande, 2016.....	67
Tabela 6. Quadrado médio para as variáveis: catalase (CAT), ascorbatoperoxidase (APX), superóxido dismutase (SOD) e prolina ($PROL$) em plantas de feijoeiro (genótipos) sob duas condições de regime hídrico em diferentes níveis de ácido salicílico aos 40 dias após a emergência (DAE). Campina Grande, 2016.....	73
Tabela 7. Quadrado médios para as variáveis: número de vagens (NV), comprimento de vagem (CV), peso fresco da vagem (PV), peso de 100 sementes ($P100$), número de grãos (NG), diâmetro de grãos (DG), massa seca da parte aérea (MS) e produtividade de grãos (PRD) em plantas de feijoeiro (genótipos) sob duas condições de regime hídrico em diferentes níveis de ácido salicílico, a partir do 52º dia. Campina Grande, 2016.....	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Genótipos de feijão-caupi utilizados no experimento: BRS Paraguaçu (A) e Pingo de Ouro-1-2 (B). Campina Grande, 2016.....	15
Figura 2. Espaçamento utilizado para arranjo dos vasos na área experimental. Campina Grande, 2016.....	16
Figura 3. Disposição das sementes plantadas em vaso, totalizando 6 sementes por vaso. Campina Grande, 2016.....	17
Figura 4. Instalação dos tensiômetros na área experimental. Campina Grande, 2016.....	18
Figura 5. Condutância estomática no estágio de desenvolvimento E1 em genótipos de feijoeiro Pingo de Ouro-1-2 (A) e BRS Paraguaçu (B), em resposta à aplicação de ácido salicílico, sob condições cultivo com e sem déficit hídrico. Campina Grande, 2016.....	24
Figura 6. Taxa de fotossíntese ativa no estágio de desenvolvimento E1 em genótipos de feijoeiro Pingo de Ouro-1-2 (A) e BRS Paraguaçu (B), em resposta à aplicação de ácido salicílico, sob condições cultivo com e sem déficit hídrico. Campina Grande, 2016.....	25
Figura 7. Transpiração de genótipos de feijoeiro Pingo de Ouro-1-2 e BRS Paraguaçu, sob condições cultivo com e sem déficit hídrico. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre genótipos, e letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre condições de regime hídrico, pelo teste t ($P < 0,05$). Campina Grande, 2016.....	26
Figura 8. Potencial hídrico da folha no estágio de desenvolvimento E1 em genótipos de feijoeiro Pingo de Ouro-1-2 (A) e BRS Paraguaçu (B), em resposta à aplicação de ácido salicílico, sob condições cultivo com e sem déficit hídrico. Campina Grande, 2016.....	27
Figura 9. Altura de planta dos genótipos de feijoeiro Pingo de Ouro-1-2 (A, B e C) e BRS Paraguaçu (D, E e F), em resposta à aplicação de ácido salicílico, nos estádios de desenvolvimento E1 (A-D), E2 (B-E) e E3 (C-F) sob condições de cultivo com e sem déficit hídrico. Campina Grande, 2016.....	29

Figura 10. Número de folhas (D e E) de genótipos de feijoeiro Pingo de Ouro-1-2 e BRS Paraguaçu, nos estádios de desenvolvimento E1 (D) e E2 (E) sob condições de cultivo com e sem déficit hídrico. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre genótipos e letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre condições de regime hídrico, pelo teste t ($P<0,05$). Campina Grande, 2016.....	31
Figura 11. Área foliar de genótipos de feijoeiro Pingo de Ouro-1-2 e BRS Paraguaçu, em resposta à aplicação de ácido salicílico, nos estádios de desenvolvimento E1 (A-C) e E2 (B-D) sob condições de cultivo com e sem déficit hídrico. Campina Grande, 2016.....	34
Figura 12. Massa seca da parte aérea de genótipos de feijoeiro Pingo de Ouro-1-2 e BRS Paraguaçu, sob condições de cultivo com e sem déficit hídrico. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre genótipos e minúsculas diferença significativa entre condições de regime hídrico, pelo teste t ($P<0,05$). Campina Grande, 2016.....	35
Figura 13. Atividade da enzima antioxidante superóxido dismutase (SOD) em genótipos de feijoeiro Pingo de Ouro-1-2 (A) e BRS Paraguaçu (B) sob aplicação de ácido salicílico em condições de cultivo com e sem déficit hídrico. As colunas representam os valores médios do genótipo em cada tratamento e condição de cultivo. As barras verticais representam o erro-padrão da média. Campina Grande, 2016.....	36
Figura 14. Atividade da enzima antioxidante catalase (CAT) em genótipos de feijoeiro Pingo de Ouro-1-2 (A) e BRS Paraguaçu (B) sob aplicação de ácido salicílico em condições de cultivo com e sem déficit hídrico. As colunas representam os valores médios do genótipo em cada tratamento e condição de cultivo. As barras verticais representam o erro-padrão da média. Campina Grande, 2016.....	38
Figura 15. Atividade da enzimas antioxidante ascorbato peroxidase (APX) em genótipos de feijoeiro Pingo de Ouro-1-2 (A) e BRS Paraguaçu (B) sob aplicação de ácido salicílico em condições de cultivo com e sem déficit hídrico. As colunas representam os valores médios do genótipo em cada tratamento e condição de cultivo. As barras verticais representam o erro-padrão da média. Campina Grande, 2016.....	40
Figura 16. Conteúdo de prolina livre (PROL) em genótipos de feijoeiro Pingo de Ouro-1-2 (A) e BRS Paraguaçu (B) sob aplicação de ácido salicílico em condições de cultivo com e sem déficit hídrico. As colunas representam os valores médios do genótipo em cada tratamento e condição de cultivo. As barras verticais representam o erro-padrão da média. Campina Grande, 2016.....	41

Figura 17. Número de vagens (A) e comprimento de vagens (B) de genótipos de feijoeiro Pingo de Ouro-1-2 e BRS Paraguaçu. Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa pelo teste t ($P<0,05$). Campina Grande, 2016.....	42
Figura 18. Peso de vagens de genótipos de feijoeiro Pingo de Ouro-1-2 e BRS Paraguaçu, sob condições de cultivo com e sem déficit hídrico. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre genótipos e minúsculas diferença significativa entre condições de regime hídrico, pelo teste t ($P<0,05$). Campina Grande, 2016.....	43
Figura 19. Número de grãos por vagem (A e C) e diâmetro de grãos (B e D) de genótipos de feijoeiro Pingo de Ouro-1-2 e BRS Paraguaçu, em resposta à aplicação de ácido salicílico, no estágio de desenvolvimento E3, sob condições cultivo com e sem déficit hídrico. Campina Grande, 2016.....	45
Figura 20. Peso de 100 sementes de feijoeiro dos genótipos Pingo de Ouro-1-2 e BRS Paraguaçu, sob condições de cultivo com e sem déficit hídrico. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre genótipos e minúsculas diferença significativa entre condições de regime hídrico, pelo teste t ($P<0,05$). Campina Grande, 2016.....	46
Figura 21. Produtividade de grãos de genótipos de feijoeiro Pingo de Ouro-1-2 e BRS Paraguaçu, sob condições de cultivo com e sem déficit hídrico. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre genótipos e minúsculas diferença significativa entre condições de regime hídrico, pelo teste t ($P<0,05$). Campina Grande, 2016.....	47

LISTA DE ABREVIATURAS

A - Taxa fotossintética líquida por unidade de área foliar

AF – Área foliar

APX – Ascorbato peroxidase

AS – Ácido salicílico

CAT – Catalase

CE – Déficit hídrico

CF - cor da flor

CO₂ – Gás carbônico

CS - Cor da semente

CV – Comprimento de vagem

DAE – Dias após emergência

DAS – Dias após semeadura

DG – Diâmetro de grãos

E – Estádio

E – Taxa transpiratória

EDTA - ácido etilenodiaminotetracético

EH – Condições hídricas

EROS – Espécies reativas de oxigênio

EUAi – Eficiência intrínseca do uso de água

g – Giros por minuto

g - Gramas

GEN – Genótipos

G_s - Condutância estomática ao vapor d'água

H₂O – Água

H₂O₂ – Peróxido de hidrogênio

MAP - Fosfato monoamônico

MS – Massa seca da parte aérea

NBT - Cloreto de nitrotetrazólio azul

NDF - Número médio de dias para a floração
NG - Número de grãos por vagem
Nm – Nanometros
NV – Número de vagens
O₂ – Gás oxigênio
O₂•- – Ânion superóxido
°C – Graus celsius
OH• - Radical hidroxil
P100 – Peso de 100 sementes
PAL - Enzima fenilalanina amonialiase
PRD – Produtividade média de grãos
PROL – Prolina livre
PV – Peso de vagem
PVP – Polivinilpirrolidona
SE – Próximo a capacidade de campo
SOD – Superóxido dismutase
Ψ_f – Potencial hídrico foliar

RESUMO

COSTA, RAYSSA RIBEIRO DA. M.Sc., Universidade Estadual da Paraíba/Embrapa Algodão, Fevereiro de 2016. **Atenuação de estresse hídrico em plantas de feijão-caupi tratadas com ácido salicílico.** Campina Grande, PB, 2016. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias). Orientador: Prof. Dr. Alberto Soares de Melo, Coorientador: Prof. Dr. Janivan Fernandes Suassuna.

O feijão-caupi é uma das leguminosas mais consumidas no Norte e Nordeste do Brasil, sendo um dos principais componentes da dieta alimentar da população. A severidade do déficit hídrico nas fases críticas da cultura é um dos fatores que limitam a cultura, entretanto estudos relatam que os efeitos do déficit hídrico na planta podem ser mitigados através da aplicação de eliciadores endógenos como o ácido salicílico (AS). Dessa forma, objetiva-se com este trabalho, avaliar genótipos de feijão-caupi submetidos a estresse hídrico e aplicações de ácido salicílico. A pesquisa constou de um fatorial de 2x2x5, sendo dois genótipos de feijão-caupi (BRS Paraguaçu e Pingo de Ouro-1-2), duas lâminas de irrigação (uma condizendo-se a umidade do solo próximo à capacidade de campo, entre 10 e 15 kPa, e outra numa condição de estresse (entre 60 e 80kPa); e cinco concentrações de ácido salicílico (zero; 0,1; 0,5; 1,0; 2,0 mM) aplicadas 15 dias após a semeadura em intervalos de três dias, durante seis dias. A combinação dos três fatores resultou em 20 tratamentos, arranjados no delineamento experimental inteiramente casualizado, com três repetições e a parcela experimental composta de 3 vasos úteis, contendo inicialmente 6 plantas. Foram realizadas avaliações de crescimento (altura da planta, número de folhas e massa seca da parte aérea), avaliações fisiológicas (fotossíntese, condutância estomática, transpiração, potencial hídrico foliar e eficiência intrínseca no uso de água), bioquímicas (atividades da ascorbato peroxidase - APX, catalase - CAT, superóxido dismutase - SOD e teor de prolina livre) e de produção (comprimento de vagens, peso das vagens, número de grãos por vagem, diâmetro do grão, peso de 100 sementes, teor de umidade e produtividade). A aplicação de ácido salicílico a 1,0 mM propiciou benefícios aos parâmetros fisiológicos em ambos os genótipos nas duas condições hídricas. A atividade das enzimas antioxidantes aumenta em condições de déficit hídrico, porém sem resposta a aplicação foliar de ácido salicílico. O acúmulo de prolina em condições de déficit hídrico, mesmo não sendo significativo, confere ao Pingo de Ouro-1-2 maior

tolerância ao déficit. Pingo de Ouro-1-2 obteve menor produtividade, porém uma maior tolerância ao déficit hídrico. A aplicação foliar do ácido salicílico na fase vegetativa atenua o déficit hídrico moderado em feijão-caupi.

Palavras-chave: Fitormônio; *Vigna unguiculata*; estresse abiótico

ABSTRACT

COSTA, RAYSSA RIBEIRO DA. M.Sc., State University of Paraíba / Cotton Embrapa, February 2016. **Water stress mitigation in cowpea plants treated with salicylic acid.** Campina Grande, PB, 2016. Dissertation (Graduate Program in Agrarian Sciences). Major professor 1: Dr. Alberto Soares de Melo. Major professor 2: Dr. Janivan Fernandes Suassuna.

Cowpea is a one of the legume most consumed in the North and Northeast of Brazil, being a major component of the population diet. In the critical stages, the severity of drought is one of the factors that limit the plant growth. However studies have reported that effects of drought on the plant can be mitigated through the application of endogenous elicitors such as salicylic acid (SA). Thus, the objective of this work was to evaluate cowpea genotypes subjected to drought with salicylic acid applications. The research consisted of a 2x2x5 factorial, two cowpea genotypes (BRS Paraguaçu and Pingo de Ouro 1-2), two irrigation levels (one befitting to soil moisture near field capacity, 10 and 15 kPa, and another in a condition of stress (60 to 80kPa) and five concentrations of salicylic acid (zero; 0.1; 0.5; 1.0; 2.0 mM) applied 15 days after sowing each three days during six days. The combination of these factors resulted in 20 treatments, arranged in a completely randomized design with three replications, and the experimental plot consisted of 3 working vessels initially containing 6 plants. Growth evaluations (plant height, leaf number, stem diameter and dry mass of shoots), physiological assessments (photosynthesis, stomatal conductance, transpiration, leaf water potential and intrinsic efficiency in water use), biochemical (activities of peroxidase ascorbate - APX, catalase - CAT, superoxide dismutase - SOD and free proline content) and production (long pods, weight of pods, number of grains per pod, grain diameter, 100 seed weight, moisture content and productivity) were analyzed. The application of 1.0 mM SA provided benefits to physiological parameters in both genotypes at both conditions. The activity of antioxidant enzymes increases in water drought conditions, but no responded to foliar application of salicylic acid. Although not significant, the proline accumulation in drought conditions increased the tolerance in Pingo Gold-1-2. Pingo de Ouro 1-2 had lower productivity, but increased tolerance to drought. In the vegetative phase, the foliar application of salicylic acid attenuates water deficit in cowpea.

Keywords: plant hormone; *Vigna unguiculata*; abiotic stress

1. INTRODUÇÃO

A produtividade agrícola, em todo o mundo, está sujeita a restrições ambientais na forma de estresses abióticos, que influenciam negativamente no crescimento e no desenvolvimento das plantas, causando diminuição da produtividade e dos rendimentos médios superiores a 50% (WU et al., 2011).

Em geral, o estresse por déficit hídrico induz a uma variedade de respostas em formas de características morfológicas, fisiológicas, bioquímicas e moleculares, em que a fotossíntese é o alvo fisiológico primário (CLAVEL et al., 2005). Compreender os efeitos negativos da seca sobre o metabolismo das plantas e os mecanismos de tolerância à seca em diversas culturas, particularmente aquelas adaptadas a condições de seca, irá ajudar a melhorar seu desempenho agrônômico (BEEBE et al., 2013).

Entre as culturas com potencial de cultivo em regiões com limitações hídricas destaca-se o feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), que é uma das leguminosas mais consumidas no Norte e Nordeste do Brasil e, atualmente, seu consumo tem se expandido de forma mais intensa para as regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil (FREIRE FILHO et al., 2011). Embora não seja avaliada separadamente pelos órgãos oficiais de pesquisa (CONAB e IBGE), a produção de feijão-caupi corresponde a aproximadamente 18% do feijão total produzido (CEPA/EPAGRI, 2011), sendo um dos principais componentes da dieta alimentar da população, além de ser também um importante gerador de emprego e renda (RAMOS, 2011).

Entretanto, apesar de ser uma cultura bastante comum na região Nordeste é, nesta área, que são registrados os menores rendimentos da cultura. No estado do Rio Grande do Norte, por exemplo, na safra 2013- 2014, a produtividade média foi de apenas 555 kg ha⁻¹, com uma estimativa de apenas 353 kg ha⁻¹ para a safra 2014-2015 (CONAB, 2015). Com isso, evidencia-se que as condições de cultivo, baixo nível tecnológico emprega dona agricultura familiar, e a severidade do déficit hídrico nas fases críticas da cultura, são os principais responsáveis pela baixa rentabilidade nacional da cultura (SABOYA et al., 2013). Nesse contexto, existe uma necessidade crescente de identificar e desenvolver cultivares tolerantes à seca e de alta produtividade adaptadas as diferentes condições agroclimáticas (FATOKUN et al., 2009; VALDEZ et al., 2012).

Para McCue et al. (2000), o estresse na planta pode ser mitigado por meio da aplicação de eliciadores endógenos ou exógenos, os quais a partir de ataque de plantas ou patógenos, medeiam reações de defesa. Dentre os principais eliciadores destacam-se os ácidos orgânicos (salicílico, ascórbico e cítrico).

O ácido salicílico (AS) está presente na maioria das plantas (SHI et al., 2005) com inúmeras funções reguladoras no metabolismo vegetal (HAYAT et al., 2010; KANG et al., 2014). O ácido salicílico exerce, também, papel importante na regulação de vários processos fisiológicos na planta (SHI et al., 2005), sendo que o acúmulo de AS é um importante componente nos sinais de tradução das vias principais para a resistência sistêmica adquirida (SONG et al., 2004). Contudo, o mecanismo exato de ação do AS não é bem compreendido, principalmente, porque o mesmo pode diferir de espécie para espécie, bem como pode variar de acordo com as condições ambientais (PÁL et al., 2014).

O mecanismo de resposta das plantas ao estresse hídrico abrange muitos genes, processos bioquímicos e moleculares, como: a detecção, percepção e transdução de sinais, o controle transcricional, a ativação de mecanismos de pronta resposta ao estresse, entre os quais a desintoxicação de espécies reativas de oxigênio (EROS) por enzimas antioxidantes (como a superóxido dismutase, a catalase e a ascorbato peroxidase) e a osmoproteção por solutos compatíveis e removedores de radicais livres (como a glutatona e a prolina) (LISAR et al., 2012).

A caracterização do estresse abiótico tem se tornado um tema importante na seleção de genótipos de plantas mais resistentes às condições agroclimáticas adversas (BELKO et al., 2013). Por sua vez, isso também deve ser realizado em genótipos de feijão-caupi, por constituir um dos principais componentes da dieta alimentar nas regiões Nordeste e Norte do Brasil, no intuito de melhorar nas investigações de genótipos mais adaptados às condições de déficit hídrico estacionais e de alternativas para mitigar os efeitos deletérios à planta, garantindo a otimização e a sustentabilidade de seu cultivo.

1.1. Objetivo geral

Avaliar parâmetros agronômicos, fisiológicos e bioquímicos de genótipos de feijão-caupi sob restrição hídrica e aplicações de ácido salicílico.

1.2. Objetivos específicos

- Avaliar o crescimento e a produção de genótipos de feijão-caupi submetidos à aplicação foliar de ácido salicílico em condições de estresse hídrico;
- Estudar as trocas gasosas e o potencial hídrico em genótipos de feijão-caupi sob déficit hídrico e aplicação foliar de ácido salicílico;
- Determinar a atividade de enzimas antioxidantes (APX, CAT, SOD) em genótipos de feijão-caupi sob tratamento com ácido salicílico e restrição hídrica;
- Identificar o genótipo de feijão-caupi que seja mais tolerante a condição de déficit hídrico

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cultura do feijão-caupi

O feijão-caupi pertence à família *Fabaceae*, subfamília *Papilionoideae*, tribo *Phaseoleae* e gênero *Vigna*. *Vigna* é um grande gênero, que consiste em mais de 85 espécies, dividido em sete subgêneros. O feijão-caupi faz parte do subgênero *Ceratotropis* e espécie *unguiculata*. Geralmente possui porte ereto, mas também prostrado ou semi-prostrado e hábito de crescimento determinado ou indeterminado (PADULOSI, 1993). Também conhecido por feijão-de-corda ou feijão macassar, o feijão-caupi, é uma leguminosa de vasta distribuição mundial, em especial, nas regiões tropicais, devido às características edafoclimáticas semelhantes ao seu provável local de origem, a África (BRITO et al., 2009).

No Brasil, vários cultivares de feijão-caupi têm sido desenvolvidos por meio de melhoramento genético clássico, visando, predominantemente, a incorporação de caracteres agronômicos desejáveis, tais como elevada produtividade, tolerância ao déficit hídrico, plantas apresentando arquitetura com porte semienramador e resistência às principais pragas (FREIRE FILHO, 1988). E, para a identificação da variação genética por meio de caracteres, se faz necessário o conhecimento do ciclo fenológico da cultura (CAMPOS et al., 2000).

Campos et al. (2000) definiram o ciclo fenológico do feijão-caupi em duas fases: fase vegetativa e fase reprodutiva. A fase vegetativa é dividida em: V0 – Semeadura; V1 – Os cotilédones encontram-se emergidos na superfície do solo; V2 – As folhas unifolioladas encontram-se completamente abertas, suas duas margens estão completamente separadas; V3 – A primeira folha trifoliolada encontra-se com os folíolos separados e completamente abertos; V4 – A segunda folha trifoliolada encontra-se com os folíolos separados e completamente abertos; V5 – A terceira folha trifoliolada encontra-se com os folíolos separados e completamente abertos; V6 – Os primórdios do ramo secundário surgem nas axilas das folhas unifolioladas, podendo também ser observados nas axilas das primeiras folhas trifolioladas; V7 – A primeira folha do ramo secundário encontra-se completamente aberta; V8 – A segunda folha do ramo secundário encontra-se completamente aberta; V9 – A terceira folha do ramo secundário encontra-se completamente

aberta. Já a fase reprodutiva pode ser seccionada em: R1 – Surgem os primórdios do primeiro botão floral no ramo principal; R2 – Antese da primeira flor, geralmente oriunda do primeiro botão floral; R3 – Início da maturidade da primeira vagem, geralmente oriunda da primeira flor. Esse estágio é caracterizado pelo início da mudança de coloração das vagens devido ao início da secagem das mesmas; R4 – Maturidade de 50% das vagens da planta; e R5 – Maturidade de 90% das vagens da planta.

O ciclo do feijão-caupi, de acordo Paiva et al. (1972), pode ser classificado em: ciclo curto (quando a maturidade é atingida até 60 dias após o plantio) ; ciclo médio (quando a maturidade é atingida entre 60 e 90 dias após o plantio) ; e ciclo tardio (quando a maturidade é atingida após 90 dias do plantio). Porém, Freire Filho et al. (2000) fizeram as seguintes alterações: ciclo super precoce (quando a maturidade é atingida até 60 dias após o plantio) ; ciclo precoce (quando a maturidade é atingida entre 61 e 70 dias após o plantio) ; ciclo médio (quando a maturidade é atingida entre 71 e 90 dias após o plantio) e, por fim, ciclo tardio (quando a maturidade é atingida a partir de 91 dias após o plantio).

2.2. Importância econômica e social do feijão-caupi

O feijão-caupi é uma cultura que apresenta baixa exigência de água e nutrientes, quando comparadas a outras leguminosas como o feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) e a soja (*Glycine max* L.) (COSTA et al., 2011). Estima-se que no ano de 2013 o feijoeiro ocupou uma área de 11,927 milhões de hectares no mundo, com produção de 36,225 milhões de toneladas por ano e produtividade de 521,91 kg ha⁻¹, sendo os países da Nigéria, Níger, Tanzânia, Mali e Myanmar os principais produtores mundiais (FAO, 2015).

A produção de feijão-caupi no Brasil encontra-se principalmente nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, e essa produção tem se expandido de forma mais intensa para as regiões Centro-Oeste e Sudeste (FREIRE FILHO et al., 2011). A produção do feijão-caupi corresponde à, aproximadamente, 18% do feijão total produzido (CEPA/EPAGRI, 2011), sendo um dos principais componentes da dieta alimentar da população, além de ser também um importante gerador de emprego e renda (RAMOS, 2011). Seu grão é uma excelente fonte de proteínas, aminoácidos essenciais, carboidratos, vitaminas e minerais, além de possuir quantidade significativa de fibras dietéticas, baixa quantidade de gordura e não contém colesterol, com consumo per capita de, aproximadamente, 16 kg ano⁻¹, equivalente a 43,83 g dia⁻¹ (NEVES JÚNIOR e XAVIER, 2010).

O feijão-caupi apresenta uma alta adaptabilidade às condições edafoclimáticas do Nordeste, entretanto, ainda possui estimativa de produtividade média baixa (FREIRE FILHO et

al., 2011; SABOYA et al., 2013), como por exemplo no Rio Grande do Norte, na safra 2013- 2014, a produtividade média foi de apenas 555 kg ha⁻¹, com uma estimativa de apenas 353 kg ha⁻¹ para a safra 2014-2015 (CONAB, 2015). Essa baixa produtividade é consequência de diversos fatores, como uso de sementes não melhoradas, cultivo em solos de baixa fertilidade, bem como, ocorrência de precipitações irregulares (NASCIMENTO et al., 2011; SABOYA et al., 2013), sendo a deficiência hídrica o fator limitante responsável pela redução da produtividade do feijão-caupi (MUCHERO et al., 2009).

2.3. Estresse hídrico nas plantas

O feijão-caupi sofre reduções no crescimento e na produção em face do déficit hídrico (MUCHERO et al., 2009). Portanto, existe uma necessidade crescente de identificar e desenvolver cultivares tolerantes à seca e com alta produtividade adaptadas as variações agroclimáticas (VALDEZ et al., 2012). O desenvolvimento de melhores cultivares dessa leguminosa é dificultado pela falta de técnicas e critérios de seleção para promover a adaptação e tolerância à seca (BELKO et al., 2013). Condições favoráveis podem ser alcançadas por meio de melhor adaptação das culturas com o aumento da eficiência de uso da água ou pelo aumento da oferta de água à planta por meio de melhoria do sistema radicular (FAROOQ et al., 2010).

Nos últimos anos, as perdas devido ao déficit hídrico têm sido o principal desafio para a produção de grãos, sendo o fator ambiental mais limitante à produtividade das culturas em todo mundo, especialmente nas regiões semiáridas (FRITCHE-NETO e BORÉM, 2011). Nesse contexto, o entendimento do mecanismo de resposta vegetal à deficiência hídrica, durante as fases críticas de cultivo, é de grande importância e parte fundamental para a obtenção de cultivares mais tolerantes à seca (FURLAN et al., 2014).

2.3.1. Efeito do déficit hídrico no desenvolvimento da planta

A redução da turgidez é o mais precoce efeito biofísico significativo do estresse hídrico, as atividades dependentes da turgidez, como a expansão foliar e o alongamento das raízes, são as mais sensíveis ao déficit hídrico (REIS et al, 1998).

A primeira e mais sensível resposta ao déficit hídrico, é a diminuição da turgescência e, associada a este evento está à diminuição do processo de crescimento em extensão da planta (LARCHER, 2006). A inibição desse crescimento em extensão provoca uma diminuição da área

foliar total e, conseqüentemente, uma redução na taxa transpiratória, levando um balanço hídrico positivo para a planta.

Como resposta ao déficit hídrico, as plantas passam por mudanças fundamentais na relação da célula com a água e nos seus processos morfofisiológicos (CORDEIRO et al, 2009), influenciando a sua capacidade de tolerar as condições adversas do meio. No entanto, há restrição ao acúmulo de biomassa, prejudicando tanto no crescimento inicial das plantas como nos estádios mais tardios, limitando a dimensão das folhas individuais, o número de folhas, por conseguinte a área foliar total, número e taxas de crescimento dos ramos e o crescimento do caule (MORAES, 2011).

Como a expansão foliar depende principalmente da expansão celular, os princípios que fundamentam os dois processos são similares, ou seja, a inibição da expansão celular provoca uma lentidão da expansão foliar no início do desenvolvimento de déficits hídricos. A área foliar menor transpira menos, conservando, efetivamente, um suprimento de água limitado no solo por um período mais longo. Portanto, a redução da área foliar pode ser considerada a primeira linha de defesa contra a seca (ANJUM et al., 2011).

2.3.2. Efeito do déficit hídrico na fisiologia da planta

O déficit hídrico tem efeitos em diversos processos fisiológicos das plantas, como a redução da transpiração e, conseqüentemente, o suprimento de CO₂ para a realização da fotossíntese (ASHRAF e HARRIS, 2013). Outros processos também são afetados, dentre eles a produção de ácido abscísico, abscisão foliar e o ajustamento osmótico. Com o déficit hídrico, a atividade fotossintética diminui juntamente com a diminuição do volume celular e, concomitantemente, a diminuição da turgescência (MORAIS et al., 2003).

Sob condições de déficit hídrico, ocorre redução da concentração intercelular de CO₂, em razão do controle da abertura dos estômatos. Assim, também ocorre a diminuição da condutância estomática que é um componente de fundamental importância na manutenção da turgescência em resposta a decréscimos no potencial hídrico das plantas. Todavia, quando o estômato se fecha para proteger a planta da perda de água, ele, simultaneamente, restringe a difusão do CO₂ atmosférico e, conseqüentemente, provoca queda na taxa fotossintética (DaMATTA, 2003).

A água e o CO₂ são alguns dos fatores limitantes da fotossíntese ressaltando-se que a maior resistência difusiva dos estômatos reduz a fotossíntese, principalmente pela restrição da condução gasosa da folha, de modo que a restrição hídrica pode causar inibição na fotossíntese devido à limitação estomática (KERBAUY, 2009). Em trabalho realizado por Silva (2015), verificou-se

que a maior produção de fotossíntese ocorreu em condições hídricas favoráveis, e isso poderia estar ligado à quantidade considerável de concentração interna de CO₂, no momento em que as plantas estavam com maior condutância estomática.

A redução na condutância estomática afeta uma série de interações planta-ambiente, uma vez que os estômatos são pontos de controle de vapor d'água e balanço de energia entre o vegetal e o ambiente. Embora a redução na taxa de perda de água possa representar uma vantagem imediata para prevenir a desidratação do tecido, ela pode afetar diretamente o balanço de calor sensível sobre o vegetal, e ainda a absorção de CO₂ e conseqüentemente a taxa fotossintética (GONÇALVES, 2013). Ressalta-se que a redução da condutância estomática induz a redução da transpiração e, por decorrência, menor perda de água, resultando em maior tolerância das plantas a estresses abióticos (DUTRA et al, 2015).

Comumente espera-se que plantas submetidas a um estresse apresentem características como baixas taxas de crescimento e de fotossíntese, menor capacidade de assimilação de recursos e de renovação de constituição dos tecidos. Entretanto, esses fatores juntos determinam que as plantas busquem em seu aparato fisiológico e bioquímico mecanismo que lhes confirmem resistência para se desenvolverem em ambientes extremos (ASHRAF e HARRIS, 2013).

2.3.3. Enzimas de proteção ao estresse oxidativo

Sob condições de estresse ocorre a formação de espécies reativas de oxigênio (EROs) nas células vegetais, especialmente o ânion superóxido (O₂•⁻), o radical hidroxil (OH•) e o peróxido de hidrogênio (H₂O₂) (MAIA et al., 2012). O excesso de espécies reativas de oxigênio danificam a estabilidade da membrana, afetam o metabolismo celular das plantas sob estresse hídrico, podendo levar a morte celular (LISAR et al., 2012; BARBOSA et al., 2014). Todavia, as plantas apresentam mecanismos de defesa contra as EROs representadas por enzimas antioxidantes que incluem a superóxido dismutase, a catalase e o ascorbato peroxidase (MUNNÉ-BOSCH et al., 2013). A quantidade de EROs e a atividade de enzimas antioxidantes tem sido associada ao processo de sinalização e defesa contra o estresse hídrico nas plantas, sendo assim um mecanismo regulador de mudanças fisiológicas na planta em detrimento da redução do potencial hídrico celular (BARBOSA et al., 2014).

O radical superóxido produzido sob condições de estresse é tóxico, tendo uma meia-vida de menos de um segundo e, geralmente, dismutado de forma rápida pela superóxido dismutase (SOD) à H₂O₂, um produto relativamente estável que pode ser detoxificado por catalases e peroxidases. Estas metaloenzimas constituem numa importante defesa primária das células contra

os radicais superóxido gerados sob condições de estresse, assim, o aumento na atividade da SOD é conhecido por conferir tolerância ao estresse oxidativo (CARNEIRO et al., 2011).

A enzima catalase (CAT) é uma das principais enzimas na eliminação do peróxido de hidrogênio (H_2O_2), sendo capaz de converter aproximadamente 6 milhões de H_2O_2 em H_2O e O_2 por minuto, muitos desses H_2O_2 são gerados nos peroxissomos (GILL e TUJELA, 2010). O mecanismo de ação da CAT consiste, possivelmente, em duas etapas onde primeiramente o H_2O_2 reage com o Fe do grupo heme da CAT, formando peróxido de ferro e a reação pode, então, seguir duas direções: caso a concentração do H_2O_2 do meio for elevada, o peróxido de ferro reagirá outra vez com outra molécula de H_2O_2 , formando H_2O e O_2 . Em contrapartida se a concentração de H_2O_2 for baixa, o peróxido de ferro poderá ser reduzido por doadores de H^+ como o etanol e ascorbato (PEREIRA, 2008).

A enzima ascorbato peroxidase (APX) está envolvida no balanço de H_2O_2 em cloroplastos (CARVALHO et al., 2014) e é uma importante enzima para as plantas pelo fato de constituir a segunda linha de frente de detoxificação de EROs, em conjunto com a CAT (MITTLER et al., 2004). Além de catalisar a oxidação do H_2O_2 , as peroxidases estão envolvidas em vários processos fisiológicos nas plantas, entres os quais, o metabolismo da auxina, a formação de suberina, defesa contra patógenos, alongamento celular e defesa contra estresses bióticos e abióticos (KARUPPANAPANDIAN et al., 2011).

Diversos estudos tem demonstrado a função dos mecanismos antioxidantes enzimáticos na proteção contra o estresse oxidativo secundário induzido pelo déficit hídrico em diferentes culturas como soja e milho (VASCONCELOS et al., 2009) e feijão sob deficiência hídrica (SAGLAM et al., 2011) e estresse salino (MOHARRAMNEJAD e VALIZADEH, 2014), de acordo com os autores o aumento da atividade de enzimas como SOD, CAT e APXs estão associadas com a manutenção dos níveis de peroxidação de lipídios sob condições de estresse.

2.3.4. Efeito do déficit hídrico na produtividade do feijoeiro

Pimentel et al. (2002) reportam que a deficiência hídrica em resposta às condições ambientais, considerada também a maior causadora de redução na produtividade das plantas, altera o crescimento e a fotossíntese, em decorrência da diminuição do teor relativo de água, pressão de turgor e potencial hídrico celular.

Segundo Aidar et al. (2002), o desenvolvimento do feijoeiro sob restrição hídrica são acometidos de danos à produção, desde a queda de flores até o abortamento das vagens.

Brito et al. (2015) ao avaliar, em ambiente protegido, dois métodos de manejo da irrigação, baseados no potencial matricial da água no solo e no fator de depleção da água disponível e seus efeitos na produtividade de grãos do feijoeiro observaram redução no número de vagens por planta, no comprimento das vagens, no número de grãos por vagem e no peso de 100 sementes em feijoeiros sujeitos à deficiência hídrica, acarretando diretamente, decréscimos na produtividade de grãos.

Conforme Bastos et al. (2011), o déficit hídrico reduziu em 20% o índice médio de área foliar, 16% o índice médio de clorofila, 175% o número médio de vagens por planta e em 60% a produção de grãos secos em genótipos de feijão-caupi sob déficit hídrico em Teresina-PI.

A redução na produtividade de grãos é influenciada pela diminuição no teor de água no solo, que implica em menores valores de potencial de água na folha, índice de área foliar e teor de clorofila total. (BASTOS et al., 2012). De acordo com Taiz e Zeiger (2009), uma das explicações para a redução da produtividade de grãos em decorrência do déficit hídrico, é que, nesta condição, a planta sofre redução da condutância e da transpiração foliar e, como consequência, há um aumento da temperatura foliar e redução na produção de fotoassimilados, causando redução na produtividade de grãos.

2.3.5. Acúmulo de prolina em decorrência do déficit hídrico

A limitação de água no solo pode causar estresse oxidativo nas plantas, a qual impede o funcionamento natural da célula e dependendo da circunstância, pode causar a morte do vegetal (MENESES et al., 2006). Os estresses abióticos, dentre eles o déficit hídrico, induzem respostas metabólicas e fisiológicas, como o acúmulo de solutos compatíveis (BRAY et al., 2001). Dessa forma, as plantas tentam manter seu potencial hídrico por meio da acumulação de osmoprotetores e/ou solutos compatíveis no interior da célula (TAIZ e ZEIGER, 2009).

A função primeira dos solutos compatíveis é evitar a perda de água, mantendo a turgescência e o gradiente de absorção de água pela célula (LISAR et al., 2012). Logo, o ajuste osmótico é tido como uma das principais respostas das plantas ao estresse hídrico, o qual se relaciona ao grau de tolerância vegetal (RHEIN et al., 2011).

A prolina é um aminoácido que é mais largamente distribuído em organismos, de bactérias à plantas, especialmente em seres expostos a estresses ambientais (RIZHSKY et al., 2004), sendo considerado o soluto compatível mais estudado, devido à sua sensibilidade de resposta às condições de estresse (VERBRUGGEN e HERMANS, 2008; ASHRAF et al., 2011). Esse

aminoácido pode ser usado como regulador osmótico, protetor enzimático, esqueleto carbônico e reserva de aminas e reinício de crescimento quando o estresse acaba (HOAI et al., 2003).

O acúmulo deste aminoácido pode ocorrer por duas vias paralelas nas plantas, uma dependente do glutamato, e outra dependente da ornitina, por meio da via do ácido glutâmico. Pela via dependente do glutamato, após a formação do glutamato semi-aldeído, a molécula se transforma em uma estrutura cíclica (Δ^1 - pirrolina-5-carboxilato sintetase), precursor da prolina. A estrutura cíclica é formada pela reação intramolecular (não enzimática) dos grupos amino e aldeído do glutamato-semi-aldeído (KAVI KISHOR et al., 2005). Na via dos derivados acetilados (dependente de ornitina), a presença do grupo acetil ligado ao grupo 2-amino impede essa reação interna e uma estrutura aberta, a ornitina, é formada e pode levar à formação da estrutura cíclica da prolina, após a perda do grupo amino por transaminação (SODEK, 2004).

Em muitos trabalhos, tem sido relatado o aumento dos teores de prolina livre na caracterização de cultivares tolerantes à seca (HONGBO et al., 2006). Na cultivar SP- 79-1011 de cana-de-açúcar, tolerante à deficiência hídrica, ocorreu acúmulo de prolina livre conforme a redução dos níveis de água no solo (BIDOIA et al., 2006).

Mesmo havendo diversos trabalhos sobre o acúmulo de prolina em plantas sob diferentes estresses, não se sabe certamente se esse acúmulo sempre acontece (TROVATO et al., 2008). Rhein (2008) estudando acúmulo de prolina livre em cana de açúcar submetidas aos estresses hídrico e ácido no solo observou que o estresse hídrico moderado associado aos tratamentos de acidez do solo não possibilitou o acúmulo de prolina livre, concluindo que condições moderadas de disponibilidade hídrica e acidez do solo interferem na capacidade da planta em acumular prolina livre, como um mecanismo de ajustamento osmótico. Isto porque, como osmólito compatível, a prolina se acumula na planta, principalmente, sob condições severas de estresse (MOLINARI, 2006).

2.4. Ácido Salicílico como atenuador do estresse hídrico

O ácido salicílico (AS) pertence ao grupo dos compostos fenólicos usualmente definidos como substâncias com um anel aromático ligado a um grupo hidroxil ou ao seu derivado funcional, é considerado uma molécula muito promissora, por representar um novo meio de induzir a tolerância contra estresses bióticos e abióticos em culturas com importância socioeconômica (KANG et al., 2014).

Existem duas rotas metabólicas básicas que estão envolvidas na síntese de compostos fenólicos: a rota do ácido chiquímico e a rota do ácido malônico, sendo que a primeira participa

na biossíntese da maioria dos fenóis vegetais (TAIZ e ZEIGER, 2009). Essa rota gera aminoácidos aromáticos como a fenilalanina, que por meio da eliminação de uma molécula de amônia pela ação da enzima fenilalanina amonialiase (PAL) forma ácido cinâmico, o qual por sua vez pode ser convertido em ácido ortocumárico ou em ácido benzóico, os quais podem formar ácido salicílico (ARTECA, 1995). Os compostos fenólicos são formados no metabolismo secundário dos vegetais e possuem funções de defesa contra diversos tipos de estresse, agindo como agentes antioxidantes, os quais são compostos que podem retardar ou inibir a oxidação de lipídios ou outras moléculas, evitando o início ou propagação das reações em cadeia de oxidação. A atividade antioxidante de compostos fenólicos é, principalmente, devido às suas propriedades de óxido-redução, as quais podem desempenhar importante papel na absorção e neutralização de radicais livres, quelando o oxigênio triplete e singlete ou decompondo peróxidos (ZHENG e WANG, 2001; DEGÁSPARI e WASZCZYNSKY, 2004).

A aplicação exógena de ácidos orgânicos, como o salicílico, ascórbico e cítrico, é utilizada como forma de combate ao estresse, sendo que destes o primeiro pode agir como indutor de proteínas de tolerância ao estresse (McCUE et al., 2000). Além disso, o AS pode ser considerado um hormônio vegetal devido a sua implicação na regulação da planta, onde atua como um composto sinalizador e amplificador de sinais, que induz a expressão de genes de resistência nas plantas, bem como atua como indutor de outros diversos eventos fisiológicos, a exemplo, da fotossíntese (AGOSTINI et al., 2013).

Os efeitos atribuídos ao AS, como agente mitigador do estresse hídrico, compreendem desde os aumentos na capacidade antioxidante da planta e na estabilidade das membranas pelo decréscimo no nível de peroxidação de lipídios (AGARWAL et al., 2005), até aumentos na capacidade fotossintética (KHAN et al., 2003) e no acúmulo de biomassa (SINGH e USHA, 2003).

Horváth et al. (2007), avaliando a aplicação exógena de AS em trigo, já confirmava o que Pál et al. 2014, trabalhando com genótipos de arroz submetidos a aplicação de AS em diferentes níveis de tolerância à seca, relataram. Ambos afirmam que o efeito da aplicação exógena de AS em relação à aquisição de tolerância ao estresse nas plantas nem sempre é óbvio, pois tal efeito depende de uma série de fatores, como a cultura, o estágio de desenvolvimento da planta, o modo de aplicação, a concentração de AS utilizada, o seu nível endógeno na planta em questão e o balanço oxidativo das células.

Neste sentido, a aplicação exógena de AS tem sido testada há algum tempo em diferentes cultivos agrícolas com a finalidade de investigar a capacidade deste em atenuar os efeitos adversos causados pela deficiência hídrica, tendo em vista que a aplicação exógena de AS, em baixas concentrações (10^{-3} - 10^{-6} M), exerce efeito determinante na indução de tolerância, em plantas

expostas ao estresse hídrico, como verificado em tomate (HAYAT et al. 2008), feijão (SENARATNA et al., 2000), aveia (BANDURSKA e STROINSKI, 2005), girassol (HUSSAIN et al., 2008) e em pepino (MARDANI et al., 2012).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização da pesquisa

A pesquisa ocorreu em duas localidades, primeiramente o experimento foi conduzido no Horto Florestal próximo a Universidade Estadual da Paraíba (UEPB-Campus I) em Campina Grande-PB e, posteriormente, parte das análises foram realizadas no Laboratório de Ecofisiologia de Plantas Cultivadas (ECOLAB), localizado no Complexo Integrado de Pesquisa Três Marias, pertencente à Universidade Estadual da Paraíba, Campus I, Campina Grande – PB.

3.2. Fatores em estudo e tratamentos

Estudou-se a combinação de três fatores: dois genótipos (GEN) x duas condições hídricas (EH) e cinco concentrações de ácido salicílico (AS), perfazendo um esquema fatorial 2x2x5. Os dois genótipos de feijão-caupi foram o Pingo de Ouro-1-2 e o BRS Paraguaçu (Figura 1), tendo as características descritas na Tabela 1; as duas lâminas de irrigação corresponderam a, condução das plantas com a umidade do solo próxima à capacidade de campo e outra a uma condição de estresse e, por fim, cinco concentrações diferentes de ácido salicílico: zero; 0,1; 0,5; 1,0; 2,0 mM, aplicadas a partir dos 15 dias após a semeadura, via pulverização foliar, em intervalos de três dias, durante seis dias.

A combinação de fatores resultou em 20 tratamentos, arranjados no delineamento experimental inteiramente casualizado, com três repetições e parcela experimental composta por 3 vasos, cada vaso contendo 6 plantas, sendo realizado desbastes na medida que foram sendo realizadas as avaliações de crescimento no decorrer do experimento.



Figura 1. Genótipos de feijão-caupi utilizados no experimento: BRS Paraguaçu (A) e Pingo de Ouro-1-2 (B). Campina Grande, 2016.

Tabela 1. Principais características agrônômicas dos genótipos utilizadas na pesquisa. Campina Grande, 2016.

Genótipos	Porte	Ciclo (dia)	Características			
			NDF	CF	P100S (g)	CS
BRS Paraguaçu	Prostrado	65-75	45-55	Branca	24-26*	Branco
Pingo de Ouro-1-2	Semi-prostrado*	55-65*	40-45	Roxa*	14-15*	Marrom*

OBS.: DAS – dias após sementeira; NDF- número médio de dias para a floração; CF- cor da flor; P100S- peso de 100 sementes; CS- cor da semente. *Características constatadas no presente estudo

3.3. Instalação e condução do experimento

O experimento foi conduzido em vasos, sob condições de campo, no período de abril a junho de 2015, sendo distribuídos em uma área de, aproximadamente, 500 m². Primeiramente, a área foi demarcada de modo que tivesse no total 20 linhas, cada linha com 9 vasos, totalizando 180 vasos. Foi utilizado um espaçamento de 1 m entre linhas, e de 0,7 m entre vasos (Figura 2).



Figura 2. Espaçamento utilizado para arranjo dos vasos na área experimental. Campina Grande, 2016.

Antes da semeadura, foi realizada uma triagem das sementes dos genótipos de feijão-caupi BRS Paraguaçu e Pingo de ouro-1-2 adquiridas no banco de germoplasma da Embrapa Meio-Norte, com o objetivo de eliminar aquelas que continham danos físicos, biológicos e/ou má formação. Após a triagem, as sementes foram pesadas e tratadas com fungicida na dosagem de $0,22 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ de sementes, ficando em repouso por 24 horas.

O solo utilizado no experimento foi analisado, e as características físico-químicas estão dispostas na Tabela 2, posteriormente realizou-se a adubação de fundação, com a aplicação de fosfato monoamônico (MAP), com fósforo na proporção de 20 kg ha^{-1} de P_2O_5 , conforme recomendação de Melo et al. (2005). No dia 15 de abril de 2015, as sementes foram semeadas manualmente, sendo distribuídas 6 sementes por vaso (Figura 3). Aos 20 dias após a semeadura, aplicou-se adubo foliar com micronutrientes necessários para a cultura e, aos 30 dias após o semeio, realizou-se nova aplicação de MAP em cobertura. Realizaram-se tratos culturais de modo a manter a cultura livre de plantas invasoras, doenças e pragas.

Tabela 2. Características físicas e químicas do solo usado para o preenchimento dos vasos. Campina Grande, 2016.

Características físicas		Características químicas	
Granulométrica (%)			
Areia	87,75	Ca (mil/100g de solo)	2,23
Silte	5,45	Mg (meq/100g de solo)	0,66
Argila	6,80	Na (meq/100g de solo)	0,26
Classificação textural	Areia franca	K (meq/100g de solo)	0,40
Densidade do solo (g/cm ³)	1,53	S (meq/100g de solo)	3,55
Densidade de partículas (g/cm ³)	2,52	H (meq/100g de solo)	0,00
Porosidade (%)	39,26	Al (meq/100g de solo)	0,00
		T (meq/100g de solo)	3,55
		Carbonato de cálcio qualitativo	Ausência
		Carbono orgânico %	0,29
		Matéria orgânica	0,50
		Nitrogênio	0,03
		Fósforo assimilável mg / 100g	2,46
		pH H ₂ O (1:2,5)	7,01
		Cond. Elétrica – mmhos/cm	0,11
		(Suspensão Solo-água)	

Fonte: Laboratório de irrigação e salinidade – UFCG



Figura 3. Disposição das sementes plantadas em vaso, totalizando 6 sementes por vaso.

Campina Grande, 2016.

A irrigação foi efetuada manualmente, sendo o volume mensurado por meio de oito tensiômetros instalados na área experimental (Figura 4) em duas profundidades diferentes (20 cm e 15 cm), dos oito, quatro eram para registrar o potencial de água no solo das plantas submetidas ao estresse e quatro para registrar o potencial das plantas sob regime hídrico normal. Nas lâminas de irrigação manejada próximo à capacidade de campo, as leituras nos tensiômetros variaram entre 10 e 15 kPa, nas plantas em situação de déficit hídrico as mesmas variaram entre 60 e 80 kPa. A

diferenciação das lâminas de irrigação foram realizadas após o início da aplicação do ácido salicílico, durante apenas a fase vegetativa.

O cálculo da lâmina de irrigação foi realizado com base na equação gerada pela curva de retenção de água no solo ($Y = 2,40 + 28,36 / x^{0,5}$ $R^2=0,9687$) e leitura do tensiômetro, levando em consideração o volume do vaso ($0,122 \text{ dm}^3$) e a densidade do solo ($1,53 \text{ g/cm}^3$).

Para todas as análises realizadas, considerou-se que a lâmina de irrigação referente ao déficit hídrico (CE) foi 62% do valor referente à lâmina de irrigação próximo da capacidade de campo (SE). Logo, os tratamentos condizentes ao CE são de déficit hídrico moderado, tendo como base Gonçalves et al. (2010).



Figura 4. Instalação dos tensiômetros na área experimental. Campina Grande, 2016.

3.4. Avaliações realizadas

Para facilitar o entendimento dos períodos de avaliação, nomeou-se cada estágio (E) de avaliação, correspondendo ao número de dias após a emergência (DAE) que foram realizadas as avaliações do experimento, conforme descrito na tabela 3.

Tabela 3. Nomenclatura utilizada para expor os dias das avaliações do experimento. Campina Grande, 2016.

Nomenclatura	Dias após emergência (DAE)
E1	23 DAE
E2	32 DAE
E3	40 DAE
E4	53 DAE

3.4.1. Avaliações fisiológicas

A taxa fotossintética líquida por unidade de área foliar (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), a condutância estomática ao vapor d'água (g_s , $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e a taxa transpiratória (E , $\text{mmolH}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foram calculadas usando os valores das variações das concentrações de CO_2 e de vapor de H_2O no interior da câmara, medidos pelo analisador de gás infravermelho (IRGA) modelo LCpro+Sistem (EVANS e CAEMMERER, 2013), no período entre 8 e 12 h, em E1 e E3 (Tabela 3), nas faces abaxial do folíolo central da terceira folha a partir do ápice totalmente expandido (NOGUEIRA et al., 2001) sem sinais de herbivoria ou senescência.

O potencial hídrico da folha (Ψ_f) foi determinado no primeiro estágio de desenvolvimento E1 (Tabela 3), usando-se a bomba de pressão de Scholander, sendo usada as mesmas folhas escolhidas para as análises de trocas gasosas.

A partir dos dados de trocas gasosas, também foi avaliada a eficiência intrínseca do uso da água (EUA_i), calculada pela razão entre a fotossíntese líquida (A) e a condutância estomática (g_s) (DOMICIANO, 2015).

3.4.2. Avaliações de crescimento

Foram realizadas avaliações de crescimento (altura da planta e número de folhas) em uma planta útil por vaso durante três estágios de desenvolvimento: E1, E2 e E3 (Tabela 3).

A altura das plantas (cm) foi avaliada com auxílio de régua milimetrada medindo-a da base do caule até a mais alta ramificação de ramos/folhas. O número de folhas foi avaliado contando-se cada trifólio completamente desenvolvido, assim como o número de nós foi verificado contando-os em cada planta.

Além das avaliações supracitadas, coletou-se, nos estádios E1 e E3 (Tabela 3), uma planta por tratamento de cada repetição, visando mensurar a área foliar através de um medidor de área foliar modelo Li-Cor 3100. Determinou-se, também, a massa seca da parte aérea (folhas e caules) das mesmas plantas coletadas para medição da área foliar.

3.4.3. Atividade das enzimas antioxidantes

Nos estádios E1 e E3 (Tabela 3) o folíolo central da terceira folha de cada tratamento foi coletado para a quantificação das atividades das enzimas antioxidantes (SOD, CAT e APX).

Na extração enzimática, 200 mg de material fresco (parte da folha da planta) foram macerados, separadamente, em 2 mL de tampão fosfato de potássio (concentração final 50 mM e pH final 7) acrescido de ácido ascórbico (0,1 mM), ácido etilenodiaminotetracético (EDTA) (0,1 mM) e polivinilpirrolidona (PVP) (5%). Por conseguinte, os extratos foram centrifugados a 2000 x g e temperatura de 4 °C durante 15 minutos (DUTRA, 2015). O sobrenadante foi sorvido, colocados em tubos tipo eppendorf e mantidos em refrigerador até o momento das análises.

Na determinação de proteínas solúveis foi utilizado o mesmo extrato (BRADFORD,1976) que foi usado para determinar a atividade das enzimas antioxidantes (SOD, CAT e APX).

A determinação da atividade da superóxido dismutase (SOD) foi realizada com base na capacidade de inibição da fotorredução do cloreto de nitrotetrazólio azul (NBT) pela enzima presente no extrato (BEAUCHAMP e FRIDOVICH, 1971). Alíquotas de 40 µL do extrato enzimático foram transferidas a tubos de ensaio, protegidos da luz, contendo o meio de reação (1,5 mL) contendo tampão fosfato de potássio (50 mM; pH 7,8) acrescido de EDTA (0,1 mM), metionina (13 mM) e cloreto de nitrotetrazólio azul (NBT) (750 mM).

A reação foi iniciada pela adição de riboflavina (2 mM) e a concomitante transferência dos tubos para uma caixa com iluminação fluorescente interna (35W) e temperatura ambiente, com permanência de 15 minutos sob total vedação. Em seguida, foram realizadas as leituras de absorbância a 560 nm no espectrofotômetro. Foram considerados como brancos da reação, os tubos com extrato mantidos no escuro (os quais representam 0% da redução de NBT) (branco do escuro) e os tubos sem o extrato mantidos sob iluminação (os quais representam 100% da redução do NBT) (branco do claro). Uma unidade de SOD foi considerada como a quantidade de enzima necessária para inibir em 50% a fotorredução do NBT em comparação com o branco do claro, sendo a atividade expressa em $U \text{ min}^{-1} \text{ mg de proteína}^{-1}$. Salientando-se que as reações foram realizadas em triplicata.

A atividade da catalase (CAT) é definida com base no consumo de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) pela enzima presente no extrato. A reação foi iniciada pela adição do extrato enzimático (50 μL) à cubeta de quartzo contendo o meio de reação (2,95 mL) composto por tampão fosfato de potássio (100 mM, pH 7,5) e acrescido de peróxido de hidrogênio (20 mM). Em seguida, a mistura foi levada ao espectrofotômetro, no qual se monitorou o decréscimo da absorvância a 240 nm, durante o período de 1 minuto, com leituras realizadas a cada 10 segundos. Ao final a atividade da catalase foi expressa em μmol de H_2O_2 min^{-1} mg de proteína⁻¹.

A atividade da ascorbato peroxidase (APX) foi determinada mediante o método disposto por Nakano e Asada (1981), modificado por Koshiba (1993), onde a presença de APX no extrato diminui a concentração do H_2O_2 do meio, através da redução do ácido ascórbico fornecido. Para tal fim, 100 μL de extrato enzimático foram misturados ao meio de reação (2,7 mL) composto por tampão fosfato de potássio (50 mM e pH 6,0) acrescido de ácido ascórbico (0,8 mM). A reação foi iniciada pela adição de 200 μL de peróxido de hidrogênio (2 mM), onde pode-se observar o decréscimo da leitura durante 1 minuto, com leituras realizadas a cada 10 segundos, á absorvância de 290 nm em espectrofotômetro. A atividade final de APX foi expressa em nmol de ascorbato min^{-1} mg de proteína⁻¹.

3.4.4. Quantificação de prolina livre

A quantificação de prolina livre no material vegetal foi realizada pelo método colorimétrico proposto por Bates et al. (1973) e modificado por Bezerra Neto e Barreto (2011). Para tanto 250 mg de material fresco foram triturados em ácido sulfossalicílico a 3% (5 mL) e centrifugado a 2000 x g por 10 minutos, o sobrenadante foi aspirado e utilizado nas determinações.

O desenvolvimento da cor foi obtido através do aquecimento, em banho-maria regulado a 100 °C, dos tubos de ensaio devidamente vedados contendo o extrato, a ninhidrina ácida e o ácido acético glacial, na proporção 1:1:1 (volume total 3 mL), durante uma hora. Após esse período os tubos foram resfriados em banho de gelo, sendo posteriormente adicionado 2 mL de tolueno aos mesmos, estes foram agitados vigorosamente por aproximadamente 15 segundos e deixados em repouso por 10 minutos, para que houvesse a separação das fases.

Após esse procedimento, o sobrenadante foi aspirado, alocado em cubeta de vidro e transferido para espectrofotômetro onde se obteve a leitura da absorvância no comprimento de onda de 520 nm, utilizando o tolueno puro como branco. Em seguida, a concentração de prolina livre foi quantificada com base na curva padrão de L-prolina (0, 5, 10, 15, 20, 25, 50 mg L⁻¹) e

expressa em $\mu\text{mol g}$ de matéria fresca⁻¹. Para o cálculo de prolina, utilizou-se a média da absorvância obtida na triplicata.

3.4.5. Avaliações de produção

Por ocasião da colheita, com 53 DAE (E4), mensurou-se o comprimento de vagens, o peso das vagens, o número de grãos por vagem, o diâmetro do grão, o peso de 100 sementes, o teor de umidade e a produtividade média dos grãos.

O comprimento da vagem foi medido com o auxílio de uma régua milimetrada e o peso obtido com auxílio de uma balança analítica. Após esse procedimento as vagens colhidas foram colocadas para secar a temperatura ambiente.

Após secagem, escolheu-se 15 vagens (mais representativas) de cada tratamento para a contagem de grãos por vagem, ainda foram escolhidos 10 grãos por parcela, entre as vagens mais representativas, para se medir o diâmetro, com auxílio de um paquímetro digital. A partir dos valores obtidos calculou-se a uma média tanto para o número de grãos por vagem quanto para o diâmetro dos grãos (mm).

Foram separadas 100 sementes por tratamento para obter o peso de 100 sementes (P100), assim como também foram separadas 30 sementes por tratamento para determinação do teor de umidade pelo método de secagem em estufa na temperatura de $105^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ por um período de 24 horas.

Avaliou-se a produtividade de grãos em gramas (g) por planta com o fator de correção referente a 16% de umidade, baseado no teor de água dos grãos.

3.5. Análises estatísticas

Os dados das variáveis respostas foram submetidos à análise de variância, pelo teste F ($\alpha \leq 0,05$), as médias dos fatores qualitativos foram comparadas pelo teste de t ($P < 0,05$) e os modelos de regressão, para o fator quantitativo, foram ajustados de acordo com o coeficiente de determinação até 5% de significância (STORK et al., 2011).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Avaliações fisiológicas

A condutância estomática (g_s) de ambos os genótipos foi significativamente diminuída em condições de déficit hídrico, e o incremento na concentração de AS promoveu comportamento quadrático em todas as situações (Figura 5A e 5B) na avaliação no estádio E1. Nas plantas do genótipo Pingo de Ouro-1-2 submetidas ao déficit hídrico (CE), o pico na condutância estomática foi de $0,069 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$, obtido na concentração de 1,04 mM de AS, resultando em um aumento de 52,17% quando comparado ao tratamento sem AS. Nas plantas sem déficit hídrico (SE), o ponto máximo foi $0,242 \text{ mol m}^2 \text{s}^{-1}$, o qual foi apresentado na concentração de 1,11 mM de AS, refletindo em um aumento de 36,65% em relação àquelas sem AS. Nas plantas do genótipo BRS Paraguaçu submetidas ao déficit hídrico (CE), a condutância estomática máxima foi de $0,0883 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$, obtido na concentração de 0,9 mM de AS, já nas plantas desse genótipo que não receberam déficit hídrico (SE), o ponto máximo foi de $0,2640 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$, o qual foi constatado na concentração de 0,81 mM de AS, ressaltando que neste genótipo foi verificado um aumento de 31,81 e 13,52% nos valores de condutância estomática nas condições de déficit hídrico e regime hídrico normal, respectivamente.

De acordo com os resultados apontados acima, observa-se uma redução na condutância estomática nos tratamentos sob déficit hídrico e, como a atividade estomática é o principal meio de trocas gasosas entre a planta e a atmosfera (SINGH e REDDY, 2011), o fechamento estomático e, conseqüentemente, a diminuição da condutância estomática é um primeiro mecanismo de ação contra o estabelecimento do déficit hídrico imposto, o que pode ter implicado na redução do influxo de CO_2 , como poderá ser observado para a fotossíntese líquida (A).

Entretanto, a aplicação exógena de AS ocasionou um aumento na condutância estomática, resultado também relatado por Khan (2003), ao investigarem os efeitos da aplicação foliar de AS sobre as taxas fotossintéticas e de crescimento na soja e no milho, corroborando a ação benéfica da aplicação de AS em diversas culturas.

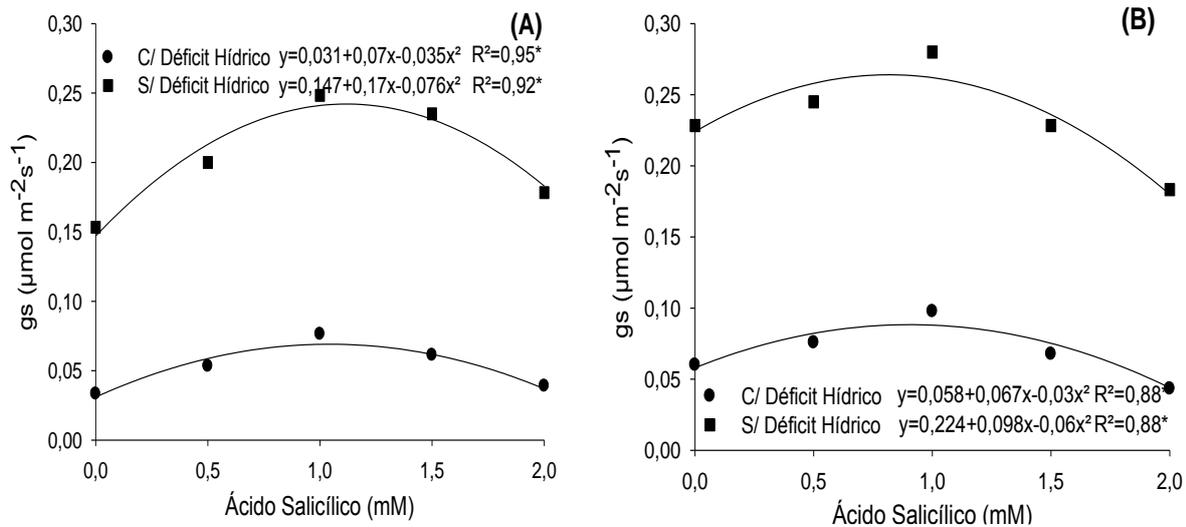


Figura 5. Condutância estomática no estágio de desenvolvimento E1 em genótipos de feijoeiro Pingo de Ouro-1-2 (A) e BRS Paraguaçu (B), em resposta à aplicação de ácido salicílico, sob condições cultivo com e sem déficit hídrico. Campina Grande, 2016.

A fotossíntese no genótipo Pingo de Ouro-1-2 foi significativamente diminuída em condições de déficit hídrico. A aplicação do AS promoveu uma resposta quadrática em relação ao aumento da concentração de AS (Figura 6A). Nas plantas submetidas ao déficit hídrico (CE), o pico na fotossíntese foi de $6,55 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, obtido na concentração de $1,13 \text{ mM}$ de AS. Nas plantas sem déficit hídrico (SE), o ponto máximo foi $17,58 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, o qual foi observado na concentração de $1,14 \text{ mM}$ de AS.

A fotossíntese no genótipo BRS Paraguaçu foi significativamente reduzida em condições de déficit hídrico, por outro lado, em condições de umidade próxima a máxima retenção ou sob déficit hídrico, a aplicação do AS proporcionou uma resposta quadrática da fotossíntese líquida (Figura 6B). Nas plantas submetidas ao déficit hídrico (CE), a taxa de fotossíntese máxima foi de $7,87 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, obtido na concentração de $0,9 \text{ mM}$ de AS, já nas plantas sem déficit hídrico (SE), o ponto máximo foi $18,52 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, o qual foi apresentado na concentração de $1,29 \text{ mM}$ de AS.

Os dados do presente trabalho corroboram a afirmação de Oliveira et al. (2005), que estudando a condutância estomática como indicador de estresse hídrico em feijoeiros, assevera que, o déficit hídrico reduz a condutância estomática e aumenta a resistência difusiva ao vapor de água, mediante fechamento dos estômatos, reduzindo a transpiração e, em consequência, o suprimento de CO_2 para a fotossíntese, assim como observado neste trabalho, já que houve decremento no influxo de CO_2 .

Entretanto, assim como para a condutância estomática, o AS promoveu efeito positivo para a fotossíntese. Na concentração de $\cong 1,0$ mM de AS houve um aumento de 38,62% na taxa fotossintética no genótipo Pingo de Ouro 1-2, e 22,23% no Genótipo BRS Paraguaçu, ambos em condições de déficit hídrico.

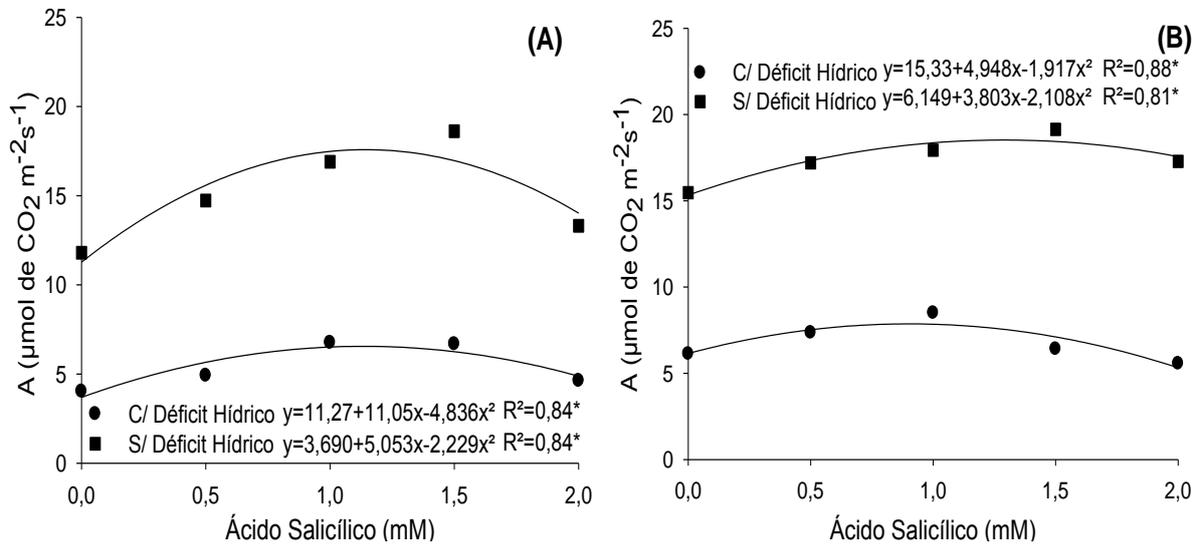


Figura 6. Taxa de fotossíntese ativa no estágio de desenvolvimento E1 em genótipos de feijoeiro Pingo de Ouro-1-2 (A) e BRS Paraguaçu (B), em resposta à aplicação de ácido salicílico, sob condições cultivo com e sem déficit hídrico. Campina Grande, 2016.

Com relação a taxa transpiratória (E), observa-se que ambos os genótipos apresentaram redução em condições de déficit hídrico, ou seja, houve diferença significativa na transpiração entre às condições de regime hídrico. Além disso, houve diferença significativa na transpiração quando na comparação dos genótipos em condições de déficit, o que não ocorreu quando estiveram em regime hídrico normal.

Na condição de déficit hídrico, no genótipo Pingo de Ouro-1-2 notou-se taxa transpiratória 2 vezes superior em relação ao BRS Paraguaçu. As taxas variaram de 0,4760 a 0,9520 $\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, representadas por BRS Paraguaçu e Pingo de Ouro-1-2, respectivamente (Figura 7). Comparando os regimes hídricos em cada genótipo individualmente, pode-se observar que no genótipo Pingo de Ouro-1-2 a redução na taxa transpiratória foi menor do que a taxa observada no genótipo BRS Paraguaçu, e isso acarretará uma menor perda de água, conferindo ao genótipo Pingo de Ouro-1-2 uma maior tolerância à condição de déficit hídrico.

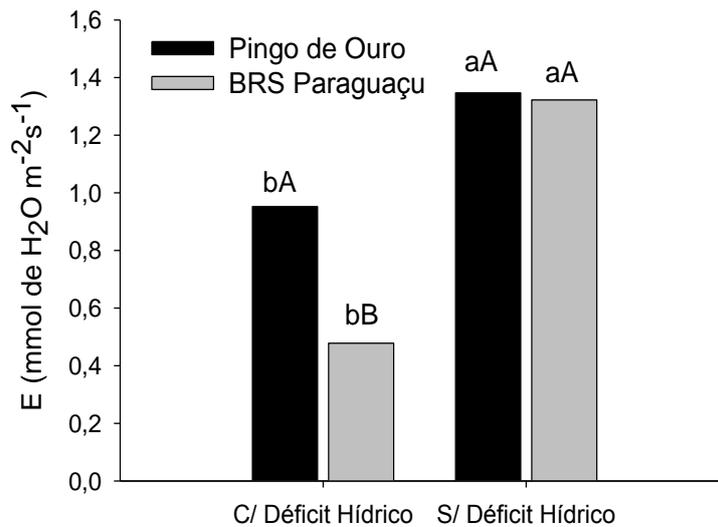


Figura 7. Transpiração de genótipos de feijoeiro Pingo de Ouro-1-2 e BRS Paraguaçu, sob condições cultivo com e sem déficit hídrico. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre genótipos, e letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre condições de regime hídrico, pelo teste t ($P < 0,05$). Campina Grande, 2016.

O potencial hídrico foliar (Ψ_f) de ambos os genótipos foi significativamente reduzido em condições de déficit hídrico e a aplicação do AS promoveu uma resposta de comportamento quadrático em relação as concentrações (Figuras 8A e 8B). Nas plantas do genótipo Pingo de Ouro-1-2 submetidas ao déficit hídrico (CE), o pico no potencial hídrico foi de -1,06 MPa na concentração de 1,17 mM de AS. Nas plantas sem déficit hídrico (SE), o ponto máximo foi -0,89 MPa na concentração de 0,88 mM de AS. Nas plantas do genótipo BRS Paraguaçu submetidas ao déficit hídrico (CE), o potencial hídrico máximo foi de -1,11 MPa na concentração de 0,98 mM de AS. Nas plantas sem déficit hídrico (SE), o ponto máximo foi -0,89 MPa na concentração estimada de 0,94 mM de AS.

A avaliação do status hídrico das plantas, quando submetidas ao déficit hídrico, demonstra que ambos os genótipos avaliados sofreram reduções significativas na fotossíntese, na g_s , na transpiração foliar e no Ψ_f . Sob condições de campo, Ferreira et al. (1991) verificaram Ψ_f de -1,2 e 1,3 MPa para os tratamentos sem déficit e com déficit hídrico na fase vegetativa, respectivamente. No presente trabalho, pode-se observar que devido à aplicação do AS na concentração de $\cong 1,0$ mM, as plantas submetidas ao déficit hídrico apresentaram menor redução no potencial hídrico comparando tanto com a testemunha (sem AS) quanto com os resultados apontados por Ferreira et al. (1991) que não fora estudado aplicação do AS, confirmando então a ação atenuadora do AS sob o déficit hídrico.

Para Larcher (2006) quanto menor a quantidade de água no solo mais negativo deverá ser o potencial de água na folha desenvolvido pelos vegetais, logo a redução do potencial hídrico fará com que a planta acione mecanismos de defesa contra essa perda de água, mecanismos como a redução da condutância estomática, e por consequência da taxa fotossintética, assim como os dados desta pesquisa corroboram.

Tais mecanismos de defesa podem ser prejudiciais ao pleno crescimento e desenvolvimento da planta, mas permite garantir a sobrevivência, desde que o déficit hídrico não seja altamente severo e prolongado (GONÇALVES, 2013). Os valores médios de potencial hídrico indicados para os diferentes grupos de planta dependem do tipo de solo e do tipo de vegetação, podendo ser ainda menores devido à adaptação das plantas em relação à deficiência hídrica (LARCHER, 2006). Segundo Boyer (1978), os valores aproximados de potenciais de água letais para o feijão-comum e para o feijão-caupi são de -1,5 a -2,5 MPa, respectivamente.

Para tanto, ressalta-se a importância da aplicação exógena do AS, tendo em vista que este fitormônio atuará aumentando a assimilação de carbono, a síntese de metabólitos e capacidade fotossintética da planta, além da manutenção do potencial hídrico dos tecidos, resultando em sua expansão, visualizado pelo aumento da área foliar (FAROOQ et al., 2010). Logo, a aplicação foliar do AS servirá como um mecanismo para auxiliar as plantas a tolerar situações de déficit hídrico, como visto nos resultados deste trabalho onde o AS proporcionou atenuação dos efeitos do estresse.

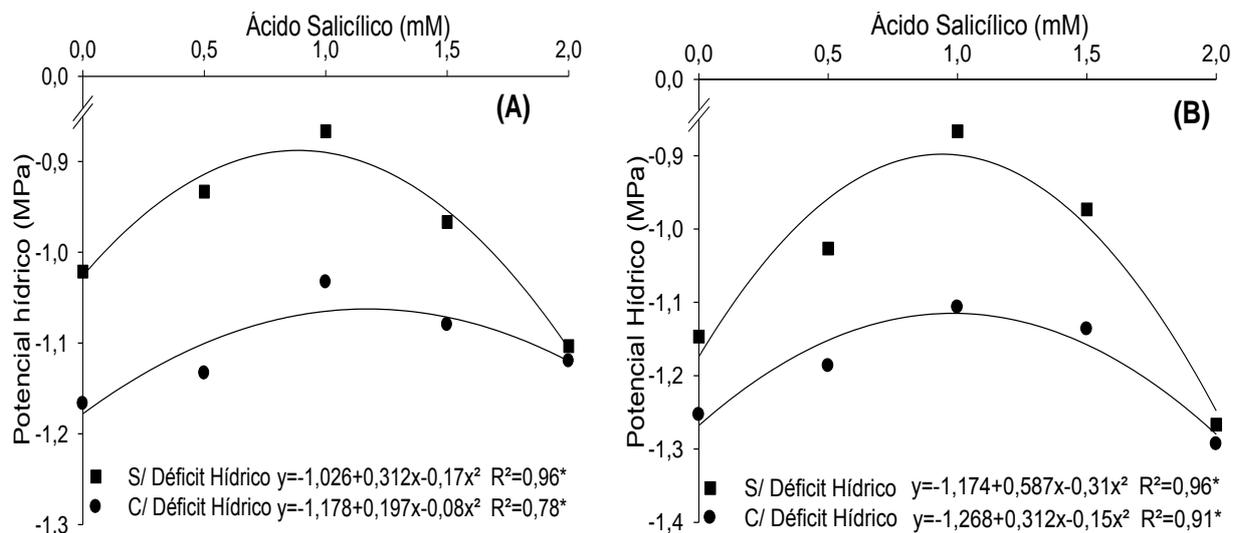


Figura 8. Potencial hídrico da folha no estágio de desenvolvimento E1 em genótipos de feijoeiro Pingo de Ouro-1-2 (A) e BRS Paraguaçu (B), em resposta à aplicação de ácido salicílico, sob condições cultivo com e sem déficit hídrico. Campina Grande, 2016.

4.2. Avaliações de crescimento

O uso do AS alterou consideravelmente a altura de plantas de feijoeiro de ambos os genótipos nas duas condições de regime hídrico, constatando-se resposta quadrática nas três épocas de avaliação, em função das concentrações de AS.

A altura da haste principal do genótipo Pingo de Ouro-1-2 foi significativamente diminuída em condições de déficit hídrico em todos os estádios vegetativos avaliados, mas, nas duas situações de disponibilidade hídrica, a aplicação do AS promoveu uma resposta quadrática em relação ao aumento das concentrações de AS (Figura 9A, 9B e 9C). Aos 40 DAE (E3), as plantas submetidas ao déficit hídrico (CE) apresentaram altura máxima de 17,12 cm na concentração estimada de 1,08 mM de AS, com aumento de 6,3% em relação às plantas sem AS. Nas plantas sem déficit hídrico (SE) a altura máxima estimada foi de 19,45 cm na concentração de 1,07 mM de AS, resultando em um aumento de 12,3% quando comparado ao tratamento sem AS.

Avaliando a altura da haste principal do BRS Paraguaçu, observou-se, também, inibição de crescimento nos tratamentos com a aplicação acima de $\cong 1,0$ mM de AS. Essa inibição foi menor no genótipo BRS Paraguaçu, excetuando-se o tratamento sem déficit hídrico no estágio E2, no qual se registrou comportamento crescente da altura de plantas com taxa de 0,454 cm por incremento na concentração de AS (Figura 9E). Em E3, nas plantas submetidas ao déficit hídrico (CE), a altura máxima foi de 13,75 cm (aumento de 4,14%) na concentração de 1,02 mM de AS, já nas plantas sem estresse hídrico (SE), observou-se altura máxima de 16,24 cm, quando se aplicou uma concentração de 1,15 mM de AS, que representou aumento de 10,28% em relação às plantas sem AS (Figura 9F).

O déficit hídrico impede a expansão celular, resultando em plantas com características de crescimento e rendimento reduzido (HUSSAIN et al., 2008). Como o AS atua na regulação de vários processos fisiológicos como, regulação das funções da clorofila, carotenóides, fotossíntese, transpiração e condutância estomática (LIU et al., 2011), fazendo com que a planta mantenha a turgescência celular, o que refletirá diretamente na característica de crescimento da planta. Bideshki e Arvin (2010) relataram que a aplicação do AS melhorou as características de crescimento de plantas de alho (*Allium sativum*) sob condições de déficit hídrico, corroborando os dados deste trabalho ao observar melhora no crescimento das plantas submetidas à aplicação foliar de AS até a concentração de aproximadamente 1,0 mM.

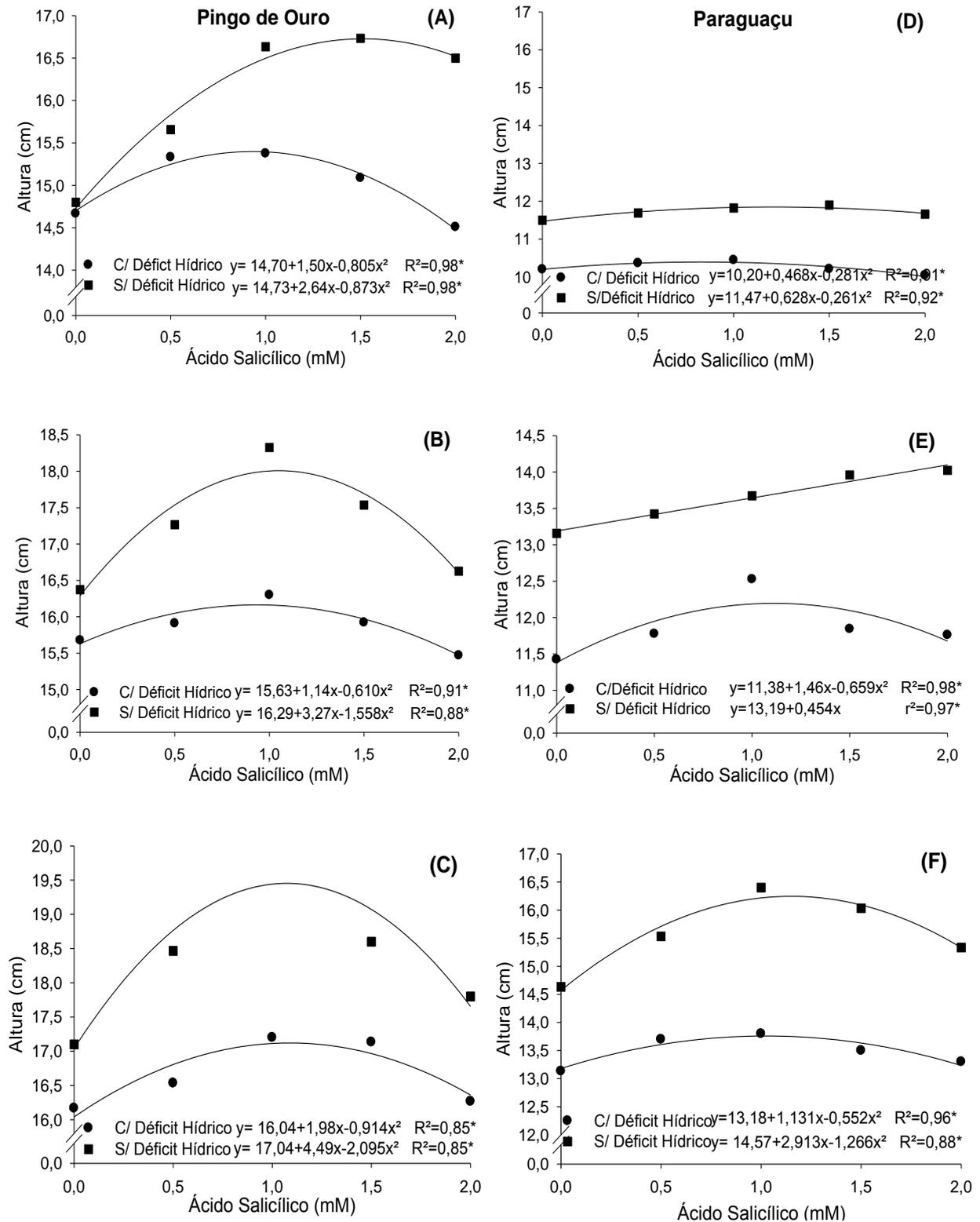


Figura 9. Altura de planta dos genótipos de feijoeiro Pingo de Ouro-1-2 (A, B e C) e BRS Paraguaçu (D, E e F), em resposta à aplicação de ácido salicílico, nos estádios de desenvolvimento E1 (A-D), E2 (B-E) e E3 (C-F) sob condições de cultivo com e sem déficit hídrico. Campina Grande, 2016.

A aplicação de AS não influenciou o número de folhas (NF) dos genótipos de feijoeiro. Notando-se contudo, efeito da interação entre os fatores, regime hídrico (EH) e genótipos (GE), podendo-se observar nas Figuras 10D e 10E, que houve diferença significativa no número de folhas entre genótipos e entre condições de regime hídrico em dois estádios de desenvolvimento.

A redução do número de folhas em plantas submetidas à restrição hídrica está atrelada à diminuição da taxa transpiratória, para que haja uma menor perda de água. Para tanto, observa-se que ambos os genótipos apresentaram NF reduzido quando em condições de déficit hídrico. (Figura 10D e 10E)

Devido a diferença no tipo de crescimento dos genótipos, estes apresentaram diferença significativa no NF dentro de cada condição de regime hídrico. Dessa forma, o genótipo BRS Paraguaçu apresenta NF significativamente maior do que o Pingo de Ouro-1-2. Os valores médios variaram de 4,2 a 8,2 folhas. A diferença média de folhas entre as condições de regime hídrico foi de 1,4 (31,2%), e entre genótipo, a diferença foi de 2,4 (38,98%) no último estágio (Figura 10D e 10E).

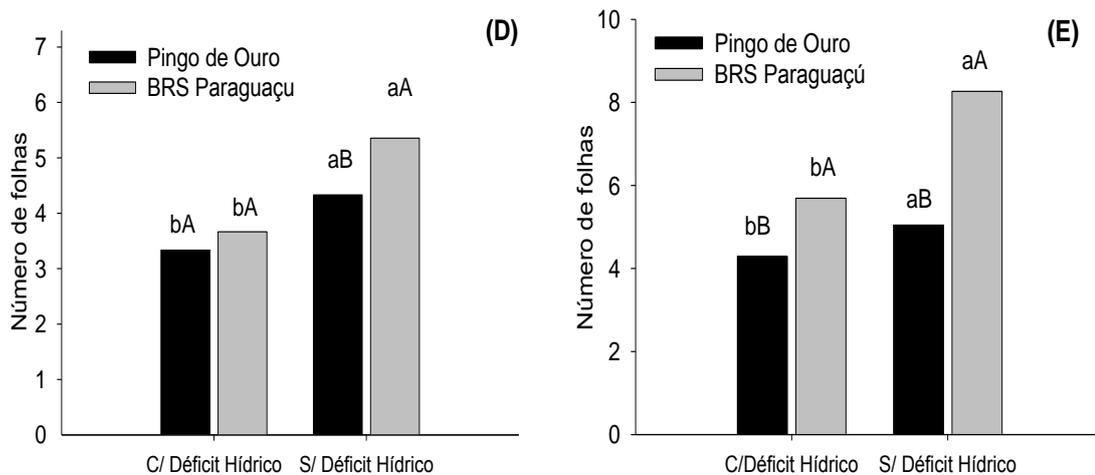


Figura 10. Número de folhas (D, e E) de genótipos de feijoeiro Pingo de Ouro-1-2 e BRS Paraguaçu, nos estádios de desenvolvimento E1 (D) e E2 (E) sob condições de cultivo com e sem déficit hídrico. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre genótipos e letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre condições de regime hídrico, pelo teste t ($P < 0,05$). Campina Grande, 2016.

Quanto à área foliar (AF), constatou-se resposta quadrática para o genótipo Pingo de Ouro-1-2 nos diferentes estádios de avaliação (Figuras 11A e 11B) quando se aplicou o AS. Nas plantas submetidas ao déficit hídrico, constatou-se área foliar, aos 32 dias após emergência, de 237,63 cm² quando se aplicou uma concentração estimada de 0,82 mM de AS, representando um aumento de

10,36% em relação às plantas não tratadas com AS. Nas plantas sem déficit hídrico, observou-se uma área foliar máxima de 497,43 cm² ao se aplicar uma concentração estimada de 0,98 mM de AS, resultando em um aumento de 34,26% quando comparado ao tratamento sem AS (Figura 11B). Em relação ao BRS Paraguaçu (Figuras 11C e 11D), a área foliar máxima nas plantas submetidas ao déficit hídrico, aos 32 dias após emergência, foi de 305,50 cm² quando se aplicou uma concentração estimada de 1,18 mM de AS, representando um aumento de 45,24%; já nas plantas sem déficit hídrico, a área foliar máxima foi de 571,88 cm² ao se aplicar uma concentração de 1,2 mM de AS, resultando um aumento de 31,87% em relação as plantas sem AS (Figura 11D).

A aplicação do AS aumentou consideravelmente a área foliar nas plantas sem déficit hídrico e em menor proporção nas plantas submetidas ao déficit, observando-se, ainda, que nas plantas sob déficit hídrico o AS conferiu maior aumento na área foliar no genótipo BRS Paraguaçu.

Quanto à ação benéfica do AS sobre o aumento da área foliar, é possível relatar que este hormônio aumenta a assimilação de carbono, síntese de metabólitos e manutenção do potencial hídrico dos tecidos (KHAN et al., 2003; SZEPSI et al., 2005; KARLIDAG et al., 2009; FAROOQ et al., 2010), ampliando a capacidade fotossintética da planta, o que resulta em expansão dos tecidos, registrado pelo aumento dessa área. Tais efeitos poderão ser constatados ao se avaliar as trocas gasosas e o potencial hídrico foliar das plantas de feijoeiro.

Nos resultados do presente trabalho observou-se tanto a redução do crescimento das plantas em decorrência do déficit hídrico, bem como a redução da área foliar em ambos os genótipos, podendo essa redução ser justificada de acordo com Anjum et al. (2011) pela supressão da expansão foliar, resultado da redução da condutância estomática e por consequência da taxa fotossintética.

Gonçalves (2013) em estudo para identificar linhagens de feijoeiros tolerante à seca, afirma que a redução da área foliar nas plantas sob déficit hídrico é uma estratégia das plantas para diminuir a transpiração e por consequência minimizar a perda de água. Corroborando os dados desse trabalho, onde pode-se observar essa redução na área foliar tanto quanto no número de folhas, refletindo diretamente na redução da taxa transpiratória em ambos os genótipos avaliados.

Dessa forma, pode-se constatar que a redução do número de folhas, a diminuição da área foliar, a redução da condutância estomática, onde a planta reduz as trocas gasosas, diminuindo por consequência a taxa de transpiração, se tornam estratégias utilizadas pelas plantas para auxiliar na tolerância ao déficit hídrico.

Ressalta-se, ainda, que a redução da turgidez é o mais precoce efeito biofísico significativo do estresse hídrico, as atividades dependentes da turgidez, como a expansão foliar, são as mais sensíveis ao déficit hídrico (REIS et al, 1998), e a esse respeito, pode-se constatar durante o

experimento que as plantas submetidas ao déficit eram menos túrgidas do que as que estavam sob condições hídricas normais. Dessa forma, o que foi observado visualmente condiz com os resultados obtidos na área foliar para ambos os genótipos. Embora, tenha-se observado redução da área foliar de ambos os genótipos em como em situação de déficit hídrico, as plantas do genótipo Pingo de Ouro-1-2 tiveram maior redução no número de folhas, o que refletiu diretamente para que o mesmo obtivesse menor área foliar, comparado com as plantas sob restrição hídrica do genótipo BRS Paraguaçu.

Observa-se, ainda, que a aplicação foliar de AS promoveu resposta favorável à planta nas duas condições hídricas, entretanto os resultados dessa pesquisa evidenciam que a concentração de AS tem sido um dos fatores limitantes para ambos os genótipos de feijão-caupi, visto que para todas as variáveis em que o AS foi significativo, as plantas apresentaram depleção, tanto nas variáveis de trocas gasosas quanto em variáveis de crescimento da planta, na concentração acima de 1,0 mM. Ressalta-se que a ação benéfica de um fitormônio depende da época de aplicação, condições ambientais, idade dos tecidos e da receptividade das proteínas receptoras, da carga genética da cultivar, bem como da concentração utilizada. E, uma possível explicação para as depleções verificadas nas plantas submetidas à concentração acima de 1,0 mM, é que o uso de concentrações elevadas de AS pode provocar ação inversa na fisiologia e metabolismo da planta, inibindo a produção de fotoassimilados nas folhas, reduzindo severamente a expansão da área foliar e a altura da planta, e por consequência redução da condutância estomática e da taxa fotossintética (ALMEIDA e VIEIRA, 2010).

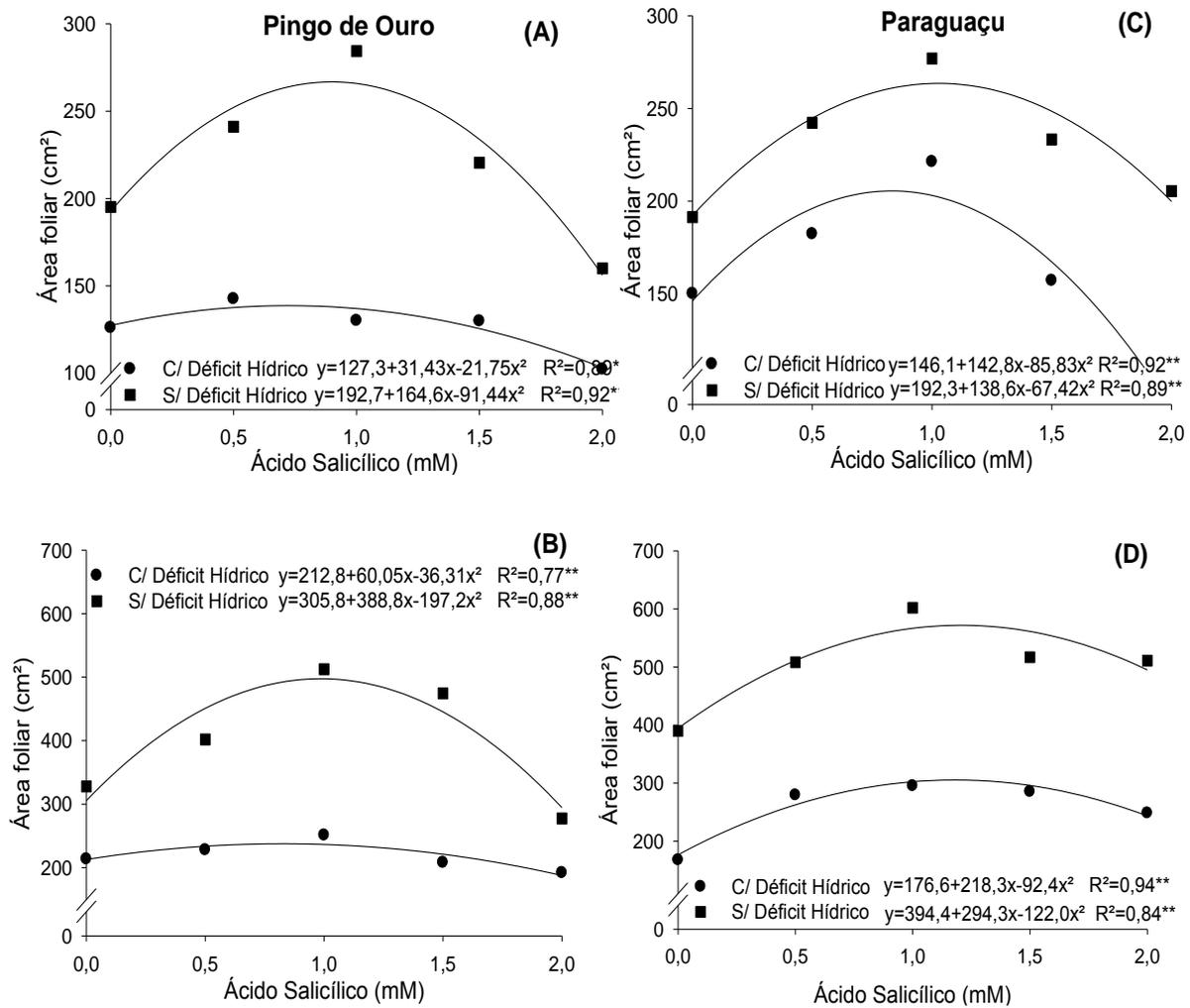


Figura 11. Área foliar de genótipos de feijoeiro Pingo de Ouro-1-2 e BRS Paraguaçu, em resposta à aplicação de ácido salicílico, nos estádios de desenvolvimento E1 (A-C) e E2 (B-D) sob condições de cultivo com e sem déficit hídrico. Campina Grande, 2016.

Para a variável massa seca da parte aérea (MS) não se observou influência do AS. Constatou-se redução quando as plantas foram submetidas à condição de déficit hídrico em ambos os genótipos, porém, não se verificou diferença significativa entre os genótipos nas mesmas condições (Figura 12B). Os resultados observados por Gonçalves (2013) em estudo para identificar linhagens de feijoeiros tolerantes à seca corroboram com os resultados observados nesse trabalho, no qual se pode observar que o déficit hídrico ocasionou reduções para massa seca da folha, assim como para massa seca do caule.

No genótipo Pingo de Ouro-1-2 obteve-se redução de 51,15% na MS quando cultivado sob condições de déficit hídrico. Já no genótipo BRS Paraguaçu, notou-se decréscimo menos expressivo, porém significativo, na ordem de 50,11%, quando se compara as plantas com e sem estresse. Mesmo observando que este comportamento tem como objetivo tolerar as condições

desfavoráveis de déficit hídrico, reduções na massa seca são prejudiciais para a produtividade e componentes de rendimento.

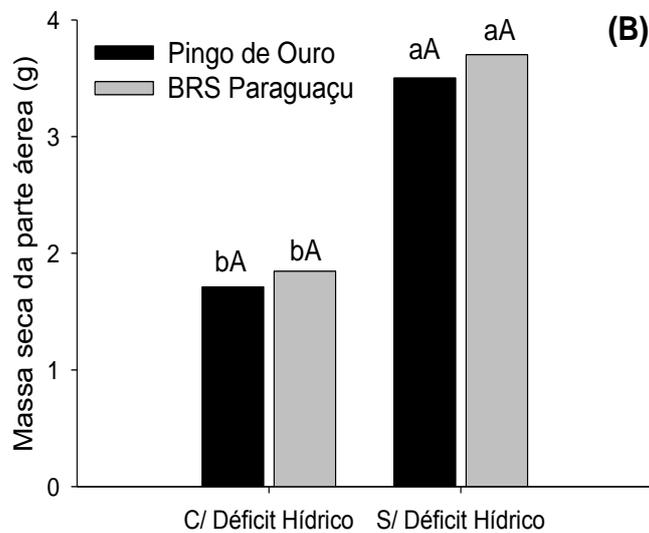


Figura 12. Massa seca da parte aérea de genótipos de feijoeiro Pingo de Ouro-1-2 e BRS Paraguaçu, sob condições de cultivo com e sem déficit hídrico. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre genótipos e minúsculas diferença significativa entre condições de regime hídrico, pelo teste t ($P < 0,05$). Campina Grande, 2016.

4.3. Atividade das enzimas antioxidantes

Constatou-se, nas plantas de feijoeiro, aumento na atividade da SOD quando em condições de déficit hídrico (Figuras 13A e 13B). Todavia, não foi verificada relação da diminuição da atividade da SOD com o aumento das concentrações de AS, nem quando comparada com a ausência do regulador de crescimento.

No genótipo Pingo de Ouro-1-2, os valores médios da atividade da SOD variaram entre 0,69 UA g⁻¹ MF min⁻¹, na concentração 0,5 de AS com déficit hídrico, e 0,34 UA g⁻¹ MF min⁻¹ na concentração de 1,5 mM de AS, sob regime hídrico normal. Em comparação entre as duas condições hídricas de cultivo sem a aplicação de AS, a diferença foi de aproximadamente 0,14 UA g⁻¹ MF min⁻¹. Em valores, a atividade foi de 0,54 e 0,40 UA g⁻¹ MF min⁻¹, com e sem déficit hídrico, respectivamente (Figura 13A).

No genótipo BRS Paraguaçu, os valores médios da atividade da SOD variaram entre 0,74, na concentração de 1,5 mM de AS com déficit hídrico, e 0,39 UA g⁻¹ MF min⁻¹ na concentração de 2,0 mM de AS, sob regime hídrico normal. Em comparação entre as duas condições hídricas de cultivo sem a aplicação de AS diferença foi de aproximadamente 0,14 UA g⁻¹ MF min⁻¹. Em

valores, a atividade foi de 0,64, e 0,50 UA g⁻¹ MF min⁻¹, com e sem déficit hídrico, respectivamente (Figura 13B).

Em nível fisiológico, a aplicação exógena de ácido salicílico tem sido utilizada para melhorar a atividade das enzimas antioxidantes (HAYAT et al., 2010; KANG et al., 2014), sendo efetivo no aumento da SOD em plantas de tomate sob deficiência hídrica (HAYAT et al., 2008), relato não confirmado no presente trabalho. Entretanto, para parâmetros fisiológicos e bioquímicos sabe-se que a ação benéfica do AS vai depender de vários fatores, dentre os quais, a fase da planta quando esta recebe o AS exógeno, a receptividade das proteínas receptoras e os fatores ambientais (PÁL et al., 2014).

Entretanto, verifica-se que, mesmo a aplicação foliar de AS não tendo causado nenhum efeito sobre as plantas, o excesso de radicais superóxidos produzidos devido à condição de déficit hídrico foi compensado pelo acréscimo na atividade da SOD, produzindo o peróxido de hidrogênio (H₂O₂) que, posteriormente, foi eliminado pela atividade da CAT, minimizando, assim, os efeitos deletérios provocados pela geração EROs nas células.

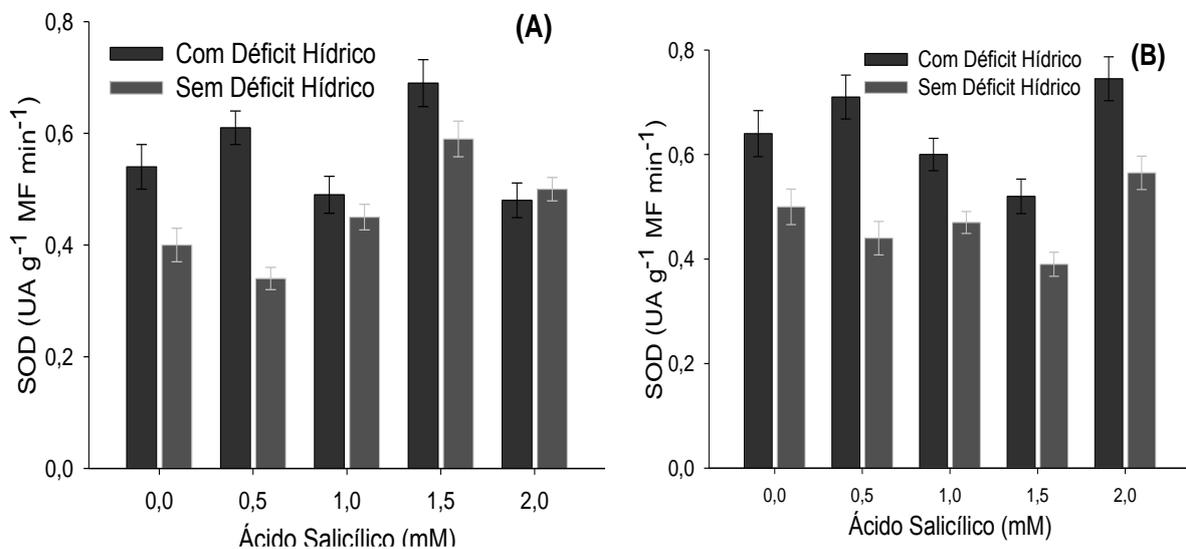


Figura 13. Atividade da enzima antioxidante superóxido dismutase (SOD) em genótipos de feijoeiro Pingo de Ouro-1-2 (A) e BRS Paraguaçu (B) sob aplicação de ácido salicílico em condições de cultivo com e sem déficit hídrico. As colunas representam os valores médios do genótipo em cada tratamento e condição de cultivo. As barras verticais representam o erro-padrão da média. Campina Grande, 2016.

A atividade da CAT foi superior nas plantas submetidas à condições de déficit hídrico, quando da comparação com plantas em condições de regime normal. Akcay et al. (2010),

estudando a atividade da CAT em acessos de amendoim rasteiro e ereto, encontraram que a atividade dessa enzima aumentou consideravelmente no acesso ereto quando submetido a um alto nível de estresse, como também observado por Pereira et al. (2012), ao avaliar mudanças bioquímicas em genótipos de amendoim submetidos a déficit hídrico moderado. Silva (2014) avaliando componentes de produção e fisiológicos em ecótipos de feijão-caupi sob reposição hídrica observou um aumento da atividade da CAT nas folhas à medida que déficit hídrico era intensificado, corroborando os dados desta pesquisa no que se refere ao aumento da atividade desta enzima nas plantas sob déficit.

A aplicação do AS promoveu diminuição da atividade da CAT, tanto na Pingo de Ouro-1-2 (Figura 14A) quanto na BRS Paraguaçu (Figura 14B), visto que nas plantas tratadas sem AS a atividade foi superior em ambas as condições de regime hídrico.

No genótipo Pingo de Ouro-1-2, os valores médios da atividade da CAT variaram entre 5,7 $\mu\text{mol de H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ mg proteína}^{-1}$, sem AS em condições de déficit hídrico, e 1,4 $\mu\text{mol de H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ mg proteína}^{-1}$ na concentração de 1,5 mM de AS, sob regime hídrico normal. Em comparação entre as duas condições hídricas de cultivo sem a aplicação de AS, a diferença foi de aproximadamente 0,9 $\mu\text{mol de H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ mg proteína}^{-1}$. Em valores, a atividade foi de 5,7 e 4,8 $\mu\text{mol de H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ mg proteína}^{-1}$, com e sem déficit hídrico, respectivamente.

No genótipo BRS Paraguaçu, os valores médios da atividade da CAT variaram entre 5,4 $\mu\text{mol de H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ mg proteína}^{-1}$ nas plantas sem AS com déficit hídrico, e 2,7 $\mu\text{mol de H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ mg proteína}^{-1}$ na concentração de 0,5 mM de AS, sob regime hídrico normal. Em comparação entre as duas condições hídricas de cultivo sem a aplicação de AS, a diferença foi de aproximadamente 1,1 $\mu\text{mol de H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ mg proteína}^{-1}$. Em valores, a atividade foi de 5,4, e 4,3 $\mu\text{mol de H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ mg proteína}^{-1}$, com e sem déficit hídrico, respectivamente.

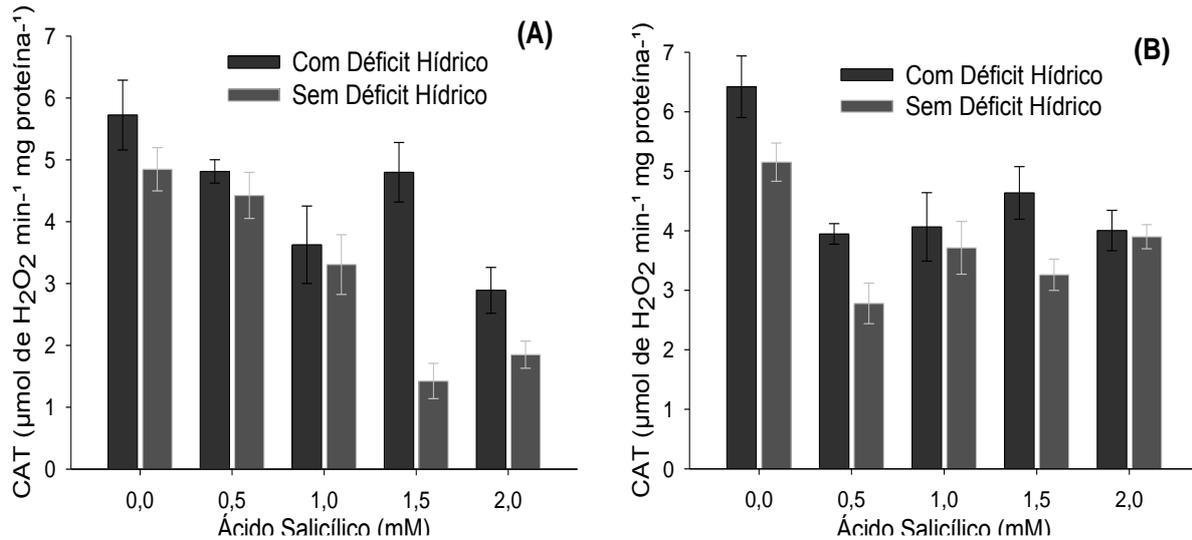


Figura 14. Atividade da enzima antioxidante catalase (CAT) em genótipos de feijoeiro Pingo de Ouro-1-2 (A) e BRS Paraguaçu (B) sob aplicação de ácido salicílico em condições de cultivo com e sem déficit hídrico. As colunas representam os valores médios do genótipo em cada tratamento e condição de cultivo. As barras verticais representam o erro-padrão da média. Campina Grande, 2016.

A atividade da APX também foi superior nas plantas submetidas a condições de déficit hídrico, quando da comparação com plantas em condições de regime normal. Aplicação do AS promoveu diminuição da atividade da APX, tanto na Pingo de Ouro-1-2 (Figura 15A) quanto na Paraguaçu (Figura 15B), visto que nas plantas tratadas sem AS, a atividade foi superior em ambas as condições de regime hídrico. Carneiro et al. (2011), estudando a atividade antioxidante e viabilidade de sementes de girassol após estresse hídrico e salino, verificou aumento na atividade da CAT e APX em condições de estresse, podendo ser justificado pela necessidade de remoção do H₂O₂ produzido pela atividade da SOD e também pela possível taxa de fotorrespiração ocorrida nas plantas estressadas. Os resultados supracitados corroboram os da presente pesquisa, tanto que observou-se aumento da atividade das três enzimas antioxidantes (SOD, CAT e APX) em condições de déficit hídrico.

No genótipo Pingo de Ouro-1-2, os valores médios da atividade da APX variaram entre 12,4 μmol de ascorbato min⁻¹ mg proteína⁻¹, naquelas tratadas sem AS e com déficit hídrico, e 5,41 μmol de ascorbato min⁻¹ mg proteína⁻¹ na concentração de 2,0 mM de AS, sob regime hídrico normal. Em comparação entre as duas condições hídricas de cultivo sem a aplicação de AS, a diferença foi de aproximadamente 1,52 μmol de ascorbato min⁻¹ mg proteína⁻¹. Em valores, a atividade foi de 12,4 e 10,89 μmol de ascorbato min⁻¹ mg proteína⁻¹, com e sem déficit hídrico, respectivamente.

No genótipo BRS Paraguaçu, os valores médios da atividade da APX variaram entre 25,68 $\mu\text{mol de ascorbato min}^{-1} \text{ mg proteína}^{-1}$, nas plantas sem AS com déficit hídrico, e 16,00 $\mu\text{mol de ascorbato min}^{-1} \text{ mg proteína}^{-1}$ na concentração de 0,5 mM de AS, sob regime hídrico normal. Em comparação entre as duas condições hídricas de cultivo sem a aplicação de AS, a diferença foi de aproximadamente 5,29 $\mu\text{mol de ascorbato min}^{-1} \text{ mg proteína}^{-1}$. Em valores, a atividade foi de 25,68, e 20,39 $\mu\text{mol de ascorbato min}^{-1} \text{ mg proteína}^{-1}$, com e sem déficit hídrico, respectivamente.

A enzima APX é um componente central do ciclo da glutatona ascorbato com papel essencial no controle intracelular do nível de EROs (SHARMA et al., 2012). A APX tem maior afinidade para H_2O_2 do que a CAT, tendo em vista que utiliza duas moléculas de ascorbato para reduzir o peróxido de hidrogênio à água. Tanto que foi verificada uma maior expressão de APX nas plantas de ambos os genótipos submetidas às condições de déficit hídrico, o que de acordo com Sharma et al. (2012) pode ser um importante mecanismo de controle da super geração de EROs.

Vilela et al. (2011), avaliando as alterações fisiológicas e bioquímicas de duas variedades de cana-de-açúcar sob estresse hídrico, observaram que a variedade RB867515, considerada mais resistente à seca, apresentou maior atividade da CAT e APX. Ressalte-se atividade crescente da SOD com aumento do tempo de seca em relação à variedade RB855536, considerada mais sensível à seca, dados esse que também corroboram os dados desta pesquisa para os dois genótipos de feijão-caupi estudados.

Dutra (2015) avaliando a aplicação do AS como indutor de tolerância ao déficit hídrico nas fases de germinação e crescimento inicial em genótipos de feijão-caupi, observou que a atividade antioxidante foi incrementada nas plântulas de feijão-caupi com a embebição das sementes em AS, entretanto no presente trabalho, a aplicação foliar do AS na fase vegetativa não promoveu efeito significativo para a atividade de nenhuma das enzimas antioxidantes, como também observado por Pál et al. (2014) avaliando a atividade das enzimas antioxidantes em arroz submetido à estresse abiótico e aplicação foliar de AS. Logo, verifica-se que o modo de ação do AS ainda é mal compreendido, podendo variar de acordo com a fase fenológica em que é aplicado, idade dos tecidos, receptividade das proteínas receptoras, bem como, de acordo com os fatores ambientais.

Logo, os resultados encontrados neste trabalho reforçam a necessidade do aprofundamento na pesquisa abordando a aplicação de AS em outras fases fenológicas, para averiguar sua ação na cultura do feijão-caupi, não apenas como um atenuador do déficit hídrico para as características morfofisiológicas, mas também como um composto sinalizador e amplificador de sinais no aparato bioquímico.

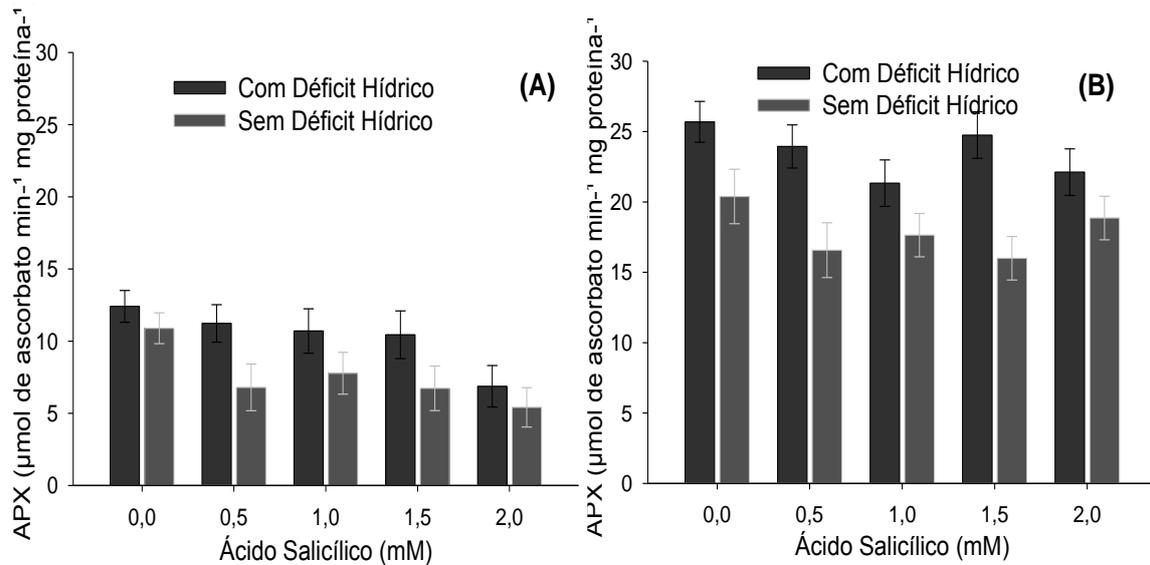


Figura 15. Atividade da enzimas antioxidante ascorbato peroxidase (APX) em gen\u00f3tipos de feijoeiro Pingo de Ouro-1-2 (A) e BRS Paragua\u00e7u (B) sob aplica\u00e7\u00e3o de \u00e1cido salic\u00edlico em condi\u00e7\u00f5es de cultivo com e sem d\u00e9ficit h\u00eddrico. As colunas representam os valores m\u00e9dios do gen\u00f3tipo em cada tratamento e condi\u00e7\u00e3o de cultivo. As barras verticais representam o erro-padr\u00e3o da m\u00e9dia. Campina Grande, 2016.

4.4. Quantifica\u00e7\u00e3o de prolina livre

Os teores de prolina tiveram reduzida varia\u00e7\u00e3o em fun\u00e7\u00e3o das concentra\u00e7\u00f5es de AS. Em ambos os gen\u00f3tipos a diferen\u00e7a foi apresentada apenas na concentra\u00e7\u00e3o de 2,0 mM de AS, na qual foi menor comparando com as demais concentra\u00e7\u00f5es de AS (Figuras 16A e 16B). Os teores foram de 0,54 e 0,44 μmol na Pingo de Ouro-1-2 em cultivo com e sem d\u00e9ficit h\u00eddrico, e na BRS Paragua\u00e7u variam entre 0,51 e 0,48 μmol nas respectivas condi\u00e7\u00f5es.

Segundo Ashraf e Foolad (2007), o ac\u00famulo de prolina em muitas esp\u00e9cies de plantas sob estresse tem sido correlacionado com a toler\u00e2ncia do vegetal, e sua concentra\u00e7\u00e3o \u00e9 geralmente maior em plantas tolerantes do que em plantas sens\u00edveis ao estresse, o que corrobora os dados observados neste trabalho, visto que no gen\u00f3tipo Pingo de Ouro-1-2 verificou-se um aumento do teor de prolina livre nas plantas sob d\u00e9ficit h\u00eddrico, diferentemente do BRS Paragua\u00e7u, que pouco se verificou varia\u00e7\u00e3o nos teores em rela\u00e7\u00e3o a essas condi\u00e7\u00f5es h\u00eddricas, ressaltando que esse aumento no teor de prolina em Pingo de Ouro-1-2 em situa\u00e7\u00f5es de d\u00e9ficit, conferiu-lhes uma maior toler\u00e2ncia ao d\u00e9ficit, visto que o ac\u00famulo desse amino\u00e1cido \u00e9 um mecanismo de osmorregula\u00e7\u00e3o, no intuito de proteger as estruturas celulares dos danos provocando durante o per\u00edodo de estresse.

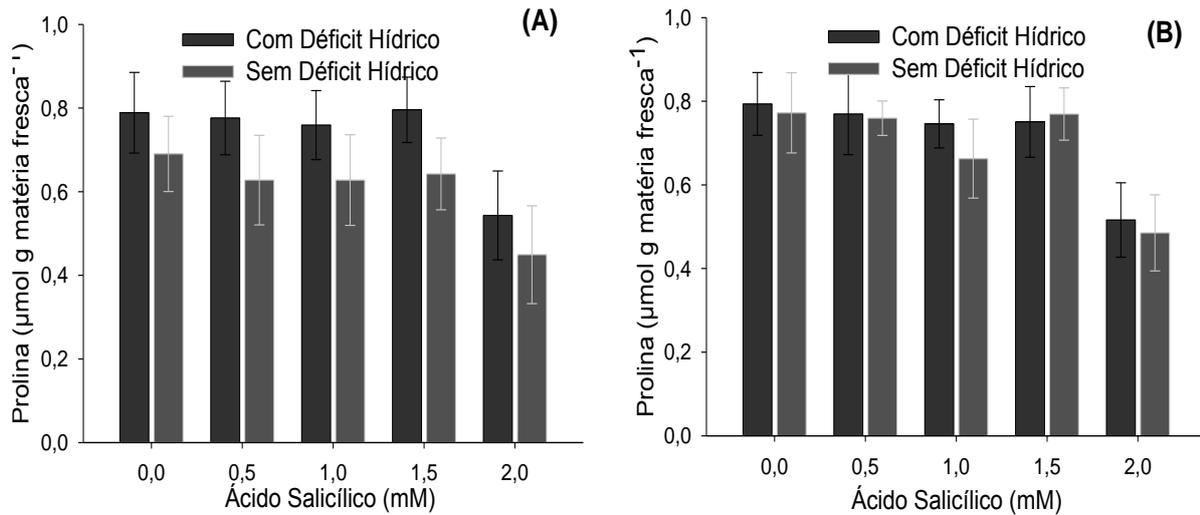


Figura 16. Conteúdo de prolina livre (PROL) em genótipos de feijoeiro Pingo de Ouro-1-2 (A) e BRS Paraguaçu (B) sob aplicação de ácido salicílico em condições de cultivo com e sem déficit hídrico. As colunas representam os valores médios do genótipo em cada tratamento e condição de cultivo. As barras verticais representam o erro-padrão da média. Campina Grande, 2016.

4.5. Avaliações de produção

Quantificou-se no genótipo BRS Paraguaçu, número de vagens (NV) significativamente maior (22%) do que o Pingo de Ouro-1-2 (Figura 17A). Os valores médios em número de vagens variaram de 14,03 a 18,13 vagens por planta, para os genótipos Pingo de Ouro-1-2 e BRS Paraguaçu, respectivamente. Silva (2011), ao estudar características agrônômicas e qualidade de sementes de diferentes genótipos de feijão-caupi, observou que o genótipo BRS Paraguaçu apresentou maior número de vagens por planta comparando com as cultivares BRS Guariba e BRS Potengi, com valor médio de 15,14 vagens por planta, de modo semelhante ao que se constatou no presente trabalho.

O comprimento de vagem (CV) também foi significativamente maior (6,6%) no genótipo BRS Paraguaçu quando comparado ao genótipo Pingo de Ouro-1-2 (Figura 17B). Os valores variaram de 14,41 a 15,50 cm, os quais corresponderam aos genótipos Pingo de Ouro-1-2 e BRS Paraguaçu, respectivamente.

O comprimento da vagem das cultivares foi inferior ao padrão comercial de 20 cm, proposto por Silva e Oliveira (1993), assim como no trabalho realizado por Silva e Neves (2011), nos quais se observou média do comprimento das vagens do genótipo BRS Paraguaçu, entre outras cultivares, também abaixo de 20 cm. Souza (2013), avaliando os componentes de produção de

linhagens selecionadas de feijão-caupi observou que o genótipo Pingo de Ouro-1-2 também tinha média menor que 20 cm para esse componente de produção.

Em sistemas de produção, vagens grandes são almejavéis para a colheita manual, para as colheitas semimecanizadas e mecanizadas, vagens grandes e elevado número de grãos não são tão importantes, visto que vagens menores com menor número de grãos e, conseqüentemente, mais leves, são preferidas, pois permitem melhor sustentação, reduzindo a possibilidade de dobramento e quebra do pedúnculo. Por serem mais leves, as vagens ficam menos sujeitas a encostar ao chão, o que reduz a possibilidade de ocorrência de perdas por apodrecimento (SILVA e NEVES, 2011a).

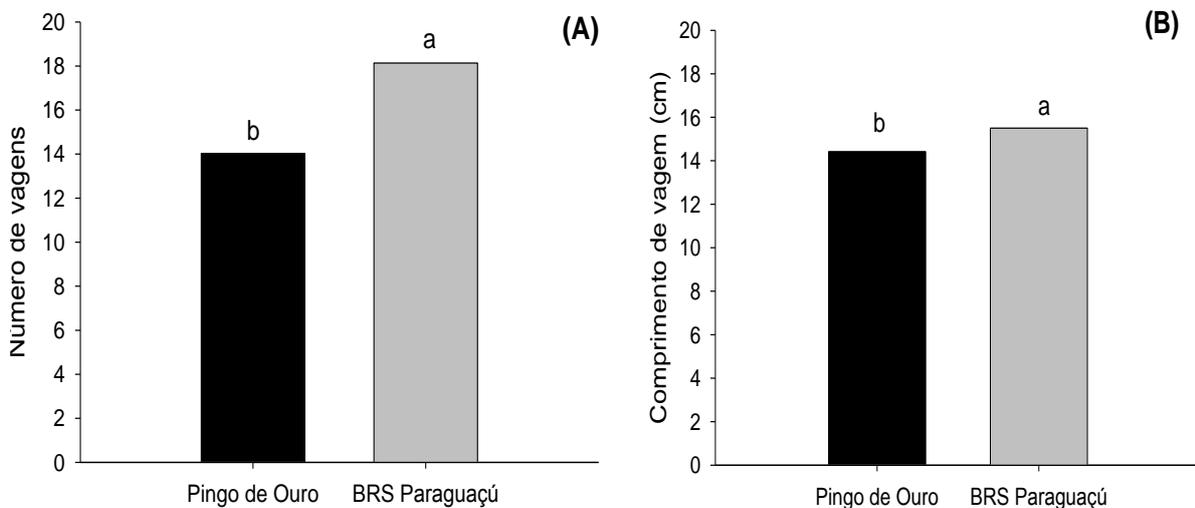


Figura 17. Número de vagens (A) e comprimento de vagens (B) de genótipos de feijoeiro Pingo de Ouro-1-2 e BRS Paraguaçu. Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa pelo teste t ($P < 0,05$). Campina Grande, 2016.

Não houve influência do AS no peso de vagem (PV), entretanto, verificou-se diferença significativa entre os genótipos e não significativa entre condições de regime hídrico para esta variável (Figura 18).

Observa-se que ambos os genótipos não apresentaram PV reduzido quando em condições de déficit hídrico, ou seja, não houve diferença significativa no PV entre às condições de regime hídrico, isso pode ser justificado pelo déficit hídrico aplicado apenas durante a fase vegetativa. Porém, houve diferença significativa no PV quando na comparação dos genótipos. Dessa forma, no genótipo Pingo de Ouro-1-2 verificou-se PV significativamente maior em relação à BRS Paraguaçu em ambas as condições. A diferença foi de 0,33 g sob déficit hídrico, o que corresponde a 6,2% do peso.

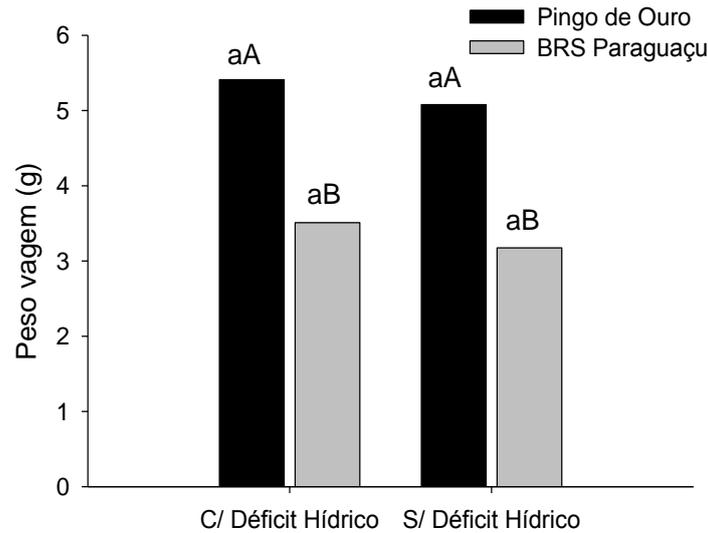


Figura 18. Peso de vagens de genótipos de feijoeiro Pingo de Ouro-1-2 e BRS Paraguaçu, sob condições de cultivo com e sem déficit hídrico. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre genótipos e minúsculas diferença significativa entre condições de regime hídrico, pelo teste t ($P < 0,05$). Campina Grande, 2016.

O uso do AS influenciou no número de grãos por vagem (NG) nas plantas de feijão-caupi de ambos os genótipos, nas duas condições de regime hídrico, no qual se constatou resposta quadrática a esse fator no estágio reprodutivo.

O NG do genótipo Pingo de Ouro-1-2 foi significativamente diminuído em condições de déficit hídrico e a aplicação do AS promoveu uma resposta quadrática em relação as concentrações (Figura 19A). Nas plantas submetidas ao déficit hídrico (CE), o número máximo encontrado foi de 8,36 grãos, obtido na concentração de 1,11 mM de AS, resultando em um aumento de 13,83% quando comparado ao tratamento sem AS. Nas plantas sem estresse hídrico (SE), o ponto máximo foi 10,92 grãos, o qual foi apresentado na concentração de 0,93 mM de AS, refletindo em aumento de 24,60% em relação àquelas tratadas sem AS.

Além disso, a aplicação do AS promoveu uma resposta quadrática em condições de déficit hídrico e linear crescente em condições de regime hídrico normal (Figura 19B) para o genótipo BRS Paraguaçu. Nas plantas submetidas ao déficit hídrico (CE), o número máximo encontrado foi de 10,99 grãos, obtido na concentração de 0,97 mM de AS, no qual representou aumento de 19,1% em relação àquelas tratadas sem AS. Nas plantas sem déficit hídrico (SE), a taxa de incremento no número de grãos foi de 1,56 para cada 0,5 mM de AS, apresentando \cong 12 grãos por vagem na concentração de 2 mM.

O número de grãos por vagem é uma variável importante para a seleção de cultivares, uma vez que possui relação direta com a produtividade de grãos (DUTRA et al., 2015). Nesse contexto,

a aplicação do AS na concentração adequada tem grande importância para garantir uma maior produtividade da cultura. Acrescente-se, ainda, que a aplicação do AS na concentração de $\cong 1,0$ mM promoveu um ganho para essa variável de produção.

O diâmetro de grãos (DG) do genótipo Pingo de Ouro-1-2 foi significativamente diminuído em condições de déficit hídrico, podendo ser justificado pelo fato de que o enchimento do grão resulta da utilização dos fotoassimilados estocados em partes vegetativas da planta e produzidos através da fotossíntese. Logo, como o déficit hídrico foi aplicado durante a fase vegetativa, a produção de grãos é diretamente afetada, pois a menor massa vegetativa possui menor capacidade fotossintética, resultando em aborto dos sacos embrionários, distúrbios na meiose, aborto das vagens novas durante a fase de florescimento, refletindo diretamente no rendimento. Entretanto, é importante salientar que não é somente o tamanho do grão que determina o sucesso de uma cultivar, mas também outras características, como a produtividade e a resistência da cultivar a fatores bióticos e abióticos.

A aplicação do AS promoveu uma resposta quadrática com ponto mínimo em relação as concentrações de AS (Figura 19C), isso pode ter ocorrido devido a aplicação do AS ter sido apenas no início da fase vegetativa, levando-se a constatar que o efeito benéfico da aplicação do AS é pontual e não a longo prazo.

Nas plantas do genótipo Pingo de ouro-1-2 submetidas ao déficit hídrico (CE), o DG mínimo encontrado foi de 5,41 mm, obtido na concentração de 0,93 mM de AS, resultando em uma diminuição de 7,67% quando comparado ao tratamento sem AS. Nas plantas sem déficit hídrico (SE), o ponto mínimo foi 6,28 mm, o qual foi apresentado na concentração de 0,9 mM de AS, representando uma diminuição de 1,87% em relação àquelas sem AS.

O DG do genótipo BRS Paraguaçu foi significativamente alterado em condições de déficit hídrico. A aplicação do AS promoveu uma resposta de comportamento quadrático com ponto de mínimo em condições de déficit hídrico e linear decrescente em condições de regime hídrico normal (Figura 19D). Nas plantas submetidas ao déficit hídrico (CE), o diâmetro mínimo encontrado foi de 4,73 mm, obtido na concentração de 0,96 mM de AS. Nas plantas sem déficit hídrico (SE), a taxa de decréscimo no diâmetro de grãos foi de 0,211 para cada 0,5 mM de AS, apresentando $\cong 4,8$ mm na concentração de 2 mM.

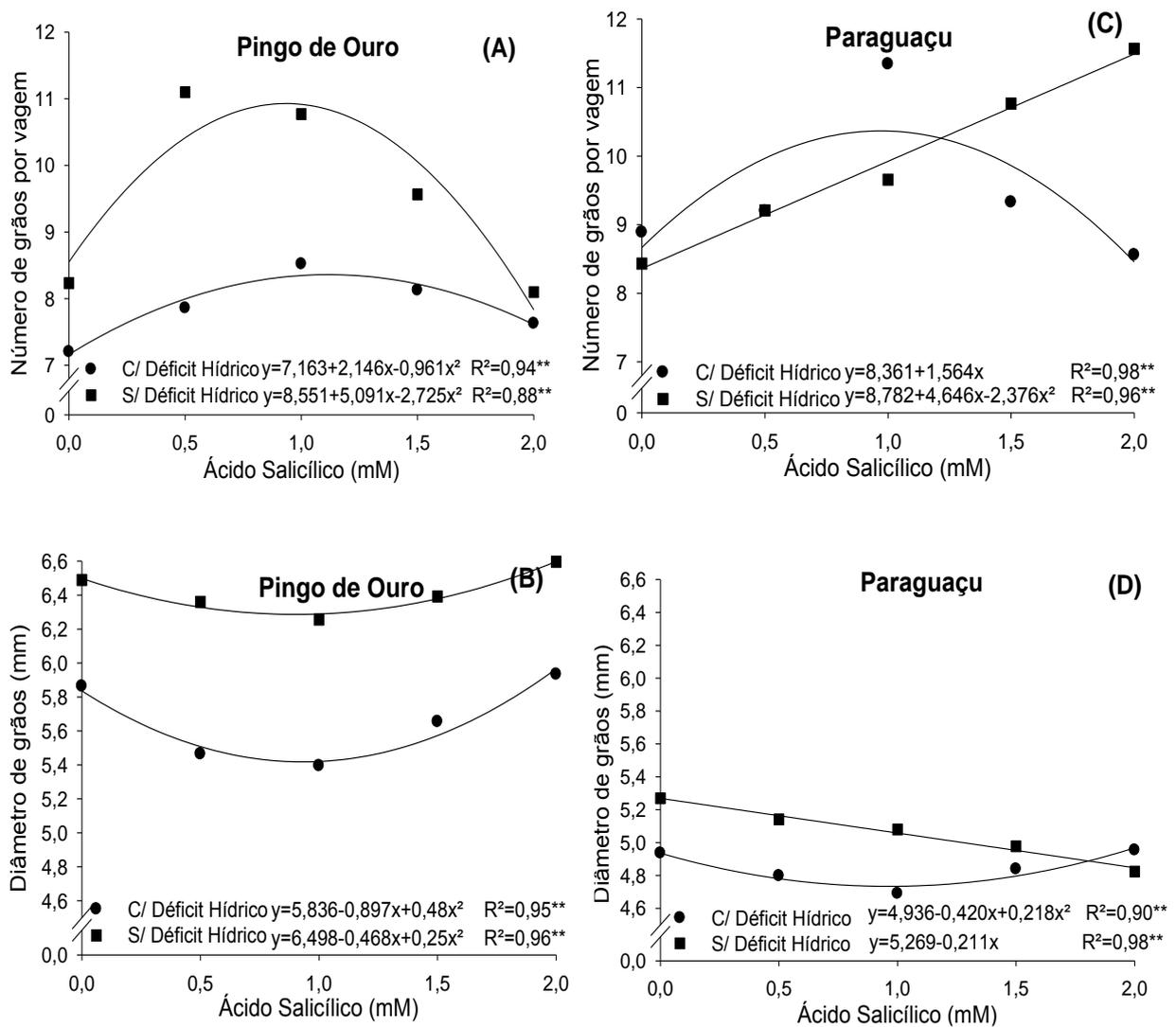


Figura 19. Número de grãos por vagem (A e C) e diâmetro de grãos (B e D) de genótipos de feijoeiro Pingo de Ouro-1-2 e BRS Paraguaçu, em resposta à aplicação de ácido salicílico, no estágio de desenvolvimento E3, sob condições cultivo com e sem déficit hídrico. Campina Grande, 2016.

A utilização do AS não influenciou no peso de 100 sementes (P100), entretanto houve interação entre os fatores regime hídrico (EH) e o genótipo (GEN) (Figura 20A).

Observa-se que o déficit hídrico não afetou o P100 no genótipo BRS Paraguaçu, ou seja, não houve diferença significativa no P100 entre as condições de regime hídrico para este genótipo. A variação foi de 24,66 a 26,83 gramas, correspondentes à condição de com ou sem déficit, respectivamente. Porém, apresentou P100 significativamente menor quando comparado com o genótipo Pingo de Ouro-1-2.

No genótipo Pingo de Ouro-1-2, o P100 foi reduzido em função do déficit hídrico, apesar de ser superior ao encontrado no genótipo BRS Paraguaçu. A diminuição foi de 1,65 % no P100, quando cultivada nesta condição, tendo os valores oscilado entre 14,85 e 15,10 gramas.

Ao se comparar os genótipos estudados, verificou-se uma maior expressividade quanto ao P100 em Pingo de Ouro-1-2, entretanto sofreu pequena redução para esta variável quando submetida ao déficit hídrico, o que não foi observado no genótipo BRS Paraguaçu. Essa maior expressão no P100 do genótipo Pingo de Ouro-1-2, assim como a redução que teve quando submetida ao déficit hídrico no P100 pode ser justificada pelas próprias características morfológicas do grão de cada genótipo, tendo em vista que o grão do Pingo de Ouro-1-2 é consideravelmente maior do que o grão do BRS Paraguaçu.

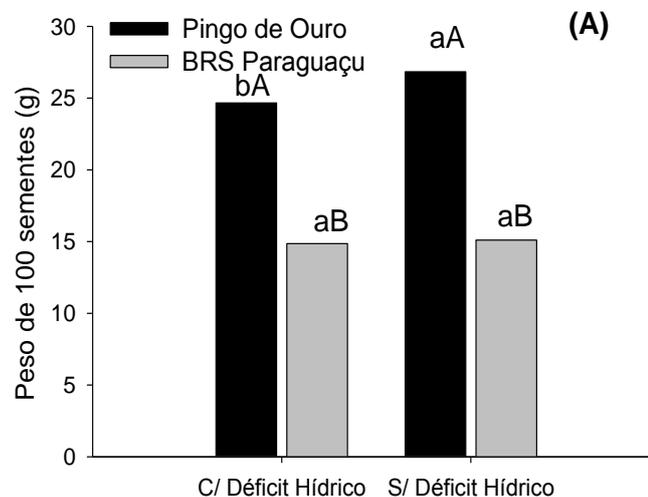


Figura 20. Peso de 100 sementes de feijoeiro dos genótipos Pingo de Ouro-1-2 e BRS Paraguaçu, sob condições de cultivo com e sem déficit hídrico. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre genótipos e minúsculas diferença significativa entre condições de regime hídrico, pelo teste t ($P < 0,05$). Campina Grande, 2016.

O déficit hídrico afetou a produtividade média de grãos (PRD) de ambos os genótipos (Figura 21). A PRD nas plantas sem déficit hídrico foi de 12,02 g por planta, enquanto sob déficit hídrico foi de 9,71 g por planta. Essa perda de aproximadamente 20% na produtividade dos grãos pode ser justificada pelas alterações que a planta, em situação de estresse, sofreu em processos metabólicos, dentre as quais, redução na expansão celular, redução da área foliar e por consequência da taxa fotossintética, da condutância estomática, resultando no seu comprometimento reprodutivo (CHAVES et al., 2002).

Sem déficit hídrico, notou-se uma variação de 23,14% entre a menor (11,66 g por planta) e a maior (15,17 g por planta) produtividade nos genótipos. Os valores de PRD sob déficit hídrico

variaram de 7,75 a 8,87 g por planta, correspondentes a uma diferença de 12,63% entre os genótipos.

Comparando a PRD entre os genótipos, observou-se que o BRS Paraguaçu apresentou produtividade significativamente superior a Pingo de ouro-1-2, nas duas condições hídricas (Figura 21). O BRS Paraguaçu apresentou maior comprimento das vagens e maior número de vagens o que refletiu diretamente na produtividade dos grãos.

Embora o genótipo Pingo de Ouro-1-2 tenha tido menor produtividade, observa-se que o mesmo apresentou maior tolerância ao déficit hídrico, visto que comparando-o nas condições hídricas, a perda na produtividade foi menor do que a perda conferida pelo genótipo BRS Paraguaçu nas mesmas condições hídricas.

De acordo com os dados deste trabalho, pode-se observar que a aplicação do AS no início da fase vegetativa conferiu um aumento tanto na taxa fotossintética quanto na condutância estomática, bem como na altura da planta e na área foliar, entretanto ressalta-se a importância de novos estudos acerca da aplicação do AS como atenuado do estresse em outras fases fenológicas, como por exemplo no início da fase reprodutiva, para verificar se a atuação do AS sobre os parâmetros de produção é mais efetiva.

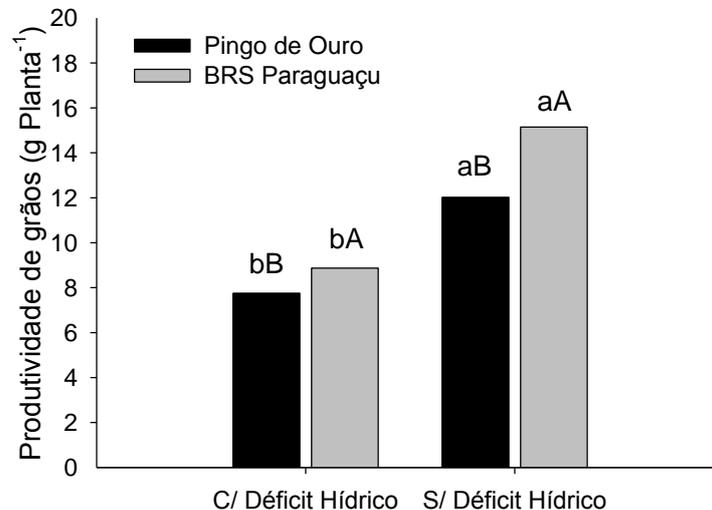


Figura 21. Produtividade de grãos de genótipos de feijoeiro Pingo de Ouro-1-2 e BRS Paraguaçu, sob condições de cultivo com e sem déficit hídrico. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre genótipos e minúsculas diferença significativa entre condições de regime hídrico, pelo teste t ($P < 0,05$). Campina Grande, 2016.

4.6. Síntese dos resultados

Os dados da fotossíntese (A), da condutância estomática (g_s), da taxa transpiratória (E) e do potencial hídrico foliar (Ψ_f) de ambos os genótipos estudados foram significativamente reduzidos em condições de déficit hídrico. A aplicação do AS promoveu uma resposta quadrática na fotossíntese, na condutância estomática e no potencial hídrico foliar em relação as concentrações de AS com pico em $\cong 1,0$ mM.

Quando as plantas estão sob déficit hídrico, vários processos desencadeiam a redução da taxa fotossintética, como o por exemplo o fechamento estomático que impede a entrada de CO_2 , reduzindo a fixação de carbono da fase bioquímica da fotossíntese; a turgescência da célula diminui, reduzindo a área foliar, influenciando na superfície de absorção de luz e conseqüentemente na fase fotoquímica da fotossíntese, já que o fóton é necessário para que haja o transporte de elétrons de um complexo protéico para outro. Logo, verifica-se a partir dos resultados dos dados de crescimento e fisiológicos que houve tais efeitos supracitados nas condições de déficit hídrico. Ressaltando o efeito benéfico do AS na concentração de $\cong 1,0$ mM para alguns desses parâmetros avaliados, evidenciando seu efeito atenuador do estresse.

As concentrações acima de 1,0 mM ocasionaram efeito contrário, onde de acordo com a literatura, uma das possíveis explicações é que o uso de concentrações elevadas de AS pode provocar ação inversa na fisiologia e metabolismo da planta, inibindo a produção de fotoassimilados nas folhas, reduzindo severamente a expansão da área foliar e a altura da planta, e por conseqüência redução da taxa fotossintética e da condutância estomática (ALMEIDA e VIEIRA, 2010).

Para as variáveis de crescimento, os resultados mostram que tanto no genótipo Pingo de Ouro-1-2 quanto no genótipo BRS Paraguaçu a altura das plantas, o número de folhas e a área foliar nas plantas foram significativamente reduzidas em condições de estresse hídrico em todos os estágios vegetativos avaliados, corroborado pelos dados da massa seca da parte aérea (MS), ao qual foi drasticamente reduzida quando submetido a condição de déficit hídrico em ambos os genótipos. A redução no crescimento da planta é resultado da depleção das trocas gasosas em decorrência do déficit hídrico. Ressalta-se, ainda, que o uso do AS aumentou consideravelmente variáveis de crescimento, como a altura e a área foliar de plantas de feijoeiro de ambos genótipos nas duas condições de regime hídrico, havendo um incremento nessas variáveis apenas quando a aplicação de AS foi até 1,0 mM, a partir desta concentração, o efeito foi contrário.

Quanto às variáveis (superóxido dismutase – SOD, catalase - CAT, ascorbato peroxidase - APX e prolina - PROL) verifica-se que o AS e sua interação com a condição de regime hídrico e

genótipos não promoveram efeito para nenhuma delas. A atividade da SOD, CAT e APX foi superior nas plantas submetidas a condições de déficit hídrico, quando da comparação com plantas em condições de regime normal. Os teores de prolina tiveram reduzida variação em relação as concentrações de AS. Podendo ser justificado pelo fato de que o mecanismo exato do modo de ação do ácido salicílico ainda é mal compreendido, podendo variar de acordo com época de aplicação, idade dos tecidos e da receptividade das proteínas receptoras, da severidade do estresse acometido bem como depender dos fatores ambientais (PÁL et al., 2014). Entretanto, em Pingo de Ouro-1-2 verificou-se um aumento do teor de prolina livre nas plantas sob déficit hídrico, conferiu-lhes uma maior tolerância ao déficit, visto que o acúmulo desse aminoácido é um mecanismo de osmorregulação, no intuito de proteger as estruturas celulares dos danos provocando durante o período de estresse

Como o déficit hídrico foi aplicado durante a fase vegetativa, a produção de grãos é diretamente afetada, pois a menor massa vegetativa possui menor capacidade fotossintética, resultando em aborto dos sacos embrionários, distúrbios na meiose, aborto das vagens novas durante a fase de florescimento, refletindo diretamente no rendimento.

No peso de 100 sementes (P100), não houve influência com a utilização do AS. Ao se comparar os genótipos estudados, verificou-se uma maior expressividade quanto ao P100 em Pingo de Ouro-1-2, entretanto sofreu pequena redução para esta variável quando submetida ao déficit hídrico, o que não foi observado no genótipo BRS Paraguaçu. Essa maior expressão no P100 do genótipo Pingo de Ouro-1-2, assim como a redução que teve quando submetida ao déficit hídrico no P100 pode ser justificada pelas próprias características morfológicas do grão de cada genótipo, tendo em vista que o grão do Pingo de Ouro-1-2 é consideravelmente maior do que o grão do BRS Paraguaçu.

Comparando a PRD entre os genótipos, BRS Paraguaçu apresentou produtividade significativamente superior a Pingo de ouro-1-2, nas duas condições hídricas. O BRS Paraguaçu apresentou maior comprimento das vagens e maior número de vagens o que refletiu diretamente na produtividade dos grãos.

Embora o genótipo Pingo de Ouro-1-2 tenha tido menor produtividade, observa-se que o mesmo apresentou maior tolerância ao déficit hídrico, visto que comparando-o nas condições hídricas, a perda na produtividade foi menor do que a perda conferida pelo genótipo BRS Paraguaçu nas mesmas condições hídricas.

5. CONCLUSÕES

A aplicação foliar de AS na fase vegetativa na concentração de 1,0 mM propicia benefícios em parâmetros fisiológicos nas plantas de feijão-caupi.

A atividade das enzimas antioxidantes aumenta nos genótipos de feijoeiro sob déficit hídrico, porém sem benefícios da aplicação foliar de AS.

O acúmulo de prolina em condições de déficit hídrico, mesmo sem ser significativo, confere ao Pingo de Ouro-1-2 maior tolerância ao estresse, comparado ao BRS Paraguaçu.

O genótipo Pingo de Ouro-1-2 teve menor produtividade comparado ao BRS Paraguaçu, entretanto apresenta maior tolerância ao déficit hídrico.

A aplicação do ácido salicílico na fase vegetativa atenua o déficit hídrico moderado em feijão-caupi.

6. REFERÊNCIAS

AGOSTINI, E. A. T.; MACHADO-NETO, N. B.; CUSTÓDIO, C. C. Induction of water deficit tolerance by cold shock and salicylic acid during germination in the common bean. **Acta Scientiarum**, v. 35, n. 2, p. 209-219, 2013.

AIDAR, H. et al. **Sistema de produção do feijoeiro comum em várzeas tropicais: época de plantio**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. 305 p. (Circular Técnica, 55)

AGARWAL, S. et al. Changes in antioxidant enzymes activity and oxidative stress by abscisic acid and salicylic acid in wheat genotypes. **Biologia Plantarum**, v. 49, n. 4, p. 541-550, 2005

AKCAY, U. C. et al. Drought-induced oxidative damage and antioxidant responses in peanut (*Arachis hypogaea* L.) seedlings. **Plant Growth Regulation**, v. 61, n. 01, p. 21-28, 2010.

ALMEIDA, A. Q.; VIEIRA, E. L. Gibberellin action on growth, development and production of tobacco. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 9, n. 1, p. 45-57, 2010.

ANJUM, S.A. et al. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. **African Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. 9, p. 2026-2032, 2011

ARTECA, R.N. **Plant growth substances; principles and applications**. New York, Chapman; Hall, 332p, 1995.

ASHRAF, M.; FOOLAD, M. R. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. **Environmental and Experimental Botany**, v. 59, n. 2, p. 206-216, 2007.

ASHRAF, M.; HARRIS, P.J.C., Photosynthesis under stressful environments: An overview. **Photosynthetica**, v. 51, n. 2, p. 163-190, 2013.

ASHRAF, M.; AKRAM, N.A.; ALQURAINY, F.; FOOLAD, M.R. **Drought tolerance: roles of organic osmolytes, growth regulators, and mineral nutrients.** *Advances in Agronomy*, v. 111, p. 249-296, 2011.

BANDURSKA, H.; STROINSKI, A. The effect of salicylic acid on barley response to water deficit. *Acta Physiologia Plantarum*, v. 27, n. 3b, p. 379-386, 2005.

BARBOSA, M. R.; SILVA, M. M. A.; WILLADINO, L.; ULISSES, C.; CAMARA, T. R. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. *Ciências Agrárias*, v. 44, n. 3, p. 453-460, 2014.

BASTOS, A. E.; NASCIMENTO, S. P.; SILVA, E, M.; FREIRE FILHO, F. R.; GOMID, R.L. Identification of cowpea genotypes for drought tolerance. *Revista Ciência Agronômica*, v. 42, n. 1, p. 100-107, 2011.

BASTOS, E.A.; RAMOS, H.M.M.; ANDRADE JUNIOR, A.S.; NASCIMENTO, F.N.; CARDOSO, M.J. Parâmetros fisiológicos e produtividade de grãos verdes do feijão-caupi sob déficit hídrico. *Water Resources and Irrigation Management*, v. 1, n. 1, p. 31-37, 2012.

BATES, L.S.; WALDREN, R.P.; TEARE, I.D. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, v. 39, n.1, p. 205–207, 1973.

BEAUCHAMP, C.; FRIDOVICH, I. Superoxide dismutase improved assays and assay applicable to acrylamide gels. *Analytical Biochemistry*, v. 44, n.1, p. 276-287, 1971.

BEEBE, S.E.; RAO, I.M.; BLAIR, M.W.; ACOSTA-GALLEGOS, J.A. Phenotyping common beans for adaptation to drought. *Front Plant Physiology*, v. 4, n. 35, p. 1–20, 2013.

BELKO, N.; ZAMAN-ALLAH, M.; DIOP, N.N.; CISSE, N.; ZOMBRE, G.; EHLERS J.D.; VADEZ, V. Restriction of transpiration rate under high vapor pressure deficit and non-limiting water conditions is important for terminal drought tolerance in cowpea. *Plant Biology*, v. 15, n. 2, p. 304–316, 2013.

BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. **Análises químicas e bioquímicas em plantas**. Recife: UFRPE, 2011. 267 p.

BIDESHKI A.; ARVIN, M.J. Effect of salicylic acid (SA) and drought stress on growth, bulb yield and allicin content of garlic (*Allium sativum*) in field. **Plant Ecophysiology**. v. 2, n. 2, p. 73-79, 2010.

BIDOIA, M. A. P.; SANTOS, D. M. M.; MARIN, A.; LANDELL, M. G. A.; BANZATTO, D. A.; CAZETTA, J. O. Efeito da deficiência hídrica no acúmulo de prolina livre em cana-de-açúcar, em diferentes períodos de desenvolvimento. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v. 24, n. 5, p. 6-9, 2006.

BOYER, J. S. **Water deficits and photosynthesis**. In: Kozlowski, T.T. (ed.) Water deficits and plant growth. New York: Academic Press, v. 4, p. 154-191, 1978.

BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, n. 7, p. 248-254, 1976.

BRAY, E. A.; BAILEY-SERRES, J.; WERETILNYK, E. Responses to abiotic stress. In: Buchanan, B.; Gruissem, W.; Jones, R. (eds). *Biochemistry & Molecular Biology of Plants*. 3a Impressão. 2001. **American Society of Plant Physiologists, Rockville**, Cap. 22, p. 1167-1168.

BRITO, R.R.; GRASSI FILHO, H.; CURY, J.C. OLIVEIRA, S.R.M. Produtividade do feijoeiro sob diferentes potenciais matriciais e fatores de depleção da água no solo. **Nativa**, v. 03, n. 02, p. 109-114, 2015.

BRITO, M. M.P.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C. da. Marcha de absorção do nitrogênio do solo, do fertilizante e da fixação simbiótica em feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L) Walp.) e feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) determinada com o uso de N. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 3, n. 4, p. 895-905, 2009.

CAMPOS, F.L.; FREIRE FILHO, F.R.; LOPES, A.C. de A.; RIBEIRO, V.Q.; SILVA, R.Q.B. da; ROCHA, M. de M. Ciclo fenológico em caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.): uma proposta de escala de desenvolvimento. **Revista Científica Rural**, v. 5, n. 2, p. 110-116, 2000.

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, F. E. L.; RIBEIRO, C. W.; MARTINS, M. O.; BONIFACIO, A.; STASTSC, C. C.; ANDRADE, C. M. B.; CERQUEIRA, J. V.; PINHEIRO, M. M.; SILVEIRA, J. A. G. Cytosolic APX knockdown rice plants sustain photosynthesis by regulation of protein expression related to photochemistry, Calvin cycle and photorespiration. **Physiologia Plantarum**, Blacksburg, v. 150, n. 4, p. 632-645, 2014.

CEPA/EPAGRI **Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina - 2009/2010**. Florianópolis/SC. Disponível em: Acesso em 15 ago. 2012: EPAGRI/CEPA, 315 p., 2011.

CHAVES, M.M.; OLIVEIRA, M.M. Mechanisms underlying plant resilience to water deficit: prospects for water-saving agriculture. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, n. 407, p. 2365-2384, 2004

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

CLAVEL, D.; DRAME, N.K.; ROY-MACAULEY, H.; BRACONNIER, S.; LAFFRAY, D. Analysis of early responses to drought associated with field drought adaptation in four Sahelian groundnut (*Arachis hypogaea* L.) cultivars. **Environment and Experimental Botany**, v. 54, n. 3, p. 219–230, 2005.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos**, v. 2-Safra 2014/2015, n. 5- quinto levantamento, Brasília-DF, 116p. fev. 2015.

CORDEIRO, Y. E. M.; PINHEIRO, H. A.; Filho, B. G. S.; CORREA, S. S.; SILVA, J. R. R. E.; FILHO, M. B. D. Physiological and morphological responses of young mahogany (*Swietenia macrophylla* King) plants to drought. **Forest ecology and management**, v. 258, p. 1449-1455, 2009.

COSTA, R. C. L.; LOBATO, A. K. S.; SILVEIRA, J. A. G.; LAUGHINGHOUSE, H. D. ABA mediated proline synthesis in cowpea leaves exposed to water deficiency and rehydration. **Turkish Journal of Agriculture & Forestry**, v. 35, n. 3, p. 309-317, 2011.

DAMATTA, F.M.; CHAVES, A.R.M.; PINHEIRO, H. A.; DUCATTI, C.; LOUREIRO, M.E. Drought tolerance of two field-grown clones of *Coffea canephora*. **Plant Science**, v. 164, n. 1, p. 111-117, 2003.

DEGÁSPARI, C.H; WASZCZYNSKYJ, N. **Visão Acadêmica**, v. 5, n. 1, p. 33- 40, 2004.

DOMICIANO, G.P.; ALVES, A.A.; LAVIOLA, B.G.; CONCEIÇÃO, L.D.H.C.S. Parâmetros genéticos e diversidade em progênies de Macaúba com base em características morfológicas e fisiológicas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 9, p. 101-113, 2015.

DUTRA, A.F.; MELO, A.S.; FILGUEIRAS, L.M.B.; SILVA, A.R.F.; OLIVEIRA, I.M.; BRITO, M.R.B. Parâmetros fisiológicos e componentes de produção de feijão-caupi cultivado sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v. 10, n. 2, p. 189-197, 2015.

DUTRA, W.F. **Ácido salicílico como indutor de tolerância ao déficit hídrico nas fases de germinação e crescimento inicial de feijão-caupi**. Campina Grande, 2015. 45-55p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Universidade Estadual da Paraíba/Embrapa Algodão.

EVANS JR; CAEMMERER, S. Temperature response of carbon isotope discrimination and mesophyll conductance in tobacco. **Plant, Cell and Environment**, v. 36, n. 4, p. 745–756, 2013.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Base de dados Faostat**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>>. Acesso em: 15 de dezembro de 2015.

FAROOQ, M.; WAHID, A.; LEE, D. J.; CHEEMA, S. A.; AZIZ, T. Drought stress: comparative time course action of the foliar applied glycinebetaine, salicylic acid, nitrous oxide, brassinosteroids and spermine in improving drought resistance of rice. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 196, n. 5, p. 336-345, 2010.

FATOKUN, C.; O. BOUKAR, S.; MURANAKA. A.; CHIKOYE, D. Enhancing drought tolerance in cowpea. **African Crop Science Conference Proceedings**, v. 9, n. 1, p. 531–536, 2009.

FERREIRA, L. G. R.; COSTA, J. O.; ALBUQUERQUE, I. M. Estresse hídrico nas fases vegetativa e reprodutiva de dois cultivares de caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** v. 26, n. 7, p. 1049-1055, 1991.

FREIRE FILHO, F.R.; RIBEIRO, V.Q.; ROCHA, M. de M.; SILVA, K. J. D.; NOGUEIRA, M.S.R.; RODRIGUES, E.V. **Feijão-caupi do Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. Teresina-PI: Embrapa Meio-Norte, p. 84, 2011.

FREIRE FILHO, F. R. Origem, evolução e domesticação do caupi. In: ARAÚJO, J. P. P. de; WATT, E. E. (eds) **O caupi no Brasil**. Brasília: IITA/Embrapa, 1988. cap. 1, p. 27-46.

FRITCHE-NETO, R.; BORÉM, A. **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. Viçosa: Suprema, 2011. 250 p.

FURLAN, F.; SAATKAMP, K.; WIEST, M. C.; SANTOS, M. F.; VENDRUSCULO, E. C. G. Influência do potencial hídrico induzido por polietilenoglicol *in vitro* na morfologia do trigo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 3, p. 370-375, 2014.

GILL, S. S.; TUJELA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 48, n. 12, p. 909-930, 2010.

GONÇALVES, E.R.; FERREIRA, V.M.; SILVA, J.V.; ENDRES, L.; BARBOSA, T.P.; DUARTE, W.G. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 4, p. 287-299, 2010.

GONÇALVES, J.G.R. **Identificação de linhagens de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) tolerantes à seca**. Campinas-SP, 2013. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, Instituto Agrônômico.

HAYAT, S.; HAYAT, Q.; IRFAN, M.; AHMAD, A. Growth of tomato (*Lycopersicon esculentum*) in response to salicylic acid under water stress. **Journal of Plant Interactions**, v. 3, n. 4, p. 297-304, 2008.

HAYAT, Q.; HAYAT, S.; IRFAN, M.; AHMAD, A. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. **Environmental and Experimental Botany**, v. 68, n. 1, p. 14-25, 2010.

HOAI, N.T.T.; SHIM, I.S.; KOBAYASHI, K.; KENJI, U. Accumulation of some nitrogen compounds in response to salt stress and their relationships with salt tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. **Plant Growth Regulation**, v. 41, n. 2, p. 159-164, 2003.

HONGBO, S.; ZONGSUO, L.; MINGAN, S. Osmotic regulation of 10 wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes at soil water deficits. **Biointerfaces**, v. 47, n. 2, p. 132-139, 2006.

HORVÁTH, E.; PÁL, M.; SZALAI, G.; PÁLDI, E.; JANDA, T. Exogenous 4-hydroxybenzoic acid and salicylic acid modulate the effect of short term drought and freezing stress on wheat plants. **Plant Biology**, v. 51, n. 3, p. 480-487, 2007.

HUSSAIN, M.; MALIK, M.A.; FAROOQ, M.; ASHRAF, M.Y.; CHEEMA, M.A. Improving Drought tolerance by exogenous application of glycinebetaine and salicylic acid in sunflower. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 194, n. 3, p. 193-199, 2008.

KHAN, W.; PRITHVIRAJ, B.; SMITH, D. L. Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. **Journal of Plant Physiology**, v. 160, n. 5, p. 485-492, 2003.

KANG, G.; LI, G.; GUO, T. Molecular mechanism of salicylic acid-induced abiotic stress tolerance in higher plants. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 36, n. 9, p. 2287-2297, 2014.

KARLIDAG, H.; YILDIRIM, E.; TURAN, M. Salicylic acid ameliorates the adverse effect of salt stress on strawberry. **Scientia Agricola**, v. 66, n. 2, p. 180-187, 2009.

KARUPPANAPANDIAN, T.; WANG, H.; PRABAKARAN, N.; JEYALAKSHMI, K.; KWON, M.; MANOHARON, K.; KIM, W. 2,4-dichlorophenoxyacetic acid-induced leaf senescence in mung bean (*Vigna radiata* L. Wilczek) and senescence inhibition by co-treatment with silver nanoparticles. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 49, n. 2, p. 168–177, 2011.

KAVI KISHOR, P. B.; SANGAM, S.; AMRUTHA, R. N.; SRI LAXMI, P.; NAIDU, K. R.; RAO, K. R. S. S.; RAO, S.; REDDY, K. J.; THERIAPPAN, P.; SREENIVASULU, N. Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: Its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. **Current Science**, v. 88, n. 3, p. 424-438, 2005.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2009. 452 p.

KHAN, W.; PRITHIVIRAJ, B.; SMITH, D. L. Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. **Journal of Plant Physiology**, v. 160, n. 5, p. 485-492, 2003.

KOSHIBA, T. Cytosolic ascorbate peroxidase in seedlings and leaves of maize (*Zea mays*). **Plant and Cell Physiology**, v. 34, n. 5, p. 713-721, 1993.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. Tradução: Prado, C. H. B. A. São Carlos: Ed. Rima, 531p, 2006.

LISAR, S. Y. S.; MOTAFAKKERAZAD, R.; HOSSAIN, M. M.; RAHMAN, I. M. M. **Water stress in plants: causes, effects and responses**. In RAHMAN, I. M. M, Water Stress, Rijeka: INTECH, p. 1-14, 2012.

LIU, C.; GUO, J.; CUI, Y.; LÜ, T.; ZHANG, X.; SHI, G. Effects of cadmium and salicylic acid on growth, spectral reflectance and photosynthesis of castor bean seedlings. **Plant and Soil**, v. 344, n. 1-2, p. 131-141, 2011.

MAIA, J. M.; SILVA, S. L. F.; VOIGT, E. L.; MACÊDO, C. E. C. de; PONTE, L. F. A.; SILVEIRA, J. A. G. Atividade de enzimas antioxidantes e inibição do crescimento radicular de

feijão caupi sob diferentes níveis de salinidade. **Acta Botanica Brasilica**, v. 2, n. 26, p. 342-349, 2012.

MARDANI, H.; BAYAT, H.; SAEIDNEJAD, A.; REZAIE, E.E. Assessment of salicylic acid impacts on seedling characteristic of cucumber (*Cucumis sativus* L.) under water stress. **Notulae Scientiae Biologicae**, v. 4, n. 1, p. 112-115, 2012.

MCCUE, P.; ZHENG, Z.; PINKHAM, J.; SHETTY, K. A model for enhanced pea seedling vigour following low pH and salicylic acid treatments. **Processes Biochemistry**, v. 35, n. 6, p. 603-613, 2000.

MENESES, C. H. S. G.; LIMA, L. H. G. M.; LIMA, M. M. A.; VIDAL, M. S. Aspectos genéticos e moleculares de plantas submetidas ao déficit hídrico. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 10, n. 1-2, p. 1039-1072, 2006.

MITTLER, R.; VANDERAUWERA, S.; GOLLERY, M.; VAN BREUSEGEM, F. Reactive oxygen gene network of plants. **Trends in Plant Science**, v. 9, n. 10, p. 490–498, 2004.

MOHARRAMNEJAD, S.; VALIZADEH, M. Assessment of oxidative stress tolerance in red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedling under salinity. **International Journal of Agronomy and Agricultural Research**, v. 5, n. 6, p. 49-56, 2014.

MOLINARI, H. B. C. **Expressão estresse-induzida do gene p5cs em plantas transgênicas de cana-de-açúcar submetidas ao déficit hídrico**. Curitiba, 2006. 98p. Tese (Doutor em Ciências – Área de Concentração em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Paraná

MORAES, J.V. **Parâmetros biométricos, fisiológicos e bioquímicos em híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* sob diferentes regimes de irrigação em casa de vegetação**. São Paulo, 2011. 78p. Tese(doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias

MORAIS, H.; MARUR, C. J.; CARAMORI, P. H.; RIBEIRO, A. M. A.; GOMES, J. C. Características fisiológicas e de crescimento de cafeeiro sombreado com guandu e cultivado a pleno sol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 10, p. 35-40, 2003.

MUCHERO, W.; EHLERS, J.D.; CLOSE, T.J.; ROBERTS, P.A. Mapping QTL for drought stress induced premature senescence and maturity in cowpea. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 118, n. 5, p. 849–863, 2009.

MUNNÉ-BOSCH, S.; QUEVAL, G; FOYER, C. H. The Impact of Global Change Factors on Redox Signaling Underpinning Stress Tolerance. **Plant Physiology**, v. 161, n. 1, p. 5-19, 2013.

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidases in spinach chloroplast. **Plant and Cell Physiology**, v. 22, n. 5, p. 867-880, 1981.

NASCIMENTO, S.P.; BASTOS, E. A.; ARAÚJO, E.C.E.; FREIRE FILHO, F.R.; SILVA, E.M. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista brasileira de engenharia agrícola ambiental**, v. 15, n. 8, p. 8, 2011

NEVES JÚNIOR, E. S.; XAVIER, F. L. **Avaliação do desenvolvimento do feijão (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) cultivado em três texturas de solo na região de Imperatriz no estado Maranhão**. Imperatriz, 2010. 61p. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Biológicas, Área de concentração: Ciências Ambientais) Universidade de Ensino Superior do sul do Maranhão

NOGUEIRA, R.J.M.C.; MORAES, J.A.P.V; BURITY, H.A.; BEZERRA NETO, E. Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 13, n. 1, p. 75-87, 2001.

OLIVEIRA, A. D.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D. Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em Feijão. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 1, p. 86-95, 2005.

PADULOSI, S. **Genetic diversity, taxonomy, and ecogeographic survey of the wild relatives of cowpea (*Vigna unguiculata*)**. PhD Thesis, University of Louvain-La Neuve, Belgium, 1993.

PAIVA, J.B.; PITOMBEIRA, J.B.; BEZERRA, F.; ALMEIDA, F.C.G.; MACIEL, R.F.P. OLIVEIRA, H.G. de; QUEIROZ, G.M. de; PINHO, J.L.N. de; PAULA, A.F. de; BENEVIDES, E.C. **Feijão de corda**. Fortaleza: UFC-CCA, 1972. p. 14. Relatório Técnico.

PÁL, M.; KOVÁCS, V.; SZALAI, G.; SOÓS, V.; MA, X.; LIU, H.; MEI, H.; JANDA, T. Salicylic acid and abiotic stress responses in rice. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 200, n. 1, p. 1-11, 2014.

PEREIRA, W. P.; MELO FILHO, P. A.; ALBUQUERQUE, M. B.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; SANTOS, R. C. Mudanças Bioquímicas em Genótipos de Amendoim Submetidos a Déficit Hídrico Moderado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 4, p. 766-773, 2012.

PEREIRA, F. J. **Caracterização das modificações morfo-anatômicas e bioquímicas, em ciclos de seleção de milho saracura, para tolerância ao encharcamento do solo**. Lavras, 2008. 78 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Lavras

PIMENTEL, C.; SARR, B; DIOUF, O.; ABBOUD, A. C. S.; ROY-MACAULEY, H. Tolerância protoplasmática foliar à seca, em dois genótipos de caupi cultivadas em campo. **Revista Universo Rural**, v. 22, n. 1, p. 7-14, 2002.

PIMENTEL, C. **Respostas fisiológicas à falta d'água: limitação difusiva ou metabólica?** In: NOGUEIRA, R. J. M. C.; ARAÚJO, E. DE L.; WILLADINO, L.G.; CAVALCANTE, U. M. T.; (Ed.). Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, 2005. p. 13-21.

RAMOS, H. M. M. **Características produtivas, fisiológicas e econômicas do feijão caupi para grãos verdes sob diferentes regimes hídricos**. Teresina, 2011. 109p. Dissertação, Universidade Federal do Piauí (Agronomia, área de concentração: produção vegetal)

REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; MAESTRI, M. Crescimento e relações hídricas de mudas de *Eucalyptus grandis* e *E. camaldulensis* em tubetes sob três regimes de irrigação. **Revista Árvore**, v. 12, n. 2, p. 183-195, 1988.

RHEIN, A. F. L.; SANTOS, D. M. M.; CARLIN, S. D. Atividade da enzima redutase do nitrato e teores de prolina livre em raízes de cana-de-açúcar sob os estresses hídrico e ácido no solo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 4, p. 1345-1360, 2011.

RIZHISKY, L.; HALLAK-HERR, E.; VAN BREUSEGEM, F.; RACHMILEVITCH, S.; BARR, J.E. Double antisense plants lacking ascorbate peroxidase and catalase are less sensitive to oxidative stress than single antisense plants lacking ascorbate peroxidase or catalase. **Plant Journal**, v. 32, n. 3, p. 329-342, 2004.

SABOYA, R. C. C.; BORGES, P. R. S.; SABOYA, L. M. F.; MONTEIRO, F. P. R.; SOUZA, S. E. A.; SANTOS, A. F.; SANTOS, E. R. Response of cowpea to inoculation with nitrogen-fixing strains in Gurupi-TO. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 4, n. 1, p. 40-48, 2013.

SAGLAM, A.; SARUHAN, N.; TERZI, R.; KADIOGLU, A. The relations between antioxidant enzymes and chlorophyll fluorescence parameters in common bean cultivars differing in sensitivity to drought stress. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 58, n. 1, p. 60-68, 2011.

SENARATNA, T.; TOUCHELL, D.; BUNN, E.; DIXON, K. Acetyl salicylic acid (aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. **Plant Growth Regulation**, v. 30, n. 2, p. 157-161, 2000.

SHARMA, P.; JHA, A. B.; DUBEY, R. S.; PESSARAKLI, M. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. **Journal of Botany**, v. 2012, n. 1, p. 1-26, 2012.

SHI, Q.; BAO, Z.; ZHU, Z.; YING, Q.; QIAN, Q. Effects of different treatments of salicylic acid on heat tolerance, chlorophyll fluorescence, and antioxidant enzyme activity in seedlings of *Cucumis sativa* L. **Journal of Plant Physiology**, v. 52, n. 2, p. 793-800, 2005.

SILVA, F.G.; DUTRA, W.F.; DUTRA, A.F.; OLIVEIRA, I.M.; FILGUEIRAS, L.M.B; MELO, A.S. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 10, p. 946-952, 2015.

SILVA, A. L. J.; NEVES, J. Produção de feijão-caupi semi-prostrado em cultivos de sequeiro e irrigado. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 1, p. 29-36, 2011(a).

SILVA, P. S. L.; OLIVEIRA, C. N. Rendimentos de feijão verde e maduro de cultivares de caupi. **Horticultura Brasileira**, v. 11, n. 1, p. 133-135, 1993.

SILVA, A. R. F. **Componentes de produção e fisiológicos em ecótipos de *Vigna* sob reposição hídrica**. Campina Grande, 2014. 86p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Universidade Estadual da Paraíba/Embrapa Algodão.

SINGH, S. K.; REDDY, K. J. Regulation of photosynthesis, fluorescence, stomatal conductance and water-use efficiency of cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) under drought. **Journal of Photochemistry and Photobiology**, v. 105, n. 1, p. 40-50, 2011.

SINGH, B.; USHA, K. Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. **Plant Growth Regulation**, v. 39, n. 2, p. 137- 141, 2003.

SODEK, L. Metabolismo do nitrogênio. In: KERBAUY, G. B (Ed.). **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 2004. p. 94-113.

SONG, J.T.; LU, H.; MCDOWELL, J.M.; GREENBERG, J.T. A key role for ALD1 in activation of local and systemic defenses in *Arabidopsis*. **Plant Journal**, v. 40, n.2, p. 200–212, 2004.

SOUZA, A. A.; SILVA, K.J.D.; ROCHA, M. M.; SOUZA, V. B.; OLIVEIRA, M. B.; CARVALHO, A. J. **Componentes de produção de linhagens selecionadas de feijão-caupi de porte prostrado e semiprostrado no norte de Minas Gerais**. III CONAC (congresso nacional de feijão-caupi), 2013

STORK, L.; GARCIA, D. C.; LOPES, S. J.; ESTEFANEL, V. **Experimentação Vegetal**. 3ª ed. Santa Maria: Ed. UFSM, 2011. 200p.

SZEPESI, A.; CSISZAR, J.; BAJKAN, S.; GEMES, K.; HORVATH, F.; ERDEI, L.; DEER, A.K.; SIMON, M.L.; TARI, I. Role of salicylic acid pre-treatment on the acclimation of tomato plants to salt- and osmotic stress. **Acta Biologica Szegediensis**, v. 49, n. 1-2, p. 123-125, 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4ª Ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

TROVATO, M.; MATTIOLI, R.; COSTANTINO, P. Multipleroles of proline in plant stress tolerance and development. **Rendiconti Lincei**, v. 19, n. 4, p. 325-346, 2008.

VALDEZ, V., BERGER, J.D.; WARKENTIN, T.; ASSENG, S.; RATNAKUMAR, P.; RAO, K.P.C.; GAUR, P.M.; MUNIER-JOLAIN, N.; LARMURE, A.; VOISIN, A.S.; SHARMA, H.; PANDE, S.; SHARMA, M.; KRISHNAMURTHY, L.; ZAMAN-ALLAH, M. Adaptation of grain legumes to climatic change: A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 32, n.1, p. 31–44, 2012.

VASCONCELOS, A. C. F.; ZHANG, X.; ERVIN, E.H.; KIEHL, J. C. Respostas de enzimas antioxidantes a bioestimulantes em plantas de milho e de soja sob estresse hídrico. **Scientia Agricola**, v. 66, n. 3, p. 395-402, 2009.

VERBRUGGEN, N.; HERMANS, C. Proline accumulation in plants: a review. **Amino Acids**, v. 35, n. 4, p. 753 759, 2008.

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. In: XIII Congresso Brasileiro de Fisiologia Vegetal e XIV Reunião Latinoamericana de Fisiologia Vegetal, Búzios. **Anais**. Búzios: Brazilian Journal of Plant Physiology, 2011. v. 1. p. 62-63.

WU, C.; WANG, Q.; XIE, B.; WANG, Z.; CUI, J.; HU, T. Effects of drought and salt stress on seed germination of three leguminous species. **African Journal Biotechnology**, v. 10, n. 78, p. 17954-17961, 2011.

ZHENG, W.; WANG, S.Y. Antioxidant activity and phenolic compounds in selected herbs. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, n. 11, p. 5165-5170, 2001.

APÊNDICE

TABELA (AVALIAÇÕES FISIOLÓGICAS)

Tabela 4. Quadrado médio para as variáveis: fotossíntese (A), condutância estomática (gs), eficiência de uso da água (EU_{Ai}), relação Ci/Ca (Ci/Ca), transpiração (E) e potencial hídrico foliar (Ψ_f) em plantas de feijoeiro (genótipos) sob duas condições de regime hídrico em diferentes concentrações de ácido salicílico, nos dias 23, 32, 40 após a emergência (DAE). Campina Grande, 2016.

Quadrado médio (E1 - 23 DAE)							
FV	GL	A	Gs	EU _{Ai}	Ci/Ca	E	Ψ_f
EH	1	1525,50**	0,3755**	29022,18**	0,1602**	13,301**	0,22817**
GE	1	60,160**	0,00871*	23,405	0,01547	1,413	0,09283**
AS	4	9,494	0,00241	459,699	0,00419	0,225	0,8117**
EH*GE	1	4,234	0,00147	24,475	0,00010	1,335*	0,00384*
EH*AS	4	0,3688*	0,00104*	415,733	0,00319	0,394	0,03937*
GE*AS	4	7,805	0,00127	968,805	0,01024	0,258	0,01947*
EH*GE*AS	4	20,167*	0,00603*	1033,065	0,00968	0,257	0,00448*
Resíduo	38	6,403	0,00187	755,048	0,01173	0,372	0,01139
C.V (%)	-	22,80	31,61	27,77	24,37	27,08	9,83
Quadrado médio (E3 - 40DAE)							
EH	1	489,97**	0,05922**	91,782	0,1988*	5,759**	
GE	1	41,300**	0,00392**	600,52	0,1394	0,930**	
AS	4	2,349	0,00053	265,372	0,0138	0,0533	
EH*GE	1	11,970	0,00165	175,196	0,0992	0,7593	
EH*AS	4	3,060	0,00025	574,636	0,0218	0,0539	
GE*AS	4	1,163	0,00013	1090,92	0,0345	0,0447	
EH*GE*AS	4	2,200	0,00032	145,774	0,0283	0,0300	
Resíduo	38	4,064	0,00047	626,276	0,0418	0,5090	
C.V (%)	-	27,69	31,98	23,57	40,63	22,01	

FV= fator de variância, GL= grau de liberdade, EH= estresse hídrico, GE=genótipo, C.V= coeficiente de variação, **, * - Significativo a 1 e 5% respectivamente; ns – Não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

TABELA (AVALIAÇÕES DE CRESCIMENTO)

Tabela 5. Quadrado médio para as variáveis: altura da planta (AP), número de folhas (NF) e área foliar (AF) em plantas de feijoeiro (genótipos) sob duas condições de regime hídrico em diferentes concentrações de ácido salicílico, nos dias 23, 32, 40 após a emergência (DAE). Campina Grande, 2016.

FV	GL	AP	NF	AF
EH	1	25,013**	27,095**	105442,0**
GE	1	306,456**	6,895**	5926,6
AS	4	0,829*	0,153	1976,48
EH*GE	1	0,426	1,788*	1579,42
EH*AS	4	0,319	0,258	2693,7
GE*AS	4	0,784*	0,228	3423,2
EH*GE*AS	4	0,720*	0,329	8968,56**
Resíduo	38	0,234	0,257	2133,99
C.V (%)	-	3,66	12,16	25,23
EH	1	38,240**	41,666**	
GE	1	212,515**	80,180**	
AS	4	0,313	0,561	
EH*GE	1	0,511	12,403**	
EH*AS	4	1,270**	0,212	
GE*AS	4	0,503*	0,385	
EH*GE*AS	4	0,872**	0,723	
Resíduo	38	0,134	0,734	
C.V (%)	-	2,50	14,72	
EH	1	55,296**	13,537**	695847,5**
GE	1	134,400**	75,488**	77352,2**
AS	4	0,626	0,641	22542,9**
EH*GE	1	0,486	0,580	18381,6
EH*AS	4	3,207**	0,546	13369,2
GE*AS	4	1,601**	0,419	10694,1
EH*GE*AS	4	1,788**	0,123	8910,5
Resíduo	38	0,246	0,642	5189,6

C.V (%)	-	3,09	14,58	20,91
---------	---	------	-------	-------

FV= fator de variância, GL= grau de liberdade, EH= estresse hídrico, GE=genótipo, C.V= coeficiente de variação, **, * - Significativo a 1 e 5% respectivamente; ns – Não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

TABELA (ATIVIDADE DAS ENZIMAS ANTIOXIDANTES E PROLINA)

Tabela 6. Quadrado médio para as variáveis: catalase (CAT), ascorbatoperoxidase (APX), superóxido dismutase (SOD) e prolina (PROL) em plantas de feijoeiro (genótipos) sob duas condições de regime hídrico em diferentes níveis de ácido salicílico aos 40 dias após a emergência (DAE). Campina Grande, 2016.

		Quadrado médio (E1)			
FV	GL	CAT	APX	SOD	PROL
EH	1	3,43711	99,69925	0,05268	320,14891*
GEN	1	6,24012	4569,225**	0,00004	1889,35277**
AS	4	10,71585	382,1318	0,01207	37,61965
EH*GEN	1	0,21920	462,64876	0,00194	2,26053
EH*AS	4	0,92879*	69,03527	0,01379	47,04208
GEN*AS	4	9,81814	91,69923	0,00643	42,65256
EH*GEN*AS	4	13,16311	31,20268	0,02296	41,98924
Resíduo	38	8,93781	241,9596	0,01610	52,12909
C.V (%)	-	48,05	64,99	27,49	45,58
		Quadrado médio (E3)			
FV	GL	CAT	APX	SOD	PROL
EH	1	2,46678*	73,46208*	1,254*	0,62163*
GEN	1	3,12588*	4380,069*	0,0063	0,06683
AS	4	2,95179	368,0227	0,0251	0,07631
EH*GEN	1	7,98883	403,8219	0,0893	0,00050
EH*AS	4	3,89594	65,40933	0,1002	0,06533
GEN*AS	4	1,85207	80,92161	0,0627	0,14767
EH*GEN*AS	4	2,15938	21,49214	0,0232	0,07231
Resíduo	38	6,63473	244,4011	0,0501	0,14523
C.V (%)	-	71,72	64,82	41,2	23,69

FV= fator de variância, GL= grau de liberdade, EH= estresse hídrico, GE=genótipo, C.V= coeficiente de variação, **, * - Significativo a 1 e 5% respectivamente; ns – Não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

TABELA (AVALIAÇÕES DE PRODUÇÃO)

Tabela 7. Quadrado médios para as variáveis: número de vagens (NV), comprimento de vagem (CV), peso fresco da vagem (PV), peso de 100 sementes (P100), número de grãos (NG), diâmetro de grãos (DG), massa seca da parte aérea (MS) e produtividade de grãos (PRD) em plantas de feijoeiro (genótipos) sob duas condições de regime hídrico em diferentes níveis de ácido salicílico, a partir do 52º dia. Campina Grande, 2016.

FV	GL	Quadrado médio (52 DAE)							
		NV	CV	PV	P100	NG	DG	MS	PRD
EH	1	252,1**	4,25	1,672	13,92*	14,2**	0,51**	49,8**	2689030,37**
GEN	1	50,4*	17,7*	54,2**	1739,1**	17,6**	30,6**	0,42	434402,71**
AS	4	17,7	2,95	1,348	7,53*	1,60**	0,07**	3,21**	11000,579
EH*GE	1	0,150	4,97*	0,01**	21,9**	3,93**	0,03	0,01**	183895,71**
EH*AS	4	30,1**	0,54	1,295	2,16	1,32**	0,21**	2,36**	16451,24
GE*AS	4	3,62	1,32	1,437	14,5**	2,80**	0,12**	0,33	8427,88
EH*GE*AS	4	4,27	1,58	1,495	0,99	9,61**	0,26**	1,19	9935,67
Resíduo	38	7,61	1,20	0,817	2,33	0,16	0,008	0,57	8835,67
C.V (%)	-	17,15	7,33	21,06	7,51	4,50	5,67	28,33	28,05

FV= fator de variância, GL= grau de liberdade, EH= estresse hídrico, GE=genótipo, C.V= coeficiente de variação, **, * - Significativo a 1 e 5% respectivamente; ns – Não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.