



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS I  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE  
BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

**DUVAL CHAGAS DA SILVA**

**SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO CAUPI SOB CONDIÇÕES HÍDRICAS:  
DESEMPENHO AGRONÔMICO E FISIOLÓGICO**

CAMPINA GRANDE – PB

2016

**DUVAL CHAGAS DA SILVA**

**SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO CAUPI SOB CONDIÇÕES HÍDRICAS:  
DESEMPENHO AGRONÔMICO E FISIOLÓGICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em ciências biológicas da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em ciências biológicas.

Orientador: Prof. Dr. ALBERTO SOARES DE MELO

Coorientador: Msc. WELLISON FILGUEIRAS DUTRA

CAMPINA GRANDE – PB

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.

S586s Silva, Duval Chagas da  
Seleção de genótipos de Feijão Caupí sob condições hídricas: desempenho agrônomo e fisiológico [manuscrito] / Duval Chagas da Silva. - 2016.  
48 p. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em CIÊNCIAS BIOLÓGICAS) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, 2016.

"Orientação: Prof. Dr<sup>o</sup>. Alberto Soares de Melo, Departamento de Biologia".

1. Vignaungiculata (L.) Walp. 2. Déficit hídrico. 3. Indução de tolerância. I. Título.

21. ed. CDD 633.372

**DUVAL CHAGAS DA SILVA**

**SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO CAUPÍ SOB CONDIÇÕES HÍDRICAS:  
DESEMPENHO AGRONÔMICO E FISIOLÓGICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em ciências biológicas da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em ciências biológicas.

Aprovada em: 23/02/2016.

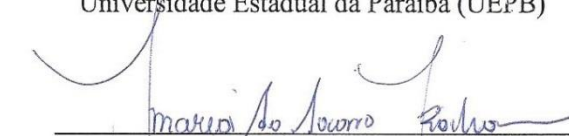
**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Dr. Alberto Soares de Melo (Orientador)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Carlos Henrique S. Meneses  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dra. Maria do Socorro Rocha  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Os meus pais, José Severino e Ana Fracisca.  
As meus irmãos, Damiana, Dorgival, Dorval, Josefa, Dalizângela e Dayane.  
E a todos os demais familiares e amigos.

**Dedico**

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, José Severino e Ana Francisca, pela educação e todo carinho, por acreditar em meus sonhos e não medir esforços para que estes possam ser alcançados.

As meus irmãos, Damiana, Dorgival, Dorval, Josefa, Dalizângela e Dayane, pelo carinho, atenção e por todos os conselhos.

Ao meu orientador Prof. Alberto, por todos os conselhos, paciência e por mostrar através do seu exemplo de vida que todos os nossos objetivos podem ser alcançados.

Ao meu coorientador Wellison, pela paciência e por todo o conhecimento transmitido que foi essencial para concluir meu trabalho.

A todos os integrantes do ECOLAB, Prof. Janivan, Wellison, Adriana, Raissa, Rebeca, Andrezza, Prof. Maria, Wellerson, Rosa, pela amizade e por dividir as atividades da pesquisa comigo.

Ao meus colegas de curso, Wellerson, Mário, Márcia, Nathálya, Katiane, Raissa, Lidayane, Ellynes, Rayane, Raiza, companheiros por mais de 4 anos nessa luta, pela amizade, incentivo e companheirismo.

A Universidade Estadual da Paraíba, pela oportunidade de realizar o curso.

Ao programa de residência universitária, pelo acolhimento e assistência.

Os meus amigos, Giderlânia, Raabe, Valdileide, Marlon minha segunda família, pela amizade, carinho, conselhos, por compartilhar momentos de grande alegria que me ajudou a suportar a falta da minha família e vencer mais essa etapa.

“Penso noventa e nove vezes e nada descubro;  
deixo de pensar mergulho em profundo silêncio  
– e eis que a verdade se me revela”.

(Albert Einstein)

“O resultado é visível, mais a intenção nunca é vidente;

Por isso, sempre pelo resultado é que julgamos a história dos homens”.

(Friedrich Rückert)

“O único lugar que o sucesso vem antes do trabalho é no dicionário”.

(Albert Einstein)

“O otimista é um tolo.

O pessimista, um chato.

Bom mesmo é ser um realista esperançoso”.

(Ariano Suassuna)

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vi
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUÇÃO -----	01
2. OBJETIVOS -----	03
2.1 Objetivo geral -----	03
2.2 Objetivos específicos-----	03
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA -----	04
3.1 A deficiência hídrica -----	04
3.2 Deficiência hídrica em feijão-----	06
3.3 Ácido salicílico e efeitos fisiológicos-----	06
3.4 Ácido salicílico e estresse na planta -----	07
4. METODOLOGIA -----	10
4.1 Localização do experimento -----	10
4.2 Tratamentos e delineamento estatístico -----	10
4.3 Instalação e condução-----	11
4.4 Variáveis analisadas-----	12
4.4.1 Variáveis de germinação -----	12
4.4.2 Variáveis bioquímicas-----	13
4.5 Análises estatísticas -----	14
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO-----	15
5.1 Medidas de germinação e vigor de sementes-----	15
5.2 Crescimento das sementes -----	19
5.3 Atividade da Prolina -----	24
6. CONCLUSÃO -----	28
7. REFERENCIAS -----	29



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Cultivares de feijão caupi utilizadas: C1- BRS Guariba (A), C2- BR 17 Gurguéia (B), C3- BRS Aracê (C), C4- BRS Marataoã (D), C5- BRS Itaim (E) e C6- BRS Potengi (F). Campina Grande, PB, 2015.....10
- Figura 2. Etapas da instalação do experimento, triagem das sementes (A), confecção dos rolinhosde papel com as sementes para embebição (B), distribuição das sementes nas caixas gerbox (C) e organização das caixas na câmara de germinação (D). Campina Grande, PB, 2015.....11
- Figura 3. Detalhe da retirada dos cotilédones (A) e da divisão das diferentes plântulas para as análises bioquímicas (B). Campina Grande, PB, 2015.....13
- Figura 4. Porcentagem de água nas sementes (A) e taxa de absorção (B) das cultivares de feijão caupi: BRS Guariba (C1), BR 17 Gurguéia (C2), BRS Aracé (C3), BRS Marataoã (C4), BRS Itaim (C5) e BRS Potengi (C6). Campina Grande, PB, 2016.....17
- Figura 5. Índice de velocidade de germinação (IVG) das cultivares de feijão caupi: BRS Guariba (A), BR 17 Gurguéia (B), BRS Aracé (C), BRS Marataoã (D), BRS Itaim (E) e BRS Potengi (F) acondicionadas durante a pré-semeadura e submetidas a diferentes potenciais hídricos induzidos por PEG 6000. Campina Grande, PB, 2016.....18
- Figura 6. Comprimento da haste caular (CC) das cultivares de feijão caupi: BRS Guariba (A), BR 17 Gurguéia (B), BRS Aracê (C), BRS Marataoã (D), BRS Itaim (E) e BRS Potengi (F) acondicionadas durante a pré-semeadura e submetidas a diferentes potenciais hídricos induzidos por PEG 6000. Campina Grande, PB, 2016. SE – sem embebição; AD – embebição em água purificada e AS – embebição em ácido salicílico (10-5M).....21
- Figura 7. Comprimento da raiz (CR) das cultivares de feijão caupi: BRS Guariba (A), BR 17 Gurguéia (B), BRS Aracê (C), BRS Marataoã (D), BRS Itaim (E) e BRS Potengi (F) acondicionadas durante a pré-semeadura e submetidas a diferentes potenciais hídricos induzidos por PEG 6000. Campina Grande, PB, 2016. SE – sem embebição; AD – embebição em água purificada e AS – embebição em ácido salicílico (10-5M).....22

- Figura 8. Comprimento total da plântula (CT) das cultivares de feijão caupi: BRS Guariba (A), BR 17 Gurguéia (B), BRS Aracê (C), BRS Marataoã (D), BRS Itaim (E) e BRS Potengi (F) acondicionadas durante a pré-semeadura e submetidas a diferentes potenciais hídricos induzidos por PEG 6000. Campina Grande, PB, 2016. SE – sem embebição; AD – embebição em água purificada e AS – embebição em ácido salicílico ( $10^{-5}M$ ).....23
- Figura 9. Teor de prolina livre nos cotilédones + epicótilos + folhas (PRO CEF) das cultivares de feijão caupi: BRS Guariba (A), BR 17 Gurguéia (B), BRS Aracê (C), BRS Marataoã (D), BRS Itaim (E) e BRS Potengi (F) acondicionadas durante a pré-semeadura e submetidas a diferentes potenciais hídricos induzidos por PEG 6000. Campina Grande, PB, 2016.....25
- Figura 10. Teor de prolina livre nos hipocótilos + raízes (PRO HR) das cultivares de feijão caupi: BRS Guariba (A), BR 17 Gurguéia (B), BRS Aracê (C), BRS Marataoã (D), BRS Itaim (E) e BRS Potengi (F) acondicionadas durante a pré-semeadura e submetidas a diferentes potenciais hídricos induzidos por PEG 6000. Campina Grande, PB, 2016. SE – sem embebição; AD – embebição em água purificada e AS – embebição em ácido salicílico ( $10^{-5}M$ ).....26

## RESUMO

SILVA, DUVAL CHAGAS DA, Universidade Estadual da Paraíba, fevereiro de 2016. **Seleção de genótipos de feijão caupi sob condições hídricas: desempenho agrônomo e fisiológico.** Campina grande, PB, 2016. 48p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Ciências Biológicas). Orientador: Prof. Dr. Alberto Soares de Melo. Coorientador: Msc. Wellison Filgueiras Dutra.

O feijão caupi é uma das culturas alimentares mais importantes das regiões Norte e Nordeste do Brasil, a diversidade local, aliada aos diferentes níveis de tecnologia usados e a ocorrência de déficit hídrico no solo, contribuem para a baixa produtividade média nacional e para a instabilidade da produção. Nesse sentido, a indução de melhorias na fisiologia e morfologia do feijão caupi torna-se uma ferramenta importante para a viabilidade do cultivo em regiões com predominância de deficiência hídrica. Para tanto, a utilização de algumas substâncias podem colaborar melhorando a eficiência de processos metabólicos ou atuando diretamente nas rotas metabólicas, resultando em adaptação às mudanças ambientais. Objetivou-se, com esse trabalho, avaliar o efeito do ácido salicílico e de diferentes potenciais hídricos induzidos por polietilenoglicol sobre a germinação e o crescimento inicial de cultivares de feijão caupi. O referido trabalho foi realizado 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. O Mesmo constou de um fatorial 6 x 3 x 5, sendo 6 cultivares de feijão caupi submetidos a três condições na pré-semeadura (SE = sem embebição; AS = embebição em ácido salicílico e AD = embebição em água destilada) e cinco potenciais hídricos durante a germinação e o crescimento inicial (-1,0; -0,8; -0,6; -0,4 e 0 MPa). O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com 5 repetições, sendo a parcela composta por 20 sementes. Foram avaliados a porcentagem de germinação, o índice de velocidade de germinação, o crescimento e o teor de prolina livre. A germinação e o crescimento da raiz das plântulas de feijão caupi é melhorada com a embebição em ácido salicílico durante 8 horas. A BRS Itaim suporta melhor a redução do potencial hídrico com a aplicação do ácido salicílico. A embebição das sementes em solução de ácido salicílico ( $10^{-5}$ M) pode ser utilizada na indução de tolerância ao déficit hídrico durante a germinação e crescimento inicial de feijão caupi.

**Palavras-chave:** *Vigna unguiculata*(L.) Walp., déficit hídrico, indução de tolerância.

## ABSTRACT

SILVA, DUVAL CHAGAS DA, Universidade Estadual da Paraíba, February 2016. **Selection of caupí bean genotypes under water conditions: agronomic performance and physiological.** Campina grande, PB, 2016. 48p. Work of conclusion of course (graduation in biological sciences).Advisor: Prof. Dr. Alberto Soares de Melo.

The cowpea bean is one of the most important food crops in the regions North and Northeast Brazil local diversity, with different levels of technology used and the occurrence of soil water deficit, contributing to low productivity national average and production instability in this sense, the induction of improvements in physiology and morphology of the caupí bean becomes an important tool for the viability of farming in areas with water deficiency. To this end, the use of some substances can collaborate by improving the efficiency of metabolic processes or working directly on the pathways, resulting in adaptation to environmental changes. The aim, with this work, thevaliar the effect of salicylic acid and different water potentials induced by polyethylene glycol on germination and initial growth of Cowpea bean cultivars. This work was conducted in the laboratory of Ecophysiology of cultivated plants (ECOLAB), Integrated Research Complex located in Três Marias, belonging to the State University of Paraíba,Campus I, Campina Grande-PB. The same consisted of a factorial 6 x 3 x 5, and 6 cultivars of bean Cowpea submitted the three conditions on pré-semeadura (IF = no soaking; The = soaking in salicylic acid and AD = soaking in distilled water) and five water potentials during germination and early growth ( -1.0; -0.8;-0.6;-0.4 and 0 MPa). The experimental design used was the completely randomized design with 5 repetitions, being the portion composed of 20 seeds. We evaluated the percentage of germination, germination speed index and the proline content free. Germination, vigor and seedling root growth of Cowpea beans is improved by soaking in salicylic acid for 8 hours. The antioxidant activity was increased with the soaking seeds in salicylic acid, especially on cultivating BRS Itaim. The soaking seeds in salicylic acid solution ( $10^{-5}$  M) can be used in the induction of tolerance to water deficit during germination and initial growth of Cowpea beans.

**Keywords:** *Vigna unguiculata*(L.) Walp., water deficit, induction of tolerance.

## 1. INTRODUÇÃO

O feijão *Vigna* [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] é uma das culturas alimentares mais importantes das regiões Norte e Nordeste do Brasil, principalmente, nas áreas semiáridas, onde representa um dos principais componentes da dieta alimentar das famílias. Contudo, a diversidade local, aliada aos diferentes níveis de tecnologia usados e a ocorrência de déficit hídrico no solo, contribuem para a baixa produtividade média nacional e para a instabilidade da produção (Mendes et al., 2007). Segundo Giroto et al. (2012), entre os vários fatores que limitam a produção vegetal, a disponibilidade hídrica é uma das mais importantes, pois além de afetar as relações hídricas nas plantas, alterando o metabolismo, o fenômeno ocorre em grandes extensões de áreas cultiváveis do Nordeste brasileiro.

As respostas das plantas às condições de estresse hídrico variam de acordo com a espécie, cultivar, tempo de exposição, fatores edáficos, entre outros (Nascimento et al., 2011), sendo mais comum a redução da produtividade. Esse fato deve-se, justamente, a inviabilização do processo fotossintético, devido a alterações no teor de clorofila e redução da condutância estomática na folha, além da modificação na atividade de algumas enzimas, no acúmulo de açúcares, proteínas e na absorção de nutrientes, resultando em menor crescimento e qualidade produtiva das plantas (Gong et al., 2005; Gunes et al., 2008).

Acrescente-se que no feijoeiro, o estresse hídrico ocorrido no período vegetativo causa efeito indireto no rendimento de grãos, pela redução da área foliar das plantas; já na floração a escassez de água pode provocar abortamento e queda das flores, com redução do número de vagens por planta. Não obstante, se o déficit acontece no período de enchimento dos grãos aumentam-se a probabilidade de depleção no número de sementes por vagem e no peso das sementes (Jadoskiet al. 2003; Figueiredo et al. 2008).

Nesse sentido, a indução de melhorias na fisiologia e morfologia do feijão caupi torna-se uma ferramenta importante para a viabilidade do cultivo em regiões com predominância de deficiência hídrica. Para tanto, a utilização de algumas substâncias podem colaborar melhorando a eficiência de processos metabólicos ou atuando diretamente nas rotas metabólicas, resultando em adaptação às mudanças ambientais (Mccue et al., 2000; Agostini et al., 2013). Para Mccue et al. (2000), os estresses podem ser atenuados por meio da aplicação de indutores exógenos ou endógenos, tais como os ácidos orgânicos (salicílico, ascórbico e cítrico).

O ácido salicílico (AS) é um composto pertencente ao grupo fenólico, amplamente distribuído em todo o reino vegetal (Shi et al., 2005), com inúmeras funções reguladoras no metabolismo da planta (Popovaet al., 1997). Seu papel é evidente na germinação, na regulação do

crescimento e desenvolvimento, produção de frutos, absorção e transporte de água e nutrientes, taxa fotossintética, condutância estomática, transpiração, além de atuar como um potente agente antioxidante não enzimático e ativar os mecanismos de resposta e defesa a estresses ambientais (Senaratna et al., 2000; Khan et al., 2003; Noreen et al., 2009).

A aplicação exógena de ácido salicílico vem sendo estudada, principalmente, na indução de tolerância ao estresse hídrico em várias espécies, tais como o tomate (Senaratna et al., 2000), a melancia (Silva et al., 2012), o pepino (Çanakçl; Munzuroglu, 2007), o feijão *Phaseolus* (Senaratna et al., 2000; Agostini et al., 2013), o arroz (Choudhury; Panda, 2004), o trigo (Sharafizad et al., 2013) e a cevada (Bandurska; Stroinski, 2005). Entretanto, não foram encontrados na literatura estudos acerca da aplicação de ácido salicílico em feijão caupí cultivado sob deficiência hídrica.

Desta maneira, frente à importância do feijão caupí para a região Nordeste do Brasil (Nascimento et al., 2011), torna-se necessária à realização de estudos que visem a promoção da tolerância ao déficit hídrico (Agostini et al., 2013).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Avaliar o efeito da aplicação de ácido salicílico em genótipos de feijão caupi submetidos a diferentes potenciais hídricos.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Analisar a germinação das cultivares de caupi (BRS Guariba, BR-17 Gurguéia, BRS Aracê, BRS Marataoã, BRS Itaim e BRS Potengi) sob embebição em ácido salicílico e diferentes potenciais hídricos induzidos por polietilenoglicol 6000;

- Mensurar o crescimento inicial de cultivares de caupi sob diferentes potenciais hídricos e embebição em ácido salicílico;

- Quantificar os níveis de prolina em cultivares de feijão caupi submetidos a diferentes potenciais hídricos e embebição em solução de ácido salicílico.

### **3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **3.1 A deficiência hídrica**

A deficiência hídrica, no solo e na atmosfera, juntamente com alta temperatura e radiação, têm sido citadas como as principais restrições à sobrevivência e as produtividades agrônômica e florestal (FLEXAS et al., 2002). Dentre estas restrições, a água é considerada o fator mais limitante para sustentabilidade dos sistemas agrícolas (PAIVA et al., 2005; CHAVES et al., 2009; TAIZ; ZEIGER, 2009), pois além de afetar as relações hídricas e alterar o metabolismo das plantas, a limitação em sua disponibilidade é fenômeno que ocorre em grandes extensões de áreas cultiváveis, causando redução severa na produtividade das culturas (NOGUEIRA et al., 2001).

O estresse por deficiência hídrica é produzido tanto pela limitação de água no solo quanto por perda excessiva pela transpiração em relação à absorção feita pelas raízes, sendo esses processos influenciados por fatores ambientais e por características da própria planta (SANT'ANNA, 2009).

O estresse pode se manifestar em vários graus de severidade, com duração variável, combinados ou não, de modo contínuo ou alternando com momentos de normalidade. Considerados esses fatores, as plantas podem manifestar resistência ou tolerância, sobrevivendo e, às vezes, até crescendo, mesmo que em menores taxas ou podem manifestar sensibilidade sofrendo redução do crescimento e, dependendo da intensidade do estresse, podendo chegar à morte (CAMBRAIA, 2005).

Alterações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas podem ocorrer na planta em consequência do estresse por deficiência hídrica. As alterações morfológicas mais comuns são a redução na área foliar, fechamento estomático e crescimento do sistema radicular (LOPEZ et al., 2008; TAIZ; ZEIGER, 2009). Já as alterações fisiológicas e bioquímicas dependem do genótipo da planta, mas geralmente compreendem menor potencial hídrico nas folhas (LIBERATO et al., 2006), redução da eficiência quântica do fotossistema II (SILVA et al., 2007) e do teor relativo de água da folha (SILVA et al., 2007; LOBATO et al., 2008), decréscimos na condutância estomática e taxa fotossintética (POLIZEL, 2007), além de ajustamento osmótico, com acréscimos na síntese de açúcares e prolina (MCCORMICK et al., 2008; CAMPOS et al., 2011).

Segundo Taiz e Zeiger (2004), produtividade de plantas, limitadas pela água, depende da quantidade disponível deste recurso e da eficiência do seu uso pelo organismo. A deficiência hídrica é uma condição que pode ou não causar estresse nos vegetais. A resposta da planta é



resultado de uma interação entre o tipo de estresse (severidade, duração, número de exposições e combinação com outros estresses) e a própria planta (genótipo, estágio de desenvolvimento e órgão/tecidos afetados).

A planta pode ser capaz de reparar a injúria através de um gasto ativo de energia metabólica, produzindo uma resposta física ou química (mudança no metabolismo). Desta forma, o estresse ocorrerá quando os processos de reparo gastam energia metabólica da planta (o catabolismo fica maior do que o anabolismo), ocorrendo um desvio significativo das condições ótimas para a vida. Do ponto de vista agrônômico, o estresse é definido como uma perturbação causada pelo ambiente de produção que resulta numa redução da produtividade (LARCHER, 20004).

Uma das mais bem estudadas respostas das plantas ao déficit hídrico é a acumulação de prolina nas células. O acúmulo deste aminoácido é resultado do aumento do fluxo de glutamato, que é metabolizado pela pirrolina-5-carboxilato sintetase (P5CS), enzima que regula a taxa de biossíntese de prolina; bem como de um decréscimo de metabolismo desse aminoácido. A enzima P5CS, responsável pela transformação de pirolina-5-carboxilato (P5C) em prolina, tem sua expressão regulada por mudanças no potencial osmótico no citoplasma. Um decréscimo no potencial osmótico da célula leva a uma aumento na síntese de P5C e, conseqüentemente, a um aumento na síntese de prolina. (HARE; CRESS, 1997).

O acúmulo de prolina quando as plantas entram em déficit de água, tem sido relatado e estudado desde 1954 e existem contradições em relação à função do acúmulo de prolina em plantas submetidas a estresse. Alguns autores afirmam que a prolina teria funções ligadas a processos de adaptação ao déficit hídrico (SINGH et al., 1973), enquanto outros autores apontam a prolina como indicador de estresse (BECHER; FOCK, 1986).

Larcher (2004) relata que, sob influência de estresses ambientais, a síntese de proteínas é inibida e a degradação é acelerada, o que leva a um acúmulo de aminoácidos e aminas livres, apresentando como característica marcante de um distúrbio no metabolismo das proteínas, uma mudança nas proporções de aminoácidos e, frequentemente, um aumento elevado na concentração de prolina livre. Segundo Marin (2003), a prolina acumula-se nas células com função osmoprotetora, prevenindo a desnaturação de proteínas e preservando a estrutura de enzimas. Acredita-se que a prolina atue no ajustamento osmótico, na estabilização de estruturas subcelulares e na eliminação de radicais livres, ou ainda participe na constituição de um estoque de N e C que poderia ser utilizado depois do período de estresse (TAYLOR, 1996; LEITE et al., 2000).

A capacidade de acumular prolina, observada durante a falta de água, tem sido associada com a tolerância das plantas a essa condição desfavorável, contudo, não se pode afirmar que plantas com alto acúmulo de prolina são tolerantes à seca, visto que, o menor acúmulo de prolina resulta da capacidade de manutenção de alto nível de água durante o estresse, sendo este evento considerado como um fator de sobrevivência da folha (SAWAZAKI et al., 1981).

### **3.2 Deficiência hídrica em feijão**

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), pertencente à família Fabaceae, é uma espécie anual cujo ciclo varia de 61 a 110 dias. O desenvolvimento do feijoeiro compreende duas fases distintas básicas, sendo elas denominadas de fase vegetativa e fase reprodutiva. A fase vegetativa é caracterizada pelo desdobramento das folhas primárias até o primeiro botão floral. A fase reprodutiva transcorre da emissão do primeiro botão floral até o pleno preenchimento das vagens, com posterior maturação das sementes (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

Devido ao curto período de seu ciclo, pequenos períodos de seca podem afetar severamente o crescimento do feijoeiro. A cultura requer de 300 a 500 mm de água, dependendo do clima. Quando estas necessidades não são satisfeitas, o rendimento se reduz a um valor dependente da etapa fenológica em que o déficit de água acontece. Quando a seca se apresenta na etapa vegetativa, por exemplo, o efeito sobre é mínimo, enquanto que na etapa de pré-floração e enchimento de vagens, a plantas é muito sensível à falta de água no solo (CALVACHE; REICHARDT, 1996).

Todos os cultivares de feijão, uns em maior outros em menor grau, são sensíveis às condições climáticas adversas. O feijoeiro é pouco tolerante a deficiência hídrica, o que pode afetar o ciclo com mudanças em algumas fases de seu desenvolvimento. A falta de água pode reduzir o ciclo biológico do feijoeiro (ARAÚJO et al., 1998; DOURADO NETO; FANCELLI, 2000).

### **3.3 Ácido salicílico e efeitos fisiológicos**

Recentemente, o AS vem sendo estudado quanto aos seus efeitos sobre vários processos fisiológicos relacionados ao crescimento e desenvolvimento das plantas sob condições normais (não estressantes), podendo mesmo ser incluído na categoria de fitohormônios. Dentre estes efeitos, são citados: indução de floração em espécies herbacias (HEGAZI; EL-SHRAYI, 2007), estimulação do desenvolvimento radicular, fechamento dos estômatos e redução da transpiração

(LARQUE-SAAVEDRA, 1979), manutenção da turgescência dos estômatos e pulvinos (SAEEDI et al., 1984). Aumento do número de grãos por espiga e rendimento agrônomico em trigo (LOPES et al., 1996).o as exerce também importante função na biossíntese de etileno, no comportamento estomático e na respiração (RASKIM, 1992).

Hegazi e El-Shrayi (2007) testaram os efeitos da aplicação foliar de AS e paclobutrazol sobre o feijão. O AS, na dosagem de  $10^{-2}$ M aumentou consideravelmente o peso das plantas, atingindo os valores máximos de peso seco da parte aérea. Entretanto, esta dosagem resultou em diminuição nos conteúdos de clorofila a, clorofila b e clorofila total. Com relação ao florescimento, o AS na dosagem de  $10^{-3}$ M proporcionou um aumento no número de flores por plantas e nos pesos fresco e seco das flores. A dose maior de AS ( $10^{-3}$ M) favoreceu uma maior concentração de proteínas nas folhas e o número máximo de nódulos por plantas.

Quanto ao papel hormonal atribuído ao AS, são citados os efeitos de inibição na germinação e desenvolvimento da semente; bloqueio na resposta a ferimentos e reversão dos efeitos do ácido abscísico – ABA – ( SHETTEL; BALKE, 1983; DAVIES, 2004); regulador do gravitropismo ( HUSSEIN et al., 2007) e inibidor do amadurecimento dos frutos (SRIVASTAVA; DWVEDI, 2000).

### **3.4 Ácido salicílico e estresse na planta**

Segundo Castro e Meloto (1998), hormônio vegetal é um composto orgânico não nutriente, de ocorrência natural, produzido na planta, e que em pequenas concentrações ( $10^{-4}$ M) promove, inibe ou modifica processos morfológicos e fisiológicos do vegetal. Até recentemente, apenas seis tipos de hormônios eram considerados: auxinas, citocininas, giberelinas, etileno, retardadores e inibidores. Contudo, hoje outras moléculas de efeitos similares têm sido descobertas, tais como, brassinosteróides, ácido jasmônico (jasmonato), ácido salicílico e poliaminas (TAIZ; ZEIGER, 2004).

O AS pertence ao grupo bastante diverso dos compostos fenólicos, usualmente definidos como substâncias com um anel aromático ligado a um grupo hidroxil ou ao seu derivado funcional (COLLI, 2008). É considerado um hormônio vegetal devido a sua implicação na regulação da planta, atuando como importante indutor de diversos processos fisiológicos, incluindo a fotossíntese. Segundo Veliniet al. (2009), é um composto sinalizador e amplificador de sinais, que induz a expressão de genes de resistência nas plantas.

Os resultados obtidos nos últimos anos mostram que o AS pode ser um composto promissor na redução da sensibilidade dos cultivos aos estresses abióticos, visto que em

determinadas condições atenua os efeitos adversos produzidos por distintos fatores ambientais estressantes, como a luz ultravioleta (MAHDAVIAN et al., 2008), alta temperatura (CHAKRABORTY; TONGDEN, 2005), deficiência hídrica (MARDANI et al., 2012) e salinidade (YILDIRIM et al., 2008).

O AS desempenha um papel fundamental na tolerância ao estresse hídrico e interesses consideráveis têm sido focados neste ácido, devido à sua capacidade de induzir efeitos de proteção em plantas submetidas ao estresse por escassez de água (AZOOZ; YOUSSEF, 2010). Neste sentido, a aplicação exógena de AS tem sido testada em diferentes cultivos agrícolas com a finalidade de investigar a capacidade deste em atenuar os efeitos adversos causados pela deficiência hídrica, a exemplo das pesquisas desenvolvidas por Singh e Usha (2003) e Horváth et al. (2007) em trigo, Hussain et al. (2008) em girassol, Carvalho et al. (2007) em calêndula, Mardani et al. (2012) em pepino e Durães (2006) em feijão.

O efeito da aplicação exógena de AS muitas vezes pode ter um resultado contraditório, geralmente a deficiência ou o alto nível de AS aumenta a susceptibilidade da planta ao estresse, contudo aplicações exógenas entre 0,1 e 0,5 mM são concentrações ótimas que geralmente melhoram a tolerância; porém, devem ser estudados os tipos de plantas e o estágio de crescimento do cultivo (YUAN; LIN, 2008). Esse efeito duplo, de deficiência ou alto nível de AS, provoca um estresse oxidativo transitório em plantas e aumenta a capacidade antioxidante destas (BORSANI et al., 2001). O estresse é devido principalmente ao incremento do  $H_2O_2$  (HARFOUCHE et al., 2008), favorecido pela inibição de enzimas que o detoxificam (CAT e APX) (PALMA et al., 2009), e pela ativação enzima superóxido dismutase (SOD) (AZEVEDO et al., 2004).

Hussain et al. (2008) avaliaram o efeito mitigador do AS em plantas de girassol sob estresse hídrico. A falta de água causou redução no diâmetro das cabeças, número e peso de aquênios, produção de sementes e produção de óleo. Entretanto, a aplicação exógena de AS e glicina betaína aumentou significativamente estas variáveis nas plantas submetidas ao estresse hídrico. Como efeito do estresse, observaram-se aumentos nos teores foliares de prolina e glicina betaína; os quais se apresentaram mais elevados ainda como resultado da aplicação exógena de AS e glicina-betaína.

Hussain et al. (2007) avaliaram os efeitos do ácido salicílico no crescimento de plantas de milho sob estresse salino. As aplicações foliares de 200 ppm proporcionaram incremento na altura das plantas, área foliar, diâmetro do caule e peso seco do caule, folhas e plantas inteira. A concentração de aminoácidos foi diminuída pela salinidade, com exceção dos aminoácidos prolina e glicina. A aplicação foliar de AS resultou em aumentos na concentração de prolina, arginina, licina, serina e ácido glutâmico.

A pulverização foliar de plantas de trigo com 1mM de AS causou aumento na atividade de enzimas antioxidantes, na quantidade de clorofila e no conteúdo relativo de água da planta. Houve também aumento de estabilidade das membranas e decréscimo no nível de peroxidação de lipídeos sob estresse hídrico moderado (AGARWAL et al., 2005).

Noreenet al. (2009) avaliaram o efeito da aplicação foliar de AS na alteração da capacidade antioxidativa de plantas de girassol sob estresse salino. O AS promoveu aumento na atividade das enzimas peroxidase e superóxido dismutase foliares; contudo a atividade da catalase permaneceu inalterada, tanto na condição salina como no controle. Os autores observaram também aumento na capacidade fotossintética e no crescimento das plantas tratadas com o AS.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1. Localização do experimento

O referido trabalho foi realizado no Laboratório de Ecofisiologia Vegetal de Plantas Cultivadas (ECOLAB), localizado no Complexo Integrado de Pesquisa Três Marias, situado a 07° 12' 42,99'' de latitude Sul, 35° 54' 36,27'' longitude Oeste a uma altitude de 521 metros, pertencente à Universidade Estadual da Paraíba, Campus I, Campina Grande – PB.

### 4.2. Tratamentos e delineamento estatístico

Na primeira etapa seis genótipos de feijão caupi (BR 17 Gurguéia, BRS Guariba, BRS Aracê, BRS Marataoã, BRS Potengi e BRS Itaim) foram submetidos a três pré-tratamentos (sem embebição e embebição na pré-semeadura, em ácido salicílico e em água destilada por um período de 8 horas) e em seguida, postos para germinar sob cinco potenciais hídricos (0; -0,4; -0,6; -0,8; -1,0 MPa). A combinação dos fatores resultará em 90 tratamentos, distribuídos no delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições, sendo a parcela experimental composta por 20 sementes.



Foto: Wellison Filgueiras Dutra

Figura 1: Cultivares de feijão caupi utilizadas: C1- BRS Guariba (A), C2- BR 17 Gurguéia (B), C3- BRS Aracê (C), C4- BRS Marataoã (D), C5- BRS Itaim (E) e C6- BRS Potengi (F). Campina Grande, PB, 2015.

### 4.3. Instalação e condução

Inicialmente foi realizada uma triagem das sementes com o objetivo de eliminar aquelas que continham danos físicos, biológicos e/ou má formação (Figura 2A). Após a triagem, as sementes foram pesadas e transferidas para rolo giratório, juntamente com fungicida (Captan®) na dosagem de  $2,2 \text{ g ha}^{-1}$ , mantendo-o sob rotação durante 5 minutos e, em seguida, em repouso por 24 horas.

Passado esse tempo, as sementes foram divididas em três lotes, sendo dois deles dispostos em rolinhos de papel toalha (Figura 2B) para posterior embebição em solução de ácido salicílico ( $10^{-5}\text{M}$ ) (AGOSTINI et al., 2013) e em água destilada por um período de 8 horas, e o outro mantido em garrafa pet lacrada pelo mesmo período.

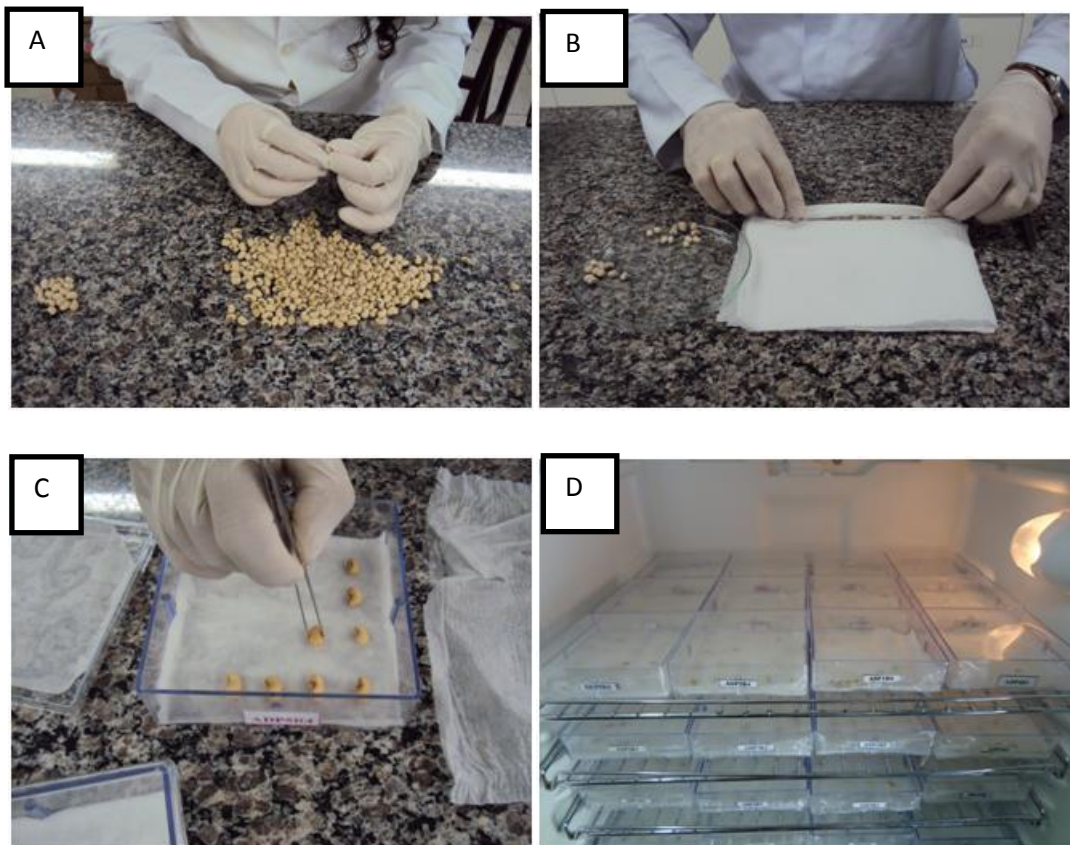


Foto: Wellison Filgueiras Dutra

Figura 2: Etapas da instalação do experimento, triagem das sementes (A), confecção dos rolinhos de papel com as sementes para embebição (B), distribuição das sementes nas caixas gerbox (C) e organização das caixas na câmara de germinação (D). Campina Grande, PB, 2015.

Após o período de embebição, todas as sementes, inclusive as sem embebição, foram distribuídas em caixas de acrílico (Gerbox®) (Figura 2C), 20 sementes por caixa, contendo quatro folhas de papel Germitest® umedecidas com água destilada e com quatro soluções osmóticas de polietilenoglicol (PEG) 6000 (-1,0; -0,8; -0,6 e -0,4 MPa). Em seguida as caixas foram vedadas com plástico filme, pesadas (massa inicial) e levadas para câmara de germinação (B.O.D) (Figura 2D) regulada a  $27 \pm 2$  °C e fotoperíodo de 12 horas (BRASIL, 2009), onde permaneceram durante 14 dias. O consumo hídrico foi monitorado diariamente por meio da pesagem do substrato contendo as sementes, e a reposição de água foi efetuada até atingir a massa inicial do substrato úmido.

A determinação da quantidade de polietilenoglicol (PEG 6000) necessária para cada solução osmótica foi realizada utilizando-se da equação (1) proposta por Michel e Kaufmann (1973), com a qual se obteve os seguintes valores: 295,715 g L<sup>-1</sup> de água destilada para o potencial de -1,0 MPa, 261,950 g L<sup>-1</sup> para -0,8 MPa, 178,350 g L<sup>-1</sup> para -0,6 MPa e 119,573 g L<sup>-1</sup> para -0,4 MPa. Acrescente-se, ainda, que a diluição foi realizada mantendo-se a temperatura da água igual à utilizada na equação para obtenção da quantidade de PEG 6000 (25 °C), com o intuito de não interferir no potencial da solução. Para se obter as soluções com diferentes potenciais será utilizada a equação abaixo, proposta por Michel e Kaufmann (1973):

$$\Psi_w = - \left( 1,18 \times 10^{-2} \right) \times C - \left( 1,18 \times 10^{-4} \right) \times C^2 + \left( 2,67 \times 10^{-4} \right) \times CT + \left( 8,39 \times 10^{-7} \right) \times C^2 T \quad (01)$$

Onde :  $\Psi_w$  = potencial hídrico da solução (bar); C = concentração (gramas de PEG 6000 L<sup>-1</sup> de água) e T = temperatura (°C).

#### **4.4. Variáveis analisadas**

##### **4.4.1. Variáveis de germinação**

Durante 13 dias, no mesmo horário, foram realizadas as contagens de germinação, considerando como germinadas as sementes que emitissem a radícula com extensão mínima de 2 mm (REHMAN et al., 1996), dados esses utilizados no cálculo da porcentagem final de germinação (PFG) e do índice de velocidade de germinação (IVG) (CARVALHO e CARVALHO, 2009).

No 14º dia, foram coletadas ao acaso 10 plântulas por tratamento, das quais foram mensurados os comprimentos da haste caulinar (hipocótilo + epicótilo) (CC), da raiz (CR) e total (CT).



#### 4.4.2. Variáveis bioquímicas

Também ao final do experimento, foram coletadas ao acaso 5 plântulas por tratamento, sendo essas divididas em duas partes: 1- cotilédones + epicótilo + folhas primárias (quando existentes) (CEF) e 2- hipocótilo + raiz (HR) (Figura 3B), as quais foram utilizadas para a quantificação do teor de prolina livre.



Foto: Wellison Filgueiras Dutra

Figura 3: Detalhe da retirada dos cotilédones (A) e da divisão das diferentes plântulas para as análises bioquímicas (B). Campina Grande, PB, 2015.

O teor de prolina livre foi quantificado por meio do 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 (3%), centrifugados a 2000 x g por 10 minutos, sendo utilizado o sobrenadante para as determinações. O desenvolvimento da cor foi obtido por meio do aquecimento, em banho-maria regulado a 100 °C, da mistura extrato + ninhidrina ácida + ácido acético glacial durante uma hora. Após o resfriamento em banho de gelo, foi adicionado 2mL de tolueno aos tubos para que ocorresse a separação das fases. Em seguida a fase orgânica foi transferida para cubeta de vidro, obtendo-se a leitura da absorbância no comprimento de 520 nm. Como branco foi utilizado o tolueno puro e a concentração de prolina livre foi expressa em  $\mu\text{mol g de matéria fresca}^{-1}$ .

#### **4. 5. Análises estatísticas**

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

## 5. Resultados e discussão

### 5.1. Medidas de germinação e vigor de sementes

O condicionamento das sementes durante a pré-semeadura, os potenciais hídricos e a interação entre esses fatores influenciaram todas as variáveis de germinação, crescimento ( $p < 0,01$ ). Observou-se que os tratamentos induziram efeitos distintos nas cultivares ( $p < 0,01$ ), sendo as respostas dependentes do tipo de condicionamento e da disponibilidade de água, fato esse esperado por se tratar de materiais divergentes geneticamente, resultados expressos nas figuras 4 e 5.

A porcentagem final de germinação (PFG) das diferentes cultivares foi reduzida com o aumento da restrição hídrica, principalmente, nas sementes acondicionadas sem embebição (SE) durante a pré-semeadura (Figura 4). Já os tratamentos com embebição em água destilada (AD) e em ácido salicílico (AS) induziram respostas semelhantes na germinação das cultivares nos diferentes potenciais hídricos (Figura 4), sendo os maiores valores de PFG encontradas, em média, naquelas embebidas com AS. Verificou-se ainda, com a embebição das sementes, uma tendência à manutenção da porcentagem final de germinação em todas as cultivares até o potencial hídrico de  $-0,6$  MPa, exceto para BRS Marataoã (C4), a qual registrou queda acentuada da germinação em função da diminuição do potencial hídrico.

A diminuição da germinação sob baixa disponibilidade de água é uma resposta comum, visto que nessas condições o potencial hídrico se encontra, muitas vezes, inferior ao verificado no embrião, dificultando, portanto, a absorção da água essencial para a ativação do metabolismo das sementes, como a atividade enzimática, estando em concordância com relatos anteriores (MACHADO NETO et al., 2006; CARVALHO et al., 2007; CUSTÓDIO et al., 2009; KABIRI et al., 2012; AGOSTINI et al., 2013; YAMAMOTO et al., 2014).

Por outro lado, o efeito positivo da embebição sobre a germinação pode ser resultado de uma reorganização e ativação de processos celulares (GUIMARÃES et al., 2008), entre eles a translocação de ácido giberélico do embrião para os tecidos reserva (FLOSS, 2004), que induz o aumento da síntese e/ou ativação das enzimas hidrolíticas, responsáveis pela disponibilização das reservas do endosperma para o embrião (CASTRO e HILHORST, 2004), principalmente nas sementes embebidas em ácido salicílico ( $10^{-5}$ M), resultando em aumento do teor de metabólitos no protoplasma das células e, conseqüentemente, da pressão de turgescência responsável pelo alongamento celular na região da radícula (GUIMARÃES et al., 2008).

Na literatura atual existem vários relatos conflitantes sobre o efeito do ácido salicílico sobre a germinação (CARVALHO et al., 2007; KABIRI et al., 2012; HABIBI et al., 2013;

AGOSTINI et al., 2013; YAMAMOTO et al., 2014). Por exemplo, Habibiet al. (2013) e Sharafizad et al. (2013) verificaram maior porcentagem de germinação quando as sementes foram pré-tratadas com baixas concentrações de ácido salicílico (0,5 mM a 0,7 mM), não diferindo do tratamento controle (água destilada), evidenciando, ainda, queda na germinação com aumento da concentração do referido ácido. De modo contrário, o pré-tratamento em solução de AS (0,01 mM) não aumentou a germinação de sementes de feijão comum em relação aos demais tratamentos, contudo sua aplicação foi indicada como promissora por amenizar, parcialmente, os efeitos deletérios do estresse hídrico (AGOSTINI et al., 2013).

Quanto às cultivares, os maiores valores de PFG foram verificadas na BR 17 Gurguéia (C2), seguida das cultivares BRS Itaim (C5), BRS Aracé (C3), BRS Guariba (C1) e BRS Potengí (C6). Na C2 verificou-se, também, menor redução de germinação das sementes sem embebição (SE) (14,94%) em função do aumento da restrição hídrica, e a manutenção da PFG média com a embebição em AD (99,6%) e AS (99,4%) (Figura 4B). Resultados bem parecidos foram verificados na C5, obtendo PFG média de 88,6% para AD e 89,4% para AS, e germinação máxima estimada em 93,59% e 94,46% nos potenciais estimados de -0,44 e -0,46 MPa, respectivamente (Figura 4E).

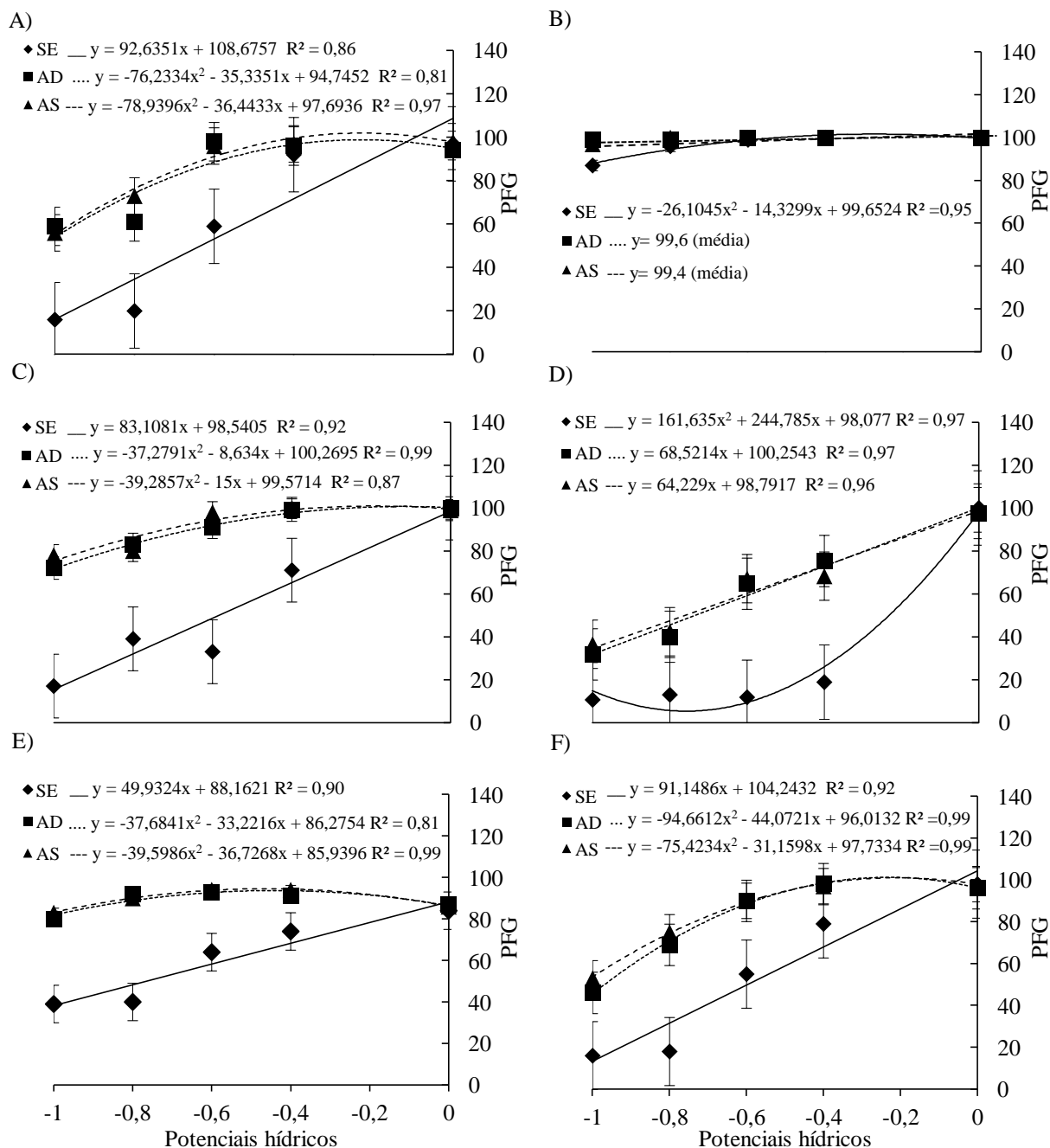


Figura 4: Porcentagem final de germinação (PFG) das cultivares de feijão caupi: BRS Guariba (A), BR 17 Gurguéia (B), BRS Aracé (C), BRS Marataoã (D), BRS Itaim (E) e BRS Potengí (F) acondicionadas durante a pré-semeadura e submetidas a diferentes potenciais hídricos induzidos por PEG 6000. Campina Grande, PB, 2016.

O índice de velocidade de germinação (IVG) das cultivares de feijão caupi foi mais sensível à redução do potencial hídrico do que a porcentagem final de germinação (Figura 5) em todas as condições avaliadas. Os maiores valores de IVG foram verificados no maior potencial

hídrico (0 MPa) com destaque para as sementes submetidas à embebição, que tiveram este índice significativamente superior ao obtido nas sementes sem embebição (Figura 5).

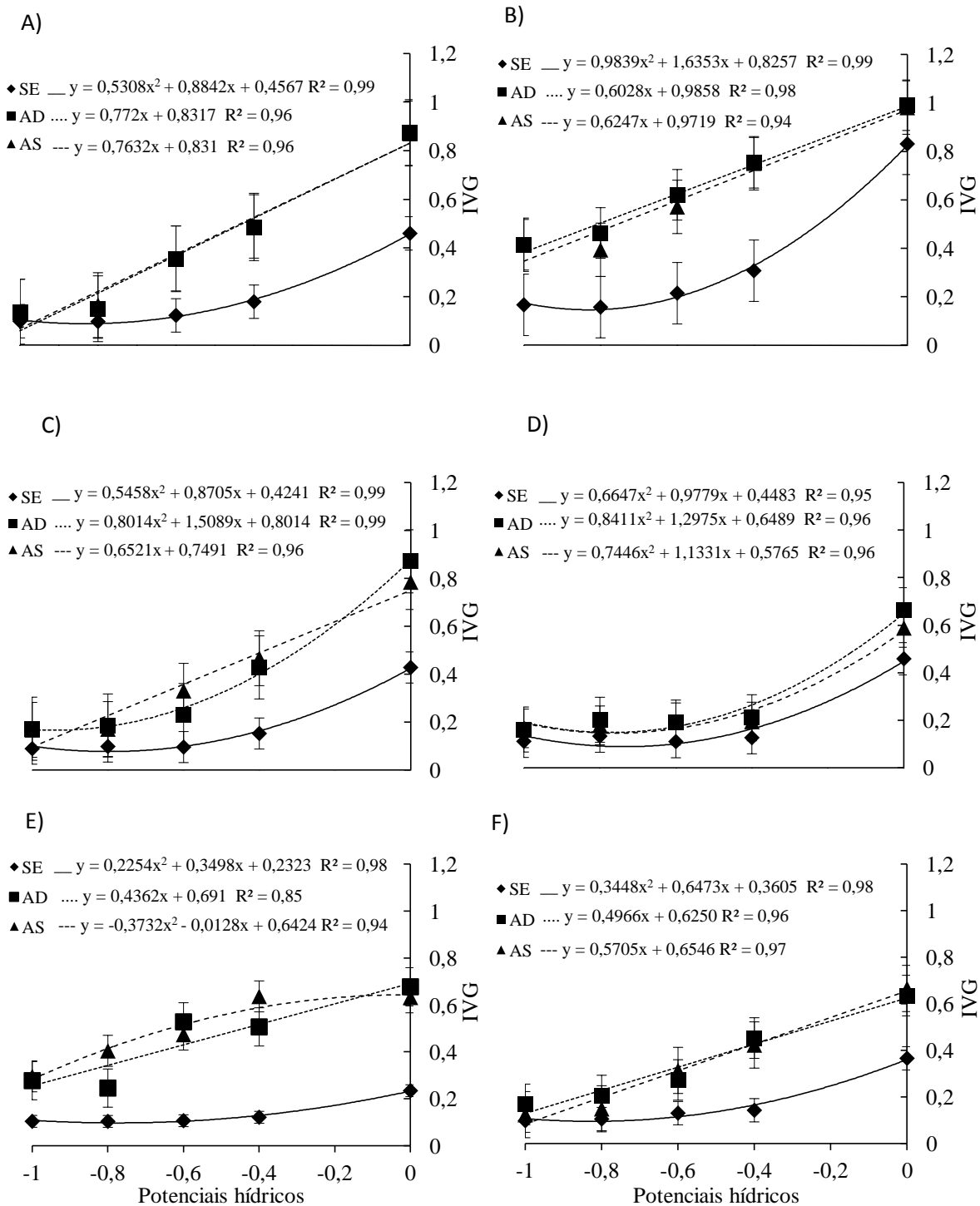


Figura 5: Índice de velocidade de germinação (IVG) das cultivares de feijão caupi: BRS Guariba (A), BR 17 Gurguéia (B), BRS Aracé (C), BRS Marataoã (D), BRS Itaim (E) e BRS Potengí (F) acondicionadas durante a pré-semeadura e submetidas a diferentes potenciais hídricos induzidos por PEG 6000. Campina Grande, PB, 2016.

Não houve diferença significativa entre os tipos de embebição avaliados (AD e AS), contudo a aplicação de AS reduziu o IVG da C3 e C4 no potencial de 0 MPa em comparação com a AD (Figura 5C e D). Observou-se, ainda, um aumento do referido parâmetro na C3 submetida ao potencial de -0,6 MPa, o que pode ser um indicativo do efeito positivo do ácido salicílico sobre as sementes em condições de deficiência hídrica. Tal hipótese foi reforçada pelo comportamento verificado na cultivar BRS Itaim (C5), esta quando submetida aos potenciais hídricos intermediários (-0,4 a -0,8 MPa) e embebição em ácido salicílico, obteve valores de IVG estatisticamente superiores aos encontrados com a embebição em água destilada (Figura 5E), mesmo com percentuais hídricos semelhantes nas sementes (Figura 5A).

Em semelhança aos dados encontrados para a PFG, os maiores e menores índices de velocidade de germinação (IVG) entre as cultivares foram constatados na BR 17 Gurguéia (C2) e BRS Marataoã (C4), respectivamente (Figura 5B e D). A cultivar C5 quando submetida à embebição com solução de ácido salicílico (AS) durante a pré-semeadura, obteve a menor redução de IVG entre as cultivares (127,83%) em função do aumento da restrição hídrica. O mesmo ocorreu com a cultivar C2 (157,38%) quando embebida em água destilada (AD).

## **5.2. Crescimento das sementes**

Uma das principais respostas das plantas ao déficit hídrico é a redução do crescimento provocado pela diminuição do turgor com consequente limitação da expansão celular. No presente trabalho, a diminuição dos potenciais hídricos influenciou negativamente o comprimento da haste caulinar (CC), da raiz (CR) e total (CT) das cultivares de feijão caupi, especialmente, aquelas não submetidas à embebição durante a pré-semeadura (Figura 6, 7 e 8). Com a embebição das sementes em AS foi averiguado uma melhora significativa nos parâmetros de crescimento (CC, CR e CT) das cultivares de feijão caupi, reforçando a hipótese de que o AS atua como um eficiente regulador de crescimento e modulador de inúmeras respostas em plantas (HAYAT et al., 2010).

O efeito de diferentes potenciais hídricos sobre a fisiologia e morfologia de várias espécies, como feijão (MACHADO NETO et al., 2006; CUSTÓDIO et al., 2009; YAMAMOTO et al., 2014), trigo (GIROTTO et al., 2012) e girassol (HÄTER et al., 2014), vem sendo intensamente estudado, com o objetivo de elucidar os efeitos da deficiência hídrica nas plantas, bem como os mecanismos de resposta ao estresse. Os autores supracitados, avaliando o efeito de diferentes potenciais hídricos durante as fases de germinação e crescimento inicial, verificaram um decréscimo no crescimento global com o aumento da restrição hídrica, corroborando com os

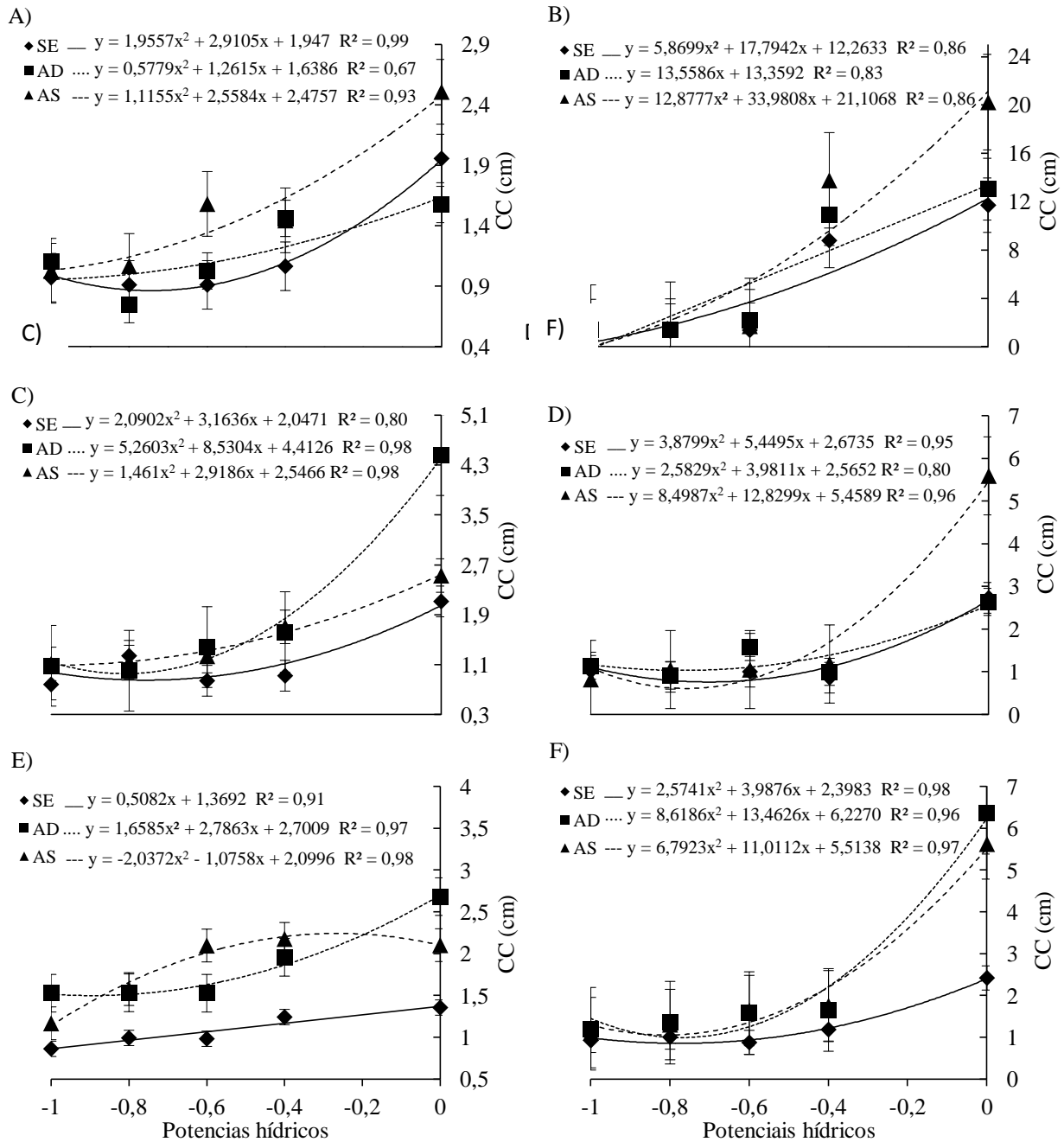
resultados científicos na pesquisa em questão, comportamento esse explicado pela diminuição do alongamento celular com consequente aumento da síntese de parede secundária sob déficit hídrico (CARVALHO e NAKAGAWA, 2000).

Foi possível observar, nas plântulas de feijão caupi submetidas ao potencial mais negativo (-1,0 MPa), que a redução do crescimento da haste caulinar (CC), da raiz (CR) e total (CT) é dependente da interação do condicionamento x cultivar, sendo, em geral, superior a 40%. Girotto et al. (2009), avaliando o comportamento de genótipos de trigo em diferentes potenciais hídricos induzidos por PEG 6000 e Manitol, verificaram que sob o potencial de -0,4 MPa, ou mais negativo, as plântulas tiveram seu crescimento reduzido em pelo menos 50%, variando, no entanto entre os genótipos.

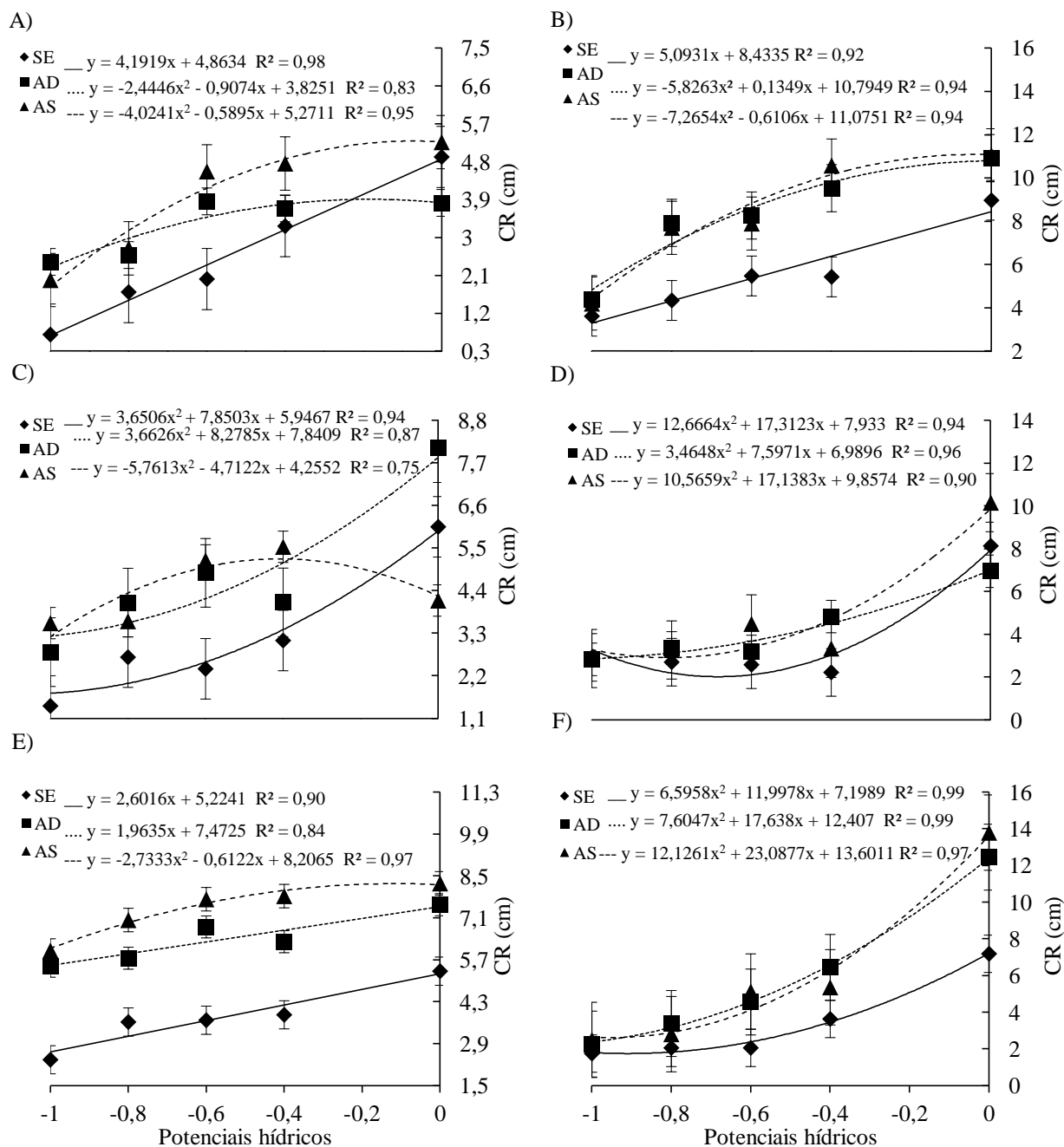
No presente estudo, as maiores e menores reduções de crescimento foram encontradas nas cultivares BR-17 Gurguéia e BRS Itaim sob limitação hídrica, com valores médios de 1169,92% e 71,11% no CC, 153,48% e 66,67% no CR e 381,02% e 63,18% no CT, respectivamente. Por outro lado, a cultivar BR 17 Gurguéia obteve os maiores valores médios de CC, CR, CT em todos os condicionamentos (SE, AD e AS)(Figura 6B, 7B e 8B), o mesmo comportamento verificado para a germinação e o IVG. Entretanto, pode-se inferir que esse comportamento não está relacionado com maior tolerância ao déficit hídrico da BR 17 Gurguéia em relação às demais cultivares, visto que o mesmo é derivado, principalmente, do alto crescimento encontrado nos potenciais de 0 e -0,4 MPa. Conjectura essa reforçada pela semelhança observada entre o crescimento das plântulas submetidas aos potenciais mais negativos (-0,8 e -1,0 MPa) (Figura 6B) em todos os condicionamento (SE, AD e AS).

Ainda na BR 17 Gurguéia, observou-se com a aplicação de AS, acréscimo significativo no CC (57,99%) das plântulas submetidas ao potencial de 0 MPa, o mesmo verificado no potencial de -0,4 MPa (CC =27,05% e CT= 19,51%), quando comparados aos valores obtidos com a embebição em AD. Porém, com a diminuição do potencial hídrico a partir desse ponto, não foram verificadas diferenças entre os condicionamentos. Efeitos semelhantes foram verificados para as cultivares C1 (Figura 6A, 7A e 8A) e C4 (Figura 6D e 7D e 8D), todavia, o aumento do crescimento da BRS Guariba (C1) sob embebição em AS, em relação a AD, ocorreu até o potencial de -0,8 MPa.

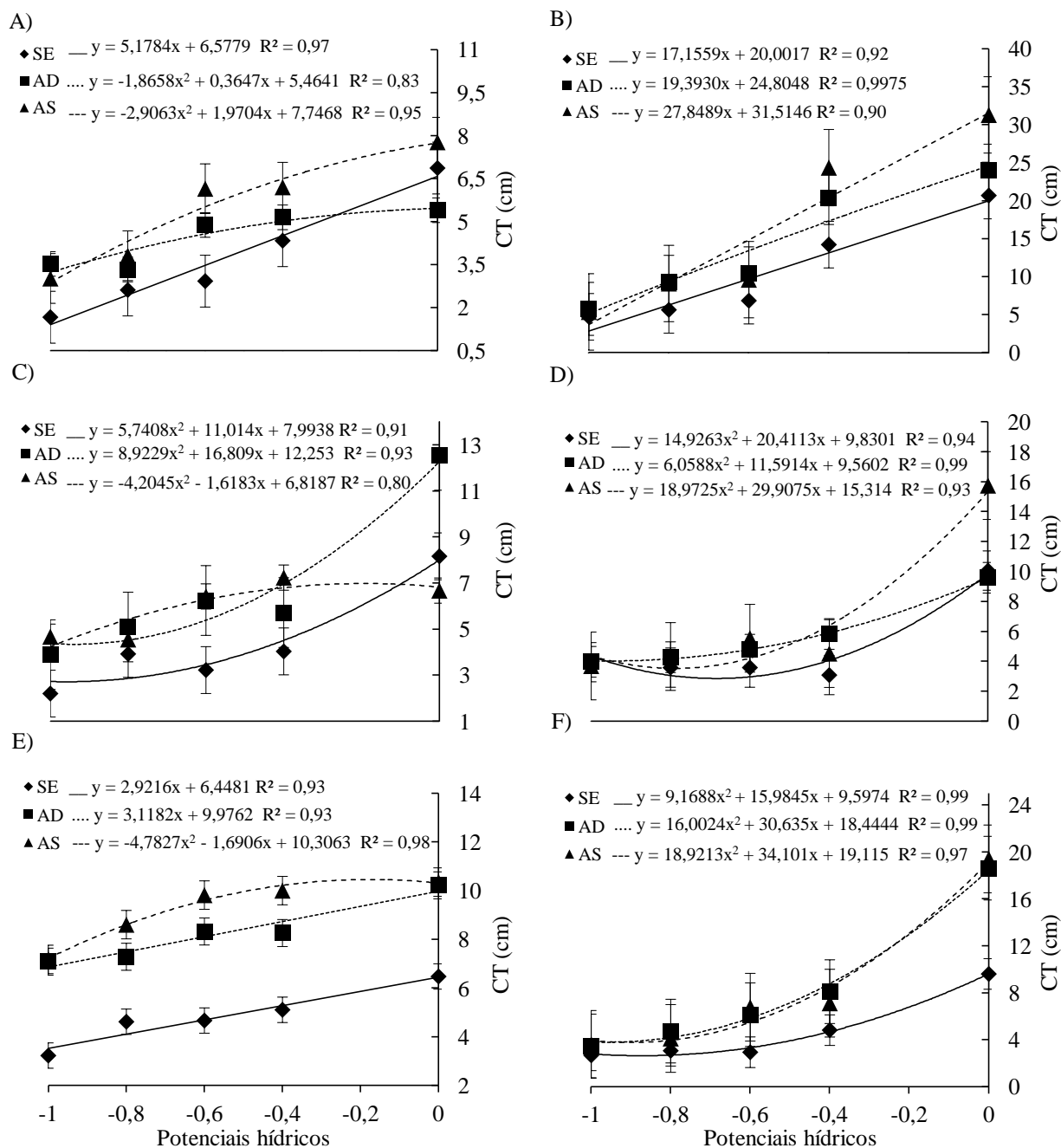




**Figura 6:** Comprimento da haste caulinar (CC) das cultivares de feijão caupi: BRS Guariba (A), BR 17 Gurguéia (B), BRS Aracê (C), BRS Marataoã (D), BRS Itaim (E) e BRS Potengi (F) acondicionadas durante a pré-semeadura e submetidas a diferentes potenciais hídricos induzidos por PEG 6000. Campina Grande, PB, 2016. SE – sem embebição; AD – embebição em água purificada e AS – embebição em ácido salicílico (10-5M).



**Figura 7.** Comprimento da raiz (CR) das cultivares de feijão caupi: BRS Guariba (A), BR 17Gurguéia (B), BRS Aracê (C), BRS Marataoã (D), BRS Itaim (E) e BRS Potengi (F) acondicionadas durante a pré-semeadura e submetidas a diferentes potenciais hídricos induzidos por PEG 6000. Campina Grande, PB, 2016. SE – sem embebição; AD – embebição em água purificada e AS – embebição em ácido salicílico (10<sup>-5</sup>M).



**Figura 8.** Comprimento total da plântula (CT) das cultivares de feijão caupi: BRS Guariba (A), BR 17 Gurguéia (B), BRS Aracê (C), BRS Marataoã (D), BRS Itaim (E) e BRS Potengi (F) acondicionadas durante a pré-secmeadura e submetidas a diferentes potenciais hídricos induzidos por PEG 6000. Campina Grande, PB, 2016. SE – sem embebição; AD – embebição em água purificada e AS – embebição em ácido salicílico (10-5M).

### 5.3. Atividade da prolina

No presente estudo a diminuição da disponibilidade hídrica incrementou gradativamente a concentração de prolina livre nos cotilédones, epicótilos e folhas (PRO CEF) e nos hipocótilos e raízes (PRO HR) das cultivares de feijão caupi, independente do condicionamento, estando em concordância com relatos anteriores em diversas culturas, entre elas, o feijão caupi (COSTA et al., 2011; SILVA, 2014), o feijão comum (AGOSTINI et al., 2013; YAMAMOTO et al., 2014), o guandu (MONTEIRO et al., 2014) a cevada (FAYEZ e BAZAID, 2014), a *Arabidopsis* (HE et al., 2014), o girassol (BALOĞLU et al., 2012) e a cana-de-açúcar (CARLIN e SANTOS, 2009; RHEIN et al., 2011), todas em condições de deficiência de água.

Em relação aos tipos de condicionamento, as menores concentrações de PRO CEF e PRO HR foram obtidas nas plântulas oriundas de sementes com embebição, especialmente em água destilada, resultado oposto ao verificado nas plântulas sem embebição. Em comparação com a embebição em AD, o tratamento das sementes em ácido salicílico melhorou o acúmulo de PRO CEF e PRO HR nas cultivares de feijão caupi, sugerindo que o referido ácido participa da ativação do mecanismo osmorregulador da cultura. Comportamento similar ao cientificado em plântulas de feijão comum expostas ao déficit hídrico induzido por PEG (AGOSTINI et al., 2013; YAMAMOTO et al., 2014). Hayat et al. (2005) reportaram que a aplicação exógena de ácido salicílico incrementou o conteúdo de prolina nas plantas submetidas a estresse hídrico. O mesmo foi verificado com a aplicação de  $10^{-3}$  M de AS em plantas de gengibre (GASENMZADEH e JAAFAR, 2013).

As cultivares com menor concentração de PRO CEF (BRS Itaim) e de PRO HR (BR 17 Gurguéia) obtiveram os melhores resultados para os parâmetros de germinação, crescimento, além de uma maior atividade antioxidante. Desta forma, pode-se inferir que a prolina atua como uma molécula sinalizadora do estresse hídrico em feijão caupi, sendo sua concentração diretamente proporcional ao nível de danos. Monteiro et al. (2014) relatam que a prolina é um indicador bioquímico e fisiológico dos efeitos dos estresses salinos e hídricos em plântulas de guandu, no entanto, não verificaram melhoras nos parâmetros de crescimento com o acréscimo de prolina nas plantas de guandu sob estresse mais severo.

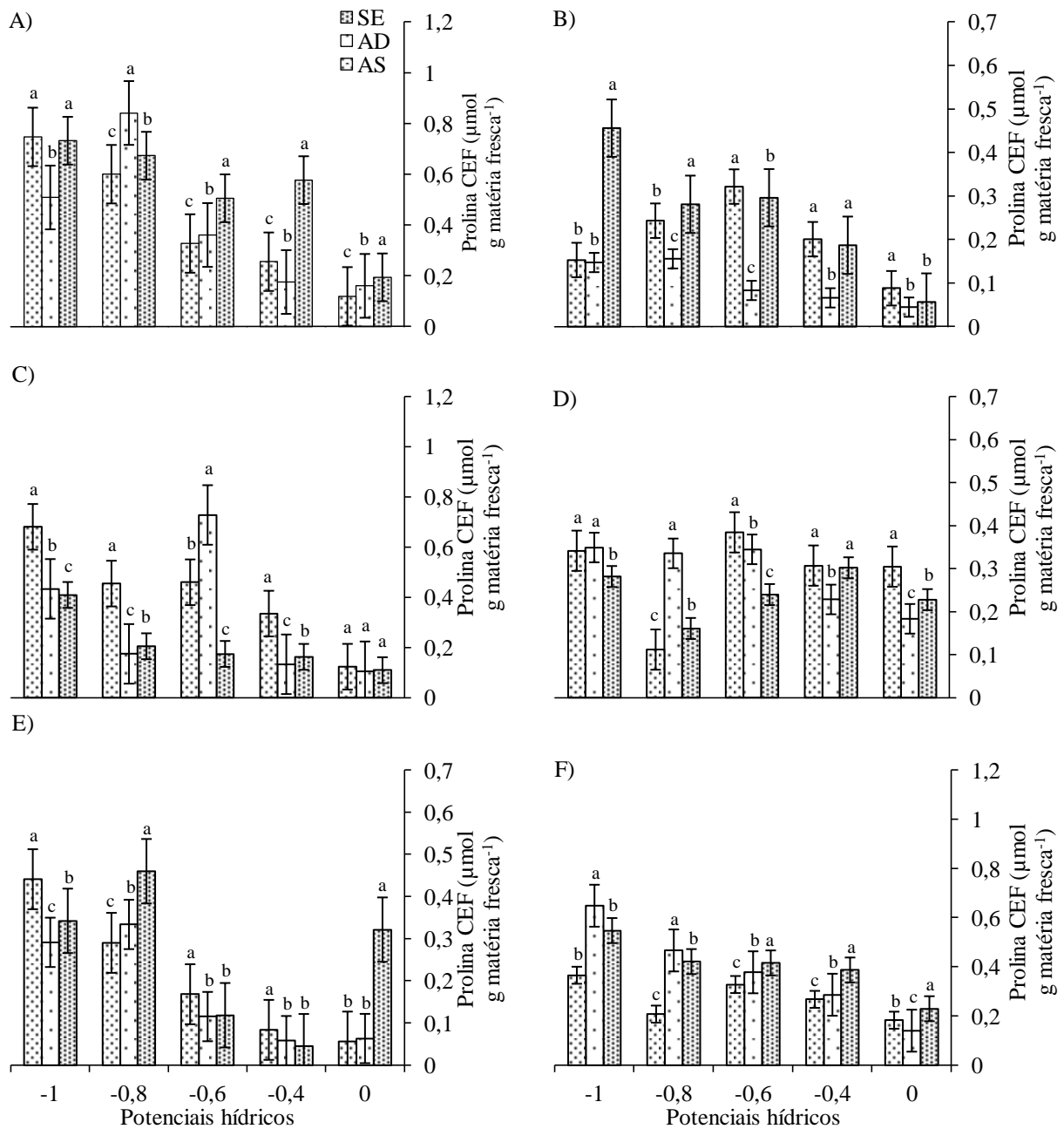


Figura 9: Teor de prolina livre nos cotilédones + epicótilos + folhas (PRO CEF) das cultivares de feijão caupi: BRS Guariba (A), BR 17 Gurguéia (B), BRS Aracé (C), BRS Marataoã (D), BRS Itaim (E) e BRS Potengí (F) acondicionadas durante a pré-semeadura e submetidas a diferentes potenciais hídricos induzidos por PEG 6000. Campina Grande, PB, 2016.

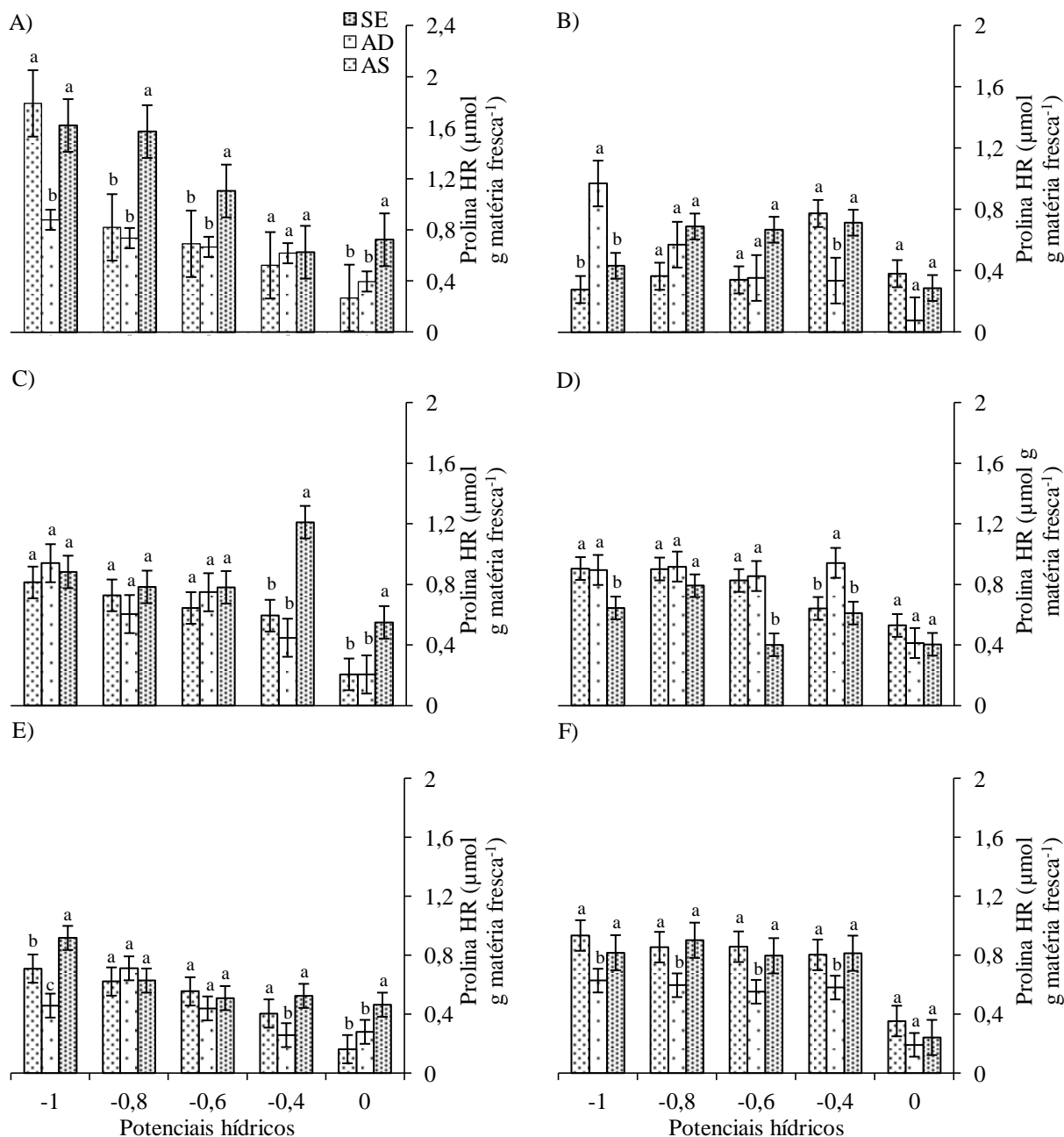


Figura 40: Teor de prolina livre nos hipocótilos + raízes (PRO HR) das cultivares de feijão caupi: BRS Guariba (A), BR 17 Gurguéia (B), BRS Aracé (C), BRS Marataoã (D), BRS Itaim (E) e BRS Potengí (F) acondicionadas durante a pré-semeadura e submetidas a diferentes potenciais hídricos induzidos por PEG 6000. Campina Grande, PB, 2016.

Vários mecanismos de proteção são ativados nas plantas em resposta à exposição em condições limitantes de cultivo, entre eles, o ajustamento osmótico é considerado um dos mais importantes para a manutenção do turgor celular, que ocorre em função do acúmulo de substâncias

como a prolina (MONTEIRO et al., 2014; KANG et al., 2014). Antes considerado apenas um osmólito, a prolina é vista hoje como um potente antioxidante e inibidor potencial da peroxidação lipídica, além de atuar na osmorregulação e na estabilização de proteínas (ASHRAF e FOOLAD, 2007; GILL e TUTEJA, 2010). Está bem documentado que a exposição a condições adversas induz o acúmulo de prolina livre na planta, por meio do aumento da síntese ou inibição da degradação, o que pode melhorar a tolerância a vários estresses abióticos especialmente o hídrico e o salino (GILL e TUTEJA, 2010), hipótese essa não confirmada no presente estudo.

O aumento da concentração de prolina livre pode estar relacionado com o mecanismo de osmorregulação, indicando que o feijão caupi acumula este aminoácido quando exposto a baixas quantidades de água com o intuito de proteger as estruturas celulares dos danos provocados durante o período de estresse. Acrescente-se que no estudo em questão, o acúmulo de prolina não foi efetivo na anulação dos efeitos deletérios da seca sobre a germinação, o crescimento das plântulas de feijão, sendo estes parâmetros decrescidos com o aumento da concentração de prolina livre nas células, o que pode estar relacionado com o agravamento do estresse hídrico (CARLIN e SANTOS, 2009).

Segundo Ashraf e Foolad (2007), o acúmulo de prolina em muitas espécies de plantas sob estresse tem sido correlacionado com a tolerância do vegetal, e sua concentração é geralmente mais elevada em plantas tolerantes do que em plantas sensíveis ao estresse. Hipótese esta não confirmada no presente estudo, onde as maiores concentrações de PRO CEF e PRO HR, encontradas na cultivar BRS Guariba, foram correlacionadas negativamente com a germinação, com o crescimento total.

## **6. CONCLUSÕES**

A embebição das sementes em solução de ácido salicílico ( $10^{-5}$  M) pode ser utilizada na indução de tolerância ao déficit hídrico durante a germinação e crescimento inicial de feijão caupi.

O aumento do conteúdo de prolina em plantas de caupi pode ser utilizado como indicativo da intensidade do estresse.

A BRS Itaim suporta melhor a redução do potencial hídrico com a aplicação de ácido salicílico.



## 7. 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.

AGARWAL, S. et al. Changes in antioxidant enzymes activity and oxidative stress by abscisic acid and salicylic acid in wheat genotypes. **Biologia Plantarum**, Praha, v. 9, p. 541-550, 2005.

AGRAWAL, R. **Seed Technology**. Newdehli India: Pub.co. Ltd, 2003.

ARAÚJO, J.L.S. et al. **Proteínas de choque térmico e tolerância a altas temperaturas em plantas**. Seropédica: Embrapaagrobiologia, 1998.

ASHRAF, M.; FOOLAD, M. R. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. **Environmental and Experimental Botany**, v.59, p.2 06-216, 2007.

AZEVEDO, H.; LINO-NETO, T.; TAVARES, R. M. Salicylic acid up-regulates the expression of chloroplastic Cu, Zn-superoxide dismutase in needles of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.). **Annals of Forest Science**, Les Ulis, v. 61, p. 847-850, 2004.

AZOOZ, M. M.; YOUSSEF, M. M. Evaluation of heat shock and salicylic acid treatments as inducers of drought stress tolerance in hassawi wheat. **American Journal of Plant Physiology**, v. 5, n. 2, p. 56-70, 2010.

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

BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Short communication. **Plant and soil**, v.39, p.205-207, 1973.

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

BECHER, T. W.; FOCK, H. P. The actividade of de nitrate redutase and poll sizes of some amino acids and some sugars in water stressed maize leaves. **PhotosynthesisResearch**, Netherlands, v. 8, p. 267-274, 1986.

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

BORSANI, O.; VALPUESTA, V.; BOTELLA, M. A. Evidence for a role of salicylic acid in the oxidative damage generated by NaCl and osmotic stress in arabidopsis seedlings. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 126, p. 1024-1030, 2001.

BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the determination of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **AnalyticalBiochemistry**, v.72, p.248-254, 1976.

**BRASIL**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para Análise de Sementes. Secretária de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 395 p.

BRITO. M. DE M. P.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C. DA. Marcha de absorção do nitrogênio do solo, do fertilizante e da fixação simbiótica em feijão-caupí (*Vigna unguiculata* (L) Walp.) e feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) determinada com o uso de <sup>15</sup>N. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 3, p. 895 – 905, 2009.

CAMBRAIA, J. Aspectos bioquímicos, celulares e fisiológicos dos estresses nutricionais em plantas. In: NOGUEIRA, R. J. M. C. et al. **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, 2005. p. 95-105.

CAMPOS, P. S.; THI, A. T. P. Effect of abscisic acid pretreatment on membrane leakage and lipid composition of *Vigna unguiculata* leaf discs subjected to osmotic stress. **Plant Science**, v. 130, p.11-18, 1997.

ÇANAKÇI, S., MUNZUROĞLU, O., Effect of Acetylsalicylic Acid on Germination, Growth and Chlorophyll Amounts of Cucumber (*Cucumis sativus* L.)Seeds. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v.10, n.17, p. 2930-2934, 2007.

CARVALHO, P. R.; MACHADO NETO, N. B.; CUSTÓDIO, C. C. Ácido salicílico em sementes de calêndula (*Calendula officinalis* L.) sob diferentes estresses. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 29, n. 1, p.114-124, 2007.

CARVALHO, R. I. N.; CARVALHO, D. B. Germinação de sementes de um ecótipo de paspalum da região de Guarapuava- Pr. **Semina: C. Agrárias**, v. 30, p. 1187-1194, 2009.

CASTRO, P. R. C.; MELOTTO, E. Bioestimulantes e hormônios aplicados via foliar. In: BOARETO, A. E.; ROSOLEM, C. A. Adubação foliar. Campinas: fundação Cargill. 1998.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, London, v. 103, p. 551–560, 2009.

CHAKRABORTY, U.; TONGDEN, C. Evaluation of heat acclimation and salicylic acid treatments as potent inducers of thermo tolerance in *Cicer arietinum* L. **Current Science**, Columbus, v.89, n. 2, 2005.

CHOUDHURY, S.; PANDA, S. K. Role of salicylic acid in regulating cadmium induced oxidative stress in *Oryza sativa* L. roots. **Bulgarian Journal of Plant Physiology**, v.30, n.3-4, p.95-110, 2004.

COLLI, S. Outros reguladores: brassinosteróides, poliaminas, ácidos jasmônicos e salicílico. In: KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. 2.ed. Rio de Janeiro : Guanabara Koogan, 2008. p. 296-302.

CORREA, K. G.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G. SANTOS, T. S. Crescimento, produção e características de fluorescência da clorofila *a* em amendoim sob condições de salinidade. **Ciência Agrônômica**, v.40, n.4, p.514-521, 2009.

DURÃES, M. A. B. **Respostas de duas populações de feijões (*Phaseolus vulgaris* L.) tratadas com ácido salicílico e submetidas a estresse hídrico**. 2006. 32 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) – Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, 2006.

FAGERIA, N. K.; SOARES FILHO, W. S.; GHEYI, H. R. **Melhoramento genético vegetal e seleção de cultivares tolerantes à salinidade**. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (Eds). Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza, CE: INCTSal, v. 1, p. 205-216, 2010.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Ecofisiologia e fenologia. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000.

FIGUEIREDO, M.G.; FRIZONNE, J.A.; PITELLI, M.M.; RESENDE, R. Lâmina ótima de irrigação do feijoeiro, com restrição de água, em função do nível de aversão ao risco do produto. **ActaScientiarum Agronomy**, v.30, n.1, p.81-87, 2008.

FLEXAS, J.et al. Effects of drought on photosynthesis in grapevines under fieldconditions. **Functional Plant Biology**, Dordrecht: Kluwer, 2002. p. 461-471.

FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas**. Passo fundo: Editora da UPF. 2004. 536p.

GIROTTO, L.; ALVES, J. D.; DEUNER, S.; ALBUQUERQUE, A. C. S.; TOMAZONI, A. P. Tolerância seca de genótipos de trigo utilizando agentes indutores de estresse no processo de seleção. **Revista Ceres**, v.59, n.2, p.192-199, 2012.

GONG, H.; ZHU, X.; CHEN, K.; WANG, S.; ZHANG, C. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. **Plant Science**, v.169, p. 313-321, 2005.

GRIEVE, C. M.; GRATTAN, S. R. Rapid assay for determination of water soluble quaternary ammonium compounds. **Plant and Soil**, v.70, p. 303-307, 1983.

GUNES, A.; PILBEAM, D. J.; INAL, A.; COBAN, S. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress. IN: Growth, antioxidant mechanisms, and lipid peroxidation. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.39, p. 1885-1903, 2008.

HARFOUCHE, A. L. et al. Salicylic acid induces H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> production and endochitinase gene expression but not ethylene biosynthesis in *Castanea sativa* in vitro model system. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 165, n. 7, p. 734-744, 2008.

HEGAZI, A. M.; EL- SHRAYI, A. M. Impact of salicylic acid and paclobutrazol exogenous application on the growth, yield and nodule formation of common bean. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v.1, n. 4, 2007.

HUNTR, E. A.; GLASBEY, C. A.; NAYLOV, R. E. L. The analysis of data from germination tests. **Journal of Agricultural Science**, v.102, p. 207-213, 1984.

HUSSAIN, M.M.; BALBAA, L. K.; GABALLAH, M. S. Salicylic acid and salinity effects on growth of maize plants. **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**, v. 31, n. 4, p. 321-328, 2007.

HUSSAIN, M. M. et al. 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.

JADOSKI, S. O.; CARLESSO, R.; MELO, G. L.; RODRIGUES, M. FRIZZO, Z. Manejo da irrigação para maximização do rendimento de grãos do feijoeiro. **Revista Irriga**, v.8, n.1, p.19, 2003.

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

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2004. 531 p.

LOBATO, A. K. S.; OLIVEIRA NETO, C. F.; COSTA, R. C. L.; SANTOS FILHO, B. G.; CRUZ, F. J. R.; LAUGHINGHOUSE, H. D. Biochemical and physiological behavior of *Vigna unguiculata*(L.) walp. under water stress during the vegetative phase. **Asian Journal of Plant Sciences**, Pakistan, v. 7, n. 1, p. 44-49, 2008.

LOPEZ, F. B.; CHAUHAN, Y.S.; JOHANSEN, C. Effects of timing of drought stress on leaf area development and canopy light interception of short-duration pigeonpea. **Journal of Agronomy and Crop Science**, California, v. 178, n. 1, p. 1-7, 2008.

MAHDAVIAN, K.; GHORBANLI, M.; KALANTARI, K. M. Role of salicylic acid in regulating ultraviolet radiation induced oxidative stress in pepper leaves. **Russian Journal of plant Physiology**, New York, v. 55, n. 4, p. 560-563, 2008.

MARDANI, H. et al. Assessment of Salicylic Acid Impacts on Seedling Characteristic of Cucumber (*Cucumis sativus*L.) under Water Stress. **Notulae Scientia 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. **Process Biochemistry**, v.35, p.603-613, 2000.

MCCORMICK, A. J. **Sink Regulation of Photosynthesis in Sugarcane**. 2007. 254 f. PhD Thesis (Doctorate of Philosophy) – University of KwaZulu-Natal, Durban, 2007.

MELO, A. S.; SILVA JÚNIOR, C. D.; FERNANDES, P. D.; SOBRAL, L. F.; BRITO, M. E. B.; DANTAS, J. D. M. Alterações das características fisiológicas da bananeira sob condições de fertirrigação. **Ciência Rural**, v. 39, n. 3, p. 733-741, 2009.

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

MICHEL, B.E. KAUFMANN, M.R. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. **Plant Physiology**, v.51, n.5, p. 914-916, 1973.

MOURA, J. Z.; PÁDUA, L. E. M.; MOURA, S. G.; TORRES, J. S.; SILVA, P. R. R. Escala de desenvolvimento fenológico e exigência térmica associada a graus-dia do feijão-caupi. **Caatinga**, v.25, n.3, p.66-71, 2012.

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidases in spinach chloroplast. **Plant and Cell Physiology**, v. 22, 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 e Ambiental**, v. 15, n. 8, p.853-860, 2011.

NEVES, M.J.; TERENCEZI, H.F.; LEONE, F.A.; JORGE, J.A. Quantification of trehalose in biological samples with a conidial trehalase from the thermophilic fungus *Humicola grisea* var. *thermoidea*. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v.10, p.17-19, 1994.

NICOLS, M. A.; HEYDECKER, W. Two approaches to the study of germination date. **International Seed Testing Association**, v.33, p.561-540, 1968.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; et al. Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Viçosa, v. 13, n. 1, p. 75-87, 2001.

NOREEN, S.; ASHRAF, M.; HUSSAIN, M.; JAMIL, A. Exogenous application of salicylic acid enhances antioxidative capacity in salt stressed sunflower (*Helianthus Annus L.*) plants. **Paquistan Journal Botany**, v.41, n.1, p.473-479, 2009.

PAIVA, A. S. et al. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 161-169, 2005.

POLIZEL, A. M. **Avaliações moleculares, morfo-anatômicas e fisiológicas de soja geneticamente modificada com a construção rd29A: DREB1A de Arabidopsis thaliana**, visando tolerância à seca. 2007. 125 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Biologia Molecular) – Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2007.

PALMA, F. et al. Combined effect of salicylic acid and salinity on some antioxidant activities, oxidative stress and metabolite accumulation in *Phaseolus vulgaris*. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 58, p. 307-316, 2009.

POPOVA, L.; PANCHEVA, T.; UZUNOVA, A. Salicylic acid, properties, biosynthesis and physiological role. **Bulgarian Journal of Plant Physiology**, v. 23, p.85-93, 1997.

QUEIROGA, J. L.; ROMANO, E. D. U.; SOUZA, J. R. P.; MIGLIORANZA, E. Estimativa da área foliar do feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris L.*) por meio da largura máxima do folíolo central. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.21, n.1, p.64-68, 2003.

REHMAN, S.; HARRIS, P. J. C.; BOURNE, W. F.; WILKEIN, J. The effect of sodium chloride on germination and the potassium and calcium contents of Acacia seeds. **Seed Science and Technology**, v.25, n.1, p. 45-57, 1996.

SANT' ANNA, H. L. S. **Aspectos fisiológicos de variedades de citros submetidas à deficiência hídrica progressiva**. 2009. 84p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2009.

SAWAZAKI, H. E.; TEIXEIRA, J. P. F.; D'ARTAGNAN, L. de A. Estresse de água no crescimento, produtividade e acúmulo de prolina em feijão. **Bragantia**, Campinas, v. 40, n. 15, p. 157-166, 1981.

SCOTT, S. J.; JONES, R. A.; WILLIAMS, W. A. Review of data analysis methods for seed germination. **Crop Science**, v. 24, p.1192-1199, 1984.

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, p. 157-161, 2000.

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. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 52, n. 2 , p. 793-800, 2005.

SCHOLANDER, P. F.; HAMMEL, H. T.; HEMMINGSEN, E. A.; BRADSTREET, E. D. Sap pressure in vascular plants. **Science**, v.148, p.339-346, 1965.

SILVA, T. C. F. S.; MATIAS, J. R.; RAMOS, D. L. D.; ARAGÃO, C. A.; DANTAS, B. F. Uso de diferentes concentrações de ácido salicílico na germinação de sementes de melância Crimson Sweet. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n.2, p.7679 -7685, 2012.

SILVA, M. A. et al. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Piracicaba, v. 19, n. 3, p. 193-201, 2007.

SINGH, T. N. et al. Changes in proline concentration in excised plant tissues. **Australian Journal of Biological Science**, v. 26, p 57-63, 1973.

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

SUBBARAO, G. V.; JOHANSEN, C.; SLINKARD, A. E.; RAO, R. C. N.; SAXENA, N. P.; CHAUHA, Y. S. Strategies for improving drought resistance in grain legumes. **Critical Reviews in Plant Science**, v.14, p.469-529, 1995.

SUDHAKAR, C.; LAKSHMI, A.; GIRIDARAKUMAR, S. Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl salinity. **Plant Science**, v.161, p.613-619, 2001.



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

TAYLOR, C. B. Proline and water deficit: ups, downs, ins, and outs. **Plant Cell**, Rockville, v. 8, p. 1221-1224, 1996.

VELINI, E. D. et al. **Glyphosate**. 1 ed. Botucatu: FEPAF, 2009. 496 p.

YAMAMOTO, C. J. T.; LEITE, R. G. F.; MINAMIGUCHI, J. Y.; BRAGA, I.; MACHADO NETO, N. B.; CUSTÓDIO, C. C. Water-deficit tolerance induction during germination of Jalo Precoce bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar. **Acta Physiologiae Plantarum**, v.36, n.11, p.2897-2904, 2014.

YEMM, E. W.; WILLIS, A. J. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **Biochemical Journal**, v.57, p.508-514, 1954.

YILDIRIM, E.; TURAN, M.; GUVENC, I. Effect of foliar salicylic acid applications on growth, chlorophyll, and mineral content of cucumber grown under salt stress. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 31, p. 593-612, 2008.

YUAN, S.; LIN, H. H. Role of salicylic acid in plant abiotic stress. **Zeitschrift für Naturforschung Section C. A Journal of Biosciences**, v. 63, p. 313-320, 2008.

