

**ÁCIDO SALICÍLICO COMO ATENUADOR DE ESTRESSE HÍDRICO NAS FASES DE
GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO INICIAL EM GERGELIM**

ADRIANA CONCEIÇÃO DA SILVA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA

CAMPINA GRANDE – PB

MARÇO DE 2015

**ÁCIDO SALICÍLICO COMO ATENUADOR DE ESTRESSE HÍDRICO NAS FASES DE
GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO INICIAL EM GERGELIM**

ADRIANA CONCEIÇÃO DA SILVA

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 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

MARÇO DE 2015

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.

S586a Silva, Adriana Conceição da.
Ácido salicílico como atenuador de estresse hídrico nas fases de germinação e crescimento inicial em gergelim [manuscrito] / Adriana Conceição da Silva. - 2015.
81 p. : il. color.

Digitado.
Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias) - Universidade Estadual da Paraíba, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa, 2015.
"Orientação: Prof. Dr. Alberto Soares de Melo, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa".

1. Sesamum indicum L. 2. Déficit hídrico. 3. Promoção de tolerância. 4. Atividade antioxidante. I. Título.

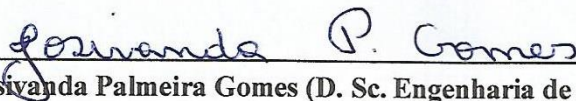
21. ed. CDD 631.8

**ÁCIDO SALICÍLICO COMO ATENUADOR DE ESTRESSE HÍDRICO NAS FASES DE
GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO INICIAL EM GERGELIM**

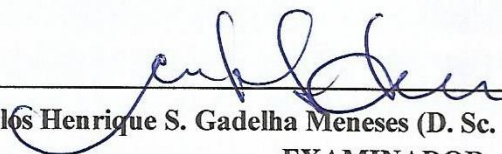
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Paraíba / Embrapa Algodão, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias / Área de Concentração: Agrobioenergia e Agricultura Familiar.

Aprovada em 27 de março de 2015

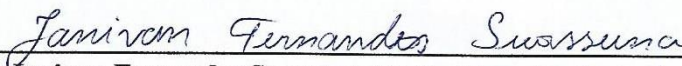
Banca Examinadora:



**Profª Josivanda Palmeira Gomes (D. Sc. Engenharia de Alimentos) – UFCG
EXAMINADORA**



**Prof. Carlos Henrique S. Gadelha Meneses (D. Sc. Biotecnologia Vegetal) – UEPB
EXAMINADOR**



**Prof. Janivan Fernandes Suassuna (D. Sc. Engenharia Agrícola) – UEPB
Coorientador**



**Prof. Alberto Soares de Melo (D. Sc. Recursos Naturais) – UEPB
Orientador**

*Dedico este trabalho ao meu amado
Pai Antônio Joaquim (in memoriam) por
ter me deixado o bem mais precioso... O estudo!
E a minha mãe Francisca Filomena que NUNCA
mediu esforços em prol da minha educação.*

DEDICO

*Ao meu querido Urquiza, por todo
incentivo, amor, paciência, ajuda e
companheirismo, fundamentais para essa
conquista.*

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus, essência da criação de tudo que nos rodeia e a origem da minha força para prosseguir nos momentos difíceis dessa conquista;

As minhas irmãs Andréa e Maria Aparecida e toda a minha família, pela força e por me trazerem alegria, paz, força para lutar e conquistar e, em algumas situações, para também recomeçar; Aos meus sobrinhos Antônio Neto e Ana Maitê pela presença maravilhosa, graça e alegria.

A meu orientador, professor Dr. Alberto, pelos conselhos valiosos, paciência e amizade. Obrigada por ter me estendido à mão no momento em que eu mais precisava de uma oportunidade. Hoje tenho bagagem científica e amadurecimento graças ao convívio diário com esse grande profissional e pessoa.

Ao meu coorientador, professor Dr. Janivan Fernandes Suassuna, pela amizade, atenção, paciência, confiança e pelo grande apoio na parte experimental desse trabalho.

A todos que fazem o Laboratório de Ecofisiologia Vegetal de plantas cultivadas ECOLAB, pela amizade sincera e grande apoio. Destaco aqui a minha gratidão fraterna a Rebeca, Duval, Maria Rocha, Wellison, Rosa, Rayssa, Emanuella, Andreza, Jaqueline, Katiane e Márcia meus companheiros nos experimentos e grandes amigos. Nunca esquecerei os momentos vividos com vocês.

Aos queridos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias Pedro Dantas, Carlos Henrique, Germano Vêras, Alberto Soares de Melo, Diogo Neder, pela orientação,

incentivo, amizade, ensinamentos e apoio em todas as etapas desta caminhada, meus sinceros agradecimentos e muito obrigado por fazerem parte de minha vida.

Aos meus colegas do Mestrado: Thiago, Ingrid, Isaias, Luana, Wellison, Geyse, Suziane, Ana Ligia, Jean, Jean Pierre, Ciro, companheiros nesses dois anos de muitas lutas, amizade, companheirismo e agradável convivência, muito obrigada por tudo.

Aos secretários do Mestrado em Ciências Agrárias Ernane e Danilo, pela atenção com que sempre atendiam as minhas solicitações.

À Universidade Estadual da Paraíba e à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, pela oportunidade de realização do curso.

À Embrapa Algodão, por ajudar na realização de experimentos e por conceder as sementes.

A CAPES pela bolsa de estudo concedida que viabilizou parte dos estudos.

Aos amigos que conquistei com os quais convivi e com quem muito aprendi: Claudia, Elizabete, Daniele, Carla Rafaela, Petrônio, Adriano, Mariana, Suzana, e a todos que conviveram comigo, pelos momentos de trabalho, alegria, colaboração e companheirismo; que me ajudou a suportar a falta da minha família e vencer mais essa etapa!

E por fim, a todos meus amigos em especial o amigo Carlos Pedro pela enorme ajuda no início desta caminhada e a todos que torceram e emitiram energias positivas para a realização de mais esta etapa!

Muito Obrigada!

“Agradeço todas as dificuldades que enfrentei; não fosse por elas, eu não teria saído do lugar. As facilidades nos impedem de caminhar. Mesmo as críticas nos auxiliam muito.”

Chico Xavier

SUMÁRIO

| | |
|----------------------------------------------------------------|------|
| LISTA DE TABELAS..... | viii |
| LISTA DE FIGURAS | ix |
| LISTA DE ABREVIATURAS | xi |
| RESUMO..... | xii |
| ABSTRACT..... | xiv |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2. OBJETIVOS..... | 4 |
| 2.1. Objetivo geral..... | 4 |
| 2.2. Objetivos específicos..... | 4 |
| 3. REVISÃO DE LITERATURA | 5 |
| 3.1- Importância socioeconômica e utilização do gergelim | 5 |
| 3.2-Taxonomia e histórico da cultura..... | 6 |
| 3.3- Solo e clima..... | 7 |
| 3.4- Germinação e déficit hídrico..... | 8 |
| 3.5 - Estresse hídrico e seus efeitos nas plantas..... | 8 |
| 3.6- Estresse hídrico no gergelim..... | 9 |
| 3.7- Ácido salicílico como indutor de tolerância | 11 |
| 3.8 - Proteção antioxidativa em plantas..... | 12 |
| 4. MATERIAL E MÉTODOS..... | 14 |
| 4.1- Caracterização e localização da pesquisa | 14 |
| 4.2- Fatores em estudo e delineamento estatístico | 14 |
| 4.3- Descrição dos genótipos | 15 |

| | |
|--------------------------------------------------------|----|
| 4.4- Instalação e condução do experimento..... | 16 |
| 4.5- Variáveis analisadas | 17 |
| 4.5.1- Variáveis de germinação..... | 17 |
| 4.5.2-Variáveis de crescimento..... | 18 |
| 4.5.3-Variáveis bioquímicas | 18 |
| Preparo de extratos..... | 18 |
| 4.5.4-Atividade da catalase – CAT | 19 |
| 4.5.5-Atividade da ascorbato peroxidase – APX | 20 |
| 4.5.6-Atividade da superóxido dismutase – SOD | 21 |
| 4.5.7-Determinação de proteínas solúveis totais..... | 22 |
| 4.6- Análise estatística..... | 22 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 23 |
| 5.1- Variáveis de germinação..... | 23 |
| 5.1.1- Percentagem de germinação (PG) | 24 |
| 5.1.2- Frequência relativa da germinação (FR)..... | 28 |
| 5.1.3 - Índice de velocidade de germinação (IVG) | 31 |
| 5.2 – Variáveis de crescimento | 34 |
| 5.2.1 - Comprimento da parte aérea (CPA) | 34 |
| 5.2.2 Comprimento da raiz (CR)..... | 38 |
| 5.3. Variáveis bioquímicas..... | 41 |
| 5.3.1-Atividade da catalase (CAT)..... | 42 |
| 5.3.2 - Atividade do ascorbato peroxidase (APX) | 45 |
| 5.3.3- Atividade do Superóxido dismutase (SOD)..... | 48 |
| 5.3.4- Proteínas solúveis | 51 |
| 6. CONCLUSÕES | 53 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 54 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1. Concentração de polietilenoglicol (PEG 6000) utilizada para obter os diferentes níveis de potencial osmótico, com temperatura de 25° C. | 15 |
| Tabela 2. Síntese da análise de variância para a porcentagem de germinação (PG) (%), frequência relativa de germinação (FR) (%) e índice de velocidade de germinação (IVG) em genótipos de gergelim submetidos a diferentes potenciais osmóticos e tratamento de sementes. Campina Grande- PB, 2015. | 23 |
| Tabela 3. Síntese da análise de variância para o Comprimento da parte aérea (CPA) (cm) e comprimento radicular (CR) (cm), em genótipos de gergelim submetidos a diferentes potenciais osmóticos e tratamento de sementes. Campina Grande- PB, 2015. | 34 |
| Tabela 4. Síntese da análise de variância para atividade das enzimas Catalase – CAT; Ascorbato peroxidase – APX; superóxido dismutase – SOD e o teor de proteínas solúveis em genótipos de gergelim submetidos a diferentes potenciais osmóticos e tratamento de sementes. Campina Grande- PB, 2015. | 41 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Aferição do comprimento da parte aérea – CPA (A) (cm) e comprimento da raiz – CR (B) (cm) em plântulas de genótipos de gergelim submetidos a diferentes potenciais hídricos e tratamento de sementes. Campina Grande - PB 2015. | 18 |
| Figura 2. Preparo de extratos maceração de plântulas (A) e transferência para tubos <i>ependorf</i> (B) do extrato de plântulas de genótipos de gergelim submetidos a diferentes potenciais hídricos e tratamento de sementes. Campina Grande - PB, 2015..... | 19 |
| Figura 3. Avaliação da atividade da APX em plântulas de genótipos de gergelim submetidos a diferentes potenciais hídricos e tratamento de sementes. Campina Grande - PB, 2015. | 20 |
| Figura 4. Avaliação da atividade da SOD em plântulas de genótipos de gergelim submetidos a diferentes potenciais hídricos e tratamento de sementes. Campina Grande - PB, 2015. | 21 |
| Figura 5. Determinação de curva-padrão de Proteína em plântulas de genótipos de gergelim submetidos a diferentes potenciais hídricos e tratamento de sementes. Campina Grande - PB, 2015. | 22 |
| Figura 6 - Percentual de germinação (PG) de genótipos de gergelim submetidos a diferentes potenciais osmóticos e pré-tratamento de sementes. Campina Grande, PB, 2015. | 27 |
| Figura 7 - Frequência relativa de germinação (FR) de genótipos de gergelim submetidos a diferentes potenciais osmóticos e pré-tratamento de sementes. Campina Grande, PB, 2015.. | 30 |
| Figura 8 - Índice de velocidade de germinação (IVG) de genótipos de gergelim submetidos a diferentes potenciais osmóticos e pré-tratamento de sementes. Campina Grande, PB, 2015. | 33 |
| Figura 9 - Comprimento da parte aérea (CPA) de genótipos de gergelim submetidos a diferentes potenciais osmóticos e pré-tratamento de sementes. Campina Grande, PB, 2015..... | 37 |
| Figura 10 - Comprimento radicular (CR) de genótipos de gergelim submetidos a diferentes potenciais osmóticos e pré-tratamento de sementes. Campina Grande, PB, 2015..... | 40 |
| Figura 11- Atividade da catalase (CAT) em genótipos de gergelim submetidos a diferentes potenciais osmóticos e pré-tratamento de sementes. Campina Grande, PB, 2015. | 44 |
| Figura 12 - Atividade da ascorbato Peroxidase (APX) em genótipos de gergelim submetidos a diferentes potenciais osmóticos e pré-tratamento de sementes. Campina Grande, PB, 2015.. | 47 |
| Figura 13 - Atividade da superóxido dismutase (SOD) em genótipos de gergelim submetidos a diferentes potenciais osmóticos e pré-tratamento de sementes. Campina Grande, PB, 2015. | 50 |

Figura 14 - Concentração de proteínas solúveis de genótipos de gergelim submetidos a diferentes potenciais osmóticos e pré-tratamento de sementes. Campina Grande, PB, 2015.. 52

LISTA DE ABREVIATURAS

CAT - Catalase

APX - Ascorbato peroxidase

POX- Peroxidase de fenóis

SOD - Superóxido dismutase

EROs - Espécies reativas de oxigênio

O₂• - Superóxido de hidrogênio

H₂O₂ - Peróxido de hidrogênio

•OH - Radical hidroxílico

¹O₂ - Oxigênio singleto

O₂ – Oxigênio

ON - Óxido nítrico

LAG - Linhagem avançada de gergelim

CNPA - Centro Nacional de Pesquisa de Algodão

MPa – Megapascal

ETo - Evapotranspiração de referência

PMP – Ponto de murcha permanente

RESUMO

SILVA, ADRIANA CONCEICAO DA M.Sc., Universidade Estadual da Paraíba/Embrapa Algodão, março de 2015. **Ácido salicílico como atenuador de estresse hídrico nas fases de germinação e crescimento inicial em gergelim.** Campina Grande, PB, 2015. 81p. Dissertação (Pós-Graduação em Ciências Agrárias). Orientador: Prof. Dr. Alberto Soares de Melo. Coorientador: Prof. Dr. Janivan Fernandes Suassuna.

O estudo da resposta germinativa de sementes submetidas à condição de estresses artificiais é uma ferramenta importante no entendimento da capacidade de sobrevivência e adaptação das culturas sob condições estressantes, podendo contribuir para o desenvolvimento de estratégias de manejo. Nesse sentido, objetivou-se, avaliar o ácido salicílico como atenuador de estresse hídrico induzido por polietilenoglicol (PEG 6000) na germinação e no crescimento inicial de gergelim. Para tanto o experimento foi desenvolvido em laboratório para avaliação do efeito de diferentes potenciais hídricos no substrato (0,0 testemunha; -0,2; -0,4; -0,6 e -0,8 MPa) e três tratamentos de pré-embebição de sementes (pré-embebição em água destilada; pré-embebição em ácido salicílico e sem pré-embebição) e seis genótipos de gergelim (BRS Seda, CNPA-G2, CNPA-G3, CNPA-G4, LAG-Branquinha e LAG-Pretinha). Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições e 50 sementes por repetição. Foram avaliadas o percentual de germinação (%), a frequência relativa de germinação (%) e índice de velocidade de germinação, comprimento da parte aérea (cm), comprimento radicular (cm) e variáveis bioquímicas (atividades das enzimas catalase - CAT, ascorbato peroxidase - APX e superóxido dismutase - SOD e ainda, o teor de proteínas solúveis). A redução do potencial osmótico do substrato reduziu o comprimento das plântulas de gergelim e a concentração de ácido salicílico (10^{-5} mol L⁻¹) utilizada na pré-embebição das sementes promoveu indução de tolerância ao estresse hídrico durante a germinação e maior crescimento radicular nos genótipos BRS - Seda; CNPA-G2, CNPA-G4 e LAG-Branquinha, como também se observou aumento na atividade das enzimas

avaliadas em decorrência do estresse hídrico. O genótipo CNPA-G2 teve melhor desempenho para os caracteres avaliados, demonstrando maior potencial de adaptação à deficiência hídrica.

Palavras-chave: *Sesamum indicum* L, déficit hídrico, promoção de tolerância, atividade antioxidante.

ABSTRACT

SILVA, ADRIANA CONCEICAO DA M.Sc., Universidade Estadual da Paraíba/Embrapa Algodão, March 2015. **Salicylic acid as attenuator of drought stress on germination and initial growth of sesame.** Campina Grande, PB, 2015. 81 p. Dissertation (Graduate Agricultural Sciences). Major professor: Prof. Dr. Alberto Soares de Melo and Prof. Dr. Janivan Fernandes Suassuna.

The study of germination response of seeds to the artificial stress condition is an important tool in understanding of the survivability and adaptation of crops under stressful conditions, may contribute to the development of management strategies. In this sense, the objective was to evaluate salicylic acid as attenuator of water stress induced by polyethylene glycol (PEG 6000) on germination and initial growth of sesame. So, the experiment carried out in the laboratory to evaluate the effect of different water potentials in the substrate (0.0 control; -0.2, -0.4, -0.6 and -0.8 MPa) and three treatments of soaking seeds (soaking in purified water, soaking seeds in salicylic acid and without soaking) and six sesame genotypes (BRS Seda, CNPA-G2, CNPA-G3, G4-CNPA, LAG -Branquinha and LAG-Pretinha). It was adopted a completely randomized design with four replications and 50 seeds per replication. It were evaluated the germination percentage (%), the relative frequency of germination (%) and germination speed index, shoot length (cm), root length (cm) and biochemical variables (activities of catalase - CAT, ascorbate peroxidase - APX and superoxide dismutase - SOD and also the content of soluble proteins). Reduction of the osmotic potential of the substrate reduced the length of sesame seedlings and salicylic acid concentration (10^{-5} mol L⁻¹) used in soaking seeds promoted the induction of tolerance to drought stress during germination and further growth root in BRS Seda, CNPA-G2, CNPA-G4 and -LAG-Branquinha, as also observed an increase in the activity of the enzymes evaluated as a result of water stress. The CNPA-G2 genotype had better performance, demonstrating high potential for adaptation to water deficit.

Keywords: *Sesamum indicum* L, water deficit, promotion of tolerance, antioxidant activity.

1. INTRODUÇÃO

O gergelim (*Sesamum indicum* L.) é uma cultura tolerante ao estresse hídrico uma vez que tolera supressão hídrica de até 60% sem diminuição no desenvolvimento da cultura, devido, provavelmente, ao fato de a planta de gergelim possuir resistência estomática bastante elevada, fazendo com que a transpiração seja reduzida nos períodos de deficiência hídrica no solo, mantendo assim, o teor de água e capacitando-a a tolerar mais a seca (BEZERRA et al., 2010).

Nesse sentido a deficiência hídrica é um dos estresses abióticos mais limitantes ao crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas agrícolas (MELO et al., 2010), além de afetar as relações hídricas nas plantas e modificar seu metabolismo, esse fenômeno ocorre em grandes extensões de áreas cultiváveis. Assim os efeitos do déficit sobre os vegetais são evidentes em todos os seus estádios fenológicos, e podem variar em função da severidade e duração do estresse (FAROOQ et al., 2009).

Algumas estratégias como a perda das folhas e/ou diminuição da área foliar, para redução da transpiração, abscisão foliar, aprofundamento de raízes, entre outros, são utilizadas pelas plantas para auxiliar na tolerância contra a seca já que o déficit hídrico afeta o metabolismo das plantas de várias maneiras, sendo o fechamento estomático e conseqüentemente a diminuição da condutância estomática um primeiro mecanismo de ação contra o estabelecimento do déficit (GOODGER et al., 2010) seguido de variação na distribuição e desenvolvimento radicular, perda das raízes superficiais e proliferação das profundas.

Um dos períodos mais críticos para a sobrevivência das plantas é durante a germinação até o estabelecimento das plântulas, tornando-se importante entender os mecanismos que conferem às sementes de algumas espécies a capacidade de germinar sob condições de estresse hídrico, buscando uma futura tolerância e aclimatação das culturas ao estresse hídrico, os quais abririam a possibilidade de utilização destas via de tratamento de sementes ou por meio de outros métodos com conseqüente, vantagens em relação a outras sementes que são sensíveis à seca (COLMAN et al., 2014).

Alguns pesquisadores como Apel e Hirt (2004) e Møller et al. (2007), reportam que a falta de água leva à restrição da atividade fotossintética e ao aumento na respiração das plantas, ocasionando produção excessiva de espécies reativas de oxigênio – EROs, as quais são produzidas nas mitocôndrias, cloroplastos e peroxissomos. Para tanto tais compostos são capazes de causar dano oxidativo aos lipídios, proteínas e ao DNA. Ressalta-se que quando isso ocorre, as plantas ativam um sistema antioxidativo, por meio da atuação de enzimas específicas neutralizando a ação das EROs variando de acordo com a intensidade, com o tempo de estresse, com a interação com outros tipos de estresse, com o estágio de desenvolvimento em função do genótipo (MENESES et al., 2006).

São variados os estudos já realizados com o gergelim, com o objetivo de obter genótipos mais tolerantes ao estresse hídrico, no Brasil e no mundo e na maioria das vezes os autores associam a deficiência hídrica a algum tipo de fertilizante, sintético ou natural, na tentativa de amenizar o efeito do estresse hídrico sobre a cultura (BEZERRA et al., 2010; LIMA et al., 2011; BAHRAMI et al., 2012; MESQUITA et al., 2013). Destaca-se ainda pesquisa envolvendo espaçamentos e densidades de plantio, em cultivos mecanizados, que avaliaram os efeitos de diferentes níveis de estresse hídrico na germinação e crescimento de plântulas de gergelim (QUEIROGA et al., 2009).

Na maioria das vezes, os estudos envolvendo estresse hídrico são induzidos com diversas substâncias para simular condições de estresse hídrico, a exemplo o polietilenoglicol (PEG), agente osmótico quimicamente inerte, não tóxico e não eletrolítico que está disponível em formulações comerciais com diferentes pesos moleculares (4000, 6000, 8000, 12000 e 20000), sendo 6000 o mais utilizado por não penetrar nas células devido ao seu elevado peso molecular (MARTINS et al., 2014).

Em relação às formas de atenuação dos efeitos adversos dos estresses abióticos às plantas, recentemente tem sido estudada a aplicação exógena de ácido salicílico (AS) em espécies vegetais visando avaliar a atuação deste composto como atenuador de tais efeitos. O ácido salicílico (AS) é um composto fenólico considerado componente de uma nova classe de substâncias de crescimento em plantas, além dos hormônios vegetais, que atua como importante regulador de diversos processos fisiológicos na planta, incluindo a fotossíntese. Esse composto também é considerado um potencial agente antioxidante enzimático, estando relacionado à ativação de respostas em defesa no vegetal em condições de estresse (NOREEN et al., 2009).

Nesse contexto, em função do expressivo potencial do gergelim no Brasil, especialmente para a agricultura familiar na região Nordeste, onde é frequente a ocorrência de períodos de seca, torna-se relevante à investigação de genótipos mais adaptados a tais condições,

assim como é necessário buscar alternativas para minimizar os danos causados às culturas, garantindo a otimização e a sustentabilidade de seu cultivo. Dessa maneira além de serem inexistentes trabalhos envolvendo o tratamento de plantas de gergelim com ácido salicílico em condições ambientais estressantes, evidencia-se a relevância do conhecimento das relações entre mecanismos fisiológicos e bioquímicos envolvidos na adaptação desta espécie sob condições de supressão hídrica.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar o ácido salicílico como atenuador de estresse hídrico induzido por polietilenoglicol (PEG 6000) na germinação e no crescimento inicial de gergelim.

2.2. Objetivos específicos

- Avaliar a germinação de genótipos de gergelim submetidos a estresse hídrico induzido com PEG 6000 e tratamento de embebição das sementes com ácido salicílico e água destilada.
- Analisar parâmetros bioquímicos (atividade enzimática e teor de proteínas solúveis) em plântulas de gergelim condicionadas a estresse hídrico.
- Avaliar a atuação do ácido salicílico como indutor de tolerância ao estresse hídrico em genótipos de gergelim durante a germinação.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1- Importância socioeconômica e utilização do gergelim

O gergelim apresenta características agronômicas, fisiológicas e nutricionais que o tornam uma cultura bastante promissora para o Semiárido brasileiro e o desenvolvimento de técnicas que estimulem seu cultivo e, principalmente o consumo desta pedaliácea, pode contribuir com a soberania alimentar no Nordeste (ARAÚJO et al., 2014).

A principal demanda de gergelim provém da indústria alimentícia, sendo que 70% da produção de grãos, na maioria dos países importadores, são utilizadas para a elaboração de óleo e farinha. Além disso, pode ser empregado como cultura armadilha para mosca branca e controle de formigas cortadeiras; acrescenta-se que essa cultura se insere nos sistemas tradicionais de cultivo (convencional e plantio direto) como também no sistema de produção agroecológico (PERIN et al., 2010).

Dependendo da variedade, a semente integral do gergelim, pode conter 54,08% de óleo e 21,83% de proteína, além de ser considerada rica em aminoácidos sulfurados, característica rara entre as proteínas de origem vegetal (QUEIROGA et al., 2009). Segundo Lima et al. (2011), por ser uma alternativa de renda e fonte de proteína para consumo e enriquecimento de outros produtos, aliado aos segmentos fitoterápicos e fitocosméticos, seu cultivo apresenta grande potencial econômico, em virtude da diversificada forma de exploração, seja no mercado interno quanto no externo.

Para se alcançar objetivos produtivos positivos, é necessário adaptar um bom manejo da cultura no campo, para que a mesma possa atingir todo o seu potencial e conhecer as necessidades de consumo de água e nutrientes é fundamental, uma vez que o correto manejo da água viabiliza a produção das culturas, regularizando e complementando o uso do solo e gera aumento de produtividade (MESQUITA et al., 2013). Pela tolerância à seca e pela facilidade de cultivo o gergelim tem alto potencial produtivo, podendo ser cultivado em sucessão, rotação e consorciação com outras culturas. Nos últimos anos, o gergelim tem despertado o interesse de pequenos e médios produtores que buscam alternativas de produção, por constituir um alimento

de alto valor nutricional e uma cultura muito tolerante à seca e bem adaptada à produção familiar (PERIN et al., 2010).

A demanda permanente por incrementos de produtividade e por diminuição de custos de produção nos diversos elos da cadeia de produção aponta a introdução de algumas tecnologias nas etapas de semeadura e colheita do gergelim como alternativa para viabilizar a exploração desta cultura no Nordeste brasileiro, pelo uso de técnicas simples destacando-se, dentre elas, a falta de tecnologias para a operação da colheita, consistindo de operações totalmente manuais; por facilitar o manejo e a colheita, poderão ampliar as áreas de plantio (QUEIROGA et al., 2009).

3.2-Taxonomia e histórico da cultura

O gergelim pertence ao gênero *Sesamum* e à família *Pedaliácea*; existindo grande número de espécies, a maioria silvestre, sendo *Sesamum indicum* L. a principal fonte do gergelim comercial. Acredita-se que o gergelim é uma das culturas mais antigas do mundo, sendo cultivada na Babilônia e Assíria há 4.000 anos e foi, possivelmente, originária do continente Africano, tendo chegado ao Brasil no século XVI, introduzida pelos portugueses (ANTONIASSI et al., 2013).

Há milhares de anos o gergelim é cultivado por pequenos agricultores, muitas vezes em áreas onde não era possível o cultivo de outros vegetais, sob deficiência hídrica e/ou altas temperaturas (ARAÚJO et al., 2014). Em muitos países o gergelim é cultivado após a época das chuvas, sob umidade residual e sem chuvas ao longo do ciclo. Em outros, é cultivado em épocas sujeitas a chuvas em parte do ciclo. Em vários países, em bordas de desertos, onde nenhuma outra cultura se desenvolve, o gergelim é a última opção de cultivo (LANGHAM, 2008).

Atualmente, o gergelim vem sendo cultivado em 71 países, especialmente na Ásia e África que detêm cerca de 96% da área plantada. Os principais países produtores são Índia e Myanmar, com 50% da produção mundial, seguidos de Sudão, China, Etiópia, Nigéria, Uganda, Niger, Burkina Faso e Tanzânia. A produção está estimada em 3,8 milhões de toneladas, obtidas em 7,8 milhões de hectares, com uma produtividade média de 487 kg ha⁻¹. O Brasil é considerado um pequeno produtor, com 16 mil toneladas produzidas em 25 mil ha e rendimento de 640 kg ha⁻¹, sendo que os estados brasileiros maiores produtores de gergelim são Goiás (67% da produção nacional), Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Ceará, Piauí, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Bahia e Minas Gerais (FAO, 2012).

Na região Nordeste do Brasil, o gergelim vem ganhando destaque por representar uma cultura de grande potencial econômico, mas na maioria dos estados, a exploração do gergelim ainda permanece em âmbito de subsistência, com poucos excedentes comercializáveis, exercendo, contudo, uma apreciável função social (BELTRÃO et al., 2010).

3.3 – Solo e clima

O cultivo do gergelim prospera em regiões de alta temperatura, baixa altitude e iluminação solar abundante. Em geral, é tolerante à seca e apta para o cultivo em zonas áridas e semiáridas e em épocas de escassas precipitações pluviométrica (BELTRÃO et al., 2010).

Com base em Oliveira et al. (2009) a maioria dos genótipos produz bem até a altitude de 1250 m, e acima disto, a produtividade é reduzida; Temperaturas médias entre 25 a 27°C são ótimas, inclusive para a germinação das sementes, pois temperaturas baixas, além de retardar o crescimento e o desenvolvimento das plantas, reduzem a qualidade do óleo, interferindo negativamente nos teores de sesamina e sesamolina, que possuem capacidades antioxidantes e previnem o câncer. Temperaturas abaixo de 20 °C provocam atraso na germinação, e se inferiores a 10 °C paralisam todo o metabolismo da planta levando-a à morte. Temperaturas médias de 27 °C favorecem o crescimento vegetativo, bem como a maturação dos frutos do gergelim. Quedas de temperatura durante o período de maturação afetam a qualidade das sementes e do óleo.

Precipitações pluviais entre 500 a 600 mm anuais podem ser, assim distribuídos: 35% no período de germinação ao aparecimento do primeiro botão floral, 45% durante o florescimento e início da frutificação e durante a maturação, apenas 20%. Por estas razões é considerado tolerante à seca (BELTRÃO et al., 2010). A região semiárida do Nordeste brasileiro apresenta condições propícias ao cultivo do gergelim, pois têm fatores climáticos extremamente favoráveis: umidade relativa do ar, em média 60% e o número mínimo de 2.600 horas de brilho solar por ano. Essas condições contribuem para baixa incidência de doenças, maior desenvolvimento das plantas e obtenção de sementes de boa qualidade (OLIVEIRA et al., 2009).

A espécie prefere solos profundos com textura franca, bem drenados e de boa fertilidade natural (macro e micronutrientes) e nunca solos salinos por ser extremamente sensível à salinidade e à alcalinidade. A planta pode crescer ou se desenvolver em tipos diversos de solos sem atingir a plenitude observada nos solos preferenciais. Os solos devem apresentar reação neutra, pH próximo a 7,0 não tolerando a planta, aqueles com pH abaixo de 5,5 ou acima de 8,0. (GRILLO JÚNIOR e AZEVEDO, 2013).

3.4 - Germinação e déficit hídrico

A deficiência hídrica é o fator limitante de maior significância na germinação, sobrevivência e crescimento inicial de plântulas/plantas. As condições em que as sementes se encontram no solo para a germinação nem sempre são ótimas, como é o caso dos solos salinos, sódicos ou com déficit hídrico, que são de ocorrência natural nas regiões áridas e semiáridas (GUEDES et al., 2013).

Para que a germinação ocorra é fundamental que exista disponibilidade de água no substrato, pois a germinação é dependente da embebição da semente, resultado do período de absorção de água relacionado com o potencial hídrico do substrato (SERT et al., 2009), aperfeiçoando o fator hídrico, as sementes podem desempenhar melhores condições para germinação e emergência (DIAS et al., 2008; BRASIL, 2009).

Os estudos relacionados com a resposta germinativa de sementes à condição de estresses artificiais têm importância especial para a ecofisiologia e constituem-se em ferramentas que possibilitam a avaliação dos limites de tolerância de sobrevivência e adaptação das espécies às condições de estresses naturais, como seca, calor e solos afetados por sais, à semelhança da caatinga e do semiárido nordestino (GUEDES et al., 2013). Nesse contexto o estresse hídrico contribui para a diminuição da velocidade e do percentual de germinação das sementes, existindo um valor de potencial hídrico diferente para cada espécie, abaixo do qual a germinação não ocorre (ÁVILA et al., 2007).

Assim a primeira condição para a germinação de uma semente viável e não dormente é a disponibilidade de água para sua reidratação. Da absorção de água resulta a reidratação dos tecidos com a conseqüente intensificação da respiração e de todas as outras atividades metabólicas, que culminam com o fornecimento de energia e nutrientes necessários para a retomada de crescimento do eixo embrionário (REGO et al., 2011).

3.5 - Estresse hídrico e seus efeitos nas plantas

A água é o principal constituinte vegetal, totalizando cerca de 90% da massa de matéria verde. Além disso, de todos os recursos de que a planta necessita para crescer e funcionar, a água é o mais abundante e, ao mesmo tempo, o mais limitante para produtividade agrícola, uma vez

que constitui a matriz e o meio onde ocorre a maioria dos processos bioquímicos essenciais à vida (TAIZ e ZEIGER, 2009). A falta de água no solo limita intensamente o crescimento das espécies vegetais em várias regiões do mundo, tornando-se limitante principalmente nos períodos de baixa pluviosidade, ocasionando efeitos deletérios que poderão afetar a produtividade (LECHINOSKI et al., 2007).

A velocidade de imposição do estresse hídrico às plantas é importante no que diz respeito aos seus efeitos no metabolismo vegetal. Quando ocorre rapidamente, os mecanismos morfofisiológicos são severamente afetados. Entretanto, quando o déficit hídrico é estabelecido gradualmente, ocorrem adaptações na planta, principalmente se ocorrer no início do ciclo. Redução no crescimento, diminuição no tamanho das folhas e senescência foliar são algumas das respostas das plantas que lhes conferem adaptação a essa condição, uma vez que são mecanismos que diminuem a perda de água para atmosfera (CHAVES et al., 2009).

O estresse hídrico das plantas está diretamente ligado com a quantidade de água existente no solo, sendo este o grande armazenador e fornecedor de água às plantas, solos com textura mais finas (argiloso) retêm maior quantidade de água do que solos com partículas mais grossas (arenosos) (FARIAS, 2009), o que evidencia que em solos argilosos, as plantas tendem a sofrer menos com o estresse hídrico, como acontece em um período de estiagem.

As fases de desenvolvimento das culturas para a produção de grãos com maior necessidade hídrica e mais críticas à falta de água ocorre em geral no período reprodutivo, já que, o consumo mais elevado de água coincide com o período em que a cultura apresenta maiores índices de área foliar (FARIAS, 2009).

3.6- Estresse hídrico no gergelim

O déficit hídrico, comum no semiárido da região Nordeste, tem comprometido o desenvolvimento do gergelim sob o regime de sequeiro. A água além de ser o componente majoritário da célula vegetal, é essencial ao crescimento e manutenção da turgescência. As plantas cultivadas estão constantemente expostas a estresses abióticos ou bióticos, e às interações, que causam modificações no crescimento, metabolismo e rendimento agrícola (PINTO et al., 2014).

Por sua tolerância ao estresse hídrico, o cultivo de gergelim constitui uma alternativa de exploração em pequenas comunidades rurais, representando um suporte socioeconômico de alta importância para a região semiárida nordestina, haja vista que são poucas as oportunidades para o agronegócio da agropecuária, em função das condições edafoclimáticas adversas, do

minifúndio presente e da baixa tecnologia e conhecimento dos produtores (BEZERRA et al., 2010). A maioria dos estádios de desenvolvimento da planta são afetados pelo estresse hídrico, mas as respostas celulares específicas são peculiares e variam de acordo com o órgão, o tipo e o estágio de desenvolvimento celular ou da planta e, principalmente, do genótipo (SAMBATTI e CAYLOR, 2007).

Mesquita et al. (2013), avaliando os efeitos de cinco níveis de irrigação, sobre variáveis de crescimento e de produção, utilizando a variedade BRS Seda, observaram ao final do experimento um efeito positivo no aumento dos níveis para ambas as variáveis matéria seca da parte aérea, altura da planta, número de cápsulas por planta e produtividade. Constatou-se também que a lâmina de irrigação que maximizou a produtividade do gergelim foi estimada em 116,5% com base na ETo de PMP.

Pinto et al. (2014), estudando o crescimento e parâmetros fisiológicos de três culturas oleaginosas, dentre elas o gergelim, cultivares CNPA-G3 e CNPA-G4, submetidas a ciclos de deficiência hídrica na fase de crescimento vegetativo, verificaram ao final do experimento dentre outros aspectos que a cultivar CNPA-G3 apresenta desempenho superior ao da cultivar CNPA-G4 nas relações massa seca das raízes / massa seca da parte aérea e massa seca das raízes / massa seca total, sugerindo que nas condições de deficiência hídrica teria, menores danos no acúmulo de matéria seca; em cinco genótipos de gergelim ('Oltan', 'Felestin', 'Borazjan -5', 'Safiabad' e 'Karaj-1').

Bahrami et al. (2012), investigaram os efeitos de diferentes níveis de estresse hídrico (0,0 controle, -2,0; - 4,5 e -6,6 bar) na germinação e crescimento inicial de plântulas; ao final do experimento o Borazjan -5 foi identificado como a cultivar mais tolerante entre as testadas neste experimento.

Como exemplo de pesquisas envolvendo o estresse hídrico e fertilizante, há o trabalho realizado por Bezerra et al. (2010), que avaliou a produção da cultivar CNPA-G4 (BRS 196) de gergelim, submetida a diferentes níveis de estresse hídrico no solo e doses de adubação, visando definir o melhor manejo de água e fertilizante orgânico, sendo observado, ao final do experimento, maior produção de flores e maior crescimento em altura nas plantas de gergelim submetidas a estresse hídrico, desde que adubadas com biosólidos.

Outros pesquisadores como Silva et al. (2014), também estudaram o efeito do crescimento inicial do gergelim sob diferentes níveis de irrigação, presença e ausência de biofertilizante bovino, registrando-se em ambas as pesquisas, que a interação irrigação e biofertilizante bovino podem ser utilizadas para potencializar a capacidade produtividade das plantas.

3.7- Ácido salicílico como indutor de tolerância

Existem compostos orgânicos que são produzidos constitutivamente pelas plantas e tem seu nível incrementado em resposta aos estresses. Estes compostos funcionam como indutores de resistência e são chamados hormônios vegetais. As plantas produzem uma grande variedade de hormônios vegetais entre os quais se incluem as auxinas, giberelinas, ácido abscísico, citocininas e etileno. Recentemente, outros compostos que podem afetar o crescimento e o desenvolvimento vegetal têm sido descritos, dentre eles o ácido salicílico (GONÇALVES et al., 2014).

O Ácido Salicílico (AS) é um regulador de crescimento endógeno de natureza fenólica, o qual participa da regulação de processos fisiológicos nas plantas e também está relacionado com a resistência às doenças. O composto 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 e YOUSSEF, 2010) e apresenta inúmeras funções, destacando-se inibição da germinação e do crescimento, interferência na absorção de raízes, redução da transpiração e causa a abscisão foliar (KERBAUY, 2008).

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 da pesquisa desenvolvida por Carvalho et al. (2007), estudando o efeito do ácido salicílico sobre a germinação e o vigor de sementes de calêndula (*Calendula officinalis* L.) sob estresse térmico e hídrico no qual concluíram que a aplicação de ácido salicílico, contribuiu positivamente na germinação e no índice de velocidade de germinação considerando níveis de estresse hídrico e térmico a 35°C.

Noreen et al. (2009), avaliaram o efeito da aplicação foliar de AS na alteração da capacidade antioxidante de plantas de girassol sob estresse salino, e, neste trabalho, 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 aumentos na capacidade fotossintética e no crescimento das plantas tratadas com o AS.

Para o grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) Hayat et al. (2010), avaliando alterações no crescimento, fotossíntese, metabolismo do nitrogênio e no sistema de defesa antioxidante, constataram que a concentração de 10^{-5} mol L⁻¹ promoveu aumento significativo sobre a condutância estomática, taxa fotossintética líquida e nos teores de carboidratos, respectivamente,

aos 90 dias após a semeadura. Estes resultados sugerem que o uso de AS aumenta consideravelmente a capacidade produtiva da planta e que a resposta depende do ambiente, da concentração e da forma de aplicação.

Em estudos realizados por Habibi (2012) recomendam-se a quantidade de 500 μM de ácido salicílico para aumentar o conteúdo relativo de água, a taxa fotossintética, transpiração e condutância estomática em plantas de cevada (*Hordeum vulgare L.*). Isto significa dizer que o uso de AS em concentrações adequadas aumenta a capacidade fotossintética e, conseqüentemente, produtividade da cultura e que a resposta da planta a este hormônio depende das condições ambientais, cultivar, época de aplicação dose e forma de uso (NIVEDITHADEVI et al., 2012).

Como se verifica, na literatura, ainda são poucos os estudos sobre os compostos que conferem tolerância ao gergelim em condições de estresse hídrico nestas fases críticas que são germinação das sementes, emergência das plântulas e crescimento inicial. Dessa forma, se fazem necessários, estudos que busquem estas informações, além de se buscar também conhecimentos sobre os produtos que possam ser utilizados para estimular a formação destes compostos.

3.8 - Proteção antioxidativa em plantas

Conforme evidências, a seca provoca estresse oxidativo em várias espécies de plantas, em que espécies reativas de oxigênio (EROs), tais como o radical superóxido ($\text{O}_2^{\bullet-}$), radical hidroxila (OH^-), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e oxigênio singleto ($^1\text{O}_2$), são produzidos (JALEEL et al., 2009).

As EROs formam-se naturalmente no interior das células e a sua produção está relacionada com organelas que possuem alta atividade oxidativa ou com uma intensa taxa de fluxo de elétrons. Mitocôndrias, cloroplastos e microcorpos (peroxissomos) são considerados as principais fontes de espécies reativas, como produtos secundários oriundos da fotossíntese e da respiração (MATAMOROS et al., 2006; DEL RIO et al., 2006).

Neste sentido, estima-se que aproximadamente 1% do oxigênio consumido pelo tecido vegetal é destinado a produção de EROs, sendo as mitocôndrias a principal fonte dessas espécies em células animais (BONIFÁCIO et al., 2011). Entretanto, podem ser produzidas em excesso, devido à condição de estresse, originando o fenômeno conhecido como “explosão oxidativa” (MATAMOROS et al., 2006; DEL RIO et al., 2006).

Para minimizar os efeitos citotóxicos, as plantas desencatam um complexo sistema antioxidativo onde enzimas específicas atuam neutralizando a ação desses radicais, que

constituem uma importante defesa primária contra os radicais livres gerados sob condições de estresse, iniciando com a *superóxido dismutase* (SOD. EC 1.15.1.1), que desmuta o radical $O_2^{\bullet-}$ para H_2O_2 ; este, por sua vez, sofre ação de várias enzimas como: a *catalase* (CAT. EC 1.11.1.6), responsável pela conversão do H_2O_2 a H_2O e O_2 , e as *peroxidases*, *ascorbato peroxidase* (APX. EC 1.11.1.11) e *guaiacol peroxidase* (GPX. EC 1.11.1.7) que reduzem o H_2O_2 a H_2O (APEL e HIRT, 2004).

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, além de atividade crescente da SOD com aumento do tempo de seca em relação à variedade RB855536, considerada mais sensível à seca.

Em estudos realizados por Carneiro et al. (2011), avaliando as trocas gasosas e metabolismo antioxidativo em plantas de girassol em resposta ao déficit hídrico, observaram que o período de submissão das plantas de girassol ao estresse hídrico desencadeou maior atividade de enzimas antioxidantes nas folhas. Porém, os resultados indicam que este período não foi suficiente para uma maior atividade enzimática nas raízes, o que demonstra que o nível de estresse pode não ter atingido o sistema radicular.

Ressalta-se que essa regulação pode ser perdida se o estresse for mais severo, aumentando consideravelmente a produção de radicais livres que podem levar a uma cascata de eventos que inicia com a peroxidação de lipídeos, avançando para a degradação de membranas e morte celular (GREGGAINS et al., 2000).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 - Caracterização e localização da pesquisa

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Ecofisiologia de Plantas Cultivadas ECOLAB, nas dependências do Complexo Três Marias, no Centro de Ciências Biológicas e da Saúde da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB localizados no CAMPUS I, em Campina Grande – PB. A pesquisa compreendeu a fase de germinação e de crescimento inicial das plântulas de gergelim, avaliando-se o efeito de diferentes potenciais osmóticos induzidos com PEG 6000, bem como os efeitos da pré-embebição das sementes.

4.2 - Fatores em estudo e delineamento estatístico

Foram estudados os fatores: Genótipo (G); embebição (E) e potenciais osmóticos (P). O fator ‘G’ foi constituído de seis genótipos de gergelim (BRS-Seda, CNPA-G2, CNPA-G3, CNPA-G4, LAG-Branquinha e LAG-Pretinha), cujas sementes foram adquiridas na EMBRAPA Algodão. No fator ‘E’ os tratamentos foram compostos por sementes pré-embebidas em ácido salicílico (AS), sementes pré-embebidas em água destilada (AD) ambas por um período de 8 horas, e sementes sem embebição (SE). O fator ‘P’ foi composto por cinco níveis de potenciais osmóticos (0,0 testemunha; -0,2; -0,4; -0,6 e -0,8 MPa) induzidos com polietilenoglicol PEG 6000 (Tabela 1). Para o cálculo da quantidade de PEG 6000 a ser adicionada para se obter cada tensão de água, foi utilizada a equação proposta por Michel & Kaufmann (1973), ou seja:

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

Em que:

Ψ_{Os} = potencial osmótico (bar);

C = concentração (gramas de PEG 6000/litro de água);

T = temperatura (°C).

Tabela 1 - Concentração de polietilenoglicol (PEG 6000) utilizada para obter os diferentes níveis de potencial osmótico, com temperatura de 25°C.

| Potencial osmótico (MPa) | Concentração (g PEG 6000/L H ₂ O) |
|--------------------------|----------------------------------------------|
| 0,00 | 0,000 |
| - 0,20 | 119,571 |
| - 0,40 | 178,343 |
| - 0,60 | 223,664 |
| - 0,80 | 261,948 |

Para a embebição das sementes foram utilizadas duas soluções, sendo a primeira ‘AS’ onde 0,00069 g de ácido salicílico foram dissolvidos em 500 mL de água destilada para obter a concentração de 10^{-5} mol L⁻¹; e a segunda ‘AD’ água destilada pura, além da terceira condição, ou seja, sem embebição. A combinação dos três fatores (6 GEN x 3 E x 5 P) resultou em 90 tratamentos, arranjos no delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições e a parcela experimental foi constituída de 50 sementes.

4.3 - Descrição dos genótipos

Cultivar BRS-Seda cultivar de porte mediano, ciclo de 90 dias, com início da floração aos 30 dias após a emergência, hábito de crescimento ramificado, haste de coloração verde, um fruto por axila, e semente de coloração branca, com teor de óleo que varia de 50% a 52%. Apresenta potencial para produzir até 2.500 kg ha⁻¹, em condições ideais de cultivo. É indicada para o cultivo no Nordeste, Goiás, Distrito Federal, Mato Grosso, São Paulo (precipitação de 400 mm a 850 mm) e Cerrado (QUEIROGA et al., 2009).

A cultivar CNPA-G2 cultivar de porte mediano (até 1,60 m), ciclo médio (100 dias) e hábito de crescimento não ramificado. Apresenta três frutos por axila foliar e semente de coloração creme. É recomendada para o plantio de sequeiro e irrigado em todos os estados do Nordeste, devido à sua alta estabilidade produtiva (ARRIEL et al., 2009).

A cultivar CNPA-G3 cultivar de porte médio (até 1,60 m), ciclo de 90 a 100 dias, hábito de crescimento ramificado, e floração e maturação uniformes. Apresenta um fruto por axila e semente de coloração creme. É indicada para a região semiárida nordestina, onde a mancha-angular é a principal doença da cultura (ARRIEL et al., 2009).

A cultivar CNPA-G4 cultivar de porte mediano (1,55 m), ciclo de 90 dias, hábito de crescimento ramificado, com floração e maturação uniformes, um fruto por axila e sementes de cor creme, com teor de óleo que varia de 48 a 50%. É indicado para o cultivo na região Nordeste e no Cerrado de Goiás (ARRIEL et.al., 2009).

As linhagens Branquinha (LAG-0927561) e Pretinha (LAG-26514) não foram, ainda, lançadas pela Embrapa; a 'Branquinha' possui porte mediano (160 cm), ciclo médio de 100 dias, início do florescimento aos 38 dias, 1 fruto por axila foliar e sementes de cor branca, sendo o peso médio de 1000 sementes entre 3,0 e 3,2 g e teor de óleo em torno de 53%; a 'Pretinha' tem porte baixo (125 cm), hábito de crescimento bastante ramificado, ciclo médio de 100 dias, início de floração aos 29 dias, 1 fruto por axila e as sementes são de cor preta, com peso médio de 1000 sementes igual a 2,8 g e teor de óleo entre 48 e 50% do peso das sementes, conforme mencionado por Suassuna (2013), considerando as condições experimentais adotadas.

4.4 - Instalação e condução do experimento

Para cada genótipo foram utilizadas 3000 sementes, distribuídas em três sub amostras de 1000 sementes por tratamento, totalizando 200 sementes para cada potencial osmótico testado. Para os tratamentos de embebição, as sementes passaram por prévia limpeza e tratamento com o fungicida (Captan 750, na dosagem de 22 g/100 g de sementes) por 4 horas em repouso.

Após esse procedimento a sementes foram distribuídas sobre folha de papel toalha e organizadas em forma de rolo, o qual foi umedecido com a solução de ácido salicílico (AS) ou com água destilada (AD), conforme cada tratamento, permanecendo por um período de 8 horas. No lote de sementes correspondente ao tratamento sem embebição (SE) foram realizados apenas os tratamentos de desinfecção das sementes.

Na sequência, as sementes foram distribuídas uniformemente em caixas plásticas do tipo gerbox (11 x 11 x 3,5 cm) contendo três folhas de papel *germitest* umedecidas com as soluções de diferentes potenciais osmóticos na quantidade 2,5 vezes a massa do papel (BRASIL, 2009). As sementes foram dispostas sobre duas folhas do papel e cobertas com a terceira folha, em cinco fileiras de 10 sementes, totalizando 50 sementes por caixa, as quais foram vedadas com filme de polietileno para evitar perda de umidade e em seguida pesadas para reposição de água baseado no peso inicial, quando necessário. O ensaio foi conduzido em câmara incubadora tipo

BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) regulada para os regimes de temperaturas alternadas de 25 e 30 °C, com fotoperíodo constante de 12 h.

As contagens de germinação e pesagem das caixas foram realizadas diariamente desde a instalação até o momento em que se constatou estabilização da germinação, onde nas sementes germinadas observou-se plântulas com extensão radicular igual ou superior a 2 mm e plântulas com comprimento mínimo de 0,3 mm de acordo com os preceitos estabelecidos nas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), momento em que a avaliação de cada genótipo foi encerrado.

A contagem de germinação e o cálculo do índice de velocidade de germinação foram realizados em conjunto com o teste de germinação: na contagem foram contabilizadas as plântulas normais presentes no sexto dia após a sementeira e utilizados os dados na determinação do índice de velocidade de germinação (IVG). As avaliações foram realizadas individualmente, sendo um genótipo avaliado após o outro.

4.5 - Variáveis analisadas

4.5.1 - Variáveis de germinação

Para avaliação do efeito dos tratamentos sobre a germinação das sementes quantificou-se a percentagem de sementes germinadas (PG) (%), o índice de velocidade de germinação (IVG) e a frequência relativa de germinação (Fr) (%), conforme as equações 1, 2 e 3, respectivamente, de acordo com Borghetti e Ferreira (2004).

$$PG = (\sum ni/N) * 100 \quad (2)$$

Em que:

$\sum ni$ corresponde ao número total de sementes germinadas em relação ao número de sementes dispostas para germinar (N) sendo os resultados expressos em porcentagem.

$$IVG = G1/N1 + G2/N2 + \dots + Gn/Nn, \quad (3)$$

Em que:

IVG é o índice de velocidade de germinação; $G1$, $G2$, Gn é igual ao número de sementes germinadas na primeira, segunda e última contagem e $N1$, $N2$, Nn corresponde ao número de dias da sementeira até a primeira, segunda e última contagem.

$$Fr = ni/\Sigma ni \quad (4)$$

Em que:

Fr corresponde à frequência relativa de germinação das sementes (%); *ni* corresponde ao número de sementes germinadas por dia e Σni é o número total de sementes germinadas. Os cálculos de porcentagem de germinação e índice de velocidade de germinação (IVG) foram realizados de acordo com Labouriau e Valadares (1976) e Maguire (1962).

4.5.2- Variáveis de crescimento

Ao final do experimento (quinze dias após a instalação de cada genótipo) quando a germinação havia estabilizado, foram medidas as distâncias do ápice da parte aérea até o colo (comprimento da parte aérea- CPA) (cm) (Figura 1A) e do colo à extremidade da raiz primária (comprimento da raiz - CR) (cm) (Figura 1B) com o auxílio de uma régua graduada. Para tanto foram avaliadas 10 plântulas normais ao acaso de cada tratamento e em cada repetição.

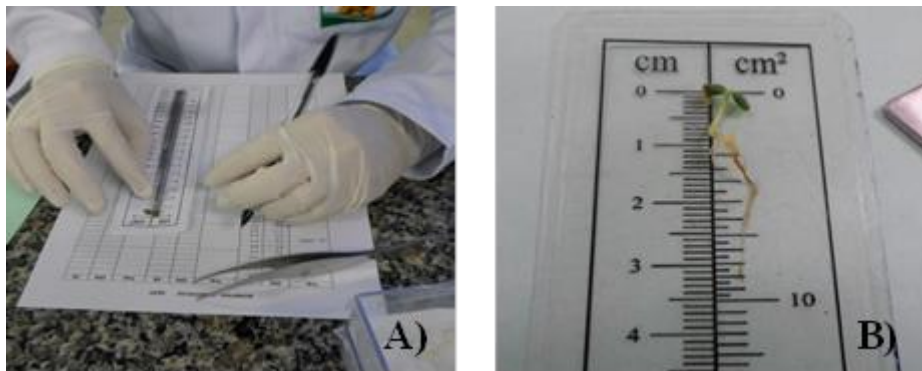


Figura 1. Aferição do comprimento da parte aérea – CPA (A) (cm) e comprimento da raiz – CR (B) (cm) em plântulas de genótipos de gergelim submetidos a diferentes potenciais hídricos e tratamento de sementes. Campina Grande - PB 2015.

4.5.3- Variáveis bioquímicas

- **Preparo de extratos**

A atividade das enzimas antioxidantes, superóxido dismutase (SOD), ascorbato peroxidase (APX) e catalase (CAT) foi quantificada com a finalidade de verificar o efeito do agente estressante sobre o metabolismo antioxidante nas plântulas de gergelim. Para tanto, 50 mg

de material fresco composto por raiz e parte aérea, coletados ao final do experimento, foram macerados com 50% de polivinilpolipirrolidona (PVPP) insolúvel (Figura 2A), suficiente para evitar oxidação do material, e homogeneizado em 3 mL do tampão de extração (Figura 2B) composto por fosfato de potássio 100 mM (pH 7,0), EDTA 0,1 mM. O homogeneizado foi centrifugado a 13.000 x G por 20 min. a 4 °C e o sobrenadante coletado foi transferido para um novo tubo Tipo *Eppendorf* e mantido no gelo até, ser utilizados para os ensaios das atividades enzimáticas.

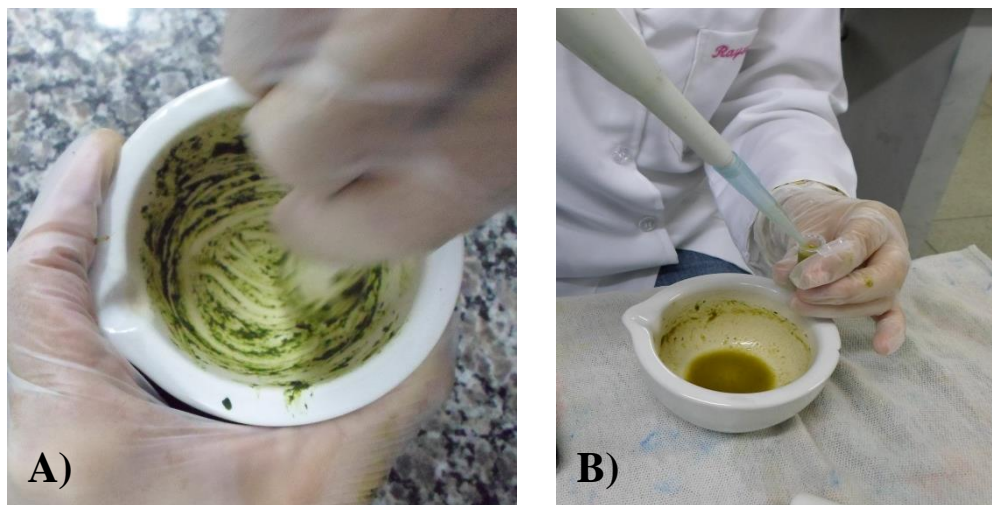


Figura 2. Preparo de extratos maceração de plântulas (A) e transferência para tubos *eppendorf* (B) do extrato de plântulas de genótipos de gergelim submetidos a diferentes potenciais hídricos e tratamento de sementes. Campina Grande - PB, 2015.

4.5.4- Atividade da catalase – CAT

A atividade da catalase foi determinada através do consumo de H_2O_2 monitorado por espectrofotometria a 240 nm. O procedimento foi realizado conforme Beer Júnior e Sizer (1952) com pequenas modificações e foi estimada pelo decréscimo na absorbância a 240 nm a cada 10 segundos durante 1 min. O meio de reação (3 mL) consistiu de tampão fosfato de potássio 50 mM (pH 7,0), 0,1 mM de EDTA e 50 μ L do extrato.

A reação teve início com a adição de 2,27 μ L de H_2O_2 (30%) ao extrato enzimático em cubetas de quartzo (Figura 4). Foi realizada leitura a 240 nm imediatamente após a adição do H_2O_2 e durante 1 min de reação. Também foram realizadas leituras da solução de reação sem o

extrato enzimático (branco do reagente). A diferença na absorbância (ΔA_{240}) foi multiplicada pelo coeficiente de extinção molar de $36 \text{ mol}^{-1} \text{ L cm}^{-1}$ (ANDERSON et al., 1995). A atividade da enzima foi expressa em $\text{mmol de H}_2\text{O}_2$ consumido por 1 min. por mg de proteína ($\text{mmol H}_2\text{O}_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mg proteína}^{-1}$). As análises da atividade da catalase para cada tratamento também foram realizadas em triplicata.

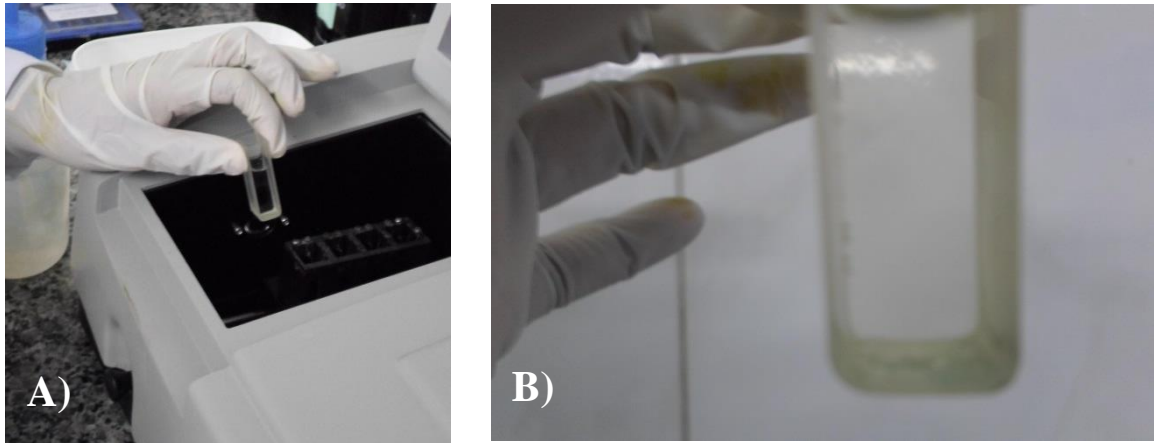


Figura 3. Avaliação da atividade da APX em plântulas de genótipos de gergelim submetidos a diferentes potenciais hídricos e tratamento de sementes. Campina Grande - PB, 2015.

4.5.5- Atividade da ascorbato peroxidase – APX

A atividade da APX foi realizada segundo Nakano e Asada (1981), com algumas modificações. O meio de reação incubado (3 mL), foi composto de tampão fosfato de potássio 50 mM (pH 7,8), 100 μL de ascorbato (5 mM), 4.51 μL de H_2O_2 (30%), e 50 μL do extrato enzimático. Também foram realizadas leituras da solução de reação sem o extrato enzimático (branco do reagente) e do tampão fosfato sem ascorbato, contendo apenas H_2O_2 a 2 mM e 100 μL do extrato de cada amostra (branco da amostra), ambas em comprimento de onda de 290 nm, para correção dos cálculos. A análise foi realizada em triplicata utilizando-se cubetas de quartzo. A atividade enzimática foi calculada utilizando-se o coeficiente de extinção molar de $2,8 \text{ mmol}^{-1} \text{ L cm}^{-1}$ (NAKANO e ASADA, 1981) e expressa em $\mu\text{mol de ácido ascórbico min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$.

4.5.6- Atividade da superóxido dismutase – SOD

A avaliação da atividade da SOD foi quantificada de acordo com a metodologia de Gianopolitis e Ries (1977) com modificações. Alíquotas de 100 μ L de extrato foram transferidas para um meio de reação contendo tampão fosfato de potássio 100 mM (pH 7,8), 156 μ L de metionina (14 mM), 30 μ L EDTA (0,1 mM) e 45 μ L de NBT (75 mM). A reação foi iniciada pela adição de 60 μ L de riboflavina (2 μ M) totalizando 3 mL. Na sequência os tubos foram transferidos para uma caixa de madeira iluminada por lâmpadas fluorescentes (Figura 3A) totalizando 60 watts sendo uma de 30 watts e duas de 15 watts cada, por um período de 15 minutos até a observação da reação (Figura 3B). Em seguida as leituras foram realizadas espectrofotômetro em comprimento de onda de 560 nm.

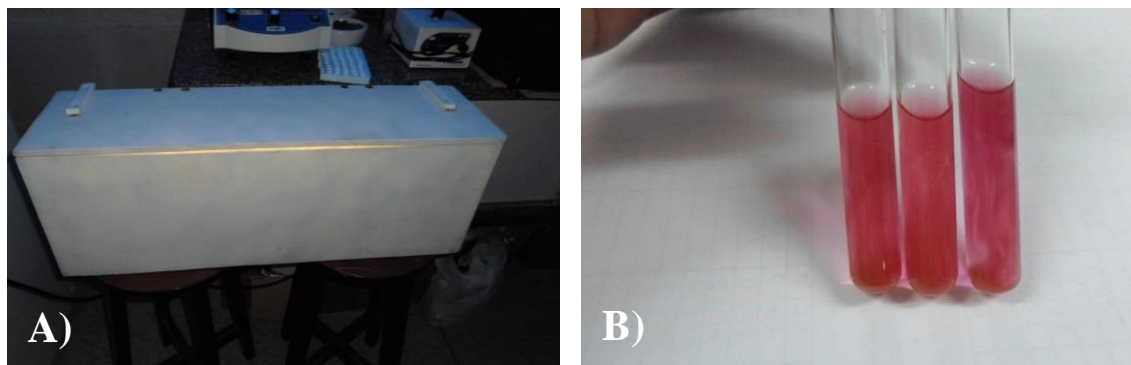


Figura 4. Avaliação da atividade da SOD em plântulas de genótipos de gergelim submetidos a diferentes potenciais hídricos e tratamento de sementes. Campina Grande - PB, 2015.

Ressalte-se que uma unidade da SOD corresponde à quantidade de enzima capaz de inibir em 50% a fotorredução do NBT nas condições de ensaio; Para efeito de correção dos cálculos, foram considerados como branco da reação tubos que não continham extrato, exposto e não exposto a luz. O branco do claro, que consiste em tampão de ensaio sem o extrato enzimático submetido à iluminação, indica 100% da formação da formazana, ou seja, a completa fotorredução do NBT pelo superóxido.

Os valores foram expressos em unidade de atividade por minuto por grama de matéria fresca (UA g MF⁻¹), sendo que uma unidade de atividade corresponde a 50% da inibição da redução do NBT. A absorbância a 560 nm de um meio de reação exatamente igual ao anterior,

mas mantido no escuro por igual período, serviu de branco e foi subtraído da leitura da amostra que recebeu iluminação (GIANNOPOLITIS e RIES, 1977). Acrescente-se que as análises para as amostras de cada tratamento foram realizadas em triplicata.

4.5.7- Determinação de proteínas solúveis totais

A concentração das proteínas solúveis foi determinada segundo metodologia de Bradford (1976), sendo a leitura realizada a 595 nm utilizando-se albumina de soro bovino para construção da curva de calibração. Retirou-se 0,2 mL do extrato vegetal e a esta alíquota somou-se mais 1 mL do reativo de Bradford (Figura 5A). A mistura foi agitada para homogeneizar e deixado em repouso por 15 min. (Figura 5B). Feito isso efetuou-se a leitura no espectrofotômetro a 595 nm. O branco foi elaborado com 0,1 mL de tampão com 1 mL de reativo de Bradford, homogeneizado e deixado em repouso por 15 minutos, e após estas etapas leitura foi realizada em espectrofotômetro a 595 nm, com a função de zerar o aparelho. O teor proteico da amostra foi expresso em mg de proteína g^{-1} de matéria fresca.

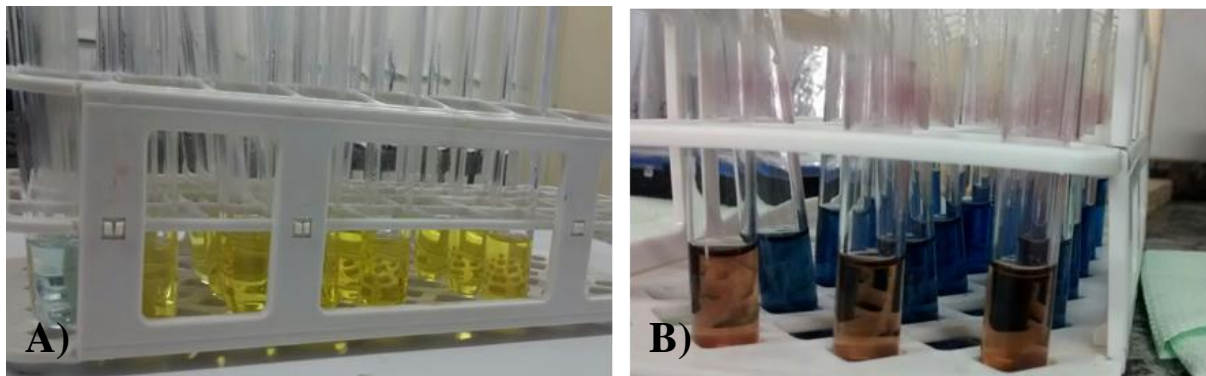


Figura 5. Determinação de curva-padrão de Proteína em plântulas de genótipos de gergelim submetidos a diferentes potenciais hídricos e tratamento de sementes. Campina Grande - PB, 2015.

4.6- Análise estatística

Os dados obtidos foram avaliados por análise de variância (teste F até 5% de probabilidade). Foram procedidos análise de regressão para o fator quantitativo e teste de comparação de médias (Tukey, $p \leq 0,05$) para os fatores qualitativos utilizando-se do software SISVAR versão 5.1 (FERREIRA, 2007).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1- Variáveis de germinação

O estresse hídrico é um dos principais fatores que pode limitar a germinação e o desenvolvimento de diversas espécies. Nesse sentido, no presente estudo, pode-se verificar, diferença estatística significativa ($p \leq 0,01$) (Tabela 2) nas variáveis de germinação em função dos diferentes potenciais hídricos testados no substrato para a germinação de genótipos de gergelim. Conforme a Tabela 2 observou-se efeito significativo dos três fatores estudados: genótipos, embebição e potenciais hídricos sobre o percentual de germinação PG (%), frequência relativa da germinação (FR) (%), e sobre o índice de velocidade de germinação (IVG) bem como observou-se significância ($p \leq 0,01$) nas interações entre os fatores, denotando-se dependência do efeito de um fator sobre os outros.

Tabela 2 - Síntese da análise de variância para a porcentagem de germinação (PG) (%), frequência relativa de germinação (FR) (%) e índice de velocidade de germinação (IVG) em genótipos de gergelim submetidos a diferentes potenciais osmóticos e tratamento de sementes. Campina Grande- PB, 2015.

| Fator de Variação | GL | QUADRADOS MÉDIOS | | |
|----------------------|-----|------------------|--------------|-------------|
| | | PG (%) | FR | IVG |
| Genótipo (G) | 5 | 48318,1405** | 28088,4099** | 1866,7821** |
| Embebição (E) | 2 | 32,7299** | 1411,6250** | 2,7308** |
| Potenciais (P) | 4 | 2010,6959** | 24898,3655** | 115,0921** |
| G x E | 20 | 2283,5191** | 5654,6245** | 67,8191** |
| G x P | 10 | 524,7145** | 1528,0396** | 13,7406** |
| P x E | 8 | 779,3737** | 27,1900** | 25,4639** |
| G x E x P | 39 | 465,3146** | 1867,1663** | 18,3728** |
| Resíduo | 267 | 31317,9776 | 3267,7514 | 2055,8902 |
| CV(%) | | 12,25 | 9,33 | 18,74 |

**,* = Significativo a 1 e a 5% de probabilidade de erro.

5.1.1- Percentagem de germinação (PG)

A observação da capacidade germinativa das sementes em condições de estresse é uma das metodologias mais difundidas para se determinar o nível de tolerância das plantas, pois corresponde a uma das fases mais críticas do ciclo de vida dos vegetais (MOTERLE et al., 2008). A partir desta afirmação na (Figura 6) estão apresentados os dados referentes ao desdobramento da interação tripla entre genótipos de gergelim, embebição de sementes e potenciais osmóticos para a variável percentual de germinação (%).

No genótipo BRS-Seda (Figura 6A), verificou-se diferença significativa entre os tratamentos de embebição das sementes, ou seja, embebição em água destilada (AD), em ácido salicílico (AS) e sem embebição (SE), dependendo do potencial hídrico induzidos nas sementes.

Observa-se (Figura 6A) que no potencial 0,0 MPa (testemunha) e no -0,4 MPa há distinção entre as médias de germinação nos tratamentos de embebição. Constatou-se maior germinação (65%) no potencial 0,0 MPa (testemunha) e de (38,7%) no potencial -0,4 MPa, quando as sementes foram embebidas por 8 horas em solução de ácido salicílico. Tal comportamento, entretanto, é diferenciado no potencial de -0,6 MPa, em que ocorreu maior germinação nos tratamentos sem embebição (31,2%) e embebição em água destilada (28,1%), o que revelou eficácia do ácido salicílico no aumento do percentual de germinação do gergelim 'BRS - Seda'.

Acrescenta-se ainda que no referido genótipo (BRS - Seda) não houve germinação no potencial osmótico de -0,8 MPa induzido pelo PEG 6000. Esse resultado pode ser devido ao nível de estresse elevado, o qual impediu a hidratação das sementes e o início das reações metabólicas já que nesta fase, as sementes necessitam de aeração e hidratação, para que ocorram as reações indutoras da formação dos órgãos em crescimento (DOUSSEAU et al., 2008). Com isso é possível destacar indícios de sensibilidade do 'BRS Seda' ao estresse hídrico nessa fase, já que tal fato não ocorreu nos demais genótipos estudados.

No genótipo CNPA-G2 (Figura 6B), observou-se que a maior distinção entre as médias dos tratamentos de embebição das sementes ocorreram no potencial -0,8 MPa, onde os maiores percentuais de germinação ocorreram quando as sementes foram embebidas por 8 horas em solução de água destilada (36,6%). Nos potenciais -0,2 e -0,4 MPa observou-se também diferenciação das médias, sendo em ambos potenciais as maiores médias (74,68 e 65%) as das sementes que passaram por embebição em água destilada.

Para o 'CNPA-G3' (Figura 6C) notou-se diferença significativa entre os tratamentos de embebição das sementes dentro dos potenciais testados, exceto em -0,8 MPa. Neste caso, os tratamentos de pré-embebição das sementes não promoveram aumento no percentual de

germinação, encontrando-se médias de PG de 5,93% em AD, 4,84% em AS e de 3,75% em SE. As maiores médias para esse genótipo foram encontradas no potencial -0,2 MPa, nível mais moderado de déficit hídrico, obtendo-se médias de 69% de germinação em AD, 30% em AS e 43% em SE, com evidências de que a pré-embebição em ácido salicílico não elevou o percentual de germinação deste genótipo em nenhum dos potenciais testados.

Já no genótipo CNPA-G4 (Figura 6D) observou-se que o percentual de germinação foi elevado em todos os potenciais osmóticos testados, mostrando-se ser este genótipo mais tolerante ao estresse hídrico induzido com solução de PEG 6000 na fase de germinação. As médias de PG nesse genótipo foram semelhantes nos potenciais -0,2 MPa e -0,8 MPa, no nível de estresse mais moderado e no menor potencial avaliado respectivamente. Já nos potenciais 0,0 MPa (testemunha) e -0,4 MPa houve diferenciação entre os tratamentos de sementes sendo as melhores médias observadas quando as sementes passaram por embebição em água destilada, no potencial 0,0 MPa (testemunha) onde observou-se médias 99,37% para AD e 97,50% para AS. No potencial -0,4 MPa quantificou-se AD 98,75 e AS 95,00%. Isto acontece devido ao fato de que as enzimas e metabólitos exibem suas funções somente após a hidratação do meio em que estão (VOET e VOET, 2004).

O genótipo LAG-Branquinha (Figura 6E) foi o que demonstrou um melhor resultado em relação à embebição em ácido salicílico (AS), sendo que entre todos os potenciais testados notou-se diferenciação apenas nos potenciais -0,2 MPa e -0,4 MPa, e que as melhores médias constataram-se também nesses potenciais sendo elas 61,25 e 38,75%, não havendo, nos demais diferenciação das médias de AD, AS e SE neste genótipo. Carvalho et al. (2007) adverte que isto pode ser resultante da resposta das sementes ao AS, que poderia ter induzido produção de proteínas de tolerância ao estresse nesse genótipo fazendo com que as sementes tivessem uma resposta superior à germinação em água.

Tais resultados são semelhantes aos encontrados por Silva et al. (2014), avaliando a germinação de sementes de melancia sob diferentes métodos de tratamento com reguladores vegetais, onde se observou que quando o ácido salicílico foi utilizado na embebição das sementes, a germinação foi mais rápida, evidenciada pela maior velocidade média de germinação, maior índice de velocidade de germinação e menor tempo médio, resultados também encontrados neste trabalho quando avaliou-se o genótipo LAG-Branquinha.

Na linhagem LAG-Pretinha (Figura 6F) observou-se que para os potenciais 0,0 MPa (testemunha) e -0,6 e -0,8 MPa não houve diferença entre os pré-tratamentos, e que nos potenciais -0,4 e -0,2 MPa a embebição com ácido salicílico não apresentou vantagem na germinação quando comparado aos demais.

Resultados semelhantes foram encontrados por Pelegrini et al. (2013), testando diferentes potenciais osmóticos de PEG 6000, manitol e NaCl, que verificaram que o decréscimo dos níveis de potenciais osmóticos das soluções provocou redução na viabilidade e vigor das sementes de *Erythrina falcata* que é osmoticamente afetada por PEG 6000, sendo que potenciais abaixo de -0,4 MPa inibem drasticamente a porcentagem de germinação, tempo médio e índice de velocidade de germinação. Neste caso o PEG, controlou a absorção de água pelos tecidos da semente, dificultando ou impedindo o início do processo germinativo. Acentuada queda no percentual de germinação foi verificado à partir do potencial -0,4 MPa de PEG 6000 enquanto, no potencial -0,8 MPa de PEG 6000 não houve germinação.

Guimarães et al. (2008), ressaltam que a embebição de sementes em água permite a reorganização e ativação de processos celulares que estavam desorganizados e inativos devido ao processo de dessecação.

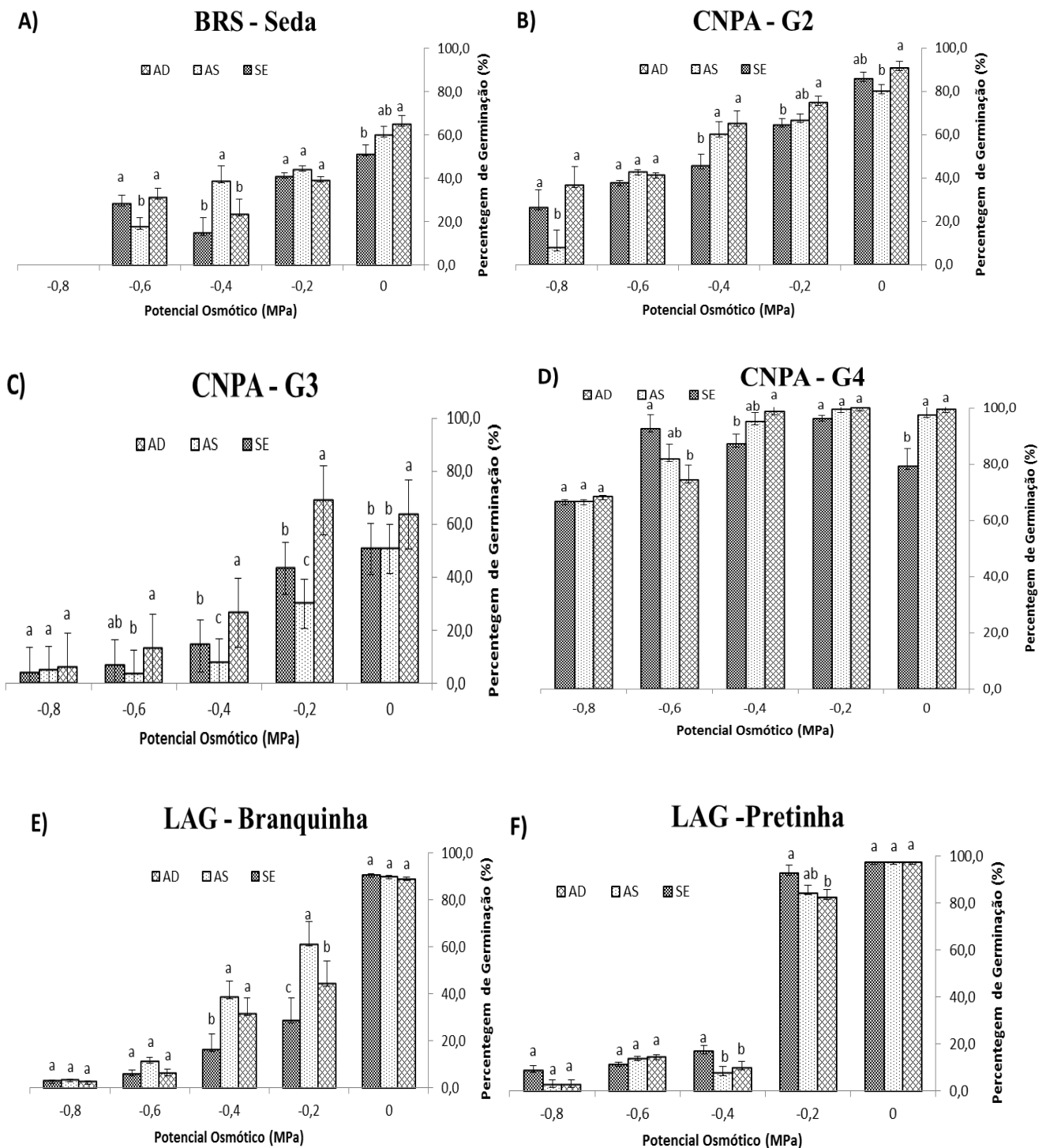


Figura 6 - Percentual de germinação (PG) de genótipos de gergelim submetidos a diferentes potenciais osmóticos e pré-tratamento de sementes. Campina Grande, PB, 2015. Barras com mesma letra em cada potencial indica não haver diferença estatística entre os tratamentos de embebição de sementes pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). AD - Embebição em água destilada, AS - Embebição em ácido salicílico, SE - Sem embebição.

5.1.2- Frequência relativa da germinação (FR)

O período germinativo é crítico para a sobrevivência das espécies, principalmente nos locais onde a disponibilidade de água é limitada durante um período do ano (BRAGA et al., 2009). Baseado nesta afirmação constatou-se na frequência relativa de germinação para o genótipo BRS - Seda (Figura 7A) diferenciação em todos os potenciais sendo que as maiores médias observou-se no potencial -0,6 MPa, e nas sementes que passaram por embebição em água destilada (68,54%) e sem embebição (68,75%). Nos potenciais -0,2 e -0,4 MPa as melhores médias foram observada nas sementes que passaram por embebição tanto em ácido salicílico (54,12%) como em água destilada (44,82%).

Já no 'CNPA-G2' (Figura 7B) observou-se germinação crescente em função do aumento do potencial, e a embebição com ácido salicílico promoveu um aumento gradual na frequência de germinação, em especial nos potenciais -0,2 MPa, -0,4 MPa e -0,6 MPa como também no potencial 0,0 MPa (testemunha) com médias na ordem de 36,56; 55,54; 89,54 e 28%. No menor potencial -0,8 MPa observou-se ainda médias elevadas e nas sementes com embebição em água destilada observou-se a maior média de todos de potenciais avaliados sendo 100% de frequência.

Tal comportamento assemelha-se ao observado por Silva et al. (2009), que verificando os efeitos do estresse hídrico sobre a taxa de germinação de sementes de mamoneira (*R. communis* L.) em diferentes tempos de embebição e concentrações crescentes de polietilenoglicol (PEG 6000), observou-se que em relação aos diferentes potenciais osmóticos, o de -0,5 MPa se mostrou benéfico para a germinação, sendo superior até mesmo ao controle, contudo esse fato foi notado apenas nas sementes que tiveram embebição prévia. Em todas as circunstâncias analisadas, no trabalho em questão, o potencial osmótico de -1,0 MPa prejudicou a germinação.

“Notou-se no 'CNPA-G3' (Figura 7C) elevada frequência de germinação nos potenciais -0,4, -0,6 e -0,8 MPa com frequência médias de 100%; neste genótipo observou-se variação de média apenas nos potenciais 0,0 (testemunha) e -0,2 MPa. No genótipo CNPA-G4 (Figura 7D) nos maiores potenciais observou-se baixa frequência de germinação sendo eles 0,0 MPa (testemunha), -0,2 MPa e -0,4 MPa, já nos potenciais -0,6 MPa e a -0,8 MPa foram observadas a maiores médias principalmente quando as sementes passaram por embebição em água destilada sendo elas 79,37 e 57,67%.

Já na ‘LAG-Branquinha’(Figura 7E) observou-se elevada frequência nos menores potenciais (-0,8 MPa e -0,6 MPa) com médias máximas e que não diferiram entre si. Nos potenciais seguintes 0,0 MPa (testemunha), -0,2 MPa e -0,4 MPa as maiores médias foram observadas nas sementes que não foram embebidas.

Na ‘LAG-Pretinha’ (Figura 7F) também se observou médias elevadas nos potenciais -0,6 MPa e -0,8 MPa, nos seguintes, observou-se no -0,4 MPa uma elevada média nas sementes que foram embebidas em ácido salicílico com 100% de frequência de germinação, no potencial -0,2 MPa não houve diferenciação das médias, e no potencial 0,0 MPa (testemunha) as maiores médias foram observada em sementes que não passaram por pré-tratamento de embebição respectivamente (26,39%).

Pereira et al. (2014), ao analisar estresses hídrico induzidos por soluções de PEG e NaCl na germinação de sementes de nabiça (*Raphanus raphanistrum*) e fedegoso (*Senna obtusifolia*), observaram que as condições de estresse prejudicaram a germinação e o vigor das sementes destas espécies; sendo o estresse hídrico induzido pela solução de PEG mais crítico do que o induzido por NaCl para as duas espécies estudadas e o limite mínimo de germinabilidade foi verificado no potencial de -0,4 MPa. Acrescenta-se que neste trabalho a semeadura foi realizada sobre papel umedecido com soluções de polietileno glicol (PEG 6000) e NaCl nos potenciais osmóticos de 0,0; -0,2; -0,4 e -0,8 MPa.

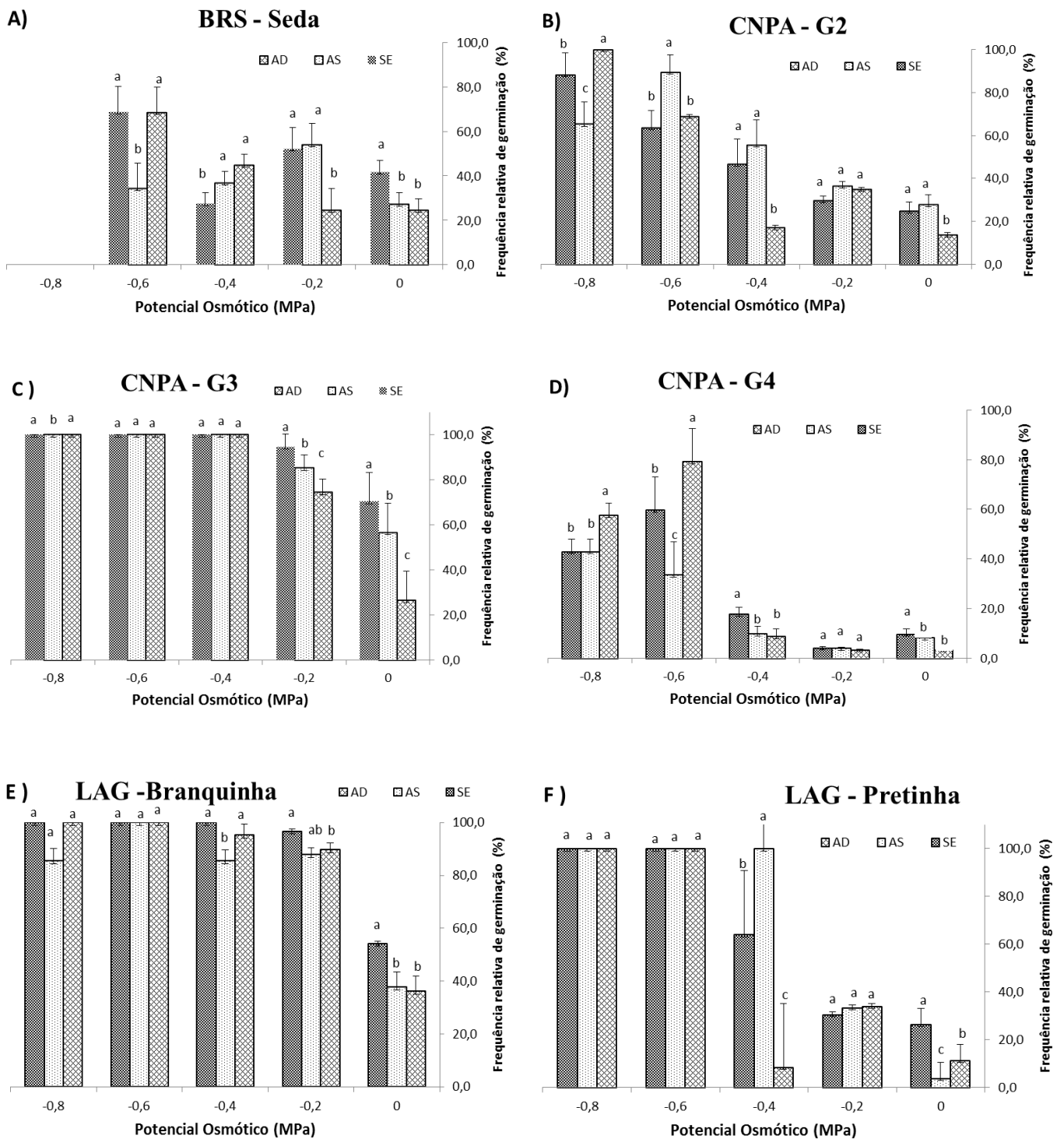


Figura 7 - Frequência relativa de germinação (FR) de genótipos de gergelim submetidos a diferentes potenciais osmóticos e pré-tratamento de sementes. Campina Grande, PB, 2015. Barras com mesma letra em cada potencial indica não haver diferença estatística entre os tratamentos de embebição de sementes pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). AD -Embebição em água destilada, AS- Embebição em ácido salicílico, SE - Sem embebição.

5.1.3 - Índice de velocidade de germinação (IVG)

O estresse hídrico contribui para a diminuição da percentagem de germinação das sementes, sendo que para cada espécie existe um valor de potencial hídrico no solo, abaixo do qual a germinação não ocorre (ÁVILA et al., 2007). Com base nisto, temos (Figura 8) os dados para a variável índice de velocidade de germinação referentes ao desdobramento da interação tripla entre genótipos de gergelim, embebição de sementes e potenciais osmóticos.

Houve diminuição no IVG do genótipo BRS-Seda (Figura 8A) à medida que o potencial osmótico foi reduzido, as médias observadas no potencial 0,0 MPa (testemunha) exprimem que a embebição com ácido salicílico aumentou a velocidade de germinação com média (13,18) sendo que esta média foi a mais alta dentre todos os potenciais e tratamentos, nos potenciais seguintes -0,2 MPa e -0,4 MPa não houve diferença entre as médias, e no potencial -0,6 MPa houve diferenciação e com a maior média quando as sementes passaram por embebição com água destilada.

Para o genótipo CNPA-G2 (Figura 8B) observou-se velocidade elevada nos maiores potenciais 0,0 MPa (testemunha), -0,2 MPa e -0,4 MPa, sendo que no potencial -0,2 MPa não houve diferenciação entre elas, já no potencial -0,4 MPa notou-se média elevada em especial quando as sementes foram embebidas em água destilada com média de (13,5). Houve diminuição dessa velocidade nos potenciais seguintes e que não diferiram entre si nos potenciais -0,6 MPa e -0,8 MPa. Situação semelhante notou-se no genótipo CNPA-G3 (Figura 8C) onde observou-se neste genótipo médias não tão elevadas mas que diminuiram progressivamente à medida que também foram diminuído os potenciais osmóticos, e que diferiram-se apenas no potencial 0,0 MPa (testemunha) e -0,2 MPa, onde as melhores médias foram observadas em sementes embebidas em água destilada, (13,7 e 9,41 respectivamente).

Já no 'CNPA-G4' (Figura 8D) observou-se elevada velocidade de germinação onde as médias não se diferiram nos maiores potenciais, mas foram elevadas chegando a 22,76 , 22,68 e 21,39 quando essas foram embebidas em ácido salicílico nos potenciais 0,0 MPa (testemunha), -0,2 MPa e -0,4 MPa respectivamente; Nos potenciais seguintes também não houve diferenciação mas sim uma diminuição nas médias independentes do tratamento das sementes.

Para a 'LAG-Branquinha' (Figura 8E) notou-se média elevada apenas no potencial 0,0 MPa (testemunha) que chegou a 16,52 nas sementes que passaram por embebição em ácido salicílico e que não deferiu-se nas observadas na embebição em água destilada e sem embebição. Já nos potenciais -0,2 MPa e -0,4 MPa houve diferenciação nas médias sendo que

as melhores também foram observadas nas sementes que foram embebidas em ácido salicílico (5,1) e (1,8) respectivamente.

Na 'LAG-Pretinha' (Figura 8F) médias elevadas foram observadas nos maiores potenciais 0,0 MPa (testemunha), -0,2 MPa sendo 19,19 e 15,48 e sem diferenciação entre elas. Já no -0,4MPa observou-se médias que chegaram a 20,32 em sementes que passaram por embebição em água destilada.

Teixeira et al. (2011), avaliando a germinação e o vigor de sementes de crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) sob condições de estresse hídrico induzido por PEG 6000 com soluções de 0,0 a -1,4 MPa, observaram que a redução do potencial osmótico do substrato promove redução significativa na germinação e no vigor das sementes de crambe. Potenciais osmóticos iguais ou inferiores a -0,2 MPa revelaram-se prejudiciais a germinação das sementes, não havendo desenvolvimento de plântulas normais em potenciais inferiores a -0,6 MPa; Ainda é possível destacar neste trabalho um indicativo de superioridade do 'CNPA-G4' ao estresse hídrico, já que isso não ocorreu nos demais genótipos.

Nesse contexto, a restrição hídrica pode reduzir a velocidade de germinação (IVG) e a porcentagem de germinação à medida que o potencial osmótico se torna menor, pois reduz a velocidade dos processos metabólicos e bioquímicos, o que atrasa ou inibe a germinação das sementes, no potencial (PEREIRA et al., 2012) fato que provavelmente ocorreu com os genótipos de gergelim estudados.

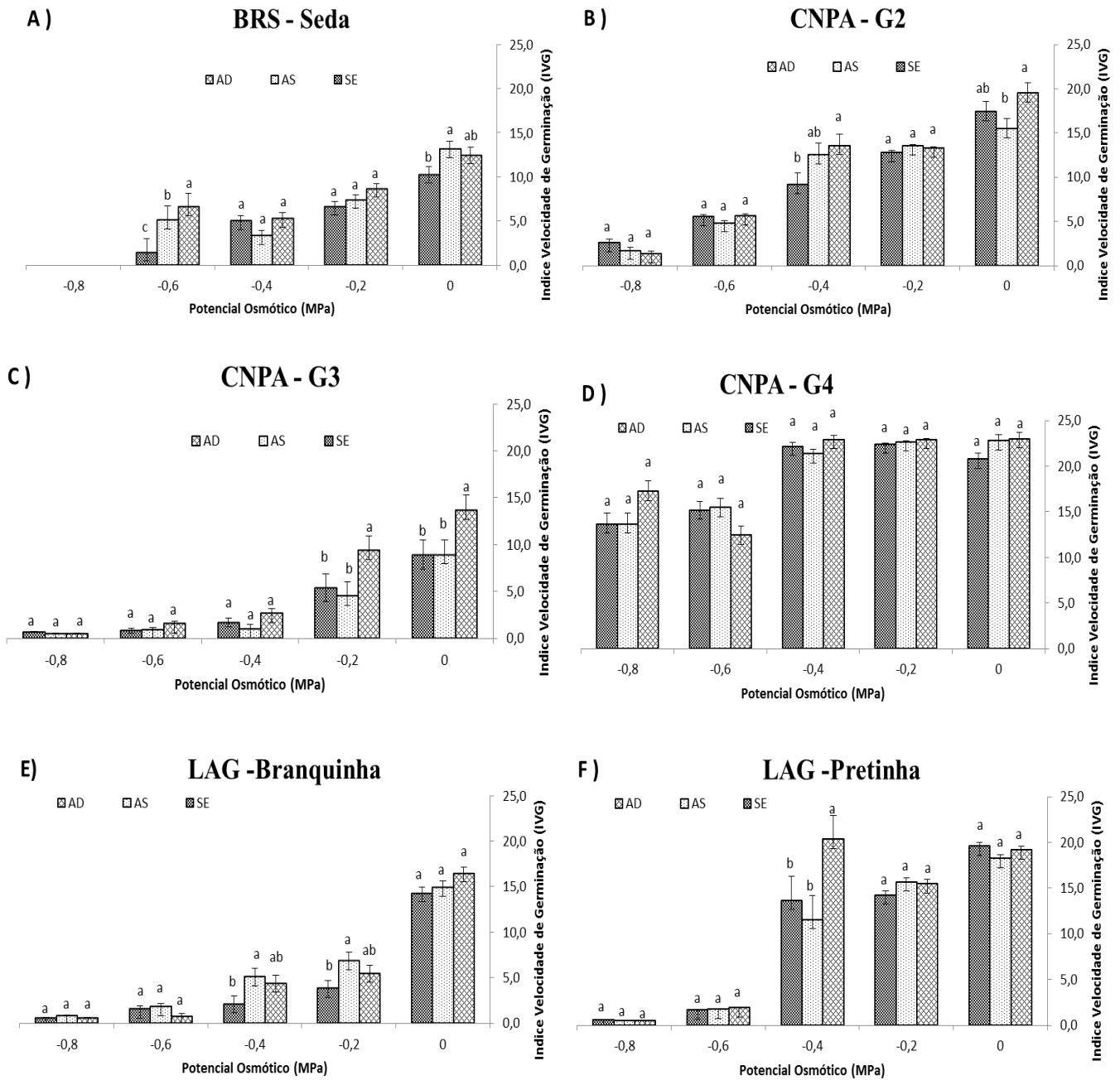


Figura 8 - Índice de velocidade de germinação (IVG) de genótipos de gergelim submetidos a: diferentes potenciais osmóticos e pré-tratamento de sementes. Campina Grande, PB, 2015. Barras com mesma letra em cada potencial indica não haver diferença estatística entre os tratamentos de embebição de sementes pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). AD -Embebição em água destilada, AS- Embebição em ácido salicílico, SE - Sem embebição.

5.2 – Variáveis de crescimento

Houve efeito significativo (Tabela 3) dos três fatores estudados (genótipos, embebição e potenciais hídricos) comprimento da parte aérea (CPA) (cm) e o comprimento radicular (CR) (cm), bem como se observa significância ($p \leq 0,01$ e $p \leq 0,05$) nas interações entre os três fatores.

Tabela 3. Síntese da análise de variância para o Comprimento da parte aérea (CPA) (cm) e comprimento radicular (CR) (cm), em genótipos de gergelim submetidos a diferentes potenciais osmóticos e tratamento de sementes. Campina Grande- PB, 2015.

| Fator de Variação | GL | QUADRADOS MÉDIOS | |
|----------------------|-----|------------------|-----------|
| | | CPA (cm) | CR (cm) |
| Genótipo (G) | 5 | 97,4422** | 50,3028** |
| Embebição (E) | 4 | 0,1381* | 0,2619** |
| Potenciais (P) | 2 | 0,4322** | 2,1654** |
| G x E | 20 | 12,4098* | 9,8995** |
| G x P | 10 | 0,5146** | 0,6758** |
| P x E | 8 | 1,4112** | 1,5197** |
| G x E x P | 39 | 1,0657** | 1,5843** |
| Resíduo | 267 | 84,3873 | 89,2337 |
| CV(%) | | 20,00 | 26,55 |

**,* = Significativo a 1 e a 5% de probabilidade de erro.

5.2.1 - Comprimento da parte aérea (CPA)

O déficit hídrico é considerado o mais importante estresse ambiental, prejudicando severamente o crescimento e desenvolvimento, bem como a produção de diversas plantas cultivadas. Uma menor disponibilidade de água no solo pode influenciar o desenvolvimento da parte aérea das plantas. Sabe-se que o estresse hídrico atua reduzindo o crescimento das plantas pela diminuição da turgescência celular (JALEEL et al., 2009).

Para o comprimento da parte aérea nos genótipos BRS-SEDA (Figura 4A) e CNPA-G2 (Figura 4B) observaram-se os maiores comprimentos da parte aérea. No ‘BRS-SEDA’

verificou-se diferença significativa entre os tratamentos de embebição das sementes. Observou-se no potencial 0,0 MPa (testemunha) médias de 6,6 cm nas sementes com embebição em ácido salicílico, nos potenciais seguintes constatou-se uma diminuição nas médias de crescimento e no potencial -0,2 MPa a maior média (4,85 cm). Ainda é possível destacar que no potencial -0,6 MPa a embebição em água destilada demonstrou a melhor média (3,13 cm) de comprimento radicular.

No genótipo CNPA - G2 (Figura 9B) observou-se uma diminuição gradativa do comprimento da parte aérea à medida que o potencial hídrico diminuía, e as médias se diferenciaram nos potenciais 0,0 MPa (testemunha) a maior média observada foi de 8,23 cm quando as sementes foram embebidas em água destilada e no potencial -0,6 MPa (1,46 cm), sendo que nesses potenciais as maiores médias foram observadas nas sementes que passaram pelo pré-tratamento com ácido salicílico (AS). Resultados parecidos foram encontrados por Santos et al. (2013), que avaliando germinação de sementes e vigor de plântulas de maracujazeiro amarelo submetidos à ação do ácido giberélico, resultados indicam que a pré-embebição das sementes de maracujazeiro amarelo com um hormônio vegetal, estimula a porcentagem de germinação e reduz a porcentagem de sementes mortas, o regulador vegetal proporcionou incremento no comprimento da parte aérea das plântulas de maracujazeiro amarelo.

Para o genótipo CNPA-G3 (Figura 9C) as médias observadas foram baixas em todos os potenciais com diferenciação apenas no potencial -0,2 MPa nas sementes com embebição em água destilada com média de 1,45cm. No potencial 0,0 MPa (testemunha) a maior média observou-se em sementes com embebição em ácido salicílico (2,11 cm) e nas demais não houve diferenciação. Estes resultados corroboram com Abati et al. (2014), ao explicarem que a redução no comprimento das plântulas ocorre principalmente devido à restrição hídrica diminuir a velocidade dos processos fisiológicos e bioquímicos, restringindo o seu desenvolvimento.

No 'CNPA-G4' (Figura 9D) observou-se médias de 1,65 cm quando as sementes não foram embebidas e que não diferiram em nenhum dos potenciais. Fato semelhante ocorreu com o genótipo LAG-Branquinha (Figura 9E) em que as médias foram inferiores e com diferenciação apenas no potencial 0,0 MPa (testemunha) e no potencial -0,6 MPa (1,90 cm) e (1,09 cm) respectivamente.

No genótipo LAG-Pretinha (Figura 9F) observou-se diferenciação apenas nos potenciais -0,4 MPa e -0,6 MPa com as maiores médias (1,86 cm e 0,75 cm) em sementes de passaram pela embebição em água destilada. Nos resultados encontrados por Silva et al. (2014), avaliando a germinação de sementes de melancia sob diferentes métodos de tratamento com reguladores

vegetais, observou que o comprimento da parte aérea das plântulas de melancia não foi influenciado pelas concentrações de ácido salicílico quando as sementes foram pré-embebidas por 8 horas. No entanto, quando se utilizou o substrato umedecido com as soluções contendo 5 e 50 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de ácido salicílico as plântulas apresentaram um menor comprimento da parte aérea, quando comparadas às plântulas germinadas em água destilada.

Com base em Abati et al. 2014, essa redução no comprimento das plântulas ocorreu principalmente devido à restrição hídrica diminuir a velocidade dos processos fisiológicos e bioquímicos, restringindo o seu desenvolvimento (ABATI et al., 2014).

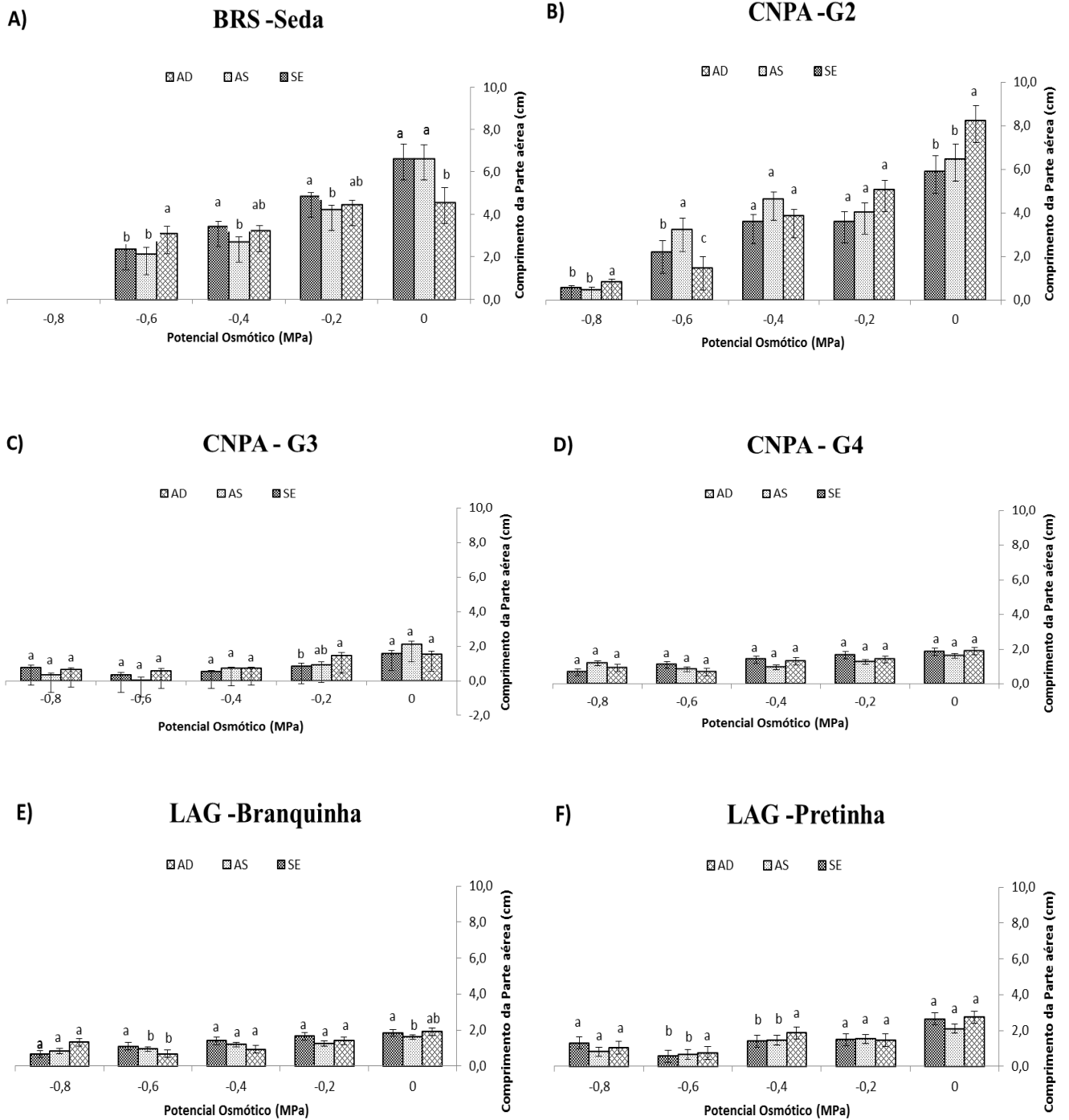


Figura 9 - Comprimento da parte aérea (CPA) de genótipos de gergelim submetidos a diferentes potenciais osmóticos e pré-tratamento de sementes. Campina Grande, PB, 2015. Barras com mesma letra em cada potencial indica não haver diferença estatística entre os tratamentos de embebição de sementes pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). AD -Embebição em água destilada, AS- Embebição em ácido salicílico, SE - Sem embebição.

5.2.2 Comprimento da raiz (CR)

Uma das características importante e que confere às plantas maior tolerância a déficit hídricos é o comprimento específico das raízes (Figura 10), como o estresse hídrico ocorre de forma gradual, o contato entre a superfície das raízes e do solo é maximizado pela emissão dos pelos radiculares, com conseqüente aumento da área superficial e capacidade de absorção de água (RAMOS JUNIOR et al., 2013).

Com base nessas informações observa-se diferença significativa entre os tratamentos de embebição nas sementes para o ‘BRS Seda (Figura 10A), onde no potencial 0,0 MPa (testemunha) constatou-se diferenciação entre as médias sendo a melhor encontrada nas sementes sem embebição (6,84 cm). Nos demais potenciais as sementes com embebição em água destilada foram observadas as melhores médias sendo elas no potencial -0,2 MPa (5,67 cm), -0,4 MPa (5,39 cm) e no potencial -0,6 MPa (3,47 cm). Resultados semelhantes foram encontrados por Agostini et al. (2013), que avaliando indução de tolerância à deficiência hídrica na germinação e crescimento inicial de sementes de feijoeiro observaram um ajuste linear para o comprimento da parte aérea com o aumento da restrição hídrica com decréscimo no comprimento da raiz.

No genótipo CNPA-G2 (Figura 10B) notou-se um decréscimo no comprimento da raiz, sendo que o potencial 0,0 (testemunha) foi o que apresentou diferenciação entre as médias observada, com a maior média de 5,90 cm com embebição em água destilada e no potencial -0,6 MPa com maior média 1,86 cm em sementes com embebição em ácido salicílico (AS). No genótipo CNPA-G3 (Figura 10C), observou-se médias com diferenciação apenas no potencial 0,0 MPa (testemunha) com média (3,78 cm) e no potencial -0,2 MPa com média observada de 2,28 cm, ambas em sementes que foram embebidas com ácido salicílico. Nos demais potenciais não se constatou diferença entre as médias.

Para o ‘CNPA-G4’ (Figura 10D) as médias de CR foram reduzidas em ambos os potenciais e tratamentos de sementes e não diferiram entre si, em função do potencial ou entre embebição e sem embebição. Já no genótipo ‘LAG-Branquinha’ (Figura 10E) as médias de crescimento radicular foram maiores em relação a todos os genótipos avaliados e as médias encontradas diferiram entre si em todos os potenciais. No potencial 0,0 MPa (testemunha) a maior média foi observada nas sementes sem embebição foi de 5,01 cm, já no potencial -0,2 MPa a maior média 3,32 cm foi observada nas sementes embebidas em água destilada, situação parecida à observada no potencial -0,4 MPa, no qual a maior média 3,79 cm.

Resultado distinto aconteceu no genótipo 'LAG-Pretinha' observando-se diferenciação apenas nas médias a partir do potencial $-0,4$ MPa com média $2,26$ cm em sementes de embebição em água destilada, e no potencial $-0,6$ MPa as sementes com embebição em água destilada apresentaram média de $1,87$ cm respectivamente.

Na pesquisa de Carneiro et al. (2011), avaliando o efeito de agentes indutores de estresse hídrico e salino na germinação, crescimento e resposta antioxidante de plântulas de girassol, observou-se que o comprimento das raízes foi superior a testemunha para as plântulas germinadas nos potenciais osmóticos de $-0,2$ e $-0,4$ MPa para o agente osmótico PEG 6000, e no potencial de $-0,2$ MPa para o agente NaCl, Quando acondicionadas sob potenciais osmóticos inferiores aos citados, houve uma expressiva redução no crescimento radicular.

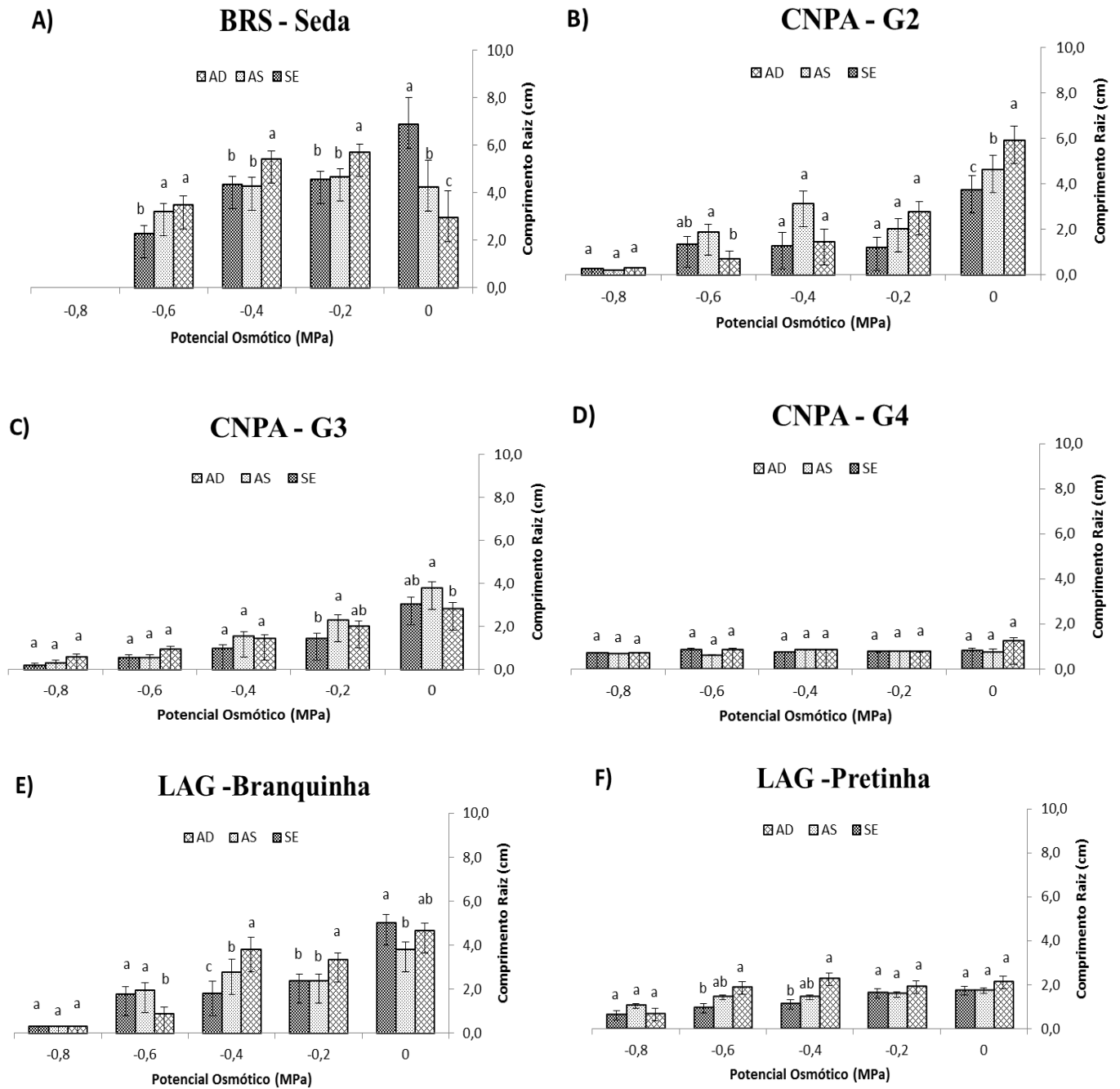


Figura 10 - Comprimento radicular (CR) de genótipos de gergelim submetidos a diferentes potenciais osmóticos e pré-tratamento de sementes. Campina Grande, PB, 2015. Barras com mesma letra em cada potencial indica não haver diferença estatística entre os tratamentos de embebição de sementes pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). AD -Embebição em água destilada, AS- Embebição em ácido salicílico, SE - Sem embebição.

5.3. Variáveis bioquímicas

Para as variáveis bioquímicas analisadas (atividade das enzimas Catalase – CAT; Ascorbato peroxidase – APX; superóxido dismutase – SOD e o teor de proteínas solúveis) (Tabela 4), houve efeito significativo dos três fatores estudados ('G', 'E' e 'P') bem como se observa significância ($p \leq 0,01$) nas interações entre os três fatores. Com isso, percebe-se que há variação nessas características em plântulas de gergelim tanto em função dos genótipos utilizados quanto em função do nível de déficit hídrico no substrato e do tratamento prévio de embebição das sementes.

Dessa forma, tais características são estudadas com frequência por diversos pesquisadores para se identificar marcadores fisiológicos e bioquímicos relacionados ao estresse hídrico em plantas (AZEVEDO NETO et al., 2004).

Tabela 4. Síntese da análise de variância para atividade das enzimas Catalase – CAT; Ascorbato peroxidase – APX; superóxido dismutase – SOD e o teor de proteínas solúveis em genótipos de gergelim submetidos a diferentes potenciais osmóticos e tratamento de sementes. Campina Grande- PB, 2015.

| Fator de Variação | GL | QUADRADOS MÉDIOS | | | |
|-------------------|-----|------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | | CAT | APX | SOD | PROTEÍNA |
| Genótipo (G) | 5 | 0,1- E6** | 0,5-E5** | 1,0721** | 0,0248** |
| Embebição (E) | 2 | 0,57-E4** | 0,14-E4** | 0,0040* | 0,96-E2** |
| Estresse (P) | 4 | 0,42-E ⁴ ** | 1.70825** | 0,0294** | 0,0739** |
| G * E | 10 | 0,31-E4** | 0,8-E5** | 0,0980** | 0,63-E2** |
| G * P | 20 | 0,54-E4** | 0,8-E5** | 0,1110** | 0,0225** |
| P * E | 8 | 0,54-E4** | 0,10-E5** | 0,0676** | 0,44-E2** |
| G * E * P | 40 | 0,52-E4** | 0,6-E5** | 0,05633** | 0,53-E2** |
| Resíduo | 180 | 0,88-E4 | 0,2-E4 | 0,0406 | 9,00477 |
| CV(%) | | 32,15 | 29,33 | 30,69 | 0,17 |

**,* = Significativo a 1 e a 5% de probabilidade de erro

5.3.1-Atividade da catalase (CAT)

No genótipo BRS-Seda (Figura 11A) houve diferença entre as médias quanto aos pré-tratamentos e nos potenciais; no potencial 0,0 MPa (testemunha), destacou-se a embebição em água destilada ($0,00832 \text{ mmol H}_2\text{O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ MF min}^{-1}$) e nos potenciais -0,2 MPa ($0,00708 \text{ mmol H}_2\text{O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ MF min}^{-1}$) e -0,4 MPa ($0,00591 \text{ mmol H}_2\text{O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ MF min}^{-1}$) destacou-se a embebição em ácido salicílico.

Pereira et al. (2012), reportaram variação na atividade da CAT varia em função da duração e intensidade do estresse; e que em situações de déficit hídrico moderado, há um incremento na atividade desta enzima. Entretanto à medida que o estresse torna-se mais severo, esse comportamento é invertido, tal como se observa nos menores potenciais osmóticos (-0,6 e -0,8 MPa).

Diferença entre as médias de tratamento de sementes para a atividade da catalase também foi identificada no genótipo CNPA-G2 (Figura 11B) em todos os potenciais testados. No potencial 0,0 MPa (testemunha) a maior média constatou-se no tratamento com embebição em água destilada ($0,00323 \text{ mmol H}_2\text{O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ MF min}^{-1}$) e nos potenciais de -0,2 e -0,4 MPa, destacou-se a embebição em ácido salicílico no aumento da atividade da CAT. Acrescenta-se que no potencial -0,6 MPa a maior média foi observada em sementes sem embebição, justificando novamente a não atuação do AS em níveis mais elevados de estresse.

A avaliação desta enzima (CAT) em resposta ao estresse hídrico foi feita Kadkhodaie et al. (2013) em genótipos de gergelim sensíveis, intermediários e resistentes à seca e esses autores observaram aumento na atividade da CAT em todos os genótipos. Estes resultados indicaram que a capacidade de CAT em degradar H_2O_2 foi mantida durante os estresses leves (0 controle, -1,- bar) , moderadas (-5 bar) e graves (-7 bar) em todos os genótipos, no entanto, mesmo os genótipos sensíveis ao estresse mantiveram atividade CAT mesmo sob grave estresse hídrico. Tal comportamento pode ser devido ao fato de ser o gergelim uma espécie tolerante à seca (ORRUNO e MORGAN, 2007).

Já no genótipo CNPA- G3(Figura 11C) observou-se diferença entre nas médias nos potenciais de -0,4, -0,6 e -0,8 MPa, sendo as maiores médias identificadas no tratamento sem embebição ($0,00570$ e $0,00534 \text{ mmol H}_2\text{O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ MF min}^{-1}$)

Comportamento diferenciado ocorreu no genótipo CNPA-G4 (Figura 11D) com tendência de aumento da atividade da CAT devido à diminuição do potencial osmótico do

substrato, em especial nos tratamentos de embebição das sementes, tornando evidente que a embebição nesse genótipo fez aumentar a quantidade da enzima em condições de estresse hídrico.

Pires (2014), encontrou resultados semelhantes ao investigar o efeito do óxido nítrico (ON) como agente protetor e sinalizador em sementes de gergelim submetidas a diferentes potenciais osmóticos. Verificou que no potencial mais negativo (-0,3 MPa) houve maior atividade das enzimas SOD, APX, CAT e POX, o que sugere atividade desintoxicante dessas moléculas em sementes submetidas ao déficit hídrico mais rigoroso. A associação do PEG 6000 ao óxido nítrico aumentou a atividade das enzimas antioxidantes, permitindo um aumento da tolerância dessa espécie à restrição de água e estímulo à germinação das sementes.

No genótipo LAG-Branquinha (Figura 11E) também se observou aumento da atividade da CAT com o decréscimo nos potenciais osmóticos, exceto no potencial de -0,8 MPa onde a atividade da CAT foi baixa nos três tratamentos de sementes. Todavia, nos tratamentos de embebição em AS e em AD houve tendência de aumento na atividade enzimática.

Já na 'LAG-Prezinha' (Figura 11F) destaca-se maior atuação do ácido salicílico no potencial -0,4 MPa, com maior atividade enzimática $0,00550 \text{ mmol H}_2\text{O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ MF min}^{-1}$.

O aumento da atividade da catalase em folhas de plantas estressadas pode ser uma adaptação que visa a eliminação de H_2O_2 produzido durante a fotorrespiração promovido pelo estresse hídrico (BEN AHMED et al., 2009).

Assim, a atividade da CAT desenvolve uma função assemelhada à atividade da SOD em condições de déficit hídrico, mantendo uma relação positiva direta na medida em que há o aumento dos níveis de déficit hídrico (COSCOLIN et al., 2011). Acrescente-se que no presente estudo, a atividade enzimática foi determinada em material proveniente da parte aérea e radicular das plântulas de gergelim.

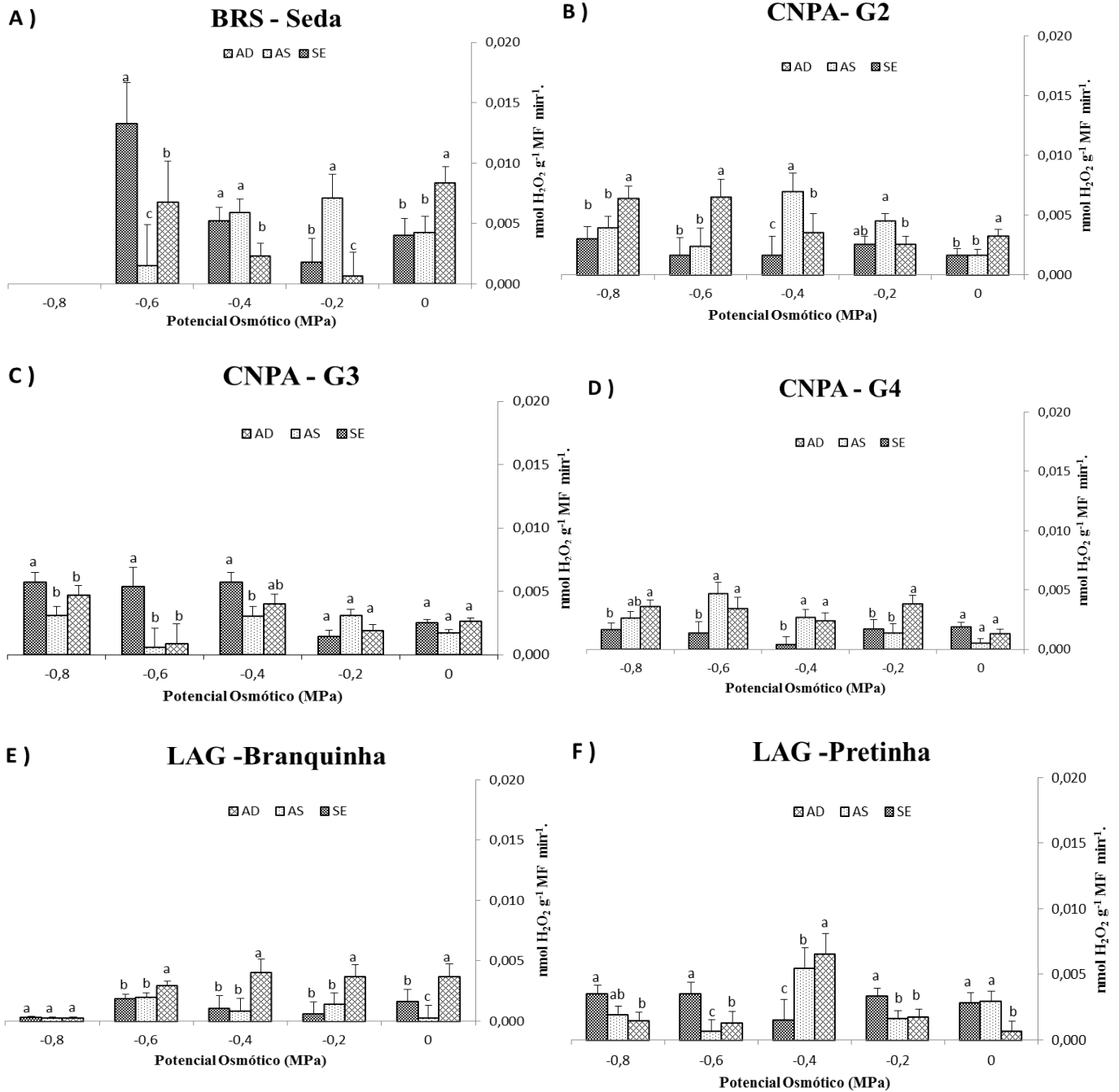


Figura 11- Atividade da catalase (CAT) em genótipos de gergelim submetidos a diferentes potenciais osmóticos e pré-tratamento de sementes. Campina Grande, PB, 2015. Barras com mesma letra em cada potencial indica não haver diferença estatística entre os tratamentos de embebição de sementes pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). AD - Embebição em água destilada, AS - Embebição em ácido salicílico, SE - Sem embebição.

5.3.2 - Atividade do ascorbato peroxidase (APX)

Constatou-se que no genótipo BRS Seda (Figura 12A) houve diferenciação das médias em todos os potenciais avaliados sendo que as maiores médias observou-se no potencial -0,4 MPa e -0,6 MPa e nas sementes sem embebição ($0,00535 \mu\text{mol ascorbato g}^{-1} \text{ MF min}^{-1}$) e as que passaram por embebição em água destilada ($0,00626 \mu\text{mol ascorbato g}^{-1} \text{ MF min}^{-1}$) respectivamente onde a quantidade da enzima foi maior e nos demais potenciais 0,0 (testemunha) e -0,2 MPa as maiores médias foram encontradas nas sementes que foram embebidas em ácido salicílico ($0,00147$ e $0,00166 \mu\text{mol ascorbato g}^{-1} \text{ MF min}^{-1}$) demonstrando atuação do AS na elevação na quantidade da APX.

No genótipo CNPA-G2 (Figura 12B) constatou-se maior atividade da APX no potencial de -0,2 MPa, nível mais moderado de estresse, com destaque para as sementes com embebição com água destilada com média $0,00283 \mu\text{mol ascorbato g}^{-1} \text{ MF min}^{-1}$, seguida pelas sementes com embebição em ácido salicílico $0,00174 \mu\text{mol ascorbato g}^{-1} \text{ MF min}^{-1}$. Da mesma forma, a maior atividade de APX no CNPA-G3 (Figura 12C) se deu no potencial de -0,2 MPa, com destaque para o ácido salicílico no potencial -0,2 MPa.

Tal comportamento assemelha-se ao observado no estudo de Carneiro et al. (2011), que avaliando o mecanismo de defesa das plântulas de girassol submetidas aos agentes osmóticos PEG 6000 e NaCl por meio da atividade de enzimas antioxidantes, constataram que a APX aumentou nos potenciais de -0,2 e -0,4 MPa e no potencial de -0,8 MPa não houve diferenças significativas.

Carneiro et al. (2011), ressalta que a maior atividade da CAT e APX em condições de estresse pode ser justificada pela necessidade de remoção do H_2O_2 produzido pela atividade da SOD e também pela possível taxa de fotorrespiração ocorrida nas plantas estressadas (CARNEIRO 2011).

Houve tendência de aumento na atividade da APX nas condições de estresse hídrico no genótipo CNPA-G4 (Figura 12D). Nestas condições, se observou maior atuação do AS, com exceção do nível mais severo de estresse hídrico (-0,8 MPa), de forma semelhante ao resultado obtido para a catalase em 'LAG-Branquinha'

Silva (2014) também usou descritores enzimáticos para estudar a resposta de tolerância ao estresse hídrico avaliando o crescimento, variáveis fisiológicas e bioquímicas e a produção de genótipos de feijão *Vigna* sob níveis de reposição da irrigação e observou que em relação à atividade da APX, notou que nas menores lâminas de irrigação, principalmente nos genótipos

‘BR17 Gurguéia’ e ‘BRS Marataoã’ houve maiores níveis de APX. No referido estudo, quando as plantas foram reidratadas, houve redução nos níveis de APX obtidos nas lâminas em relação aos observados nas plantas sob estresse; O que confirma que quanto maior o estresse maior atividade da enzima e que ocorre variação em relação aos genótipos, como ocorreu no presente trabalho.

No genótipo LAG-Branquinha (Figura 12E) percebe-se atividade elevada da APX sob condições osmóticas desfavoráveis, e observa-se no nível de estresse moderado (-0,2 MPa), maior ação do ácido salicílico no aumento da atividade da APX ($0,00353 \mu\text{mol ascorbato g}^{-1} \text{MF min}^{-1}$). Considerando o genótipo LAG-Pretinha (Figura 12F) houve menor atividade da APX, contudo, nota-se aumento moderado de acordo com a redução no potencial osmótico.

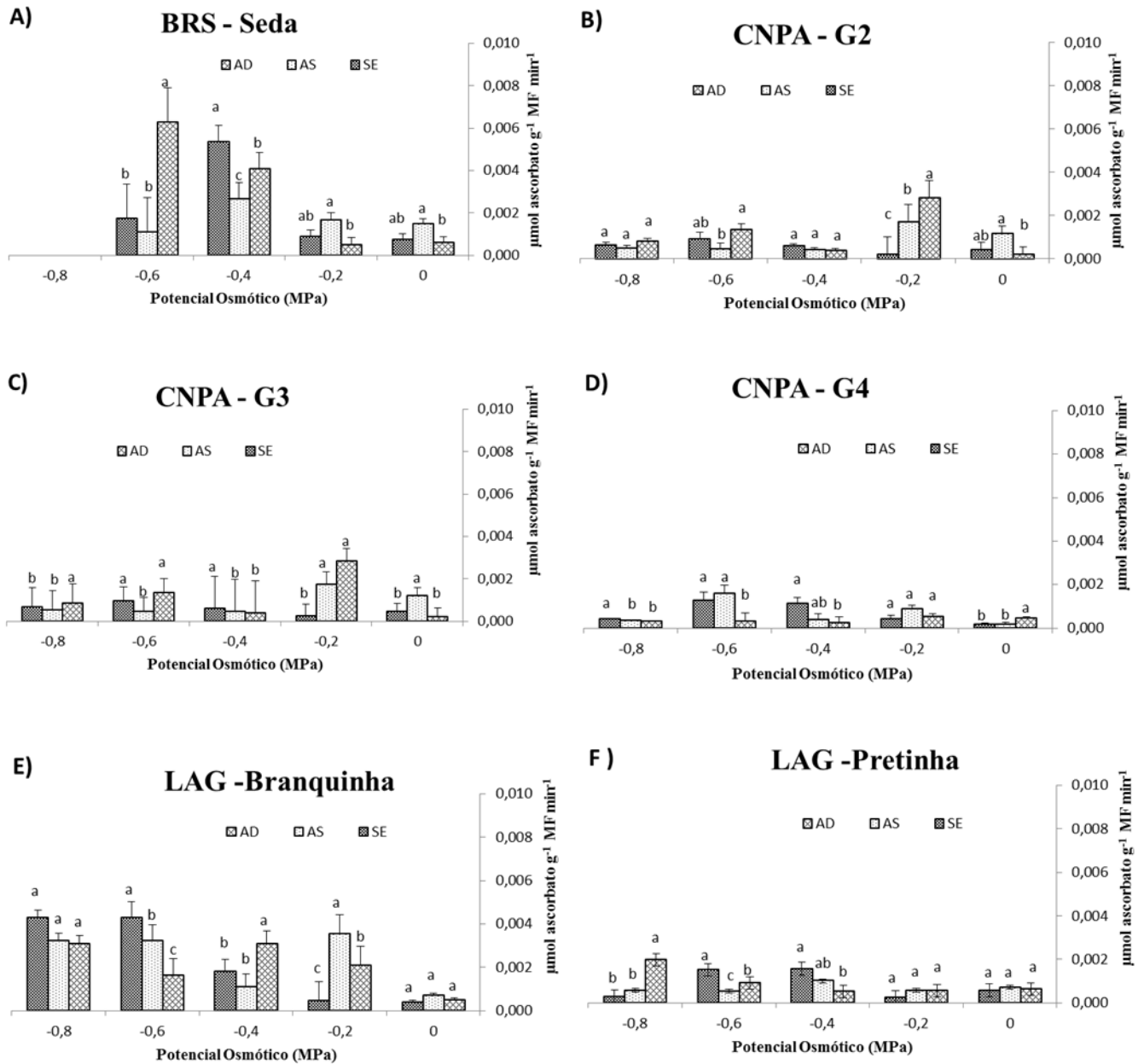


Figura 12 - Atividade da ascorbato Peroxidase (APX) em genótipos de gergelim submetidos a diferentes potenciais osmóticos e pré-tratamento de sementes. Campina Grande, PB, 2015. Barras com mesma letra em cada potencial indica não haver diferença estatística entre os tratamentos de embebição de sementes pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). AD - Embebição em água destilada, AS- Embebição em ácido salicílico, SE - Sem embebição.

5.3.3- Atividade do Superóxido dismutase (SOD)

Na Figura 13A, constata-se diminuição na quantidade da SOD nas plântulas de gergelim nos potenciais induzidos com PEG 6000 e em cada potencial, as maiores médias foram encontradas nos tratamentos de embebição em AD e AS sendo que as mesmas não diferiram entre si nos potenciais -0,2 e -0,4 MPa. Por outro lado, o ‘CNPA-G2’ (Figura 13B) foi o genótipo com maior atividade da SOD e com melhor resposta à embebição da sementes em ácido salicílico. Neste caso, médias elevadas foram identificadas em todos os potenciais avaliados e com maior atuação de AS no aumento da SOD nesse genótipo. Esse resultado em relação à quantidade de enzimas superóxido dismutase supõe tolerância ao estresse hídrico no CNPA-G2 visto que esta enzima é a primeira na linha de defesa das EROS que são produzidas normalmente nas plantas mas tem sua quantidade elevada durante os estresse hídrico (SILVA et al., 2014).

A quantidade de SOD foi menor no ‘CNPA-G3’ (Figura 13C) em relação ao ‘CNPA-G2’. Contudo, no potencial de -0,2 MPa ($0,2550 \text{ UA g}^{-1} \text{ MF min.}^{-1}$) o AS proporcionou elevação na atividade da SOD, assim como houve aumento desta em relação aos valores obtidos no tratamento sem déficit hídrico 0,0 MPa ($0,0210 \text{ UA g}^{-1} \text{ MF min.}^{-1}$)

No genótipo CNPA-G4 (Figura 13D) foi identificado aumento na atividade da SOD nos potenciais osmóticos induzidos por PEG 6000 em relação à testemunha. Observaram-se médias elevadas da SOD nas plântulas cujas sementes foram tratadas com AS. No genótipo LAG-Branquinha (Figura 13E) houve baixa atividade da enzima em todos os potenciais avaliados quando esses resultados são comparados aos dos demais genótipos.

Todavia é possível perceber neste genótipo LAG-Branquinha (Figura 13E), aumento na atividade da SOD nos dois primeiros níveis de estresse hídrico -0,2 e -0,4 MPa sendo este aumento de 50% e 100% em relação à testemunha e diminuição nos potenciais seguintes indicando que o sistema antioxidante também não é efetivo em níveis de alto estresse.

Acrescente-se ainda que a atividade da enzima pode ser requerida, mesmo em situações normais, para dismutar espécies reativas de oxigênio evoluídas do metabolismo de açúcares na mitocôndria, sendo, portanto, necessário para a utilização da SOD como marcador bioquímico de parâmetros da atividade da enzima em condições ambientais normais (COSCOLIN et al., 2011).

Na ‘LAG-Pretinha’ (Figura 13F) constatou-se médias elevadas com destaque para a atuação do AS no potencial de -0,8 MPa em que se observou elevação da atividade da SOD nas

sementes que tiveram embebição em ácido salicílico. Neste sentido, Silva et al. (2013), avaliando a capacidade de ajustamento osmótico, solutos compatíveis e mecanismos enzimáticos relacionados em diferentes genótipos de *Jatropha curcas* L. sob déficit hídrico, perceberam que a atividade da SOD em folhas de plantas submetidas à seca severa foi, maior o que representa um acréscimo de 50% quando comparado com o controle que apresentou em média e 16% para as plantas submetidas à seca moderada.

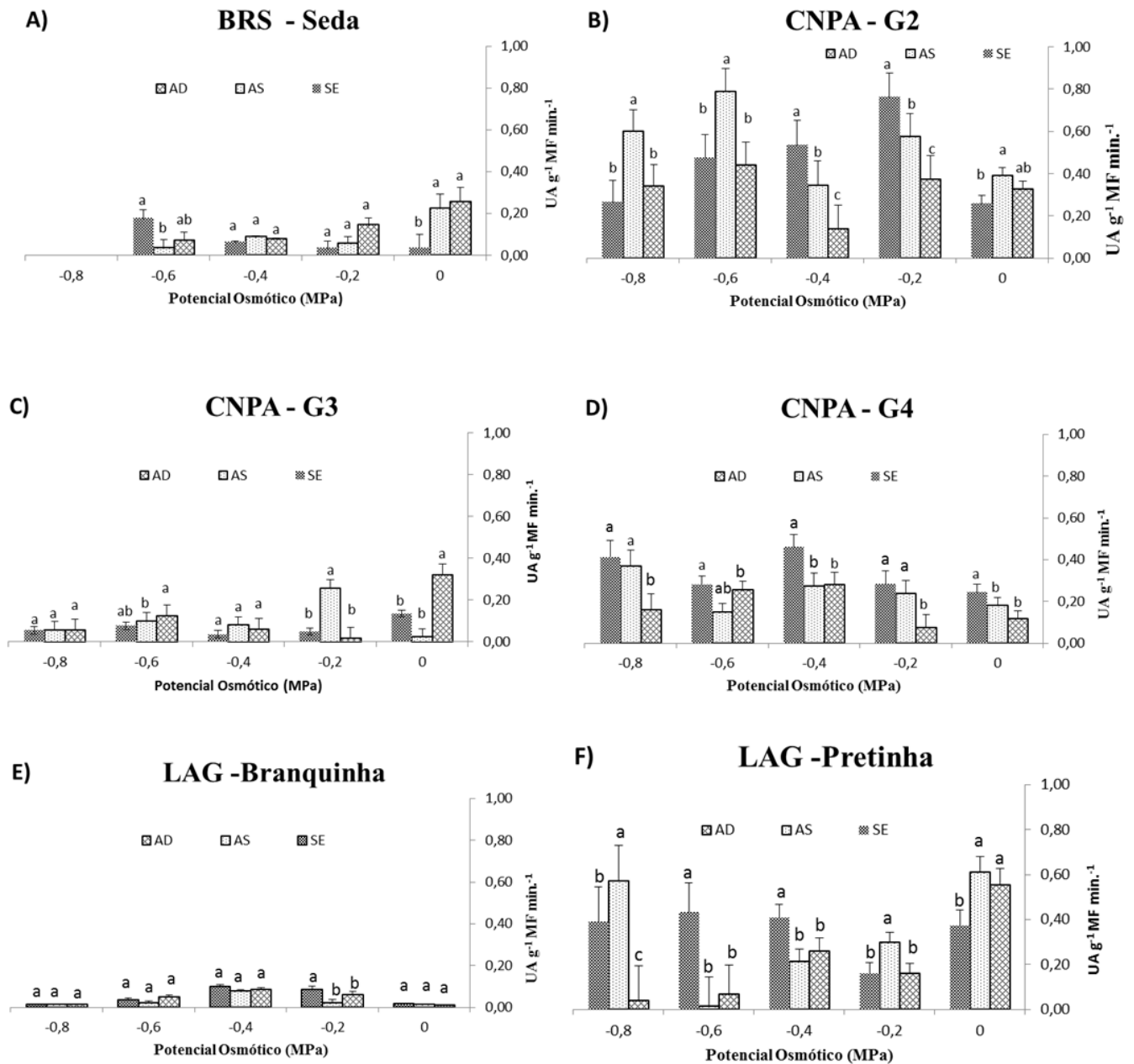


Figura 13 - Atividade da superóxido dismutase (SOD) em genótipos de gergelim submetidos a diferentes potenciais osmóticos e pré-tratamento de sementes. Campina Grande, PB, 2015. Barras com mesma letra em cada potencial indica não haver diferença estatística entre os tratamentos de embebição de sementes pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). AD - Embebição em água destilada, AS- Embebição em ácido salicílico, SE - Sem embebição.

5.3.4- Proteínas solúveis

A análise do teor de proteínas solúveis nas plantas é um parâmetro de referência para os resultados da atividade de várias enzimas; já que o nível de proteínas solúveis podem ser alterados em plantas crescendo sob estresse hídrico (DIN et al., 2011).

Nesse sentido observou-se para o gergelim que os valores encontrados nos genótipos avaliados (Figura 14), não se verificou diferença significativa entre os tratamentos de embebição das sementes (embebição em água destilada, em ácido salicílico e sem embebição), sendo os teores de proteínas solúveis constantes também em relação aos potenciais testados.

Paixão et al. (2014), avaliando a caracterização fisiológica e bioquímica de genótipos de girassol com tolerância diferenciada ao estresse hídrico, observaram que os teores de proteínas solúveis foram afetados diferentemente pelo estresse nos genótipos avaliados e que foram observados aumentos nos teores de proteínas solúveis em relação aos dias de estresse hídrico.

As proteínas são encontradas em todas as partes das células, uma vez que são fundamentais sob todos os aspectos da estrutura e função celulares, e alterações nos teores de proteínas podem representar um grande dano para o crescimento e desenvolvimento das plantas (COSCOLIN et al., 2011).

Resultados contrários foram encontrados por Moura (2008), que avaliando os aspectos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) submetido ao déficit hídrico, observou que os teores de proteínas em folhas das plantas submetidas à deficiência hídrica não foram afetados em função dos tratamentos hídricos estudados nas três épocas de avaliação.

Já Oliveira et al. (2013), verificando o efeito do estresse hídrico nas concentrações de aminoácidos livres totais e proteínas solúveis totais em plantas jovens de graviola, observaram que em condições de estresse hídrico as plantas de graviola sofrem redução na concentração de proteínas solúveis totais e um aumento significativo nas concentrações de aminoácidos livres totais.

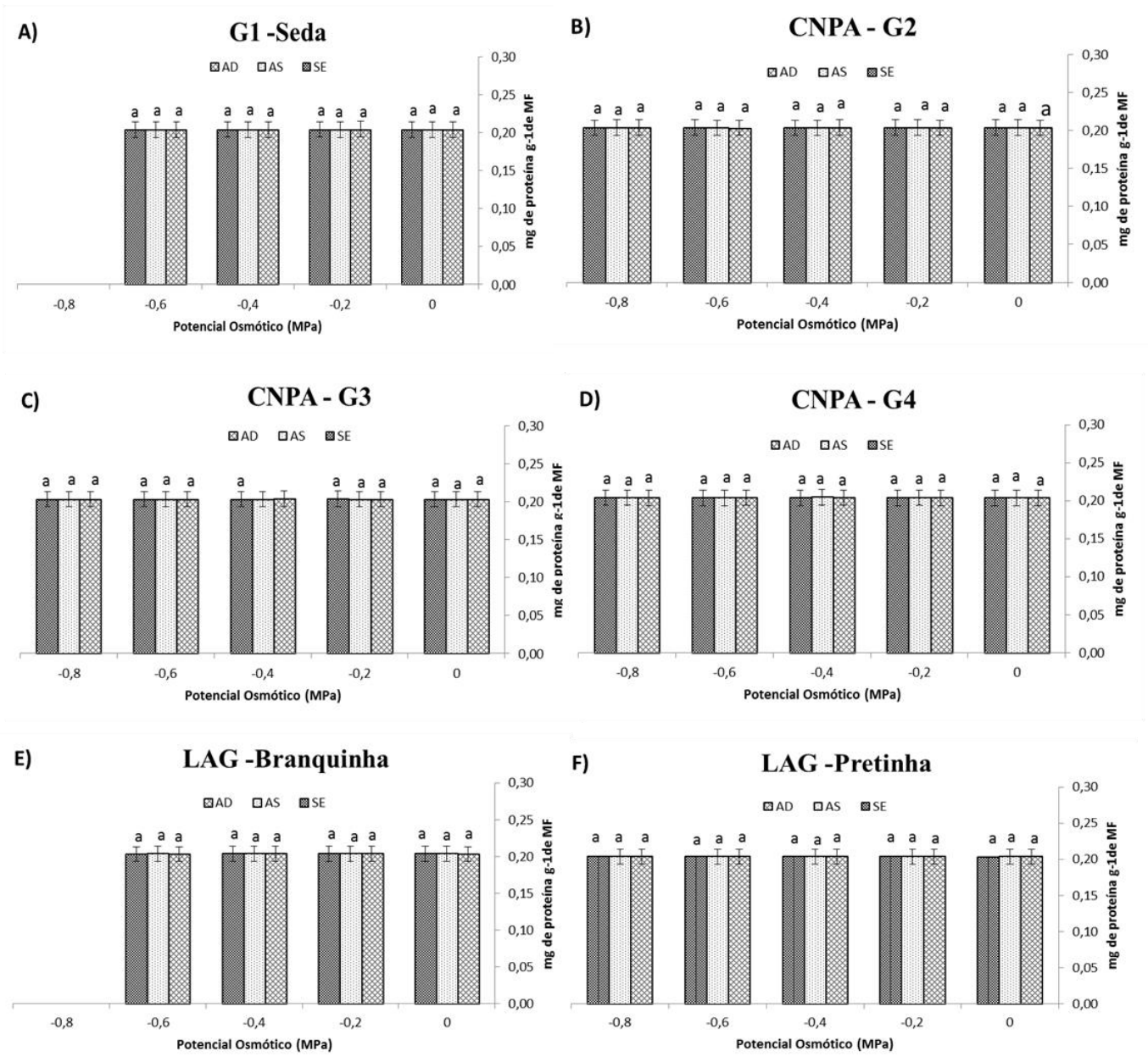


Figura 14 - Concentração de proteínas solúveis de genótipos de gergelim submetidos a diferentes potenciais osmóticos e pré-tratamento de sementes. Campina Grande, PB, 2015. Barras com mesma letra em cada potencial indica não haver diferença estatística entre os tratamentos de embebição de sementes pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). AD - Embebição em água destilada, AS- Embebição em ácido salicílico, SE - Sem embebição.

6. CONCLUSÕES

Os maiores índices de germinação foram obtidos quando as sementes passaram por embebição em água destilada ou ácido salicílico nos maiores potenciais osmóticos.

A concentração (10^{-5} mol L⁻¹) de ácido salicílico promoveu indução de tolerância ao estresse hídrico durante a germinação e maior crescimento radicular nos genótipos BRS-Seda, CNPA-G2, CNPA -G4 e na LAG-Branquinha.

O déficit hídrico aumentou a atividade das enzimas antioxidantes (CAT, SOD e APX) nas plântulas de gergelim.

O genótipo CNPA- G2 mostrou-se mais adaptado às condições de deficiência hídrica, por apresentar mecanismos fisiológicos capazes de acumular mais enzimas antioxidantes (SOD, CAT e APX) e por sofrer menores alterações no crescimento, sendo o potencial -0,4 MPa onde observou-se as melhores médias na maioria das variáveis avaliadas.

Em relação às proteínas solúveis nos genótipos avaliados não observou-se diferenciação entre eles em função das embebições e potenciais osmóticos.

O genótipo BRS - Seda não germina em potenciais iguais ou menores que -0,8 MPa, com indícios de sensibilidade ao estresse hídrico nessa fase.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABATI, J.; BRZEZINSKI, C. R.; ZUCARELI, C.; HENNING, F. A.; ALVES, V. F.N.; GARCIA, V. V. Qualidade fisiológica de sementes de trigo tratadas com biorregulador em condições de restrição hídrica. **Informativo ABRATES**, v. 24, n. 1, p. 32-36, 2014.

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 Agronomy**, v. 35, n. 2, p. 209-219, 2013.

ANDERSON, M. D.; PRASAD, T. K.; STEWART, C. R. Changes in isozyme profiles of catalase, peroxidase, and glutathione reductase during acclimation to chilling in mesocotylus of maize seedlings. **Plant Physiology**, v. 109, n. 4, p.1247-1257, 1995.

ANTONIASSI, R.; ARRIEL, N. H. C.; GONÇALVES, E. B.; FREITAS, S. C. D.; ZANOTTO, D. L.; BIZZO, H. R. Influência das condições de cultivo na composição da semente e do óleo de gergelim. **Revista Ceres**, v. 60, n. 3, p. 301-310, 2013.

APEL, K.; HIRT, H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress and signal transduction. **Annual Review of Plant Biology**, v. 55, n. 1, p. 373-399, 2004.

ARAÚJO, A. C. D.; ALOUFA, M. A.I.; SILVA, A.J. N. D. S.; COSTA, A.A.; SANTOS, I. S.D. Análise não destrutiva de crescimento do gergelim consorciado com feijão caupi em sistema orgânico de cultivo. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 9, n.1, p.259-268, 2014.

ARRIEL, N. H. C.; BELTRÃO, N. E. M.; FIRMINO, P. T. Gergelim: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; **Coleção 500 Perguntas 500 Respostas**. Campina Grande, Embrapa Algodão, p. 209, 2009.

ÁVILA, M. R.; BRACCINI, A. D. L.; SCAPIM, C. A.; FAGLIARI, J. R.; SANTOS, J. L. Influência do estresse hídrico simulado com manitol na germinação de sementes e

crescimento de plântulas de canola. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 1, p. 98-106, 2007.

AZEVEDO NETO, A. D.; PRISCO, J. T.; ENÉAS FILHO, J.; LACERDA, C. F. D.; SILVA, J. V.; COSTA, P. H. A. D.; GOMES-FILHO, E. Effects of salt stress on plant growth, stomatal response and solute accumulation of different maize genotypes. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 16, n. 1, p. 31-38, 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.

BAHRAMI, H.; RAZMJOO, J. Effect of salinity stress (NaCl) on germination and early seedling growth of ten sesame cultivars (*Sesamum indicum* L.). **International Journal of Agriscience**, v. 2, n. 6, p. 529-537, 2012.

BEERS JUNIOR, R. F.; SIZER, I. W. A spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase. **Journal of Biological Chemistry**, v. 195, n. 1, p. 133-140, 1952.

BELTRÃO, N. E. M.; VALE, L. S.; MARQUES, L. F.; CARDOSO, G. D.; MARACAÇA, P. B. Época relativa de plantio no consórcio mamona e gergelim. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 5, n. 5, p.6-73, 2010.

BEN AHMED, C.; BEN ROUINA, B.; SENSOY, S.; BOUKHRIS, M.; BEN ABDALLAH, F. Changes in gas exchange, proline accumulation and antioxidative enzyme activities in three olive cultivars under contrasting water availability regimes. **Environmental and Experimental Botany**, v. 67, n. 2, p. 345-352. 2009.

BEZERRA, S. A.; NETO, J. D.; AZEVEDO, C. A. V. D.; SILVA, M. B. R.; SILVA, M. M. D. Produção do gergelim cultivado sob condições de estresse hídrico e diferentes doses de adubação. **Revista Unipinhal**, v. 7, n. 3, p. 156-165. 2010.

BORGHETTI, F.; FERREIRA, A. G. Germinação: do básico ao aplicado. **Artmed**, p. 210-222, 2004.

BONIFACIO, A.; MARTINS, M. O.; RIBEIRO, C. W.; FONTENELE, A. V.; CARVALHO, F. E. L.; PINHEIRO, M. M.; SILVEIRA, J. A. G. Role of peroxidases in the compensation of cytosolic ascorbate peroxidase knockdown in rice plants under abiotic stress. **Plant, Cell and Environment**, v. 34, p. 1705-1722, 2011.

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, p. 248-254, 1976.

BRAGA, L. F.; Sousa, M. P.; CESARO, A. S.; LIMA, G.P. P.; GONÇALVES, A. N. Germinação de sementes de pinho-cuiabano sob deficiência hídrica com diferentes agentes osmóticos. **Scientia Forestalis**, v. 36, n. 78, p. 157-163, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária, Brasília: Mapa/ACS, 399 p. 2009.

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, 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**, v. 29, n. 1, p.114-124, 2007.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v.103, n.4, p.551-560, 2009.

COLMAN, B. A.; NUNES, C. M.; MASSON, G. L.; BARBOSA, R. H.; NUNES, A. S. Indução de tolerância ao estresse hídrico na germinação de sementes de feijão-caupi. **Comunicata Scientiae**, v. 5, n. 4, p. 449-455, 2014.

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

DEL RÍO, L. A.; SANDALIO, L. M.; CORPAS, F. J.; PALMA, J. M.; BARROSO, J. B. Reactive oxygen species and reactive nitrogen species in peroxisomes: Production, scavenging, and role in cell signaling. **Plant Physiology**, v. 141, n. 2, p. 330-335, 2006.

DIAS, M. A.; LOPES, J. C.; CORREA, N. B.; DIAS, D. C. F. S. Germinação de sementes e desenvolvimento de plantas de pimenta malagueta em função do substrato e da lâmina de água. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, p.115-121. 2008.

DIN, J.; KHAN, S. U.; ALI, I.; GURMANI, A. R. Physiological and agronomic response of canola varieties to drought stress. **Journal Animal and Plant Science**, v. 21, p. 78-82, 2011.

DOUSSEAU, S.; ALVARENGA, A. A. D.; ARANTES, L. O.; OLIVEIRA, D. M.; NERY, F. C. Germinação de sementes de tanchagem (*Plantago tomentosa* Lam.): influência da temperatura, luz e substrato. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, n. 4, p. 664-670, 2008.

FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. STATISTICS. data-2012. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/faostat>> Acesso em: 27 janeiro, 2014.

FARIAS, S. G. G.; FREIRE, A. L. O.; SANTOS, D. R.; BAKKE, I. A.; SILVA, R. B. Efeitos dos estresses hídrico e salino na germinação de sementes de glirícidia (*Gliricidia sepium* (JACQ.) STEUD.) **Revista Caatinga**, v. 22, n. 4, p.152-157, 2009.

FAROOQ, M.; WAHID, A.; KOBAYASHI, N.; FUJITA, D.; BASRA, S. M. A. Plant drought stress: Effects mechanisms and management. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 29, n. 1, p. 185-212, 2009.

FERREIRA, D. F. **Sisvar**: sistema de análise de variância para dados balanceados, versão 5.1 Build 72. Lavras: DEX/ UFLA, 2007.

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide dismutases occurrence in higher plants. **Plant Physiology**, v. 59, p.309-14, 1977.

GONÇALVES, K. S.; SOUSA, A. P.; VELINI, E. D.; TRINDADE, M. L. B.; PAZ, V. P. S. Application of potassium phosphite to eucalyptus submitted to water stress. in: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 2014, Fortaleza, CE, Brasil. **Anais...Fortaleza Inovagri international meeting**, 2014.

GOODGER, J. Q. D.; SCHACHTMAN, D. P. Re-examining the role of ABA as the primary long-distance signal produced by water-stresses roots. **Plant Signaling e Behavior**, v. 5, n.10, p. 1298-1301, 2010.

GREGGAINS, V.; FINCH-SAVAGE, W. E.; QUICK, W. P.; ATHERTON, N. M. Metabolism-induced free radical activity does not contribute significantly to loss of viability in moist-stored recalcitrant seeds of contrasting species. **New Phytologist**, v. 148, p. 267-276, 2000.

GRILO JÚNIOR, J. A. S.; AZEVEDO, P. V. D. Crescimento, desenvolvimento e produtividade do gergelim 'BRS Seda' na agrovila de Canudos, em Ceará Mirim (RN). **Revista Holos**, v.2, p.19-33, 2013.

GUEDES, R. S.; ALVES, E. U.; VIANA, J. S.; GONÇALVES, E.P.; LIMA, C. R. D.; SANTOS, S. D. R. N. D. Germinação e vigor de sementes de *apeiba tibourbou* submetidas ao estresse hídrico e diferentes temperaturas. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 1, p. 45-53, 2013.

GUIMARÃES, M. D. A.; DIAS, D. C. F. D. S.; LOUREIRO, M. E. Hidratação de sementes. **Revista Tropica – Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 2, n. 1, p. 31, 2008.

HABIBI, G. Exogenous salicylic acid alleviates oxidative damage of barley plants under drought stress. **Acta Biologica Szegediensis**, v. 56, n. 1, p. 57-63, 2012.

HAYAT, Q.; HAYAT, S.; ALYEMENI, M. N.; AHMAD, A. Salicylic acid mediated changes in growth, photosynthesis, nitrogen metabolism and antioxidant defense systemic *Cicer arietinum L.* **Plant, Soil Environment** v. 58, n. 9, p. 417-423, 2010.

JALEEL, C. A.; MANIVANNAN, P.; WAHID, A.; FAROOQ, M.; AL-JUBURI, H. J.; SOMASUNDARAM, R.; PANNEERSELVAM, R. Drought stress in plants: A review on morphological characteristics and pigments composition. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 11, p. 100-105, 2009.

RAMOS JUNIOR, E. U.; MACHADO, R. A. F.; OLIBONE, D.; CASTOLDI, G.; RAMOS, B. M. Crescimento de plantas de cobertura sob déficit hídrico. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 1, p. 47-56, 2013.

KADKHODAIE, A.; RAZMJOO, J.; ZAHEDI, M. Peroxidase, Ascorbate Peroxidase and Catalase activities in Drought Sensitive, Intermediate and Resistance Sesame (*Sesamum indicum L.*) Genotypes. **International Journal of Agronomy and Plant Production**. v. 4, n. 11, p. 3012-3021, 2013.

KERBAUY, G. B. Fisiologia Vegetal. **Guanabara Koogan**, 2.edição, 431 p., 2008.

LABOURIAU, L.G.; VALADARES, M.E.B. On the germination of seeds *Calotropis procera* (Ait.) Ait.f. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 48, n.2, p.263-284, 1976.

LANGHAM, D. R. **Growth and development of sesame**, Sesaco corporation, 2008. 44p.

LECHINOSKI, A.; FREITAS, J. M. N. D.; CASTRO, D. D. S.; LOBATO, A. K. D. S.; OLIVEIRA NETO, C. F.; CUNHA, R. L. M.; COSTA, R. C. L. D. Influência do estresse hídrico nos teores de proteínas e aminoácidos solúveis totais em folhas de Teca (*Tectona grandis L. f.*). **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, supl.2, p.927-929, 2007.

LIMA, F. A.; SOUSA, G. G. D.; VIANA, T. V. D. A.; PINHEIRO NETO, L. G.; AZEVEDO, B. M. D.; CARVALHO, C. M. D. Irrigação da cultura do gergelim em solo com biofertilizante bovino. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 7, p.102-111, 2011.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, n.1, p.176-177,1962.

MARTINS, C. C.; PEREIRA, M. R. R.; LOPES, M. T. G.; Germinação de sementes de eucalipto sob estresse hídrico e salino. **Bioscience Journal**, v. 30, suplemento 1, p. 318-329, 2014.

MATAMOROS, M. A.; DALTON, D. A.; RAMOS, J.; CLEMENTE, M. R.; RUBIO, M. C.; BACANA, M. Biochemistry and molecular biology of antioxidants in the rhizobia-legume symbiosis. **Plant Physiology**, v.133, n.2, p.499-509, 2006.

MELO, A. S.; SUASSUNA, J. F.; FERNANDES, P. D.; BRITO, M. E. B.; SUASSUNA, A. F.; AGUIAR NETO, A. O. Crescimento vegetativo, resistência estomática e rendimento do fruto da melancia em diferentes níveis de água. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, n. 1, p. 73-79, 2010.

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 Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 10, n. 1/2, p. 1039-1072, 2006.

MESQUITA, J. B. R.; AZEVEDO, B. M.; CAMPELO, A. R.; FERNANDES, C. N. V.; VIANA, T. V. A. Crescimento e produtividade da cultura do gergelim (*sesamum indicum l.*) sob diferentes níveis de irrigação. **IRRIGA**, v. 18, n. 2 ,p. 364-375-375, 2013.

MØLLER, I. M.; JENSEN, P. E.; HANSSON, A. Oxidative modifications to cellular components in plants. **Annual Review of Plant Biology**, v. 58, p. 459-481, 2007.

MOTERLE, L.M.; SCAPIM, C.A.; BRACCINI, A.L.; RODOVALHO, M.A.; BARRETO, R.R. Influência do estresse hídrico sobre o desempenho fisiológico de sementes de híbridos simples de milho-pipoca. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32,n. 6, p.1810 - 1817, 2008.

MOURA, A. R.; CASTRO, R. C. C.; GRACIANO, E. S. A.; ALBUQUERQUE, M. B.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Germinação de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em areia lavada. In: VIII Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão da UFRPE, 2008, Recife. **Anais.. VIII Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão da UFRPE**. Recife, 2008.

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

NIVEDITHADEVI, D.; SOMASUNDARAM, R.; PANNERSELVAM, R. Effect of abscisic acid, paclobutrazol and salicylic acid on the growth and pigment variation in *Solanum trilobatum*. **International Journal of Drug Development e Research**, v. 4, n. 3, p. 236-246, 2012.

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

OLIVEIRA, E. M. D.; COSTA, C. C. Qualidade fisiológica de gergelim armazenado em diferentes condições de conservação. **Engenharia Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 395-403, 2009.

OLIVEIRA, L. M. D.; SILVA, J. N. D.; COELHO, C. C. R.; NEVES, M. G.; SILVA, R. T.L.D.; OLIVEIRA NETO, C. F. D. Pigmentos fotossintetizantes, aminoácidos e proteínas em plantas jovens de graviola submetida ao déficit hídrico. **Agroecossistemas**, v. 5, n. 1, p. 39 - 44, 2013.

ORRUNO E.; MORGAN M.R.A. Purification and characterisation of the 7S globulin storage protein from sesame (*Sesamum indicum* L.). **Food Chemistry**, v. 100, n.1, p. 926- 934, 2007.

PAIXÃO, C. L. D.; JESUS, D. D. S. D.; COSTA, D. P.; PEREIRA, P. P. A.; AZEVEDO NETO, A. D. D. Caracterização fisiológica e bioquímica de genótipos de girassol com tolerância diferenciada ao estresse hídrico. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 19, p.2011-2022, 2014.

PELEGRINI, L. L.; BORCIONI, E.; NOGUEIRA, A. C.; KOEHLER, H. S.; QUOIRIN, M. G. G. Efeito do estresse hídrico simulado com NaCl, Manitol e PEG (6000) na germinação de sementes de *erythrina falcata benth.* **Ciência Florestal**, v. 23, n. 2, p. 511-519, 2013.

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 agrônômica**, v. 43, n. 4, p. 766-773, 2012.

PEREIRA, M. R. R.; MARTINS, C. C.; MARTINS, D.; SILVA, R. J. N. D. Estresse hídrico induzido por soluções de PEG e de NaCl na germinação de sementes de nabiça e fedegoso. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 3, p. 687-696, 2014.

PERIN, A.; CRUVINEL, D. J.; SILVA, J. W. D. Desempenho do gergelim em função da adubação NPK e do nível de fertilidade do solo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 32, n. 1, p. 93-98, 2010.

PINTO, C. M.; TÁVORA, F. J. A. F.; PINTO, O. R. O. Relações hídricas, trocas gasosas em amendoim, gergelim e mamona submetidos a ciclos de deficiência hídrica. **Agropecuária Técnica**, v. 35, n.1, p. 31-40, 2014.

PIRES, R. M. D. O. **Ação protetora do óxido nítrico em sementes de gergelim (*sesamum indicum l.*) submetidas a diferentes condições de estresse**, 2014, 70f.: Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Programa de Pós-graduação em Fitotecnia. Universidade Federal de Viçosa. 2014.

QUEIROGA, V. P.; GONDIM, T. M. S.; QUEIROGA, D. A. N. Tecnologias sobre operações de semeadura e colheita para a cultura do gergelim (*Sesamum indicum L.*). **Revista Agroambiente**, v. 3, n. 2, p.106-121, 2009.

REGO, S. S.; FERREIRA, M. M.; NOGUEIRA, A. C.; GROSSI, F.; SOUSA, R. K. D.; BRONDANI, G. E.; ARAÚJO, M. A.; SILVA, A. L. L. D. Estresse Hídrico e Salino na Germinação de Sementes de *Anadenanthera colubrina* (Veloso) Brenan. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 2, n. 4: p. 37-42, 2011.

SAMBATTI, J. B. M.; CAYLOR K. K. When is breeding for drought tolerance optimal if drought is random. **New Phytologist**, v.175, p.70-80. 2007.

SANTOS, C. A. C.; VIEIRA, E. L.; PEIXOTO, C. P.; LEDO, C. A. D. S. Germinação de sementes e vigor de plântulas de maracujazeiro amarelo submetidos à ação do ácido giberélico. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 2, p. 400-407, 2013.

SERT, M. A.; BONATO, C. M.; SOUZA, L. A. Germinação da semente. In: Souza, L. A. (org). Sementes e plântulas: germinação, estrutura e adaptação. **Toda palavra**, p. 89-118. 2009.

SILVA, T. C. F. S.; SILVA, R. C. B.; SILVA, J. E. S. B.; SANTOS, R. S.; ARAGÃO, C. A.; DANTAS, B. F. Germinação de sementes de melancia sob diferentes métodos de tratamento com reguladores vegetais. **Scientia Plena**, v. 10, n. 3, 2014.

SILVA, Á. R. F. D.; **Componentes de produção e fisiológicos em ecótipos de *Vigna* sob reposição hídrica**. 84p. Dissertação (Pós-Graduação em Ciências Agrárias). Universidade Estadual da Paraíba/Embrapa Algodão, Campina Grande, PB. 2014.

SILVA, F. F. D.; POLO, M.; RODRIGUES, A. C. Efeitos do estresse hídrico induzido durante a germinação da mamona, *ricinus communis* (euphorbiaceae). **Museu Biologia Mello Leitão**, n. 25, p.31-41, 2009.

SILVA, J. C. A. D.; FERNANDES, P. D.; BEZERRA, J. R. C.; ARRIEL, N. H. C.; CARDOSO, G. D. Crescimento e produção de genótipos de gergelim em função de lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.4, p.408–416, 2014.

SILVA, L. D. **Alterações Fisiológicas e Bioquímicas em genótipos de *Jatropha curcas* L. submetidos ao déficit hídrico**. Dissertação (Pós Graduação em Produção Vegetal) Universidade Estadual de Santa Cruz –UESC, Ilhéus – Bahia 2013.

SUASSUNA, J. F. **Tolerância de genótipos de gergelim ao estresse salino**. Tese de doutorado, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 137p, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**, Art Med, 828p. 2009.

TEIXEIRA, R. N.; TOLEDO, M. Z.; FERREIRA, G.; CAVARIANI, C.; JASPER, S. P. Germinação e vigor de sementes de crambe sob estresse hídrico. **Irriga**, v. 16, n. 1, p. 42-51, 2011.

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

VILLELA, F. A.; DONI FILHO, L.; SIQUEIRA, E. L. Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietileno glicol 6000 e da temperatura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.26, n.11/12, p.1957-1968, 1991.

VOET, D.; VOET, J.G. **Biochemistry**. v. 3 ed., p. 1591, 2004.