



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA/FITOTECNIA**

**CHARLES LOBO PINHEIRO**

**PRIMING E A TOLERÂNCIA DO SORGO GRANÍFERO AO ESTRESSE HÍDRICO  
E SALINO**

**FORTALEZA**

**2017**

CHARLES LOBO PINHEIRO

PRIMING E A TOLERÂNCIA DO SORGO GRANÍFERO AO ESTRESSE HÍDRICO E  
SALINO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Agronomia/Fitotecnia. Área de concentração: Tecnologia de Sementes.

Orientador: Prof. Dr. Sebastião Medeiros Filho

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- P718p Pinheiro, Charles Lobo.  
Priming e a tolerância do sorgo granífero ao estresse hídrico e salino / Charles Lobo Pinheiro. – 2017.  
67 f. : il.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Fitotecnia), Fortaleza, 2017.  
Orientação: Prof. Dr. Sebastião Medeiros Filho.
1. Fitohormônios. 2. Ácido giberélico. 3. Seca. 4. Salinidade. I. Título.

CDD 630

---

CHARLES LOBO PINHEIRO

PRIMING E A TOLERÂNCIA DO SORGO GRANÍFERO AO ESTRESSE HÍDRICO E  
SALINO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Agronomia/Fitotecnia. Área de concentração: Tecnologia de Sementes.

Orientador: Prof. Dr. Sebastião Medeiros Filho

Aprovada em: 16/02/2017.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Sebastião Medeiros Filho (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará-UFC

---

Prof. Dr. Alek Sandro Dutra  
Universidade Federal do Ceará-UFC

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Aiala Vieira Amorim  
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira-UNILAB

## AGRADECIMENTO

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Agradeço também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

A Deus, que em todos os dias da minha vida me concedeu força para nunca desistir.

Aos meus pais, Rita Lobo Pinheiro e José Pinheiro Venâncio, que sempre apoiaram e incentivaram as minhas escolhas e sonhos.

Aos meus irmãos, Adriana e Jaime, pela parceria, amizade e pelos vários momentos de descontração.

Aos meus avós, tios, primos e à minha namorada, por todo o apoio.

À Universidade Federal do Ceará (UFC), pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Sebastião Medeiros Filho, por seu apoio, dedicação, competência e pelas sugestões fundamentais para a conclusão deste trabalho.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Alek Sandro Dutra e Profa. Dra. Aiala Vieira Amorim, pela disponibilidade em participar e pelas contribuições durante a qualificação do projeto de pesquisa.

A todos os colaboradores do Laboratório de Análise de Sementes da Universidade Federal do Ceará.

Aos meus amigos e colegas Marcos, Jesimiel, Silvana, Halina, Liliane, Hermina, Maria Jayanne e, em especial, à Selma, pelas ajudas, confronto de ideias e pelos momentos de descontração.

A todos os meus amigos, especialmente a Bruno França, João Paulo, Fernanda Melo, Wenner Almeida, Antônio Neto, Edibergue, Linda Brenna e Antônio Alberto.

Aos colegas e professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Departamento de Fitotecnia da UFC.

À Embrapa Milho e Sorgo, em nome do pesquisador Cícero Menezes, e à Secretaria de Desenvolvimento Agrário do Estado do Ceará, em nome da engenheira agrônoma Gina Karolli, pela doação das sementes dos genótipos analisados.

## RESUMO

A deficiência hídrica e o excesso de sais no solo são uns dos principais fatores abióticos causadores de estresse que limitam a produção agrícola, por causar grandes perdas principalmente em estádios críticos da cultura, como a germinação e crescimento inicial. Diante disso, estratégias como a utilização de genótipos mais tolerantes e da aplicação do priming são medidas que podem reduzir estas perdas. A pesquisa teve como objetivo, analisar a capacidade dos três genótipos de sorgo granífero de germinarem e crescerem sob as condições de estresse hídrico e salino, além de avaliar a eficiência do priming hormonal, com GA3. A pesquisa foi realizada em duas etapas, na primeira os três genótipos foram submetidas a 5 níveis de estresse hídrico (0,0; -0,3; -0,6; -0,9 e -1,2 MPa) e a 7 níveis de salinidade (0,0; 4,0; 8,0; 12,0; 16,0; 20,0 e 24 dS m<sup>-1</sup>); e a segunda etapa, as sementes do genótipo, mais tolerante e menos tolerantes, foram tratadas via priming hormonal, por meio da embebição das sementes por 2 horas nas soluções de GA3, nas concentrações de 0,0; 50; 75 e 100 mg/L, em condições controladas com temperatura de 25°C e ausência de luz, e em seguida, as sementes foram secas por 24 horas, a 30 °C. Sob as condições controlas de estresse hídrico e salino o genótipo BRS 330 foi o mais tolerante e o L-20, o genótipos mais sensível, durante a fase inicial da cultura. E o priming com GA3, na concentração de 100 mg/L, melhorou a tolerância do sorgo durante a fase inicial, as condições de estresse hídrico e salino, especialmente do genótipo mais tolerante. Logo, a combinação de estratégias como utilização de genótipos mais tolerantes de sorgo granífero tratadas com priming com GA3, na concentração de 100 mg/L, reduzem os danos causados pelos estresses hídrico e salino durante a germinação e de crescimento das plântulas.

**Palavras-chave:** Fitohormônios; Ácido giberélico; Seca; Salinidade.

## ABSTRACT

Drought and salinity are the main abiotic factors, which have limited agricultural production worldwide, and can cause great losses mainly in the most critical stages of the crop, such as germination and initial growth. However, investing in strategies such as the use of more tolerant species, such as sorghum, can ensure greater stability of agricultural production. In addition, seed priming, with GA3, may potentiate the tolerance of these genotypes, reducing the damage caused by stresses during germination and establishment of the crop. The objective of this research was to analyze the ability of three sorghum genotypes to germinate and grow under water and saline stress conditions, as well as to evaluate the efficiency of the hormonal priming, with GA3, in improving the tolerance of the genotypes and less sensitive to stress. The research was carried out in two stages, in the first the three genotypes were submitted to 5 levels of water stress (0,0; -0,3; -0,6; -0,9 and -1,2 MPa) and 7 Salinity levels (0.0, 4.0, 8.0, 12.0, 16.0, 20.0 and 24 dS m<sup>-1</sup>); In the second stage, the seeds of the genotypes, more tolerant and less tolerant, were treated by hormonal priming, by soaking the seeds for 2 hours in GA3 solutions at concentrations of 0,0; 50; 75 and 100 mg/L, with a constant temperature of 25°C, and in a dark environment, and then dried for 24 hours at 30°C. Under the conditions controlling water and saline stress the genotype BRS 330 was the most tolerant, and the L-20 the most sensitive genotypes during the initial phase of the culture, and priming with GA3, at 100 mg/L concentration, improved tolerance of sorghum during the initial phase, water and saline stress conditions, especially the more tolerant genotype. Therefore, the combination of strategies such as the use of more tolerant species or genotypes, and priming with GA3 are efficient in reducing the damages caused by water and saline stresses during germination and seedling growth.

**Keywords:** Phytohormones; Gibberellic acid; Drought; Salinity.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>10</b>
<b>2.1</b>	<b>Aspectos gerais do sorgo</b> .....	<b>10</b>
<b>2.2</b>	<b>Sorgo granífero</b> .....	<b>11</b>
<b>2.2.1</b>	<i>Utilização do sorgo granífero</i> .....	<b>11</b>
<b>2.2.2</b>	<i>Produção</i> .....	<b>11</b>
<b>2.3</b>	<b>Deficiência hídrica</b> .....	<b>13</b>
<b>2.4</b>	<b>Aspectos gerais da salinidade</b> .....	<b>14</b>
<b>2.5</b>	<b>Estresse hídrico e salino durante a germinação</b> .....	<b>15</b>
<b>2.6</b>	<b>Efeito do priming na tolerância ao estresse</b> .....	<b>16</b>
<b>2.6.1</b>	<i>Influência do ácido giberélico na germinação e crescimento inicial sobre estresse</i> .....	<b>17</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>18</b>
<b>3</b>	<b>TOLERÂNCIA AOS ESTRESSES HÍDRICO E SALINO DO SORGO GRANÍFERO DURANTE A GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO DAS PLÂNTULAS</b> .....	<b>22</b>
<b>3.1</b>	<b>Introdução</b> .....	<b>24</b>
<b>3.2</b>	<b>Material e Métodos</b> .....	<b>25</b>
<b>3.3</b>	<b>Resultados e Discussão</b> .....	<b>29</b>
<b>3.4</b>	<b>Conclusões</b> .....	<b>39</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>40</b>
<b>4</b>	<b>EFEITO DO HYDROPRIMING E DO PRIMING HORMONAL COM GA3 NA TOLERÂNCIA DO SORGO GRANÍFERO AO ESTRESSE SALINO E HÍDRICO</b> .....	<b>43</b>
<b>4.1</b>	<b>Introdução</b> .....	<b>45</b>
<b>4.2</b>	<b>Material e Métodos</b> .....	<b>47</b>
<b>4.3</b>	<b>Resultados e Discussão</b> .....	<b>49</b>
<b>4.4</b>	<b>Conclusões</b> .....	<b>58</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>59</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>62</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>63</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O sorgo [*Sorghum bicolor* (L) Moench] é o quinto cereal mais produzido do mundo, além disso, representando a principal fonte de alimento para mais de 500 milhões de pessoas em mais de 30 países dos trópicos semiáridos (DAHLBERG *et al.*, 2011). A produção atender diferentes segmentos como: alimentação animal, devido ao alto valor energético; industrial como matéria-prima para produção de combustíveis renováveis; além de ser um alimento sem glúten, utilizado para substituir outros cereais na alimentação humana (DAHLBERG *et al.*, 2011).

O cultivo do sorgo granífero está concentrada principalmente em países da África, Ásia, Oceania e nas Américas, especialmente, em áreas que apresentam produção limitada devido a fatores abióticos, como a salinidade e deficiência hídrica, porém, o sorgo tem sido produzido nestas regiões devido às suas características adaptativas (SILVA *et al.*, 2015). O estresse provocado pela salinidade e deficiência hídrica causa graves danos em toda a planta e em diferentes estádios, prejudicando assim o crescimento, desenvolvimento e conseqüentemente a produtividade da cultura (DIAS; BLANCO, 2010; ANJUM *et al.*, 2011).

A tolerância às condições de estresse podem apresentar variações em função das variedades, cultivares ou híbridos produzido, sendo que a seleção de genótipos mais tolerantes contribui para expansão da cultura (SILVA *et al.*, 2013). A seleção pode ser realizada em estádios como a germinação por ser um estágio sensibilidade da planta, no qual os danos afetam o crescimento e o desenvolvimento subsequente (LARCHER, 2006). O estresse salino e hídrico durante o estágio inicial da cultura reduz a porcentagem de germinação, a velocidade e uniformidade do estabelecimento do estande de plântulas, produzindo plântulas com menos vigor, que conseqüentemente, causarem redução ou perda da produção.

A minimização dos danos durante o estágio inicial pode se dar por meio da utilização da técnica do priming, no qual o condicionamento das sementes pode aumentar a tolerância a posteriores condições de estresse abióticos. Dentre os priming estudados está o hormonal, com ácido giberélico que atua principalmente na indução da germinação e expansão celular, que são uns dos principais danos causados pelo estresse salino e hídrico.

Objetivamos avaliar o efeito do priming hormonal com GA<sub>3</sub> (Ácido giberélico) sobre a tolerância de genótipos de sorgo graníferos as condições de estresse salino e hídrico durante a germinação e crescimento inicial das plântulas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Aspectos gerais do sorgo

O sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], pertencente à família Poaceae, é uma monocotiledônea de fotossíntese C4 (CRUICKSHANK, 2016), cultivada principalmente nas regiões tropicais e subtropicais, com boa parte do cultivo localizado em áreas marcadas pela baixa pluviosidade e elevadas temperaturas (REDDY; PATIL, 2015).

Estas condições climáticas são típicas do seu centro de origem, localizado na região entre o Sudão e a Etiópia, onde, aproximadamente há 5.000 anos a.C., deu-se início ao processo de domesticação e disseminação para os demais países africanos (WET, 1978). A disseminação do sorgo se deu através da circulação de pessoas e das rotas de comercialização de países africanos com outros continentes, que foram responsáveis por propagar o sorgo para a Índia entre 1500-1000 a.C.; Oriente Médio a aproximadamente 900-700 a.C.; e para o extremo Oriente aproximadamente 400 d.C. (DILLON *et al.*, 2007). No Brasil, acredita-se que as primeiras sementes de sorgo chegaram ao país por meio do transporte de escravos, trazidos ao Nordeste brasileiro para trabalharem nas lavouras de cana-de-açúcar (RIBAS, 2003).

Atualmente, o sorgo é produzido em mais de 100 países, sendo que apenas 14 produzem cerca de um milhão de toneladas ou mais por ano (CRUICKSHANK, 2016). A produção é bastante variada em todo o mundo, principalmente devido às condições edafoclimáticas da região produtora e do potencial genético das variedades e híbridos utilizados. No entanto, o sorgo consegue ser produzido sob condições limitantes para a maioria das culturas de importância agrícola cultivadas nas regiões semiáridas e áridas. Sobretudo, devido à maior tolerância à deficiência hídrica, à salinidade e à eficiência na captação de nutrientes e de água pela planta (CRUICKSHANK, 2016). Isto faz com que o sorgo seja considerado uma ferramenta importante para a segurança alimentar, principalmente para a população mais carente destas regiões, que tem como principal fonte de renda e alimento a produção agrícola.

A produção de sorgo atende a diferentes segmentos, como alimentação humana e animal, biocombustível, celulose e fibra (ROONEY *et al.*, 2007), principalmente devido à sua diversidade. As inúmeras variedades e híbridos existentes são divididas em grupos, formados com base na sua aptidão: produção de grãos (sorgo granífero); de massa verde para alimentação animal (sorgo forrageiro); de biomassa lignocelulósica (sorgo lignocelulósico ou sorgo biomassa); de etanol (sorgo sacarino); e de fibra, utilizada para confecção de vassouras (sorgo

## **2.2 Sorgo granífero**

### **2.2.1 Utilização do sorgo granífero**

A produção de grãos de sorgo se destaca mundialmente por ser o quinto cereal mais produzido, depois de milho, arroz, trigo e cevada (SILVA *et al.*, 2013). Mais de 35% da produção de grãos de sorgo é empregada diretamente no consumo humano, sendo o restante destinado à produção de etanol, produtos industriais e alimentação animal (AWIKA; ROONEY, 2004).

A utilização dos grãos de sorgo na alimentação humana é mais expressiva na África, Ásia e América Central, em virtude do maior uso destes grãos no preparo de comidas e bebidas tradicionais como: pães e panquecas, bolinhos e cuscuz, mingau, papa, cervejas e bebidas não alcoólicas fermentadas (WANISKA; ROONEY; MCDONOUGH, 2016). Os grãos de sorgo são fontes de amido, fibras, proteínas, lipídios e compostos fenólicos, que têm potencial impacto na redução dos riscos de doenças, como obesidade, diabetes, doenças cardiovasculares e câncer (QUEIROZ *et al.*, 2011).

O consumo de produtos à base de sorgo representa uma alternativa importante, principalmente aos portadores da doença celíaca, por ser livre de glúten. Além disso, quando empregado em receitas, em especial substituindo o trigo, apresenta características físicas, químicas e sensoriais mais próximas da receita à base de glúten (FERREIRA *et al.*, 2009). Além disso, por ser um produto sem glúten, tem cada vez mais ganhado espaço no mercado, em virtude da maior preocupação da população em levar uma vida mais saudável, o que representa uma oportunidade para o crescimento do mercado de produtos à base de sorgo (STEFOSKA-NEEDHAM *et al.*, 2015).

No entanto, a maior parte da produção de grãos de sorgo é destinada à alimentação animal, por ser uma fonte alternativa para a redução dos custos da dieta (QUEIROZ *et al.*, 2015). Sobretudo por apresentar custo de produção inferior ao do milho, principal fonte energética da dieta animal, e com composição cerca de 95% semelhante, o que possibilita a substituição parcial ou total deste ingrediente (FIALHO *et al.*, 2002).

### **2.2.2 Produção**

A maior parte da produção mundial de sorgo concentra-se, principalmente, nos

continentes da África e das Américas, os quais representam, respectivamente, 39,3% e 38% da produção, e o restante está distribuído entre os continentes da Ásia (17,8%), Oceania (3,4%) e Europa (1,3%). Com relação à produção por país, os Estados Unidos despontam como o maior produtor mundial de sorgo, com uma produção média de 9.780.817,21 milhões de toneladas, seguido de Nigéria, Índia, México e Sudão, que nos últimos anos têm se destacado como os cinco maiores produtores (FAO, 2015).

No ranking mundial, o Brasil é o décimo maior produtor de sorgo, com produção anual média de 1,8 milhões de toneladas, que representa 3% da produção mundial (FAO, 2015). Porém, podemos ressaltar que o investimento na produção de larga escala teve início somente na década de 70, devido aos investimentos do setor privado, do avanço das pesquisas e da expansão da cultura na região de fronteira de países como a Argentina (RIBAS, 2003). Atualmente, a produtividade média do Brasil é de 2,4 t/ha (FAO, 2015), abaixo da obtida por grandes produtores como México (3,7 t/ha) e Estados Unidos (4 t/ha), porém superior aos países da África, em que as maiores produtividades ficam em torno de 1-1,5 t/ha (CRUICKSHANK, 2016).

O sorgo representou apenas 1,15% de todos os grãos produzidos no Brasil entre as safras de 2010/2011 a 2014/2015, sendo o sétimo grão mais produzido no país, ficando atrás da produção de grão de soja (44,13%), milho (40,98%), arroz (6,7%), trigo (3,12%), feijão (1,74%) e algodão-carço (1,44%) (CONAB, 2016). A produção brasileira tem se intensificado principalmente nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, que na safra de 2014/2015 produziram juntas 90,1% dos grãos de sorgo brasileiro, com destaque para o Centro-Oeste, que representa 58,9% da produção nacional deste grão (CONAB, 2016).

A produção nacional de sorgo granífero vem crescendo, como mostram os dados da FAO (2015), do período de 2001 a 2014, em que o Brasil apresentou taxas anuais crescentes de área colhida (2,53%), de produção (5,38%) e de produtividade (2,78%), demonstrando assim a expansão da cultura nos últimos anos no país. A produção de sorgo também tem crescido no Nordeste, terceiro maior produtor, com destaque para o estado da Bahia, que nos últimos anos produziu aproximadamente 72,4% dos grãos de sorgo produzidos no Nordeste. O restante da produção é distribuído entre os estados do Rio Grande do Norte, Pernambuco, Piauí, Ceará e Paraíba, que representam, respectivamente, 9%, 7,7%, 6,2%, 4,7% e 0,1% (CONAB, 2016).

O crescimento da produção deste cereal auxilia o abastecimento do mercado de grãos, principalmente em áreas de clima seco, como o Nordeste brasileiro (FIALHO *et al.*, 2002), visto a irregularidade das chuvas típica desta região, que provoca a redução ou, em casos mais extremos, a perda da produção, sobretudo de culturas menos tolerantes, como o milho.

### 2.3 Deficiência hídrica

A produção agrícola é limitada por fatores abióticos e bióticos; entre os fatores abióticos, a água se destaca (CHAVES; OLIVEIRA, 2004). O estresse provocado à planta devido à escassez de água é considerado uma das maiores ameaças à produção de alimentos e, conseqüentemente, à segurança alimentar (LIMA *et al.*, 2015). Principalmente pelas diversas funções que a água exerce na planta, como seu papel crucial em todos os processos fisiológicos e no transporte de substâncias indispensáveis para seu crescimento e desenvolvimento, como minerais e outras substâncias (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Durante o ciclo de vida das plantas, frequentemente podem ocorrer variações da disponibilidade hídrica, devido à redução da disponibilidade de água no solo e na atmosfera, causada pela redução e/ou má distribuição das chuvas, que nos últimos anos tem cada vez mais se intensificado e provocado redução na produção de alimentos (ANJUM *et al.*, 2011). O intervalo entre eventos extremos, como por exemplo as secas, tem cada vez mais diminuído, principalmente em certas regiões (MISHRA; SINGH, 2010), como nas regiões áridas e semiáridas, onde são esperadas reduções da precipitação em torno de 20% ou mais ao longo do próximo século (MISRA, 2014).

A variabilidade e irregularidade das condições climáticas desempenham um papel fundamental na produção e rendimento das culturas (MISRA, 2014), em especial no sistema de sequeiro, que representa 60% das áreas agrícolas (CHAVES; OLIVEIRA, 2004), que depende da distribuição das chuvas para conseguir produzir.

O estresse hídrico, causado pela redução da disponibilidade de água, provoca graves danos às células da planta, o que acaba afetando o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade (ANJUM *et al.*, 2011; LIMA *et al.*, 2015). As plantas tolerantes a estas condições de estresse geralmente apresentam mecanismos adaptativos como uma melhor arquitetura da raiz, maior potencial de água na folha, melhor ajuste osmótico ou mecanismos de proteção, como enrolamento da folha e fechamento dos estômatos (TUBEROSA, 2012).

O fechamento estomático é um dos primeiros mecanismos acionados pela planta sob estresse hídrico, para impedir a desidratação, devido à interrupção do transporte de água para a planta, que nestas condições apresenta o potencial hídrico da folha, da raiz e do solo aproximadamente iguais (BENEŠOVÁ *et al.*, 2012). Este mecanismo protege a planta, porém, quando persiste por maior tempo, causa redução do crescimento, consequência da redução da pressão de turgescência, devido à pressão de turgescência ser menor do que a resistência da parede celular (SHAO *et al.*, 2008), acarretando em redução da área foliar (ANJUM *et al.*,

2011), do porte da planta e do sistema radicular (SHAO *et al.*, 2008). Além disso, o fechamento estomático reduz a assimilação de CO<sub>2</sub>, e conseqüentemente a produção de fotoassimilados (BENEŠOVÁ *et al.*, 2012), que reflete no acúmulo de biomassa fresca e seca (SHAO *et al.*, 2008).

As plantas tolerantes podem apresentar mecanismos para realizar o ajuste osmótico, com acúmulo de diferentes solutos orgânicos e inorgânicos no citosol para o ajuste osmótico e manutenção do turgor celular, o que melhora a captação da água (ANJUM *et al.*, 2011). O estresse também pode induzir a síntese proteica de baixo peso molecular, que protege a planta dos danos causados pela deficiência de água (BACELAR *et al.*, 2012). Estes mecanismos de tolerância são importantes por proteger as plantas também do estresse causado pela salinidade e elevadas temperaturas, que, assim como a escassez de água, representam os principais fatores limitantes à produção nas regiões semiárida e árida.

## 2.4 Aspectos gerais da salinidade

A salinidade é definida como a concentração elevada de sais na água ou na solução do solo, que afeta negativamente o rendimento e a qualidade da produção (LÄUCHLI; GRATTAN, 2014), podendo ser de ordem primária ou secundária. A primária, ou natural, tem como origem causas naturais como a formação do solo ou a deposição dos sais transportados tanto pelo vento como pela chuva. Já a secundária, ou induzida pelo homem, é o resultado de ação antrópica que altera o equilíbrio hidrológico, principalmente em razão de algumas atividades como: o desmatamento, a substituição de vegetação perene por culturas anuais e irrigação com água rica em sal (PARIHAR *et al.*, 2015).

Independente da origem da salinidade, a concentração elevada de sais no solo torna o ambiente desfavorável à maioria das plantas (PEDROTTI *et al.*, 2015), sendo considerado o principal desafio para a produção agrícola no século 21 (AMEZKETA, 2006). O avanço da salinidade nas áreas agrícolas em todo o mundo corresponde ao principal fator limitante de mais de 20% das áreas agrícolas (RIZWAN *et al.*, 2015). E configura-se um fator preocupante à produção mundial de alimentos, visto que a maioria das espécies cultivadas são sensíveis à salinidade (GUPTA; HUANG, 2014; RIZWAN *et al.*, 2015), podendo restringir a distribuição de algumas espécies e a produtividade (ZHAO; LU; HE, 2014).

Nas regiões semiáridas e áridas, representa uma séria ameaça à produção agrícola devido à limitação hídrica e elevada evaporação potencial, que, juntamente com o manejo inadequado do solo e da água, agravam os danos causados pelo acúmulo de sais (FAROOQ *et*

*al.*, 2015). O ambiente afetado pela salinidade provoca alterações em diferentes processos fisiológicos da planta, como a fotossíntese e respiração, além das alterações no funcionamento normal do metabolismo e na absorção de nutrientes essenciais (FAROOQ *et al.*, 2015).

O efeito do excesso de sais altera o crescimento e desenvolvimento normal da planta (PARIHAR *et al.*, 2015), principalmente devido à redução do potencial hídrico da água, à toxicidade, em especial do Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup>, e à interferência na absorção de nutrientes essenciais (FLOWERS; FLOWERS, 2005).

O aumento do potencial osmótico do solo, em consequência do aumento da salinidade na solução do solo, dificulta a absorção devido à maior energia gasta pela planta para o transporte da água (PEDROTTI *et al.*, 2015). Além disso, o excesso de Na<sup>+</sup> no solo provoca o desequilíbrio nutricional da planta, por reduzir a absorção e transporte de nutrientes, principalmente do potássio (K<sup>+</sup>), íon que regula a abertura e fechamento estomático (PARIHAR *et al.*, 2015), afetando um dos principais mecanismos de proteção da planta e regulador da entrada de CO<sub>2</sub> para realizar a fotossíntese. Além disso, o Cl<sup>-</sup> provoca alteração na produção do fotossistema II, causando alterações fisiológicas (PARIHAR *et al.*, 2015).

Para conseguir sobreviver em solos afetados por sais, as plantas podem apresentar adaptações fisiológicas, bioquímicas e morfológicas como: regulação iônica e compartimentação; regulação da transpiração; controle da absorção de íons pelas raízes; alterações da estrutura da membrana; síntese de compostos antioxidantes; tolerância a altos índices de Na/K no citoplasma; glândulas de sal; modulação hormonal; síntese de poliaminas; e alterações na via fotossintética (FLOWERS; FLOWERS, 2005; PARIDA; DAS, 2005; GUPTA; HUANG, 2014). Estes mecanismos permitem à planta tolerar as condições de estresse, variando em função da intensidade e duração do estresse, da espécie e estágio fenológico.

## **2.5 Estresse hídrico e salino durante a germinação**

A germinação, emergência e crescimento inicial da plântula são uns dos períodos mais críticos na produção, visto que as perdas nesta fase levam à redução da densidade de plantas e, conseqüentemente, redução da produção (HOORN, VAN, 1991). Nas regiões semiáridas e áridas, a salinidade e a deficiência hídrica são os principais fatores abióticos que têm causado a redução da germinação e sobrevivência da plântula (GUPTA; HUANG, 2014; RIZWAN *et al.*, 2015), principalmente devido à maior probabilidade de seca no início e no fim da estação de crescimento (AMELEWORK *et al.*, 2015).

A germinação e o crescimento inicial são mais afetados por estes fatores pois a semente e a plântula exploram basicamente a camada mais superficial, onde há maior acúmulo de sais e perda rápida da umidade por evaporação (HOORN, VAN, 1991). Além disso, a avaliação da tolerância das plantas neste estágio é uma forma rápida, fácil e de baixo custo utilizada para selecionar genótipos com alta tolerância e potencial de produção (BAFEEL, 2014), que, aliada ao *priming* de sementes, pode minimizar os danos e/ou reduzir as perdas nesta fase.

## 2.6 Efeito do *priming* na tolerância ao estresse

*Priming* é uma técnica eficaz na redução do risco das perdas provocadas por fatores abióticos e bióticos, pois melhora a tolerância a distintas condições ambientais (JISHA; VIJAYAKUMARI; PUTHUR, 2013; MANONMANI; BEGUM; JAYANTHI, 2014). A melhoria é resultado da ativação de algumas funções metabólicas do processo germinativo pré-semeadura (NAWAZ *et al.*, 2013), que, conseqüentemente, melhora a defesa a futuros estresses (CHEN; ARORA, 2013).

A ativação dos mecanismos de defesa das sementes ocorre por meio da interrupção do processo de embebição, que pode ativar, por exemplo, a produção de enzimas antioxidantes, que proporcionam maior proteção a posteriores estresses (CHEN; ARORA, 2013; JISHA; VIJAYAKUMARI; PUTHUR, 2013). Além de favorecer a maior germinação e otimizar o processo germinativo, tornando-o mais rápido e uniforme (PATADE *et al.*, 2009), bem como pode melhorar o crescimento radicular e o estabelecimento das plântulas sob diferentes condições (LI; LIU, 2016). Isso ocorre por meio de diferentes tipos de *priming*, como o osmótico, o salino, o hormonal e outros (FAROOQ *et al.*, 2009; NAWAZ *et al.*, 2013; LI; LIU, 2016).

O *priming* hormonal com ácido abscísico, giberelinas, jasmonatos, salicilatos e auxinas pode ser utilizado para o condicionamento das sementes e aumentar a tolerância durante o estágio inicial às condições de estresse (JISHA; VIJAYAKUMARI; PUTHUR, 2013; NAWAZ *et al.*, 2013), já que, segundo Xia *et al.* (2015), são os principais reguladores destas funções. Entre os hormônios utilizados, podemos destacar o ácido giberélico, que atua em processos como a germinação e crescimento, podendo assim melhorar o desempenho das sementes sob estresse.

### ***2.6.1 Influência do ácido giberélico na germinação e crescimento inicial sobre estresse***

As giberelinas estão geralmente envolvidas no crescimento e no desenvolvimento, controlando principalmente a germinação das sementes, expansão foliar, alongamento do caule e floração (YOUNESI; MORADI, 2014). Sua utilização no tratamento das sementes com concentrações apropriadas de ácido giberélico (GA3) tem efeito positivo sobre a germinação, crescimento e produção de diferentes espécies de plantas em condições de estresse (AFRIGAN *et al.*, 2013).

Sua aplicação minimiza os efeitos inibitórios do estresse salino sobre o rendimento de cultivares de trigo, por influenciar na conservação e utilização da água, além de aumentar a área fotossintética (SHADDAD *et al.*, 2013). Segundo Younesi e Moradi (2014), a aplicação de ácido giberélico representa um método eficaz para superar os problemas de germinação e crescimento inicial de mudas de alfafa em campo, especialmente sob estresse salino. Atuando também na manutenção da estabilidade da membrana das células, o que, segundo Wang *et al.* (2008), melhora o desenvolvimento do milho sob condição de estresse hídrico.

## REFERÊNCIAS

- AFRIGAN, A. et al. The effect of plant hormone gibberellic acid on germination indices *Secale montanum* in vitro and pot experiments under drought conditions. **Annals of Biological Research**, v. 4, n. 6, p. 1–9, 2013.
- AMELEWORK, B. et al. Physiological mechanisms of drought tolerance in sorghum, genetic basis and breeding methods: A review. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 31, p. 3029–3040, 2015.
- AMEZKETA, E. An integrated methodology for assessing soil salinization, a pre-condition for land desertification. **Journal of Arid Environments**, v. 67, n. 4, p. 594–606, 2006.
- ANJUM, S. A. et al. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. **African Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. 9, p. 2026–2032, 2011.
- AWIKA, J. M.; ROONEY, L. W. Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. **Phytochemistry**, v. 65, n. 9, p. 1199–1221, 2004.
- BACELAR, E. L. et al. Water use strategies of plants under drought conditions. *In: Plant Responses to Drought Stress*. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2012. p. 145–170.
- BAFEEL, S. O. Physiological parameters of salt tolerance during germination and seedling growth of *Sorghum bicolor* cultivars of the same subtropical origin. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 21, n. 4, p. 300–304, 2014.
- BENEŠOVÁ, M. et al. The physiology and proteomics of drought tolerance in Maize: Early stomatal closure as a cause of lower tolerance to short-term dehydration? **PLoS ONE**, v. 7, n. 6, p. 1–17, 2012.
- CHAVES, M. M.; OLIVEIRA, M. M. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: Prospects for water-saving agriculture. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, n. 407, p. 2365–2384, 2004.
- CHEN, K.; ARORA, R. Priming memory invokes seed stress-tolerance. **Environmental and Experimental Botany**, v. 94, p. 33–45, 2013.
- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília: Conab, 2016.
- CRUICKSHANK, A. Sorghum Grain, Its Production and Uses: Overview. **Reference Module in Food Science**, 2016.
- DAHLBERG, J. et al. Assessing sorghum [*Sorghum bicolor* (L) Moench] germplasm for new traits: Food, fuels & unique uses. **Maydica**, v. 56, n. 2, p. 85–92, 2011.
- DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. *In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (Eds.). Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados*. Fortaleza: INCT Sal, 2010. p. 129–141.

DILLON, S. L. et al. Domestication to crop improvement: genetic resources for *Sorghum* and *Saccharum* (Andropogoneae). **Annals of Botany**, v. 100, n. 5, p. 975–89, 2007.

FAO. **FAOSTAT** - Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division, 2015.

FAROOQ, M. et al. Salt stress in maize: effects, resistance mechanisms, and management. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, n. 2, p. 461–481, 2015.

FAROOQ, M. et al. Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 29, n. 1, p. 135–212, 2009.

FERREIRA, S. M. R. et al. Cookies sem glúten a partir da farinha de sorgo. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 59, n. 4, p. 433–440, 2009.

FIALHO, E. T. et al. Substituição do milho pelo sorgo sem tanino em rações de leitões: digestibilidade dos nutrientes e desempenho animal. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 1, p. 105–111, 2002.

FLOWERS, T. J.; FLOWERS, S. A. Why does salinity pose such a difficult problem for plant breeders?. **Agricultural Water Management**, v. 78, n. 1–2, p. 15–24, 2005.

GUPTA, B.; HUANG, B. Mechanism of Salinity Tolerance in Plants: Physiological, Biochemical, and Molecular Characterization. **International Journal of Genomics**, v. 2014, p. 1–19, 2014.

HOORN, J. W. V. Development of soil salinity during germination and early seedling growth and its effect on several crops. **Agricultural Water Management**, v. 20, n. 1, p. 17–28, 1991.

JISHA, K. C.; VIJAYAKUMARI, K.; PUTHUR, J. T. Seed priming for abiotic stress tolerance: An overview. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 35, n. 5, p. 1381–1396, 2013.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2006.

LÄUCHLI, A.; GRATTAN, S. R. Plant Abiotic Stress: Salt. *In*: **Encyclopedia of Agriculture and Food Systems**. 2014. p. 313–329.

LI, X.; LIU, F. Drought Stress Memory and Drought Stress Tolerance in Plants: Biochemical and Molecular Basis. *In*: HOSSAIN, M. A. et al. (Eds.). **Drought Stress Tolerance in Plants: Physiology and Biochemistry**. Switzerland: Springer Nature, 2016. p. 17–44.

LIMA, J. M. et al. Physiological, anatomical and transcriptional alterations in a rice mutant leading to enhanced water stress tolerance. **AoB PLANTS**, v. 7, p. 1–19, 2015.

MANONMANI, M. V; BEGUM, A. J.; JAYANTHI, M. Halo priming of seed. **Research Journal of Seed Science**, v. 7, n. 1, p. 1–13, 2014.

MISHRA, A. K.; SINGH, V. P. A review of drought concepts. **Journal of Hydrology**, v. 391, n. 1–2, p. 202–216, 2010.

- MISRA, A. K. Climate change and challenges of water and food security. **International Journal of Sustainable Built Environment**, v. 3, p. 153–165, 2014.
- NAWAZ, J. et al. Seed Priming A Technique. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**, v. 6, n. 20, p. 1373–1381, 2013.
- PARIDA, A. K.; DAS, A. B. Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 60, n. 3, p. 324–349, 2005.
- PARIHAR, P. et al. Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, p. 4056–4075, 2015.
- PATADE, V. Y.; BHARGAVA, S.; SUPRASANNA, P. Halo priming imparts tolerance to salt and PEG induced drought stress in sugarcane. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 134, n. 1–2, p. 24–28, 2009.
- PEDROTTI, A. et al. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 1308–1324, 2015.
- QUEIROZ, A. P. L. B. et al. Composição bromatológica, energia metabolizável e digestibilidade de nitrogênio e extrato etéreo de amostras de milho e sorgo para frangos de corte em diferentes idades. **Veterinária Notícias**, Uberlândia, v. 21, n. 1, p. 30–40, 2015.
- QUEIROZ, V. A. V. et al. Potencial funcional e tecnologia de processamento do sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) MOENCH] para alimentação humana. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 10, n. 3, p. 180–195, 2011.
- REDDY, P. S.; PATIL, J. V. **Genetic Enhancement of Rabi Sorghum**. Chennai, Índia: Nikki Levy, 2015.
- RIBAS, P. M. **Sorgo: introdução e importância econômica**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. (Documentos, 26).
- RIZWAN, M. et al. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of drought and salt stress in plants: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, p. 13603–13619, 2015.
- ROONEY, W. L. et al. Designing sorghum as a dedicated bioenergy feedstock. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 1, p. 147–157, 2007.
- SHADDAD, M. A. K.; ABD EL-SAMAD, H. M.; MOSTAFA, D. Role of gibberellic acid (GA3) in improving salt stress tolerance of two wheat cultivars. **Global Science Research Journals**, v. 1, n. 1, p. 1–8, 2013.
- SHAO, H. B. et al. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus Biologies**, v. 331, n. 3, p. 215–225, 2008.
- SILVA, A. F. et al. **Sorgo Granífero: Estenda sua Safrinha com Segurança**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2015.

SILVA, K. J. et al. Selection of sorghum hybrids cultivated in summer in three locations. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 1, p. 44–53, 2013.

STEFOSKA-NEEDHAM, A. et al. Sorghum: An Underutilized Cereal Whole Grain with the Potential to Assist in the Prevention of Chronic Disease. **Food Reviews International**, v. 31, n. 4, p. 401–437, 2015.

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

TUBEROSA, R. Phenotyping for drought tolerance of crops in the genomics era. **Frontiers in Physiology**, v. 3, p. 1–26, 2012.

WANG, C. et al. Influence of water stress on endogenous hormone contents and cell damage of maize seedlings. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 50, n. 4, p. 427–434, 2008.

WANISKA, R. D.; ROONEY, L. W.; MCDONOUGH, C. M. Utilization. *In*: **Reference Module in Food Science**. 2016.

WET, J. M. J. Systematics and evolution of sorghum Sect. Sorghum (Gramineae). **American Journal of Botany**, v. 65, p. 477–484, 1978.

XIA, X. J. et al. Interplay between reactive oxygen species and hormones in the control of plant development and stress tolerance. **Journal of Experimental Botany**, v. 66, n. 10, p. 2839–2856, 2015.

YOUNESI, O.; MORADI, A. Effect of priming of seeds of *Medicago sativa* “Bami” with gibberellic acid on germination, seedlings growth and antioxidant enzymes activity under salinity stress. **Journal of Horticultural Research**, v. 22, n. 2, p. 167–174, 2014.

ZHAO, Y.; LU, Z.; HE, L. Effects of saline-alkaline stress on seed germination and seedling growth of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 173, p. 1680–1691, 2014.

### **3 TOLERÂNCIA AOS ESTRESSES HÍDRICO E SALINO DO SORGO GRANÍFERO DURANTE A GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO DAS PLÂNTULAS**

#### **RESUMO**

A utilização de espécies ou genótipos mais tolerantes representa uma abordagem promissora para minimizar as perdas provocadas pelos fatores abióticos, como a seca e a salinidade, principalmente nas regiões semiáridas e áridas. Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a capacidade de três genótipos de sorgo granífero de tolerarem, durante a germinação e o crescimento inicial das plântulas, diferentes níveis de estresse hídrico e salino. As sementes dos genótipos BRS 330 (BRS), 201423 (L-23) e 201420 (L-20) foram caracterizadas quanto ao teor de água e peso de mil sementes e avaliadas quanto à capacidade de germinarem e crescerem sob 5 níveis de estresse hídrico [0,0 (controle); -0,3; -0,6; -0,9 e -1,2 MPa] e 7 níveis de salinidade [0,0 (controle); 4,0; 8,0; 12,0; 16,0; 20,0 e 24,0 dS m<sup>-1</sup>]. As variáveis analisadas foram porcentagem, índice de velocidade e tempo médio de germinação, além do comprimento da raiz (CR) e da parte aérea (CPA), relação raiz/parte aérea (CR/CPA) e índice de vigor das plântulas. As sementes dos genótipos L-23 e L-20 foram as que apresentaram menor teor de água e maior peso de mil sementes. Quanto à tolerância aos estresses hídrico e salino, os genótipos BRS e L-23 apresentaram as maiores médias nos níveis de estresse mais elevados. No entanto, as sementes do L-23 no tratamento controle apresentaram baixo percentual e velocidade de germinação, o que prejudicou sua avaliação. O crescimento das raízes e da parte aérea das plântulas diminuiu com o aumento dos níveis dos estresses, além de provocar o aumento da razão CR/CPA, demonstrando que os genótipos, quando estão sob estresse, investem mais no crescimento radicular. Além disso, os estresses salino e hídrico reduziram o vigor das plântulas, principalmente do genótipo L-20, que apresentou maior sensibilidade. Portanto, os genótipos BRS e L-20 foram, respectivamente, o mais e o menos tolerante aos estresses hídrico e salino durante a fase inicial da cultura.

**Palavras-chave:** Salinidade; Seca; Seleção; Genótipos.

## ABSTRAT

The use of more tolerant species or genotypes represents a promising approach to minimize the losses caused by abiotic factors, such as drought and salinity, mainly in semi-arid and arid regions. The objective of this research was to evaluate the ability of three sorghum genotypes to tolerate different levels of water and saline stress during germination and seedling initial growth. Seeds of genotypes BRS 330 (BRS), 201423 (L-23) and 201420 (L-20) were characterized regarding water content and weight of one thousand seeds. It was evaluated the ability to germinate and grow under 5 levels of water stress [0.0 (control); -0.3; -0.6; -0.9 and -1.2 MPa] and 7 levels of salinity [0.0 (control); 4.0; 8.0; 12.0; 16.0; 20.0 and 24.0 dS m<sup>-1</sup>]. The variables analyzed were percentage, speed index and mean germination time, plus root length (CR) and aerial part (CPA), ratio (CR/CPA) and vigor index of the seedlings. The seeds of the genotypes L-23 and L-20 were the ones with the lowest water content and the highest weight of one thousand seeds. Regarding the tolerance to water and saline stress, the genotype BRS and L-23 presented the highest averages at the highest stress levels. However, the seeds of L-23 in the control treatment presented low percentage and speed of germination, which impaired their evaluation. The root and shoot growth of the seedlings decreased with the increase of the stress levels, in addition to increasing the CR/CPA ratio, demonstrating that genotypes, when under stress, invest more in root growth. In addition, the saline and water stresses reduced the vigor of the seedlings, especially of the genotype L-20 that presented greater sensitivity. Therefore, the genotypes BRS and L-20 were, respectively, the most and the least tolerant to water and saline stress during the initial phase of the culture.

**Keywords:** Salinity; Drought; Selection; Genotypes.

### 3.1 Introdução

O estresse provocado pelos fatores abióticos, principalmente a seca e a salinidade, é considerado uma das principais limitações do meio à produção agrícola, por prejudicar a expressão do máximo potencial genético da planta (GILL *et al.*, 2016). Além disto, as adversidades impostas por estes fatores têm se intensificado com as mudanças climáticas que vêm ocorrendo, contribuindo para o aumento das áreas agrícolas afetadas (FITA *et al.*, 2015), prejudicando o crescimento, o desenvolvimento e o rendimento das culturas (FITA *et al.*, 2015).

A utilização de espécies ou genótipos mais tolerantes a estas condições de estresse representa uma alternativa, por proporcionar uma maior estabilidade da produção dentro deste ambiente em mudança, principalmente nas regiões áridas e semiáridas, onde as perdas causadas por estes fatores são mais frequentes (MAITI; SATYA, 2014). Dentre as espécies alternativas para garantir a produção de grãos nestas regiões, podemos destacar o sorgo, alimento básico de mais de 500 milhões de pessoas, que sobressai à maioria dos cereais quando cultivado em terras marginais (MUTISYA *et al.*, 2009). Destacando-se, também, por sua versatilidade, podendo ser empregado na alimentação humana, animal e na produção de combustível (AWIKA; ROONEY, 2004).

A tolerância pode ser expressa de forma variada entre os genótipos e o estágio fenológico da cultura, dependendo do nível e do tempo de exposição ao estresse (DALAL; MAYANDI; CHINNUSAMY, 2012). Porém, a avaliação durante a germinação e o crescimento inicial da planta possibilita a diferenciação de indivíduos com maior capacidade de se estabelecerem e se desenvolverem em condições desfavoráveis (BLÁHA; STŘEDA, 2016). A germinação e o estabelecimento uniforme e rápido em diferentes condições ambientais são determinantes para a produção agrícola (FINCH-SAVAGE; BASSEL, 2016), especialmente em condição de estresse abiótico durante a fase inicial da cultura (DUQUE *et al.*, 2013).

Os danos causados à cultura durante a fase inicial, devido ao estresse hídrico e à salinidade, estão relacionados sobretudo ao efeito osmótico. A redução da disponibilidade de água e o aumento da salinidade da solução do substrato causam a redução do potencial osmótico, principal componente do potencial hídrico, que influencia na capacidade de absorção de água das raízes e das sementes (TAIZ; ZEIGER, 2013). A salinidade durante o estágio inicial pode também ser prejudicial devido ao efeito iônico, provocado pela absorção em excesso dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ , que podem se acumular e causar a morte da planta devido à toxidez (DIAS; BLANCO, 2010). Estes íons podem ser prejudiciais por causar o desequilíbrio nutricional,

alterações estruturais, metabólicas e funcionais que interferem no crescimento e desenvolvimento da planta (MAHAJAN; TUTEJA, 2005).

Objetivou-se com esta pesquisa avaliar a tolerância de três genótipos de sorgo granífero a diferentes níveis de estresse hídrico e salino durante a fase germinativa e de crescimento das plântulas.

### 3.2 Material e Métodos

As análises das sementes foram realizadas no Laboratório de Análise de Sementes, da Universidade Federal do Ceará, durante o segundo semestre de 2016, na cidade de Fortaleza-CE. Os genótipos utilizados nos experimentos foram: a cultivar BRS 330, as linhagens 201423 (L-23) e 201420 (L-20), todas produzidas na safra de 2015. As sementes do genótipo BRS 330 foram produzidas no Ceará e cedidas pela Secretaria de Desenvolvimento Agrário do Ceará, e as outras duas produzidas em Minas Gerais e cedidas pela Embrapa Milho e Sorgo, onde estão na fase de seleção para serem lançados no mercado.

Após a chegada das sementes ao laboratório foram realizadas as seguintes análises:

Teor de Água (TA):

Para a determinação desta variável foram utilizadas quatro amostras de 5 g de sementes de cada um dos genótipos analisados. As sementes foram colocadas em cápsulas de alumínio de 9 cm de diâmetro, e em seguida levadas à estufa, com circulação de ar e temperatura ajustada a  $105 \pm 2^\circ\text{C}$ , onde permaneceram por 24 horas. Após a secagem foi realizado a pesagem do material e calculado o teor de água das sementes pela fórmula estabelecida por Brasil (2009), com resultado expresso em percentual, conforme a seguinte equação:

$$TA = \frac{P - p}{P - t} \times 100 \quad (1)$$

P – Peso do recipiente mais as sementes, antes da secagem, em grama;

p – Peso do recipiente mais as sementes, após a secagem, em grama;

t – Peso do recipiente, em grama.

Peso de mil sementes (PMS):

A massa das sementes dos genótipos foi determinada por meio da pesagem de 8 repetições de 100 sementes, em balança de precisão de 0,001g (BRASIL, 2009). Após as pesagens foi calculado a média e multiplicada por dez, para obtenção peso de mil sementes.

Teste de germinação:

As sementes utilizadas no teste de germinação passaram por sanitização, através da imersão em hipoclorito de sódio a 2%, durante 5 minutos e posteriormente, foram lavadas em água corrente e secas sobre folhas papéis toalhas. Os papéis Germitest®, utilizado como substrato, foram envolvidos em papel alumínio e esterilizado em autoclavados durante 20 minutos, a 121°C.

As soluções utilizadas para simular a deficiência hídrica, foram ajustadas com os seguintes potenciais osmótico: 0 (controle); -0,3; -0,6; -0,9; -1,2 MPa, obtidos por meio da diluição do Polietileno glicol 6000 (PEG) em água destilada, com base nos valores tabelados por Villela; Doni Filho e Sequeira (1991).

Para simulação do estresse salino as soluções foram preparadas nas seguintes concentração: 0 (controle); 4,0; 8,0; 12,0; 16,0; 20,0 e 24,0 dS m<sup>-1</sup>, obtidas por meio da diluição do cloreto de sódio (NaCl) em água destilada. A quantidade de NaCl necessário para o preparo das diferentes concentrações foram obtidas com base na equação, proposta por Rhoades *et al.* (1992):

$$\text{mmol. L}^{-1} = (\text{CE}_d - \text{CE}_a) \times 10 \quad (2)$$

CE<sub>d</sub> – Condutividade elétrica para qual a solução será ajustada, em dS m<sup>-1</sup>;

CE<sub>a</sub> – Condutividade elétrica da água destilada, utilizada para diluição do NaCl, em dS m<sup>-1</sup>.

Os valores obtidos foram convertidos para mol/L e, em seguida, multiplicados pelo peso molar do NaCl (58,44g/mol), visando obter a quantidade, em g de NaCl/L, necessária para suas respectivas concentrações.

O substrato foi umedecido através da aplicação da solução dos seus respectivos tratamentos. Aos quais, também foi adicionado 0,2% de Nistatina®, para evitar o aparecimento de fungos durante o período de incubação das sementes. A quantidade de solução aplicada para o umedecimento foi obtida por meio da pesagem do substrato, e convertida seu peso para

volume de solução, pela multiplicação do peso do substrato por três (BRASIL, 2009).

Os tratamentos foram aplicados em quatro repetições, cada uma composta de 50 sementes distribuídas dentro de um rolo de papel Germitest®, que posteriormente foram envolvidos por sacos plásticos transparentes, para reduzir a perda de umidade. Depois do preparo, os rolos foram levados para B.O.D., onde permaneceram durante 10 dias, com temperatura constante de 25°C e fotoperíodo de 12 horas de luz.

A quantificação do teste foi expressa em percentual, sendo consideradas germinadas as sementes que formaram plântulas normais, com base na descrição de Brasil (2009), e o resultado calculado por meio da seguinte equação:

$$PG = \frac{NG}{NS} \times 100 \quad (3)$$

PG – Porcentagem de germinação, em %;

NG – Número de sementes germinadas no 0º dia;

NS – Número de sementes semeadas.

Índice de velocidade de germinação (IVG):

Diariamente foram realizadas contagens do número de plântulas normais, para comparação do vigor dos genótipos sobre as condições de estresse salino e hídrico, por meio do índice proposto por Maguire (1962), para comparar a velocidade de germinação das sementes, por meio da seguinte equação:

$$IVG = \frac{\text{Número de plântulas normais}}{\text{dia da primeira contagem}} + \frac{\dots}{\dots} + \frac{\text{Número de plântulas normais}}{\text{dia da último contagem}} \quad (4)$$

Tempo médio de germinação (TMG):

A variação do número de dias entre o início e o final da germinação, das sementes sob estresse, foi obtida com base na equação de Labouriau (1983):

$$TMG = \frac{\sum(D \times N)}{\sum N} \quad (5)$$

D – Dia da contagem;

N – Número de plântulas normais no dia da contagem;

Comprimento médio da raiz (CR) e da parte aérea (CPA):

Após 10 dias de incubação das sementes foi realizado a mensuração do comprimento das plântulas, que foi avaliado separadamente com base no crescimento da raiz e da parte aérea e radicular. As medições foram realizadas com auxílio de uma régua graduada em mm.

Relação raiz/parte aérea (CR/CPA)

Com base nos resultados obtidos com as medições, respectivamente do CR e do CPA, foi calculado a relação entre o crescimento destas partes da plântula, quando submetido as condições de estresse.

Índice de Vigor da Plântula (IVP)

A variação do vigor da plântula também foi avaliada por meio do índice que relaciona a variação do tamanho da plântula e a percentagem de germinação, pela seguinte equação:

$$\text{IVP} = [(\text{CPA} + \text{CR}) \times \text{PG}]/100 \quad (6)$$

Análise estatística

As variáveis teor de água e peso de mil sementes foram analisadas no delineamento inteiramente casualizados. O efeito do estresse salino e hídrico nos genótipos foram avaliados separadamente. Porém, ambos os experimentos foram formados no esquema fatorial e distribuídos no delineamento inteiramente casualizado. Em que o fatorial do estresse hídrico foi formado por 3 genótipos  $\times$  5 potências hídricos, e da salinidade formado por 3 genótipos  $\times$  7 concentrações salinas.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), ao nível de 5 e 1% de significância. As variáveis teor de água, peso de mil sementes, relação CR/CPA e índice de vigor das plântulas tiveram suas médias comparadas entre si por meio do teste de Tukey, ao nível de 5% de significância, utilizando o software estatístico SISVAR®, versão 5.6.

A variação da porcentagem, do índice de velocidade e do tempo médio de germinação, além do comprimento das raízes e parte aéreas das plântulas foram representadas na forma de regressão, utilizando-se o software SigmaPlot® 11.0, para determinação do modelo matemático que melhor se ajustou aos dados, ao nível de significância de 5%, e para elaboração dos gráficos.

### 3.3 Resultados e Discussão

As variáveis analisadas apresentam diferença ao nível de 1% de significância, para a interação do fator genótipo×salinidade e genótipo×estresse hídrico (Tabela 1) e as variáveis teor de água e peso de mil sementes apresentam diferença significativa ( $p<0,01$ ), indicando variação destas características entre os genótipos.

Tabela 1 - Análise de variância do efeito dos fatores genótipos (G), níveis de salinidade (S)

F.V	F-valor							
	GL	PG	IVG	TMG	CR	CPA	RPA	IVP
G	2	14,8**	18,4**	51,6**	39,5**	42,2**	23,7**	12,9**
S	6	103,4**	299,2**	415,9**	62,3**	578,8**	58,1**	202,2**
G×S	12	9,6**	8,8**	6,6**	2,5**	11,4**	12,7**	6,1**
CV%	--	10	9,3	5,03	13,31	8,25	22,56	13,76
G	2	11,0**	10,3**	14,1**	9,8**	68,2**	5,2**	12,9**
H	4	323,3**	685,9**	19,9**	134,1**	1293,7**	39,3**	202,2**
G×H	8	16,8**	13,5**	7,8**	8,8**	18,5**	13,4**	6,1**
CV%	--	17,98	14,92	19,35	19,95	9,42	13,96	13,76
F.V	GL	Teor de Água		CV%	Peso de Mil Sementes			CV%
G	2	133,7**		1,99	2725,2**			1,36

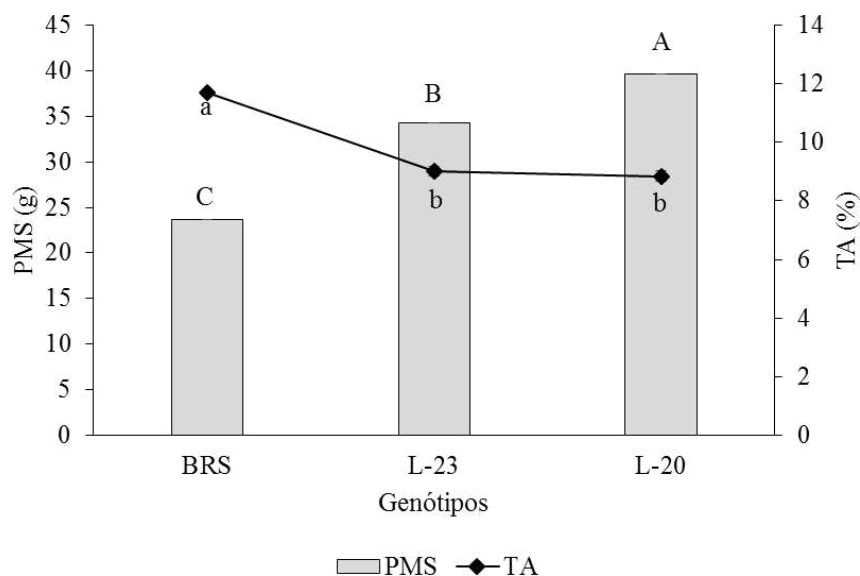
e estresse hídrico (H).

Fonte: Elaborada pelo autor.

\*\* Significância ao nível de 1% de probabilidade, F.V: fonte de variação; GL= grau de liberdade; CV=coeficiente de variação; PG=porcentagem de germinação; IVG=índice de velocidade de germinação; TMG=tempo médio de germinação; CR=comprimento da radícula; CPA= comprimento da parte aérea; R/PA= relação entre o comprimento da raiz e da parte aérea; e IVP=índice de vigor da plântula.

O teor de água das sementes dos genótipos variou de 9 a 12%, sendo o maior valor observado nas sementes do genótipo BRS (Figura 1). Quanto ao peso de mil sementes, as sementes do genótipo L-20 foram as mais pesadas, seguida, respectivamente, do L-23 e da BRS (Figura 1).

Figura 1 - Variabilidade do peso de mil sementes (PMS) e do teor de água (TA) das sementes dos genótipos de sorgo granífero.



Fonte: Elaborada pelo autor.

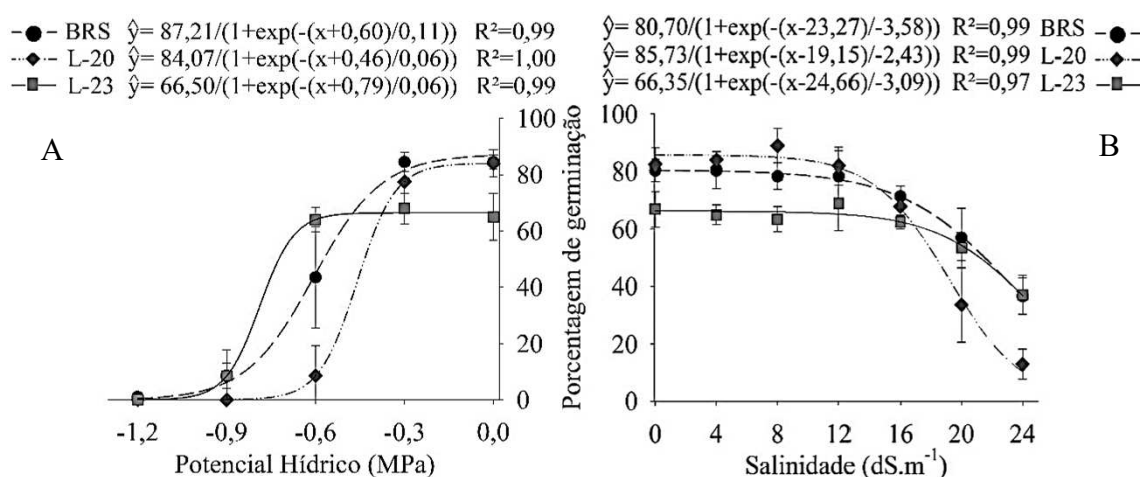
\*Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas, e da mesma letra minúscula na linha, não diferem entre si ao nível de 1% de significância.

O teor de água mais elevada das sementes do genótipo BRS pode levar uma deterioração mais rápida, já que segundo Marcos Filho (2005), as sementes com maior teor de água apresentam maior atividade metabólica que leva a exaustão da reserva mais rápida, podendo provocar problemas na viabilidade e vigor do lote. Além disso, a menor massa das sementes do genótipo BRS também pode interferir nos resultados, já que de acordo com Carvalho e Nakagawa (2012), a massa das sementes em alguns casos está relacionada com características do embrião bem formado e maior quantidade de reservas, que são muitas vezes correlacionadas ao maior vigor das plântulas de algumas espécies.

A semeadura dos genótipos em substrato com diferentes níveis de salinidade ou potenciais osmóticos tiveram comportamento da variável porcentagem de germinação ajustado a modelos sigmóidais, ao nível de significância de ( $P < 0,05$ ) (Figura 2). A variação da germinação com relação ao aumento dos estresses pode ser dividida em três etapas. Na primeira, a germinação apresenta uma resistência inicial ao aumento do estresse, se mantendo estável. No entanto, na segunda etapa, com aumento do estresse ocorre uma redução acentuada da germinação, e na terceira, a germinação é muito baixa até o nível de estresse em que não ocorre mais a germinação. O genótipo L-23 foi o que apresentou maior intervalo de estabilidade que foi de 0,0 a -0,6 MPa (Figura 2A), e na condição salina de 0,0 a 16 dS m<sup>-1</sup> (Figura 2B), no

entanto, a porcentagem de germinação no tratamento controle foi inferior aos demais. Enquanto os genótipos BRS e L-20 se mantiveram estável somente no intervalo de 0,0 a -0,3 MPa e de 0,0 a 12 dS m<sup>-1</sup>.

Figura 2 - Porcentagem de germinação dos genótipos de sorgo granífero sob diferentes níveis de potencial hídrico (A) e de salinidade (B).



Fonte: Elaborada pelo autor.

O aumento do nível de estresse após a zona de estabilidade da germinação causou redução expressiva da germinação, principalmente no genótipo L-20, que não conseguiu germinar no intervalo de -0,6 a -0,9 MPa, além de apresentar também o menor desempenho nas condições de 20 a 24 dS m<sup>-1</sup>. A variação da germinação sob estresse hídrico e salino representa uma ferramenta importante para identificação dos genótipos mais tolerantes durante esta fase. Assim como também foi demonstrado por Oliveira e Gomes-Filho (2009), que verificaram que o genótipo de sorgo forrageiro CSF 18 apresenta germinação e vigor superior ao do CSF 20, sob os diferentes níveis de estresse hídrico e salino. Porém, estes autores afirmam que a redução da germinação ocorre de forma linear ao aumento do estresse, baseado em modelo com ajuste 77 a 87%, enquanto, os modelos sigmoidais empregados nesta pesquisa tiveram ajuste de 97 a 100% (Figura 2), que colaboram na afirmação que a diminuição da germinação não ocorre de forma linear.

A capacidade dos diferentes genótipos germinarem em condições adversas, tem sido utilizado também para identificar cultivares de milho-pipoca (*Zea mays* L.) mais tolerantes à redução do potencial osmótico (MOTERLE *et al.*, 2006). Entretanto, Moterle *et al.* (2006) verificaram que a -0,3 MPa a germinação das cultivares de milho-pipoca IAC 112, Zélia e BRS-Angela são reduzidas em torno de 40 a 70%, resultados diferentes dos encontrados nos

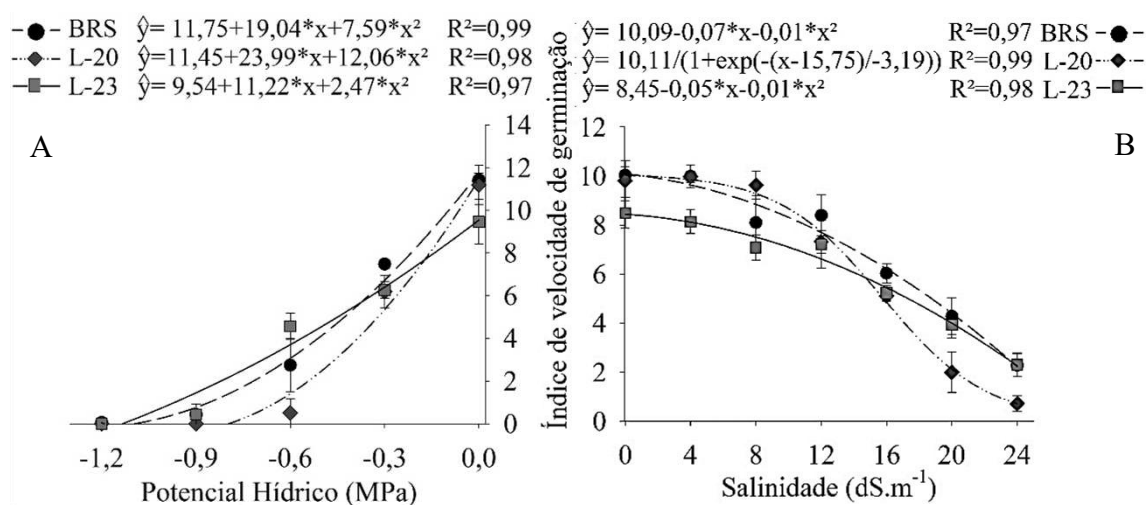
genótipos de sorgo graníferos analisados, que não foram afetados (Figura 2A). Isto, pode estar relacionado a maior capacidade do sorgo de suportarem condições mais adversas que a maioria dos cereais (MUTISYA *et al.*, 2009).

Além disso, Hakim *et al.* (2010) verificaram que a germinação das variedades de arroz (*Oryza sativa* L.), na condição salina de 16 dS m<sup>-1</sup>, foram inibidas em torno de 30 a 80%. Sendo assim, a restrição imposta pela salinidade as variedades de arroz bem mais drásticas quando comparadas aos genótipos de sorgo granífero (Figura 2B), em que o genótipo menos tolerante (L-20), reduziu aproximadamente 15% da germinação. Esses resultados mostram o quanto a cultura do sorgo, durante a fase germinativa, é mais tolerante a estes estresses quando comparado com outras cereais. A utilização de sementes com maior possibilidade de se estabelecerem em campo, mesmo em condições sub-ótimas, é essencial para garantir a produção agrícola, visto que reduz as perdas causada pela má distribuição temporal das chuvas durante esta fase inicial (FINCH-SAVAGE; BASSEL, 2016).

O sucesso do estabelecimento da cultura está ligado também ao vigor das sementes, que segundo Finch-Savage e Bassel, (2016), define a capacidade das sementes germinarem e se estabelecerem rapidamente, de maneira uniforme e gerarem plântulas mais robustas em diversas condições ambientais. Entre as variáveis utilizadas para avaliar o vigor, o índice de velocidade de germinação é um dos mais aplicados, por possibilitar a identificação de genótipos e/ou espécies que conseguem completar o processo germinativo de forma mais rápida sob diversas condições.

O índice de velocidade de germinação das sementes dos genótipos de sorgo quando submetido aos níveis crescentes de estresse hídrico reduziu progressiva (Figura 3A), sendo este comportamento explicado ajustado a modelos polinomiais de segunda ordem ( $P < 0,05$ ). No entanto, nas condições salinas a redução do índice de velocidade de germinação só ocorreu de forma mais significativa a partir de 8 dS m<sup>-1</sup>, sobretudo, para o genótipo L-20 (Figura 3B).

Figura 3 - Índice de velocidade de germinação dos genótipos de sorgo granífero sob diferentes níveis de potencial hídrico (A) e de salinidade (B).

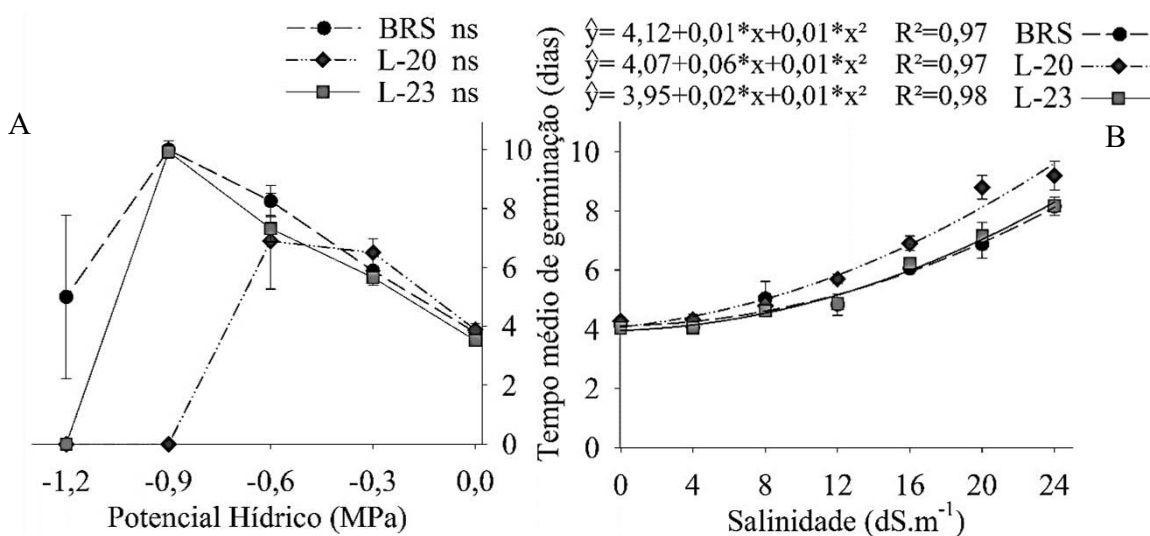


A diminuição da velocidade da germinação é um dos primeiros sinais dos estresses salino e hídrico, que provocam a diminuição da taxa de absorção de água, e conseqüentemente, retarda o processo germinativo (FAROOQ *et al.*, 2009), sendo que a diminuição se dá de forma mais intensidade no genótipo menos tolerante (OLIVEIRA; GOMES-FILHO, 2009). Carpici, Celik e Bayram (2009) também relatam resultados semelhantes, nos quais, o retardo da velocidade ocorre de forma mais expressiva nas cultivares de milho menos tolerantes, quando submetidas a níveis crescente de salinidade.

Os aumentos dos níveis de estresse provocam também prolongamento do tempo médio de germinação. Nas condições de estresse hídrico os maiores valores foram obtidos no tratamento de -0,9 MPa, em que os genótipos BRS e L-23 apresentaram valor médio de aproximadamente 10 dias, enquanto, sob o tratamento controle o tempo médio de germinação para todos os genótipos foi de 4 dias (Figura 4A). Nos níveis mais severos de estresse hídrico o tempo médio de germinação tende a zero, conseqüência da germinação muito baixa (BRS) ou da ausência da germinação.

Sob as condições salinas o tempo médio de germinação do genótipo L-20 foi prologada cerca de 5,5 dias (24 dS m<sup>-1</sup>), quando comparado com o tratamento controle, entretanto, a variação dos demais genótipos foi de apenas 4 dias (Figura 4B). Sendo o efeito da salinidade sob esta variável melhor explicado por meio de modelos polinomiais de segundo grau ( $P < 0,05$ ).

Figura 4 - Tempo médio de germinação dos genótipos de sorgo granífero em diferentes níveis de estresse hídrico (A) e salino (B).



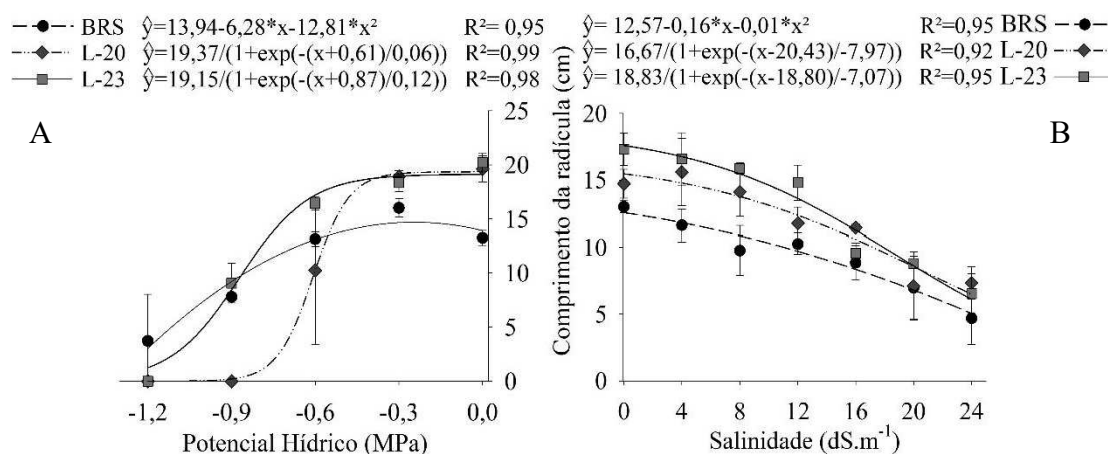
Fonte: Elaborada pelo autor.

O aumento do tempo médio se deve a redução do potencial osmótico Khodarahmpour (2012), que segundo Taiz e Zeiger (2013), reduz o gradiente entre a semente e o substrato, diminuindo a taxa de absorção. E conseqüentemente, a sementes levam maior tempo para atingir o nível crítico de umidade para iniciar a germinação, prolongando a segunda fase de germinação ou menor não conseguindo chegar a terceira fase (BEWLEY *et al.*, 2013).

Conforme Patanè, Saite e Sortino (2013), o aumento do níveis de estresse hídrico e salino também o prolongou do tempo médio de germinação dos genótipos de sorgo biomassa, principalmente do genótipo Keller, que mostrou ser mais sensível, necessitando cerca de 1 a 2,5 dias a mais que o controle para completar o processo germinativo. Este aumento por ser ainda maior dependendo da espécie, como nas linhagens de milho analisadas por Khodarahmpour (2012), em que o estresse hídrico provocou o aumentou de 4 dias. Isto mostra que a tolerância pode varia dentre e entre as espécies, com o aumento do nível de estresse.

Os efeitos dos níveis de deficiência hídrica e salinidade no crescimento inicial das plântulas dos genótipos de sorgo são apresentados na figura 5. A variação do crescimento no sistema radicular dos genótipos L-20 e L-23, nos diferentes níveis de estresses avaliados, foram melhor representados por modelos sigmoídais, e o genótipo BRS teve seu comportamento melhor ajustado a modelos polinomial do segundo grau (Figura 5A e 5B).

Figura 5 - Comprimento médio do sistema radicular dos genótipos de sorgo graníferos sob diferentes níveis de estresse hídrico (A) e salino (B).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Os genótipos L-23 e L-20 foram os que apresentaram os maiores valores nas condições de 0,0 a -0,3 MPa (Figura 5A), porém, com o aumento do estresse hídrico o genótipo L-20 apresentou maior sensibilidade. Com relação ao efeito dos níveis de salinidade os genótipos demonstraram comportamentos semelhantes, com redução progressiva do crescimento das raízes a medida que houve o aumento da concentração salina, sendo o genótipo BRS o que apresentou as menores médias em todas concentrações salinas (Figura 5B), provavelmente, relacionada a influência da massa das sementes.

A diferença do crescimento radicular dos genótipos na condição de estresse hídrico e salino, provavelmente, esteja relacionada com mecanismo de aclimação da cultura como o ajuste osmótico devido ao acúmulo de solutos inorgânicos, já que segundo Silva *et al.* (2003), é um dos mecanismos ativado no sorgo quando cultivados em substrato salino, que leva o aumento da concentração de íons inorgânicos  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ , possibilita a manutenção do gradiente, e conseqüentemente, continuidade do crescimento. No entanto, sobre estresse hídrico, simulado por PEG 6000, este mecanismo provavelmente não é ativado, levando diminuição do crescimento mais rápido.

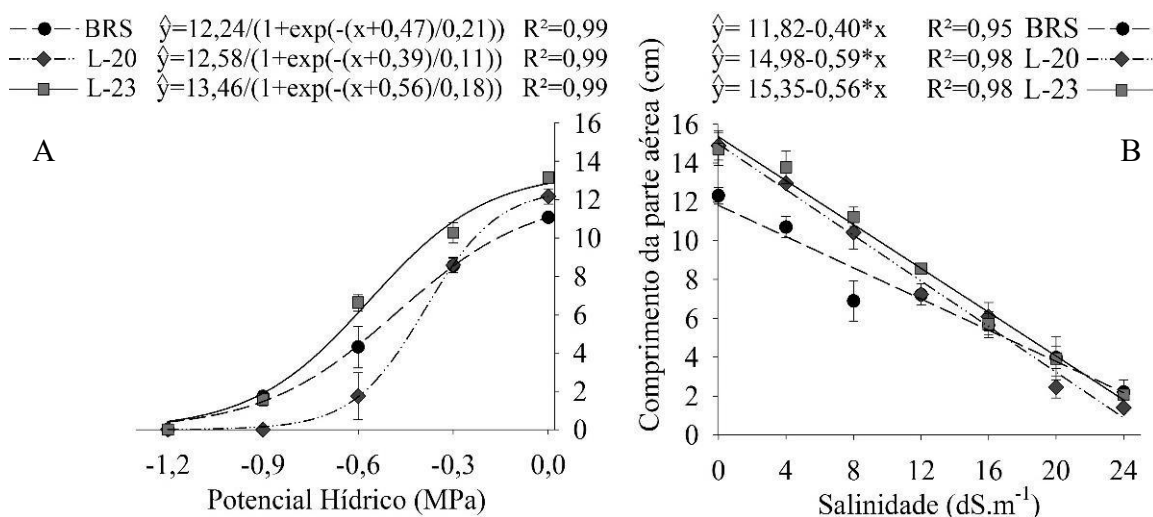
O alongamento das raízes é importante para tolerância ao estresse hídrico, por ampliar a área de captação de água (GOVINDARAJ *et al.*, 2010). Além disso, estes autores verificaram que os genótipos de milho (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.), mais tolerante o P.T. 5005, TNBH-0503 e o TNBH-0642 sob a condição de -10 bar, foram os que apresentaram maior sistema radicular. Este comportamento é conveniente para a identificação dos genótipos com maior capacidade de se estabelecerem e melhor explorarem ambientes com baixa

disponibilidade de água, como o BRS que apresentou maior crescimento das raízes em potenciais hídricos mais elevados, já que o sistema radicular é essencial para crescimento da planta, pois através das raízes são absorvidos os nutrientes e água (MAITI, 2012), influenciando assim diretamente na capacidade da plantas se estabelecerem e crescerem.

O crescimento do sistema radicular, segundo Maiti (2012), é consideravelmente afetado pela seca e salinidade. Coelho *et al.* (2013) verificaram que na concentração salina de 12,5 dS m<sup>-1</sup> o crescimento das raízes das variedades F305, BRS 655, BRS 610, 1.015.045, 1.016.005 e da Volumax de sorgo forrageiro foram completamente inibidas. No entanto, as tensões causadas pela salinidade foram menos prejudiciais aos genótipos de sorgo granífero (Figura 5B), que mesmo reduzindo o crescimento, conseguiu suportar concentrações de até 24 dS m<sup>-1</sup>.

A parte aérea (PA) dos genótipos de sorgo graníferos também foi afetada pelo aumento dos níveis dos estresses analisados (Figura 6). À medida que houve a redução do potencial hídrico o comprimento médio da PA diminuiu, mas de forma mais intensa a partir de -0,3 MPa, especialmente o genótipo L-20 (Figura 6A). Os níveis crescentes de salinidade também afetaram a PA, ocasionando a redução linear do crescimento desta variável em todos os genótipos (Figura 6B).

Figura 6 - Comprimento da parte aérea das plântulas dos genótipos de sorgo graníferos que crescerem sob diferentes níveis de estresse hídrico (A) e salino (B).



Fonte: Elaborada pelo autor.

A diminuição do alongamento das raízes e da parte aérea, sob estresse hídrico e salino, é o reflexo da redução da capacidade da planta de absorção de água, reduzindo assim a turgidez celular, e consequentemente a expansão celular (OLIVEIRA; ALENCAR; GOMES-FILHO, 2013). Portanto, a capacidade dos genótipos de crescerem, em ambientes salinos ou com baixa disponibilidade hídrica, está bastante relacionado ao potencial da cultura em captar água, seja por alterações fisiológica, bioquímica ou morfológica, como modulação do crescimento radicular e da parte aérea (TAIZ; ZEIGER, 2013). Como verificado para os genótipos de sorgo granífero com o aumento dos níveis de estresses, em as plântulas investiram mais no crescimento do sistema radicular, aumentando assim a relação raíz/parte aérea (CR/CPA) (Tabela 2).

Tabela 2 - Relação entre o crescimento das raízes e parte aéreas dos genótipos de sorgo graníferos em diferentes níveis de estresse hídrico ( $\Psi$ ) e salino (CE).

$\Psi$ (MPa)	BRS	L-20	L-23	Média
0,0	1,19 aCD	1,61 aBC	1,53 aBC	1,45
-0,3	1,88 aBC	2,21 aB	1,79 aBC	1,96
-0,6	3,18 abAB	4,54 bA	2,49 aB	3,41
-0,9	4,56 aA	0,00 bC	5,83 aA	3,46
-1,2	0,00 aD	0,00 aC	0,00 aC	0,00
Médias	2,16	1,67	2,33	--
CE (dS m <sup>-1</sup> )	BRS	L-20	L-23	Média
0,0	1,06 aB	0,99 aD	1,18 aC	1,08
4,0	1,08 aB	1,20 aCD	1,21 aC	1,17
8,0	1,36 aAB	1,41 aCD	1,41 aC	1,39
12,0	1,42 aAB	1,63 aCD	1,73 aBC	1,59
16,0	1,57 aAB	1,68 aBC	1,89 aBC	1,72
20,0	1,73 bAB	2,39 abB	2,67 aBA	2,26
24,0	2,07 cA	5,96 aA	3,14 bA	3,73
Média	1,48	2,24	1,82	--

Fonte: Elaborada pelo autor.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha, e pela mesma letra maiúscula na coluna, não diferem entre si ao nível de 5% de significância.

Nos tratamentos de maiores estresses, os genótipos apresentaram raízes cerca de 3 a 6 vezes maiores que a parte aérea, enquanto que a razão CR/CPA na condição controle foi de 1 a 1,5. Colaborando com resultados obtidos por Coelho *et al.* (2014), para as variedades de sorgo forrageiro sob estresse salino, e de híbridos de milho submetidos a níveis crescente de estresse hídrico (KAPPES *et al.*, 2009).

O aumento do estresse causa alterações mais expressiva da razão CR/CPA do genótipo L-20, sobretudo, nas condições de -0,6 MPa e de 24 dS m<sup>-1</sup>, o que indica a maior sensibilidade deste genótipo, que para continuar a crescerem nestas condições necessitam

realizar modificações no padrão de crescimento para melhor se adaptar e extrair os recursos necessários a planta.

As plântulas que se desenvolvem na condição controle e de baixo estresse são mais vigorosas, como no caso do genótipo L-20 que apresenta maior índice de vigor de plântula (IVP) (Tabela 3), porém, quando semeadas em ambientes com potencial osmótico igual ou inferior a  $-0,6$  MPa ou  $20$  dS  $m^{-1}$ , apresentam grande perda de vigor das plântulas, devido ao efeito negativo desta condição na porcentagem de germinação e/ou crescimento das plântulas. Na condição controle, o menor índice do BRS está relacionado a menor massa de suas sementes, que geraram plântulas menores, o menor índice do L-23 se deve a menor germinação, entretanto, sobressaíram o genótipo L-20, em ambiente de maior estresse.

Tabela 3 - Índice de vigor das plântulas dos genótipos de sorgo graníferos em diferentes níveis de estresse hídrico ( $\Psi$ ) e salino (CE).

$\Psi$ (MPa)	BRS	L-20	L-23	Média
0,0	20,55 bA	26,75 aA	21,71 bA	23,01
-0,3	20,78 aA	21,37 aB	19,48 aA	20,54
-0,6	7,75 bB	1,38 cC	14,79 aB	7,97
-0,9	0,81 aC	0,00 aC	0,94 aC	0,58
-1,2	0,07 aC	0,00 aC	0,00 aC	0,02
Médias	9,99	9,02	11,38	--
CE (dS $m^{-1}$ )	BRS	L-20	L-23	Média
0,0	20,37 aA	24,51 aA	21,45 abA	22,11
4,0	18,04 bA	24,05 aA	19,70 bAB	20,60
8,0	13,12 cB	21,84 aA	17,21 bB	17,39
12,0	13,77 aB	15,52 aB	16,18 aB	15,16
16,0	10,41 aB	11,93 aB	9,54 aC	10,63
20,0	6,14 aC	2,84 bC	6,85 aCD	5,28
24,0	2,62 aC	1,23 aC	3,25 aD	2,37
Média	12,07	14,56	13,45	--

Fonte: Elaborada pelo autor.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na linha, e pela mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem entre si ao nível de 5% de significância.

Estes resultados colaboram com os obtidos por Khodarahmpour (2012), ao verificar que a redução do potencial hídrico reduz o IVP das linhagem M017 e B73 de milho. No entanto, estas linhagens de milho demonstraram ser menos vigorosas que os genótipos de sorgo graníferos (Tabela 3), pois a  $0,0$  MPa o IVP do sorgo teve média de 23 e o das linhagens de milho foi de 5,2.

## **Conclusões**

A diferença de tolerância entre os genótipos de sorgo granífero aos estresses hídricos e salinos são mais significativas a partir de concentrações osmótica de  $-0,6$  MPa ou salina de  $20$  dS  $m^{-1}$ .

O genótipo BRS 330 e o 201420 (L-20) são, respectivamente, o mais e a menos tolerantes aos estresses hídrico e salino, durante a fase de germinação e crescimento das plântulas.

## REFERÊNCIAS

- AWIKA, J. M.; ROONEY, L. W. Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. **Phytochemistry**, v. 65, n. 9, p. 1199–1221, 2004.
- BEWLEY, J. D. et al. **Seeds: physiology of development, germination and dormancy**. 3. ed. New York: Springer, 2013.
- BLÁHA, L.; STŘEDA, T. Plant Integrity – The Important Factor of Adaptability to Stress Conditions. In: BOCCHIARO, P.; ZAMPERINI, A. (Eds.). **Abiotic and Biotic Stress in Plants: Recent Advances and Future Perspectives**. [S. l.]: INTECH Open Access Publisher, 2016. p. 663–687.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Mapa/ACS, 2009.
- CARPICI, E. B.; CELIK, N.; BAYRAM, G. Effects of salt stress on germination of some maize (*Zea mays* L.) cultivars. **Journal of Biotechnology**, v. 8, n. 19, p. 4918–4922, 2009.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5. ed. Jaboticabal: Funep, 2012.
- COELHO, D. S. et al. Germinação e crescimento inicial de variedades de sorgo forrageiro submetidas ao estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 25–30, 2014.
- DALAL, M.; MAYANDI, K.; CHINNUSAMY, V. Sorghum: Improvement of Abiotic Stress Tolerance. In: TUTEJA, N. et al. (Eds.). **Improving Crop Resistance to Abiotic Stress**. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2012.
- DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (Eds.). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCT Sal, 2010. p. 129–141.
- DUQUE, A. S. et al. Abiotic Stress Responses in Plants: Unraveling the Complexity of Genes and Networks to Survive. In: VAHDATI, K.; LESLIE, C. (Eds.). **Abiotic Stress: Plant Responses and Applications in Agriculture**. Croatia: INTECH Open Access Publisher, 2013. p. 49–101.
- FAROOQ, M. et al. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 29, n. 1, p. 135–212, 2009.
- FINCH-SAVAGE, W. E.; BASSEL, G. W. Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation. **Journal of Experimental Botany**, v. 67, n. 3, p. 567–591, 2016.
- FITA, A. et al. Breeding and Domesticating Crops Adapted to Drought and Salinity: A New Paradigm for Increasing Food Production. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, p. 978, 2015.

GILL, S. S. et al. Abiotic Stress Signaling in Plants – An Overview. *In*: TUTEJA, N.; GILL, S. S. (Eds.). **Abiotic Stress Response in Plants**. 4. ed. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2016. p. 3–12.

GOVINDARAJ, M. et al. Simple, rapid and cost effective screening method for drought resistant breeding in pearl millet. **Electronic Journal of Plant Breeding**, v. 1, n. 4, p. 590–599, 2010.

HAKIM, M.; JURAIMI, A.; BEGUM, M. Effect of salt stress on germination and early seedling growth of rice (*Oryza sativa* L.). **African Journal of Biotechnology**, v. 9, n. 13, p. 1911–1918, 2010.

KAPPES, C. et al. Germinação, vigor de sementes e crescimento de plântulas de milho sob condições de déficit hídrico. **Scientia Agraria**, v. 11, n. 2, p. 125-134, 2009.

KHODARAHMPOUR, Z. Evaluation of drought and salinity stress effects on germination and early growth of two cultivars of maize (*Zea mays* L.). **African Journal of Biotechnology**, v. 7, n. 12, p. 1926–1930, 2012.

LABOURIAU, L. G. **A germinação das sementes**. Washington: Secretaria Geral da Organização dos Estados Americanos, 1983.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2005.

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.

MAHAJAN, S.; TUTEJA, N. Cold, salinity and drought stresses: an overview. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 444, n. 2, p. 139–158, 2005.

MAITI, R. Root responses are indicators for salinity and drought stress in crops. **International Journal of Bio-resource and Stress Management**, v. 3, n. 3, 2012.

MAITI, R. K.; SATYA, P. Research advances in major cereal crops for adaptation to abiotic stresses. **GM Crops & Food**, v. 5, n. 4, p. 259–279, 2014.

MOTERLE, L. M. et al. Germinação de sementes e crescimento de plântulas de cultivares de milho-pipoca submetidas ao estresse hídrico e salino. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 3, p. 169–176, 2006.

MUTISYA, J. et al. Diurnal oscillation of SBE expression in sorghum endosperm. **Journal of Plant Physiology**, v. 166, n. 4, p. 428–434, 2009.

OLIVEIRA, A. B.; ALENCAR, N. L.; GOMES FILHO, E. Comparison Between the Water and Salt Stress Effects on Plant Growth and Development. *In*: AKINCI, S. (Ed.). **Responses of Organisms to Water Stress**. [S. l.]: INTECH Open Access Publisher, 2013. p. 67–94.

OLIVEIRA, A. B.; GOMES-FILHO, E. Germinação e vigor de sementes de sorgo forrageiro sob estresse hídrico e salino. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 3, p. 48–56, 2009.

PATANÈ, C.; SAITA, A.; SORTINO, O. Comparative effects of salt and water stress on seed germination and early embryo growth in two cultivars of sweet sorghum. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 199, n. 1, p. 30–37, 2013.

RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHAL, A. M. **The use of saline water for crop production**. Rome: FAO, 1992.

SILVA, J. V. et al. Crescimento e osmorregulação em dois genótipos de sorgo submetidos a estresse salino. **Revista Ciência Agronômica**, v. 34, n. 2, p. 125–131, 2003.

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

VILLELA, F. A.; DONI FILHO, L.; SEQUEIRA, E. L. Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietileno glicol 6.000 e da temperatura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 11/12, p. 1957–1968, 1991.

#### 4 EFEITO DO HYDROPRIMING E DO PRIMING HORMONAL COM GA<sub>3</sub> NA TOLERÂNCIA DO SORGO GRANÍFERO AO ESTRESSE SALINO E HÍDRICO

##### Resumo

A tolerância ao estresse hídrico e salino durante a germinação e crescimento das espécies agrícolas, podem ter resultados superiores quando as sementes são submetidas ao processo de priming. A pesquisa teve como objetivo, avaliar o uso do hydropriming e do priming hormonal com GA<sub>3</sub> na melhoria da tolerância de genótipos contrastantes de sorgo granífero aos estresses hídrico e salino durante a fase germinativa e de crescimento das plântulas. Os genótipos analisados foram a cultivar BRS 330 e a linhagem 201420, respectivamente, o mais e o menos tolerante aos estresses hídrico e salino. A semeadura foi realizada na condição controle (sem estresse), de estresse hídrico (-0,6 MPa) e salino (20 dS m<sup>-1</sup>), e as sementes utilizadas foram submetidas aos seguintes tratamentos: testemunha - sem imersão; hydropriming – imersão por 2 horas em água destilada; priming hormonal- imersão em soluções de ácido giberélico, nas concentrações de 50, 75 e 100 mg/L, durante 2 horas. Após a imersão todas as sementes foram secas por 24 horas, a temperatura de 30±2°C. As variáveis analisadas foram porcentagem e índice de velocidade de germinação, comprimento radicular, da parte aérea e razão raiz/parte aérea. As condições de estresse analisadas afetaram negativamente os dois genótipos, no entanto, as sementes que passaram pelo processo de priming melhoram o desempenho dos genótipos sobre as condições de estresse salino e hídrico, sobretudo, quando utilizado sementes de genótipos mais tolerantes submetidas ao priming hormonal, com concentração de 100 mg de GA<sub>3</sub>/L. A combinação da utilização de genótipos mais tolerantes e de sementes tratadas com 100 mg de GA<sub>3</sub>/L, minimizam os efeitos negativos do estresse hídrico e salino durante a germinação e crescimento inicial do sorgo granífero.

**Palavras-chave:** Germinação; Crescimento inicial; Genótipos; Seca; Salinidade.

## ABSTRACT

Tolerance to water and saline stress during the germination and growth of agricultural species may be superior when the seeds are subjected to a priming process. The objective of this research was to evaluate the use of hydropriming and hormonal priming with GA<sub>3</sub> in improving the tolerance of contrasting genotypes of sorghum to salt and water stress during germination and seedling growth. The genotypes analyzed were cultivar BRS 330 and lineage 201420, respectively, the most and least tolerant to water and saline stress. The seeds were sown in the control condition (no stress), water stress (0.6 MPa) and salinity (20 dS m<sup>-1</sup>), and the seeds were subjected to the following treatments: control - no immersion; hydropriming - immersion for 2 hours in distilled water; priming hormone immersion in gibberellic acid solutions at concentrations of 50, 75 and 100 mg/L for 2 hours. After the immersion, all seeds were dried for 24 hours at a temperature of 30±2°C. The sowing was done on a substrate moistened with distilled water to simulate the optimum condition (control), with the PEG solution at -0.6 MPa and NaCl at a concentration of 20 dS m<sup>-1</sup> to simulate, respectively, the conditions of water stress and salt. The analyzed variables were percentage and index of germination speed, root length, shoot and root/shoot ratio. The stress conditions analyzed negatively affected the two genotypes, however, the seeds that went through the priming process improve the performance of the genotypes on saline and water stress conditions, especially when using seeds of more tolerant genotypes subjected to hormonal priming, with concentration of 100 mg of GA<sub>3</sub>/L. The combination of the use of more tolerant genotypes and seeds treated with 100 mg of GA<sub>3</sub>/L minimizes the negative effects of saline and water stress during germination and initial growth of sorghum.

**Keywords:** Germination; Initial growth; Genotypes; Drought; Salinity.

#### 4.1 Introdução

A produção de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] se destaca no cenário mundial entre os cereais mais produzido, além de ser uma cultura de fácil produção e versátil (QUEIROZ *et al.*, 2011), utilizada na alimentação humana, animal, na produção de álcool e de produtos industriais (AWIKA; ROONEY, 2004). O cultivo está centralizado principalmente nas regiões tropicais e subtropicais, principalmente em áreas marginais e mais propensas a estresse (REDDY; PATIL, 2015). Condições estas, que representam aproximadamente 79% das causas da redução do rendimento do sorgo (SOUZA *et al.*, 2015). No entanto, a produção do sorgo nestas regiões destaca-se devido à sua tolerância as condições abióticas adversas (MUTISYA *et al.*, 2009).

Os efeitos das restrições ambientais sob as plantas têm recebido cada vez mais atenção, em virtude dos potenciais impactos das mudanças climáticas (OLIVEIRA; ALENCAR; GOMES FILHO, 2013), que conseqüentemente, dificulta a manutenção e o aumento da produtividade agrícola, sobretudo nas regiões áridas e semiáridas (FITA *et al.*, 2015). A salinidade e a seca são os principais fatores abióticos que limitam a produção agrícola, nesta regiões (OLIVEIRA; ALENCAR; GOMES FILHO, 2013), prejudicando o crescimento e o rendimento das plantas (OSAKABE *et al.*, 2014). Por causar estresses que causam danos em todos os principais processo da planta, tais como germinação, fotossíntese, absorção de água e nutrientes, além de poderem também causarem a morte da planta (FAROOQ *et al.*, 2009; PARIHAR *et al.*, 2015).

A germinação e o crescimento da plântula são considerados os estágios mais vulneráveis da planta, aos danos provocados pelos estresses abióticos (WATERWORTH; BRAY; WEST, 2015). E capacidade das plantas de superarem condições de estresse durante esses estádios mais sensíveis é decisivo para estabelecimento e sobrevivência (LARCHER, 2006). Porém, os danos provocados pelos fatores abióticos, durante estes estádios, podem ser superados ou minimizados por meio da adoção de estratégias como a utilização de genótipos mais tolerantes, a aplicação de reguladores de crescimento, o uso de osmoprotetores e a melhoria da tolerância, por meio da técnica denominada de priming (LI; LIU, 2016).

O priming é um técnica considerada rápida e de baixo custo empregada para superar os efeitos dos estresses abióticos (FAROOQ *et al.*, 2009; SINGH *et al.*, 2015), no qual a exposição a um estresse moderado induz uma maior tolerância aos eventos de estresses

subsequentes (CONRATH, 2011). Técnica essa que pode ser aplicada em diversas espécies agrícolas (FAROOQ *et al.*, 2009), podendo ser aplicada nas sementes ou na planta. A aplicação desta técnica nas sementes, consiste na hidratação parcial, sem que ocorra a protrusão radícula, e uma posterior secagem (FAROOQ *et al.*, 2009; NAWAZ *et al.*, 2013; SINGH *et al.*, 2015). Podendo, este processo de hidratação ser realizado por meio da imersão das sementes em água (hydropriming), em soluções osmóticas (priming osmótico), químicas (priming químico) e hormonal (priming hormonal) (NAWAZ *et al.*, 2013; LI; LIU, 2016).

De acordo com Singh *et al.* (2015), o hydropriming das sementes, com ou sem desidratação, melhoram a germinação e emergência das plântulas sob estresse ou não. A superação do estresse abiótico, também pode ocorrer mediada a aplicação do priming hormonal, a base de ácido giberélico (GA<sub>3</sub>), que segundo Piotrowska e Bajguz (2011) podem minimizar os efeitos deletérios da salinidade e deficiência hídrica em algumas culturas, melhorando a germinação e o crescimento da planta.

Objetivou-se com esta pesquisa avaliar o uso do hydropriming e do priming hormonal (GA<sub>3</sub>), como uma ferramenta para melhorar a tolerância de dois genótipos de sorgo granífero, um tolerante e um sensível, aos estresses hídrico e salino durante a fase germinativa e de crescimento das plântulas.

## 4.2 Material e Métodos

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Análise de Sementes, da Universidade Federal do Ceará. As sementes analisadas foram oriundas da cultivar BRS 330 e da linhagem 201420 (L-20), que após análises preliminares demonstraram ser, respectivamente, a mais e a menos tolerante ao estresse hídrico e salino, durante a fase inicial da cultura.

### Teste de Germinação

As sementes utilizadas no experimento passaram pelo processo de desinfestação, por meio da imersão das sementes durante 5 minutos em hipoclorito de sódio a 2% e, em seguida, lavadas em água corrente por 2 minutos, para retirada do resíduo da solução desinfetante. Posteriormente, as sementes foram secas sobre papel toalha, a temperatura ambiente, durante 2 horas.

Após a secagem, as sementes de cada genótipo foram divididas em 5 recipientes plásticos, onde foram submetidas ao processo de hidratação parcial, durante 2 horas, em um ambiente escuro, com temperatura ajustada a 25°C. A hidratação das sementes se deu por meio, da imersão nos seguintes tratamentos: testemunha - sem imersão; hydropriming – em água destilada; e nas soluções preparada a base de ácido giberélico (GA<sub>3</sub>), com 95 % de pureza, diluído em água destilada, nas concentrações de 50, 75 e 100 mg/L. Ao término do período de hidratação, as sementes foram distribuídas entre folhas de papéis toalha, permaneceram secando por 24 horas, a temperatura ambiente.

As sementes tratadas foram semeadas sob três condições: controle, em que o substrato foi umedecido com água destilada; condição de estresse hídrico, simulado por meio do umedecimento do substrato com solução osmótica, ajustada a -0,6 MPa, obtida por meio da diluição do polietilenoglicol 6000 (PEG) em água destilada, sendo a quantidade de PEG determinada por meio de valores tabelados por Villela; Doni Filho e Sequeira (1991); e a terceira condição avaliada foi a salina, simulada mediante a aplicação da solução salina, na concentração de 20 dS m<sup>-1</sup>, ajustada por meio da diluição do cloreto de sódio (NaCl) em água destilada, em que a quantidade de NaCl foi determinado com base na equação de Rhoades *et al.* (1992).

Logo, cada genótipo foi submetido a 15 tratamentos, formados pelo arranjo dos 5 tratamentos aplicados as sementes, combinado com as 3 condições de semeadura. Sendo cada tratamento constituído de 200 sementes, subdividido em 4 repetições de 50 sementes,

distribuídas em rolos de papéis Germitest®, que ao final foram revestidos por sacos plásticos transparentes, para redução perda de água. Os rolos foram acondicionados, verticalmente, em câmara B.O.D., durante 10 dias, com temperatura ajustada a  $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ , e fotoperíodo de 12 horas de luz e 12 horas de escuro.

O efeito do tratamento das sementes sob a tolerância as condições de estresse hídrico e salino, foram avaliadas por meio das seguintes variáveis:

Porcentagem de Germinação (PG):

No décimo de dia de incubação foi quantificado o número de sementes germinadas, utilizando como critério a formação de plântulas normais, conforme definições de Brasil (2009), sendo o resultado final expresso em porcentagem, utilizando a fórmula abaixo:

$$PG = \frac{NG}{NS} \times 100 \quad (1)$$

PG – Porcentagem de germinação, em %;

NG – Número de sementes que conseguiram formar plântulas normais;

NS – Número de sementes semeadas.

Índice de Velocidade de Germinação (IVG):

Após a instalação do teste, foram contabilizadas durante 10 dias o número sementes germinadas por dia, por meio da equação proposta por Maguire (1962):

$$IVG = \frac{NG_1}{N_1} + \frac{NG_2}{N_2} + \dots + \frac{NG_i}{N_i} \quad (2)$$

NG (1, 2, ..., i) = Número de sementes germinadas, contabilizadas na primeira, na segunda ..... e última contagem;

N(1, 2, ..., i) = Número de dias da semeadura à primeira, à segunda ..... e à última contagem.

Tempo Médio de Germinação (TMG):

Com base na contagem diária das sementes germinadas, também foi calculado o tempo médio de germinação, pela seguinte fórmula, estabelecida por Labouriau (1983):

$$TMG = \frac{[(NG_1 \times N_1) + (NG_2 \times N_2) + \dots + (NG_i \times N_i)]}{(NG_1 + NG_2 + \dots + NG_i)} \quad (3)$$

Comprimento radicular CR e da Parte Aérea CPA:

Com o auxílio de uma régua, graduada em mm, foi realizado as medições do comprimento das radículas e da parte aérea de 15 plântulas retiradas aleatoriamente, de cada rolo, após 10 dias de incubação. Sendo o resultado final do CR e do CPA o valor médio das medições.

Relação CR/CPA:

O efeito dos tratamentos sob o crescimento relativo do crescimento do sistema radicular, em relação ao da parte aérea foi determinado por meio da divisão do CR pelo CPA.

Delineamento e Análise Estatística

O experimento foi montado no delineamento inteiramente casualizado. Sendo a análise do efeito dos tratamentos sob os genótipos analisadas separadamente. Os tratamentos aplicados nos dois genótipos foram formados no esquema fatorial 5 (testemunha, hydropriming, 50, 75 e 100 mg/L)  $\times$  3 (controle, estresse hídrico e salino). Os resultados das variáveis analisadas foram submetidos à análise de variação (ANOVA) e quando apresentaram diferença significativa, foram submetidas ao teste de Tukey, ao nível de 5% de significância, para comparação das médias, utilizando software estatístico SISVAR, versão 5.6. A representação gráfica dos resultados feita no programa SigmaPlot 11.0.

### **4.3 Resultados e Discussão**

As variáveis analisadas durante a germinação e crescimentos inicial do genótipo BRS 330, diferiram com relação a resposta a interação dos tratamentos das sementes e as condições causadoras de estresse ( $P < 0,01$ ). Já no genótipo L-20, houve efeito da interação apenas para variáveis porcentagem de germinação, índice de velocidade de germinação e comprimento da parte aérea, enquanto as demais variáveis diferiram apenas entre as condições de estresse ( $P < 0,01$ ) (Tabela 1).

Tabela 1 - Análise de variância (ANOVA) do efeito dos tratamentos das sementes (T) e condições de estresse (E) sob a germinação e crescimento inicial de dois genótipos de sorgo graníferos.

BRS 330							
FV	GL	PG	IVG	TMG	CR	CPA	CR/CPA
E	2	28,23** <sup>1</sup>	370,98**	735,6**	272,15**	607,8**	51,28**
T	4	12,18**	15,14**	15,11**	17,86**	10,46**	2,44 <sup>ns</sup>
E×T	8	4,29**	4,05**	9,87**	6,88**	13,01**	8,39**
CV%		10,45	10,49	4,64	7,04	7,58	14,66
L-20							
FV	GL	PG	IVG	TMG	CR	CPA	R/PA
E	2	55,43**	375,96**	81,23**	85,97**	1.309**	25,44**
T	4	27,86**	16,13**	0,47 <sup>ns</sup>	17,29**	14,33**	0,57 <sup>ns</sup>
E×T	8	13,04**	3,55**	0,87 <sup>ns</sup>	0,72 <sup>ns</sup>	17,91**	1,62 <sup>ns</sup>
CV%		15,31	17,10	18,31	14,32	9,22	36,37

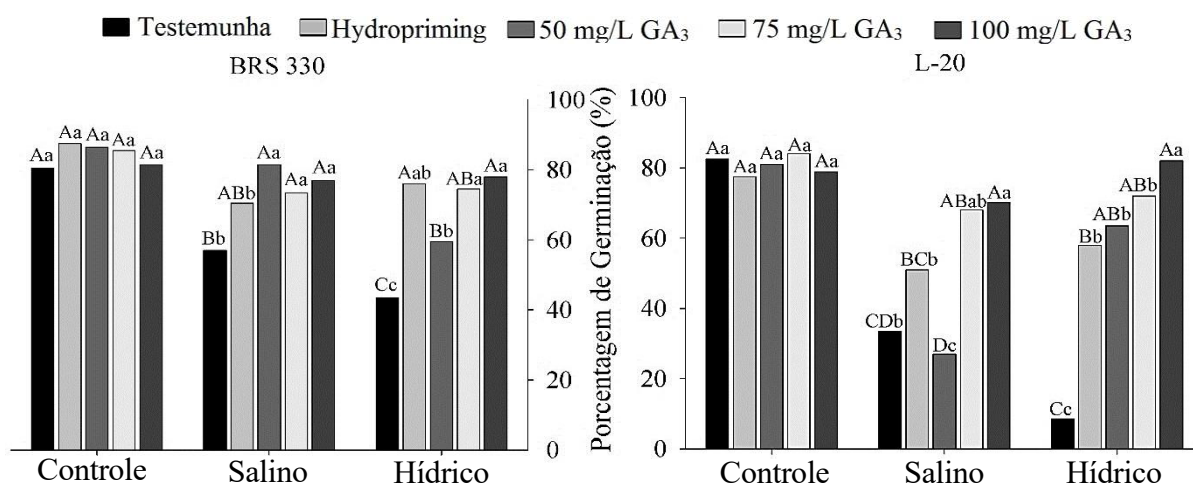
Fonte: Elaborada pelo autor.

\*\* Significância ao nível de 1% de probabilidade, <sup>1</sup>-F-valor; ns= não apresentou diferença significativa.

FV=Fonte de Variância; GL= Grau de Liberdade; CV=Coefficiente de Variação; PG=Porcentagem de Germinação; IVG=Índice de Velocidade de Germinação; TMG=Tempo Médio de Germinação; CR=Comprimento da Radícula; CPA= Comprimento da Parte Aérea; e CR/CPA=Relação entre o crescimento radicular e da parte aérea.

A germinação sob a condição controle não diferiu com relação aos tratamentos aplicados às sementes dos dois genótipos, porém quando submetidas às condições de estresse hídrico e salino, as sementes que não passaram por nenhum tratamento (testemunha), foram as que apresentaram os menores percentuais de germinação, principalmente o genótipo L-20 (Figura 1). As sementes tratadas via priming hormonal com GA<sub>3</sub> na concentração de 100 mg/L, foram as que apresentaram o maior percentual de germinação nas condições de estresse, além de não diferirem do resultado da condição controle, em ambos os genótipos, demonstrando, que esse tratamento melhora a germinação em condições de estresse hídrico e salino.

Figura 1 - Efeito do hydropriming e do priming hormonal na germinação dos genótipos de sorgo granífero (BRS e L-20), sob as condições de estresse salino e hídrico.



Fonte: Elaborada pelo autor.

\*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, dentro da condição de estresse, e pela mesma letra minúscula, entre os níveis de estresses, não diferiram entre si quando comparada pelo teste de Tukey, ao nível de ( $P < 0,05$ ).

Todos os tratamentos aplicados às sementes proporcionaram o aumento do percentual de germinação dos genótipos, sob as condições de estresse, com exceção do hydropriming e da concentração de 50 mg/L de GA<sub>3</sub> (L-20), que sob o estresse salino não diferiram da testemunha.

Os resultados desta pesquisa corroboram com Sheykhbaglou *et al.* (2014), que verificaram o aumento da germinação das sementes de sorgo, sob estresse, quando tratadas via priming hormonal com GA<sub>3</sub> e ácido salicílico, na concentração de 50 ppm, 24 horas, proporcionam o aumento de 15 a 20% superior as sementes que não foram tratadas. No entanto, essas diferenças foram inferiores as verificadas para os genótipos BRS 330 e L-20 (Figura 1), principalmente no mais sensível (L-20), que sob estresse a diferença entre a testemunha e as sementes tratadas com 100 mg/L GA<sub>3</sub>, foi de aproximadamente 65%, sendo este melhor desempenho a maior concentração GA<sub>3</sub>, que proporcionou também a redução do tempo de tratamento.

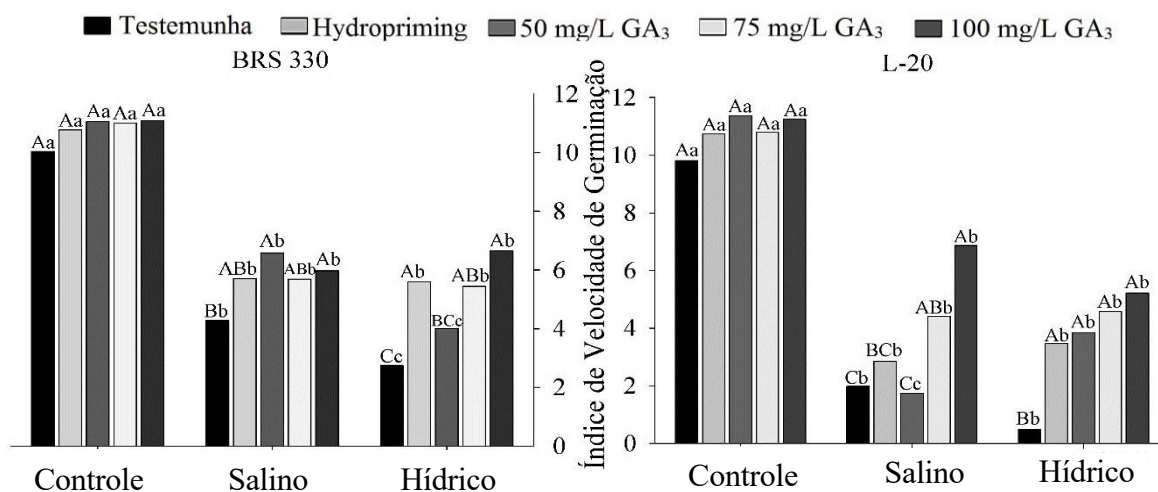
O aumento da germinação do sorgo, em condição sub-ótima de umidade, de acordo com Zhang *et al.* (2015), também pode ser alcançado mediante a aplicação do priming osmótico a base de PEG 8000, por 48 horas, a 18°C, seguido da secagem lenta a 20°C, até a semente atingir o teor de água igual ao iniciado (ZHANG *et al.*, 2015). Porém, o tratamento das sementes de sorgo granífero por meio do priming hormonal, com GA<sub>3</sub>, demonstra ser uma forma mais

prática e rápida de garantir a manutenção da germinação sob as condições de estresse.

Sob condições de estresse abiótico, assim como no sorgo, diferentes priming podem favorecer a preservação da germinação, bem como foi comprovado por Khan *et al.* (2015), que verificaram que o hydropriming, o priming hormonal (com GA<sub>3</sub> e Cycocel®) e o salino (com KNO<sub>3</sub> e KCl) proporcionam a maior germinação de diferentes variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.), cultivadas em solo sódico. A diversidade de priming que melhora a germinação, sob estresse abiótico, representa uma ferramenta importante na escolha do método mais viável, acessível, prático e eficiente para cada cultura.

O priming hormonal com GA<sub>3</sub>, também favoreceu o aumento do índice de velocidade de germinação, sendo as sementes tratadas nas concentrações de 75 e 100 mg/L, as que apresentaram maiores médias, para ambos os genótipos, nas condições de estresse salino e hídrico. No entanto, na condição controle não houve diferença entre os tratamentos, mas foi a condição onde foram observadas as maiores médias (Figura 2).

Figura 2 - Efeito do hydropriming e do priming hormonal no índice de velocidade de germinação dos dois genótipos de sorgo granífero sob as condições de estresse salino e hídrico.



Fonte: Elaborada pelo autor.

\*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, dentro da condição de estresse, e pela mesma letra minúscula, entre os níveis de estresses, não diferiram entre si quando comparada pelo teste de Tukey, ao nível de ( $P < 0,05$ ).

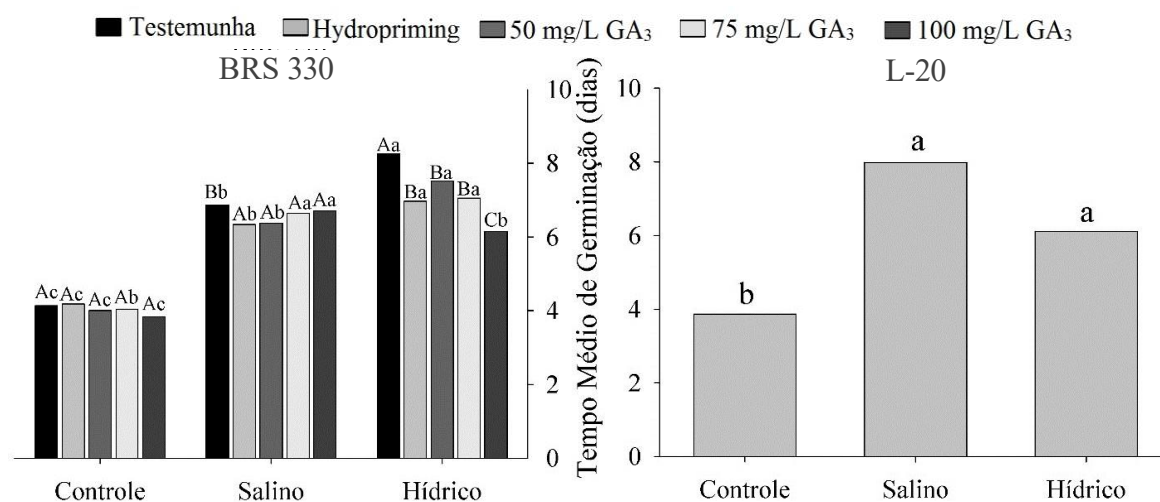
A germinação mais rápida, sob o estresse salino e hídrico, pode estar relacionada a maior atividade metabólica das sementes antes da germinação, já que segundo Nawaz *et al.* (2013), este é um dos mecanismos ativado pelo priming para melhorar o processo germinativo. Nos cereais, ocorre devido à ativação enzimática da  $\alpha$ -amilase, responsável pela hidrólise do amido e nutrição do embrião (KHAN *et al.*, 2015), sendo o GA<sub>3</sub> responsável pela ativação desta

enzima (TAIZ; ZEIGER, 2013).

De acordo com Younesi e Moradi (2015), o priming com GA<sub>3</sub> e com NaCl promovem a ativação de alguns processos metabólicos ligado a germinação, mesmo em condição de baixo potencial, que consequente, acelera o processo de germinação. Assim como foi comprovado por Aghbolaghi e Sedghi (2014) para cultura do milho [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] tratadas com priming osmótico (PEG) e hormonal (ácido salicílico). Logo, diferentes tipos de priming podem contribuir para tornar o processo germinativo mais rápido em condições de estresse, assim como o priming hormonal com GA<sub>3</sub>, para cultura do sorgo granífero.

As condições de estresse hídrico e salino, provocaram o aumento do tempo médio de germinação, porém, o hydropriming e priming hormonal aplicadas as sementes do genótipo BRS 330, proporcionaram a redução tempo médio com relação as testemunhas. No entanto, sob a condição controle não houve diferença entre os tratamentos, assim como, os tratamentos das sementes não influenciaram no tempo médio de germinação do L-20, em nenhuma das condições avaliadas (Figura 3).

Figura 3 - Efeito do hydropriming e do priming hormonal no tempo médio de germinação de dois genótipos de sorgo granífero, sob as condições de estresse salino e hídrico.



Fonte: Elaborada pelo autor.

\*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, dentro da condição de estresse, e pela mesma letra minúscula, entre os níveis de estresses, não diferiram entre si quando comparada pelo teste de Tukey, ao nível de ( $P < 0,05$ ).

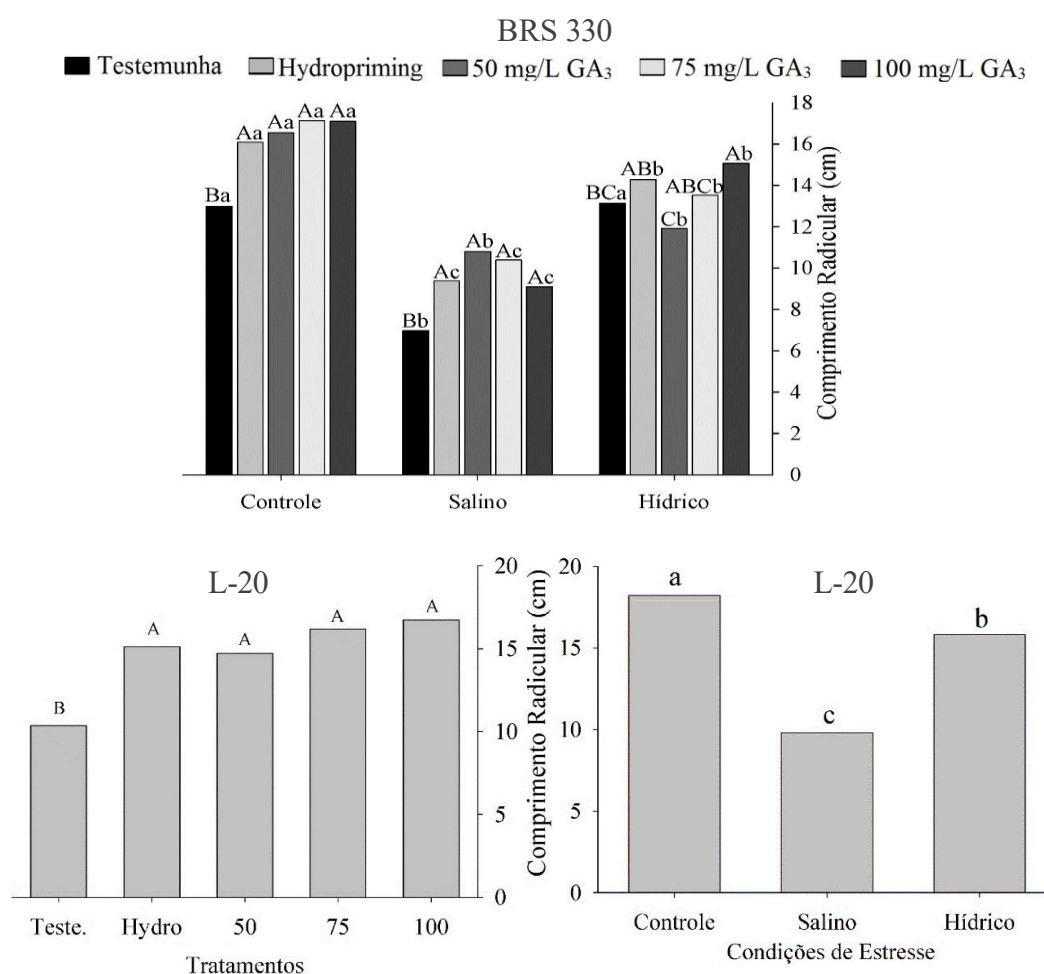
As numerosas variações da técnica do priming tem se mostrado eficiente na redução do tempo médio de germinação, sob as condições de estresse, como hydropriming e o priming com silicato de sódio para o trigo (*Triticum aestivum* L.) (HAMEED *et al.*, 2013), o priming osmótico com PEG e priming hormonal com ácido salicílico, para o milho

(AGHBOLAGHI; SEDGHI, 2014) e o priming com  $\text{KNO}_3$ , PEG e espermina para o arroz (ZHANG *et al.*, 2015), assim como também verificado para o genótipo BRS 330.

Porém, o fato do priming ter reduzido apenas o tempo de germinação de um dos genótipos de sorgo granífero, pode estar relacionado a diferença entre a capacidade de tolerar as condições. Já que o priming aplicado as sementes do genótipo mais tolerante (BRS 330), conseguiu reduzir o tempo médio, mas não reduziu o do genótipo mais sensível (L-20), que provavelmente necessita de um estímulo maior como maiores concentrações ou tempo de exposição aos tratamentos para melhorar o tempo médio de germinação sob as condições de estresse.

O priming também promoveu o maior crescimento do sistema radícula das plântulas, principalmente, sob a condição controle que demonstrou ser a mais favorável ao crescimento. Porém, quanto ao crescimento radicular do genótipo BRS 330, sob estresse hídrico, somente as sementes tratadas com 100 mg/L de  $\text{GA}_3$ , apresentaram crescimento radicular superior a testemunha (Figura 4).

Figura 4 - Efeito do hydropriming e priming hormonal no crescimento radicular dos dois genótipos de sorgo granífero, sob as condições de estresse hídrico e salino.



Fonte: Elaborada pelo autor.

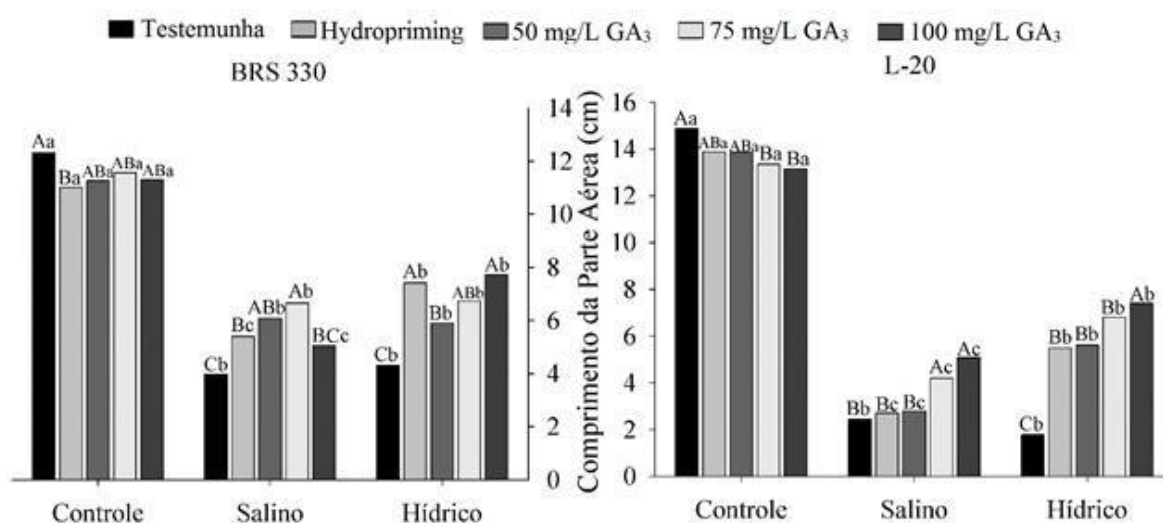
\*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, dentro da condição de estresse, e pela mesma letra minúscula, entre os níveis de estresses, não diferiram entre si quando comparada pelo teste de Tukey, ao nível de ( $P < 0,05$ ).

O maior crescimento radicular das plântulas, sob as condições de seca e salinidade, está associada a ampliação da área de captação, que sua melhor a aquisição de água e a produtividade (COMAS *et al.*, 2013). Diante disso, podemos afirmar que o priming aplicado as sementes de sorgo granífero, principalmente priming hormonal com 100 mg/L de GA<sub>3</sub>, pode melhorar a captação de água, em ambiente com ou sem estresse.

Assim como, o priming hormonal com GA<sub>3</sub> e com salicílico melhoraram o crescimento radicular do trigo, sob estresse salino (BAHRANI; POURREZA, 2012), da mesma forma que o priming com KNO<sub>3</sub> e uréia, promoveram o maior crescimento radicular do híbrido de milho zola, máxima, sc704 e sc304, sob diferente níveis de estresse hídrico e salino. Zhang *et al.*, (2015) e Nasibi *et al.*, (2016) afirmam esse maior crescimento das plântulas se deve ao efeito dos diferentes tipos de priming, no aumento da atividade das enzimas antioxidantes, que aliviam os danos dos estresses, podendo melhorar o crescimento da raízes e parte aérea da planta. Além disso, a aplicação exógena de hormônios de crescimento colabora na normalização das atividades metabólicas.

Com relação ao crescimento da parte aérea dos genótipos BRS 330 e L-20, sob estresse hídrico e salino, as plântulas oriundas de sementes tratadas via hydropriming e priming hormonal apresentaram maior comprimento, comparada a testemunha, com exceção do efeito do hydropriming e o tratamento 50 mg/L GA<sub>3</sub> aplicados as sementes do L-20, que não diferiram significativamente da testemunha sob estresse salino. Na condição controle, o hydropriming causou a redução do crescimento da parte aérea do BRS 330, do mesmo modo que, o priming hormonal com 75 e 100 mg/L GA<sub>3</sub> reduziram o do L-20, apesar disso, as maiores médias foram verificadas sob a condição controle (Figura 5).

Figura 5 - Efeito do hydropriming e priming hormonal no crescimento da parte aérea dos genótipos de sorgo granífero, sob as condições de estresse hídrico e salinos.



Fonte: Elaborada pelo autor.

\*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, dentro da condição de estresse, e pela mesma letra minúscula, entre os níveis de estresses, não diferiram entre si quando comparada pelo teste de Tukey, ao nível de ( $P < 0,05$ ).

O priming hormonal com diferentes reguladores do crescimento como GA<sub>3</sub>, citocinina, auxína, ácido jasmônico e salicílico melhoram o crescimento e o desenvolvimento das plântulas, em ambientes com ou sem estresse (JAVID *et al.*, 2011; SINGH *et al.*, 2015). Porém, a aplicação do GA<sub>3</sub>, não melhorou o crescimento da parte aérea das plântulas de sorgo granífero, formadas sob a condição sem estresse, principalmente as do genótipo L-20, tratamentos com 75 e 100 mg/L.

Apesar disso, os tratamentos aplicados as sementes do L-20, não modificaram significativamente a razão entre o crescimento radicular e o da parte aérea (Tabela 2), sendo a condição de estresse o único fator responsável pela diferença, nas quais as maiores médias foram observadas sob os estresses salino e hídrico, indicando que sob estresses, as plântulas alteram o padrão de crescimento, passando a inverti mais no crescimento radicular. No entanto, as sementes do BRS 330, quando tratadas com 100 mg/L de GA<sub>3</sub>, não apresentaram diferença nas distintas condições de estresse.

Tabela 2 - Efeito do hydropriming e priming hormonal sob a relação entre o crescimento radicular e o da parte aérea dos dois genótipos de sorgo granífero, sob as condições de estresse hídrico e salinos.

	BRS 330				L-20			
	Controle	Salino	Hídrico	Média	Controle	Salino	Hídrico	Média
Teste.	1,06 Ac	1,73 Ab	3,18 Aa	1,98	0,99	2,67	4,5	2,72 A
Hydro.	1,46 Ac	1,74 Aab	1,95 Ba	1,72	1,39	3,46	3,08	2,64 A
50	1,47 Ab	1,78 Aab	2,02 Ba	1,76	1,34	3,41	2,95	2,57 A
75	1,48 Ab	1,56 Ab	2,03 Ba	1,69	1,43	2,84	3,02	2,43 A
100	1,51 Aa	1,80 Aa	1,96 Ba	1,76	1,49	2,75	2,38	2,21 A
Média	1,39	1,72	2,23		1,33 b	3,03 a	3,19 a	

Fonte: Elaborada pelo autor.

\*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na coluna, e pela mesma letra minúscula, na linha, não diferiram entre si quando comparada pelo teste de Tukey, ao nível de ( $P < 0,05$ ).

A variação da relação entre o crescimento radicular e o da parte aérea é altamente correlacionada com as condições de estresse (ANOSHEH; SADEGHI; EMAM, 2012), e sua maior variação está relacionada a sensibilidade ao estresse (DAFFALLA *et al.*, 2014). Colaborando assim, na afirmação que o efeito do priming sob a modulação do crescimento relativo da raiz em relação a parte aérea dependente da capacidade dos genótipos tolerarem os estresses, visto que o desempenho do genótipo mais tolerante, pode ser mais facilmente melhorado pela técnica do priming.

#### 4.4 CONCLUSÕES

O priming hormonal com GA<sub>3</sub>, na concentração de 100 mg/L, melhora a germinação e o crescimento das plântulas dos genótipos de sorgo granífero sensível e do mais tolerante as condições de estresse hídrico (-0,6 MPa) ou salino (20 dS m<sup>-1</sup>).

## REFERÊNCIAS

- AGHBOLAGHI, M. A.; SEDGHI, M. The effect of osmo and hormone priming on germination and seed reserve utilization of millet seeds under drought stress. **Journal of Stress Physiology & Biochemistry**, v. 10, n. 1, p. 214–221, 2014.
- ANOSHEH, H. P.; SADEGHI, H.; EMAM, Y. Chemical priming with urea and KNO<sub>3</sub> enhances maize hybrids (*Zea mays* L.) seed viability under abiotic stress. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, v. 14, n. 4, p. 289–295, 2012.
- AWIKA, J. M.; ROONEY, L. W. Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. **Phytochemistry**, v. 65, n. 9, p. 1199–1221, 2004.
- BAHRANI, A.; POURREZA, J. Gibberellic acid and salicylic acid effects on seed germination and seedlings growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salt stress condition. **World Applied Sciences Journal**, v. 18, n. 5, p. 633–641, 2012.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Mapa/ACS, 2009.
- COMAS, L. H. et al. Root traits contributing to plant productivity under drought. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, p. 442, 2013.
- CONRATH, U. Molecular aspects of defence priming. **Trends in Plant Science**, v. 16, n. 10, p. 524–531, 2011.
- DAFFALLA, H. M. et al. Effect of seed priming on early development of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) and *Striga hermonthica* (Del.) Benth. **International Scholarly Research Notices**, v. 2014, p. 1–8, 2014.
- FAROOQ, M. et al. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 29, n. 1, p. 135–212, 2009.
- FITA, A. et al. Breeding and Domesticating Crops Adapted to Drought and Salinity: A New Paradigm for Increasing Food Production. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, p. 978, 2015.
- HAMEED, A. R. et al. Seed priming with sodium silicate enhances seed germination and seedling growth in wheat (*Triticum aestivum* L.) under water deficit stress induced by polyethylene glycol. **Pakistan Journal of Life and Social Sciences**, v. 11, n. 1, p. 19–24, 2013.
- JAVID, M. G. et al. The role of phytohormones in alleviating salt stress in crop plants. **Australian Journal of Crop Science**, v. 5, n. 6, p. 726–734, 2011.
- KHAN, A. H. et al. Effect of different seed priming treatments on germination, growth, biochemical changes and yield of wheat varieties under sodic soil. **International Journal of Science and Research**, v. 4, n. 7, p. 306–310, 2015.
- LABOURIAU, L. G. **A germinação das sementes**. Washington: Secretaria Geral da

Organização dos Estados Americanos, 1983.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2006.

LI, X.; LIU, F. Drought Stress Memory and Drought Stress Tolerance in Plants: Biochemical and Molecular Basis. *In*: HOSSAIN, M. A. et al. (Eds.). **Drought Stress Tolerance in Plants: Physiology and Biochemistry**. Switzerland: Springer Nature, 2016. p. 17–44.

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.

MUTISYA, J. et al. Diurnal oscillation of SBE expression in sorghum endosperm. **Journal of Plant Physiology**, v. 166, n. 4, p. 428–434, 2009.

NASIBI, F. et al. Seed priming with cysteine modulates the growth and metabolic activity of wheat plants under salinity and osmotic stresses at early stages of growth. **Indian Journal of Plant Physiology**, v. 21, n. 3, p. 279–286, 2016.

NAWAZ, J. et al. Seed priming: a technique. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**, v. 6, n. 20, p. 1373–1381, 2013.

OLIVEIRA, A. B.; ALENCAR, N. L.; GOMES FILHO, E. Comparison Between the Water and Salt Stress Effects on Plant Growth and Development. *In*: AKINCI, S. (Ed.). **Responses of Organisms to Water Stress**. [S. l.]: INTECH Open Access Publisher, 2013. p. 67–94.

OSAKABE, Y. et al. Response of plants to water stress. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, p. 86, 2014.

PIOTROWSKA, A.; BAJGUZ, A. Conjugates of abscisic acid, brassinosteroids, ethylene, gibberellins, and jasmonates. **Phytochemistry**, v. 72, n. 17, p. 2097–2112, 2011.

QUEIROZ, V. A. V. et al. Potencial funcional e tecnologia de processamento do sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) MOENCH], para alimentação humana. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 10, n. 3, p. 180–195, 2011.

REDDY, P. S.; PATIL, J. V. **Genetic Enhancement of Rabi Sorghum**. Chennai, India: Nikki Levy, 2015.

RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHAL, A. M. **The use of saline water for crop production**. Rome: FAO, 1992.

SHEYKHBAGLOU, R. et al. The effect of salicylic acid and gibberellin on seed reserve utilization, germination and enzyme activity of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) seeds under drought stress. **Journal of Stress Physiology & Biochemistry**, v. 10, n. 1, p. 5–13, 2014.

SINGH, H. et al. Seed priming techniques in field crops: a review. **Agricultural Reviews**, v. 36, n. 4, p. 251–264, 2015.

SOUZA, A. P. et al. Changes in whole-plant metabolism during grain-filling stage in *Sorghum bicolor* L. (Moench) grown under elevated CO<sub>2</sub> and drought. **Plant Physiology**, v.

169, n. 3, p. 1755–1765, 2015.

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

VILLELA, F. A.; DONI FILHO, L.; SEQUEIRA, E. L. Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietileno glicol 6.000 e da temperatura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 11/12, p. 1957–1968, 1991.

WATERWORTH, W. M.; BRAY, C. M.; WEST, C. E. The importance of safeguarding genome integrity in germination and seed longevity. **Journal of Experimental Botany**, v. 66, n. 12, p. 3549–3558, 2015.

YOUNESI, O.; MORADI, A. Effect of different priming methods on germination and seedling establishment of two medicinal plants under salt stress. **Cercetări Agronomice în Moldova**, v. 163, n. 3, p. 43–51, 2015.

ZHANG, F. et al. Seed priming with polyethylene glycol induces physiological changes in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) seedlings under suboptimal soil moisture environments. **PLoS ONE**, v. 10, n. 10, p. 1–15, 2015.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A variabilidade genéticas dos genótipos de sorgo representa um fator importante para produção em condição de estresse hídrico ou salino, em que a utilização de genótipos mais tolerantes proporciona melhores resultados em estágio considerado crítico para cultura, como a germinação e o crescimento inicial.

O priming hormonal com GA<sub>3</sub>, aplicada as sementes de sorgo granífero, melhora a germinação e o crescimento inicial quando semeadas em condições de estresse salino ou de déficit hídrico.

O efeito do priming hormonal com GA<sub>3</sub>, varia com aumento da concentração e a tolerância do genótipo ao estresse, sendo que em menores concentrações o aumento da tolerancia é verificado principalmente no genótipo mais tolerante. Além disso, concentrações elevadas de GA<sub>3</sub> causa efeitos deletérios, em ambos os genótipos analisados.

## REFERÊNCIAS

- AFRIGAN, A. et al. The effect of plant hormone gibberellic acid on germination indices *Secale montanum* in vitro and pot experiments under drought conditions. **Annals of Biological Research**, v. 4, n. 6, p. 1–9, 2013.
- AGHBOLAGHI, M. A.; SEDGHI, M. The effect of osmo and hormone priming on germination and seed reserve utilization of millet seeds under drought stress. **Journal of Stress Physiology & Biochemistry**, v. 10, n. 1, p. 214–221, 2014.
- AMELEWORK, B. et al. Physiological mechanisms of drought tolerance in sorghum, genetic basis and breeding methods: a review. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 31, p. 3029–3040, 2015.
- AMEZKETA, E. An integrated methodology for assessing soil salinization, a pre-condition for land desertification. **Journal of Arid Environments**, v. 67, n. 4, p. 594–606, 2006.
- ANJUM, S. A. et al. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. **African Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. 9, p. 2026–2032, 2011.
- ANOSHEH, H. P.; SADEGHI, H.; EMAM, Y. Chemical priming with urea and KNO<sub>3</sub> enhances maize hybrids (*Zea mays* L.) seed viability under abiotic stress. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, v. 14, n. 4, p. 289–295, 2012.
- AWIKA, J. M.; ROONEY, L. W. Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. **Phytochemistry**, v. 65, n. 9, p. 1199–1221, 2004.
- BACELAR, E. L. et al. Water use strategies of plants under drought conditions. *In*: AROCA, R. (Ed.). **Plant Responses to Drought Stress**. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2012. p. 145–170.
- BAFEEL, S. O. Physiological parameters of salt tolerance during germination and seedling growth of *Sorghum bicolor* cultivars of the same subtropical origin. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 21, n. 4, p. 300–304, 2014.
- BAHRANI, A.; POURREZA, J. Gibberellic acid and salicylic acid effects on seed germination and seedlings growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salt stress condition. **World Applied Sciences Journal**, v. 18, n. 5, p. 633–641, 2012.
- BENEŠOVÁ, M. et al. The physiology and proteomics of drought tolerance in Maize: Early stomatal closure as a cause of lower tolerance to short-term dehydration? **PLoS ONE**, v. 7, n. 6, p. 1–17, 2012.
- BEWLEY, J. D. et al. **Seeds: physiology of development, germination and dormancy**. 3. ed. New York: Springer, 2013.
- BLÁHA, L.; STŘEDA, T. Plant Integrity – The Important Factor of Adaptability to Stress Conditions. *In*: BOCCHIARO, P.; ZAMPERINI, A. (Eds.). **Abiotic and Biotic Stress in Plants: Recent Advances and Future Perspectives**. [S. l.]: INTECH Open Access Publisher, 2016. p. 663–687.

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

CARPICI, E. B.; CELIK, N.; BAYRAM, G. Effects of salt stress on germination of some maize (*Zea mays* L.) cultivars. **Journal of Biotechnology**, v. 8, n. 19, p. 4918–4922, 2009.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5. ed. Jaboticabal: Funep, 2012.

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

CHEN, K.; ARORA, R. Priming memory invokes seed stress-tolerance. **Environmental and Experimental Botany**, v. 94, p. 33–45, 2013.

COELHO, D. S. et al. Germinação e crescimento inicial de variedades de sorgo forrageiro submetidas ao estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 25–30, 2014.

COMAS, L. H. et al. Root traits contributing to plant productivity under drought. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, p. 442, 2013.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília: Conab, 2016.

CONRATH, U. Molecular aspects of defence priming. **Trends in Plant Science**, v. 16, n. 10, p. 524–531, 2011.

CRUICKSHANK, A. Sorghum Grain, Its Production and Uses: Overview. *In: Reference Module in Food Science*. [S. l.]: Elsevier, 2016.

DAFFALLA, H. M. et al. Effect of seed priming on early development of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) and *Striga hermonthica* (Del.) Benth. **International Scholarly Research Notices**, v. 2014, p. 1–8, 2014.

DAHLBERG, J. et al. Assessing sorghum [*Sorghum bicolor* (L) Moench] germplasm for new traits: Food, fuels & unique uses. **Maydica**, v. 56, n. 2, p. 85–92, 2011.

DALAL, M.; MAYANDI, K.; CHINNUSAMY, V. Sorghum: Improvement of Abiotic Stress Tolerance. *In: TUTEJA, N. et al. (Eds.). Improving Crop Resistance to Abiotic Stress*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2012.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. *In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (Eds.). Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados*. Fortaleza: INCT Sal, 2010. p. 129–141.

DILLON, S. L. et al. Domestication to crop improvement: genetic resources for *Sorghum* and *Saccharum* (Andropogoneae). **Annals of Botany**, v. 100, n. 5, p. 975–89, 2007.

DUQUE, A. S. et al. Abiotic Stress Responses in Plants: Unraveling the Complexity of

Genes and Networks to Survive. *In*: VAHDATI, K.; LESLIE, C. (Eds.). **Abiotic Stress: Plant Responses and Applications in Agriculture**. Croatia: INTECH Open Access Publisher, 2013. p. 49–101.

FAO. **FAOSTAT** - Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division, 2015.

FAROOQ, M. et al. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 29, n. 1, p. 135–212, 2009.

FAROOQ, M. et al. Salt stress in maize: effects, resistance mechanisms, and management. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, n. 2, p. 461–481, 2015.

FERREIRA, S. M. R. et al. Cookies sem glúten a partir da farinha de sorgo. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 59, n. 4, p. 433–440, 2009.

FIALHO, E. T. et al. Substituição do milho pelo sorgo sem tanino em rações de leitões: digestibilidade dos nutrientes e desempenho animal. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 1, p. 105–111, 2002.

FINCH-SAVAGE, W. E.; BASSEL, G. W. Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation. **Journal of Experimental Botany**, v. 67, n. 3, p. 567–591, 2016.

FITA, A. et al. Breeding and Domesticating Crops Adapted to Drought and Salinity: A New Paradigm for Increasing Food Production. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, p. 978, 2015.

FLOWERS, T. J.; FLOWERS, S. A. Why does salinity pose such a difficult problem for plant breeders?. **Agricultural Water Management**, v. 78, n. 1–2, p. 15–24, 2005.

GILL, S. S. et al. Abiotic Stress Signaling in Plants – An Overview. *In*: TUTEJA, N.; GILL, S. S. (Eds.). **Abiotic Stress Response in Plants**. 4. ed. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2016. p. 3–12.

GOVINDARAJ, M. et al. Simple, rapid and cost effective screening method for drought resistant breeding in pearl millet. **Electronic Journal of Plant Breeding**, v. 1, n. 4, p. 590–599, 2010.

GUPTA, B.; HUANG, B. Mechanism of Salinity Tolerance in Plants: Physiological, Biochemical, and Molecular Characterization. **International Journal of Genomics**, v. 2014, p. 1–19, 2014.

HAKIM, M.; JURAIMI, A.; BEGUM, M. Effect of salt stress on germination and early seedling growth of rice (*Oryza sativa* L.). **African Journal of Biotechnology**, v. 9, n. 13, p. 1911–1918, 2010.

HAMEED, A. R. et al. Seed priming with sodium silicate enhances seed germination and seedling growth in wheat (*Triticum aestivum* L.) under water deficit stress induced by polyethylene glycol. **Pakistan Journal of Life and Social Sciences**, v. 11, n. 1, p. 19–24, 2013.

HOORN, J. W. V. Development of soil salinity during germination and early seedling growth and its effect on several crops. **Agricultural Water Management**, v. 20, n. 1, p. 17–28, 1991.

JAVID, M. G. et al. The role of phytohormones in alleviating salt stress in crop plants. **Australian Journal of Crop Science**, v. 5, n. 6, p. 726–734, 2011.

JISHA, K. C.; VIJAYAKUMARI, K.; PUTHUR, J. T. Seed priming for abiotic stress tolerance: An overview. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 35, n. 5, p. 1381–1396, 2013.

KAPPES, C. et al. Germinação, vigor de sementes e crescimento de plântulas de milho sob condições de déficit hídrico. **Scientia Agraria**, v. 11, n. 2, p. 125, 2009.

KHAN, A. H. et al. Effect of different seed priming treatments on germination, growth, biochemical changes and yield of wheat varieties under sodic soil. **International Journal of Science and Research**, v. 4, n. 7, p. 306–310, 2015.

KHODARAHMPOUR, Z. Evaluation of drought and salinity stress effects on germination and early growth of two cultivars of maize (*Zea mays* L.). **African Journal of Biotechnology**, v. 7, n. 12, p. 1926–1930, 2012.

LABOURIAU, L. G. **A germinação das sementes**. Washington: Secretaria Geral da Organização dos Estados Americanos, 1983.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2006.

LÄUCHLI, A.; GRATTAN, S. R. Plant Abiotic Stress: Salt. *In*: **Encyclopedia of Agriculture and Food Systems**. 2014. p. 313–329.

LI, X.; LIU, F. Drought Stress Memory and Drought Stress Tolerance in Plants: Biochemical and Molecular Basis. *In*: HOSSAIN, M. A. et al. (Eds.). **Drought Stress Tolerance in Plants: Physiology and Biochemistry**. Switzerland: Springer Nature, 2016. p. 17–44.

LIMA, J. M. et al. Physiological, anatomical and transcriptional alterations in a rice mutant leading to enhanced water stress tolerance. **AoB PLANTS**, v. 7, p. 1–19, 2015.

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.

MAHAJAN, S.; TUTEJA, N. Cold, salinity and drought stresses: an overview. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 444, n. 2, p. 139–158, 2005.

MAITI, R. Root responses are indicators for salinity and drought stress in crops. **International Journal of Bio-resource and Stress Management**, v. 3, n. 3, 2012.

MAITI, R. K.; SATYA, P. Research advances in major cereal crops for adaptation to abiotic stresses. **GM Crops & Food**, v. 5, n. 4, p. 259–279, 2014.

MANONMANI, M. V; BEGUM, A. J.; JAYANTHI, M. Halo priming of seed. **Research Journal of Seed Science**, v. 7, n. 1, p. 1–13, 2014.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2005.

MISHRA, A. K.; SINGH, V. P. A review of drought concepts. **Journal of Hydrology**, v. 391, n. 1-2, p. 202–216, 2010.

MISRA, A. K. Climate change and challenges of water and food security. **International Journal of Sustainable Built Environment**, v. 3, p. 153–165, 2014.

MOTERLE, L. M. et al. Germinação de sementes e crescimento de plântulas de cultivares de milho-pipoca submetidas ao estresse hídrico e salino. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 3, p. 169–176, 2006.

MUTISYA, J. et al. Diurnal oscillation of SBE expression in sorghum endosperm. **Journal of Plant Physiology**, v. 166, n. 4, p. 428–434, 2009.

NASIBI, F. et al. Seed priming with cysteine modulates the growth and metabolic activity of wheat plants under salinity and osmotic stresses at early stages of growth. **Indian Journal of Plant Physiology**, v. 21, n. 3, p. 279–286, 2016.

NAWAZ, J. et al. Seed priming: a technique. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**, v. 6, n. 20, p. 1373–1381, 2013.

OLIVEIRA, A. B.; ALENCAR, N. L.; GOMES FILHO, E. Comparison Between the Water and Salt Stress Effects on Plant Growth and Development. *In*: AKINCI, S. (Ed.). **Responses of Organisms to Water Stress**. [S. l.]: INTECH Open Access Publisher, 2013. p. 67–94.

OLIVEIRA, A. B.; GOMES-FILHO, E. Germinação e vigor de sementes de sorgo forrageiro sob estresse hídrico e salino. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 3, p. 48–56, 2009.

OSAKABE, Y. et al. Response of plants to water stress. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, p. 86, 2014.

PARIDA, A. K.; DAS, A. B. Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 60, n. 3, p. 324–349, 2005.

PARIHAR, P. et al. Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, p. 4056–4075, 2015.

PATADE, V. Y.; BHARGAVA, S.; SUPRASANNA, P. Halo priming imparts tolerance to salt and PEG induced drought stress in sugarcane. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 134, n. 1–2, p. 24–28, 2009.

PATANÈ, C.; SAITA, A.; SORTINO, O. Comparative Effects of Salt and Water Stress on Seed Germination and Early Embryo Growth in Two Cultivars of Sweet Sorghum. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 199, n. 1, p. 30–37, 2013.

PEDROTTI, A. et al. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 1308–1324, 2015.

PIOTROWSKA, A.; BAJGUZ, A. Conjugates of abscisic acid, brassinosteroids, ethylene, gibberellins, and jasmonates. **Phytochemistry**, v. 72, n. 17, p. 2097–2112, 2011.

QUEIROZ, A. P. L. B. et al. Composição bromatológica, energia metabolizável e digestibilidade de nitrogênio e extrato etéreo de amostras de milho e sorgo para frangos de corte em diferentes idades. **Veterinária Notícias**, Uberlândia, v. 21, n. 1, p. 30–40, 2015.

QUEIROZ, V. A. V. et al. Potencial funcional e tecnologia de processamento do sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) MOENCH] para alimentação humana. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 10, n. 3, p. 180–195, 2011.

REDDY, P. S.; PATIL, J. V. **Genetic Enhancement of Rabi Sorghum**. Chennai, India: Nikki Levy, 2015.

RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHAL, A. M. **The use of saline water for crop production**. Rome: FAO, 1992.

RIBAS, P. M. **Sorgo: introdução e importância econômica**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. (Documentos, 26).

RIZWAN, M. et al. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of drought and salt stress in plants: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, p. 13603–13619, 2015.

ROONEY, W. L. et al. Designing sorghum as a dedicated bioenergy feedstock. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 1, p. 147–157, 2007.

SHADDAD, M. A. K.; ABD EL-SAMAD, H. M.; MOSTAFA, D. Role of gibberellic acid (GA3) in improving salt stress tolerance of two wheat cultivars. **Global Science Research Journals**, v. 1, n. 1, p. 1–8, 2013.

SHAO, H. B. et al. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus Biologies**, v. 331, n. 3, p. 215–225, 2008.

SHEYKHBAGLOU, R. et al. The Effect of Salicylic Acid and Gibberellin on Seed Reserve Utilization, Germination and Enzyme Activity of Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) Seeds Under Drought Stress. **Journal of Stress Physiology & Biochemistry**, v. 10, n. 1, p. 5–13, 2014.

SILVA, A. F. et al. **Sorgo Granífero: Estenda sua Safrinha com Segurança**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2015.

SILVA, J. V. et al. Crescimento e osmorregulação em dois genótipos de sorgo submetidos a estresse salino. **Revista Ciência Agronômica**, v. 34, n. 2, p. 125–131, 2003.

SILVA, K. J. et al. Selection of sorghum hybrids cultivated in summer in three locations. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 1, p. 44–53, 2013.

SINGH, H. et al. Seed priming techniques in field crops: a review. **Agricultural Reviews**, v. 36, n. 4, p. 251–264, 2015.

SOUZA, A. P. et al. Changes in Whole-Plant Metabolism During Grain-Filling Stage in *Sorghum bicolor* L. (Moench) Grown Under Elevated CO<sub>2</sub> and Drought. **Plant Physiology**, v. 169, n. 3, p. 1755–1765, 2015.

STEFOSKA-NEEDHAM, A. et al. Sorghum: An Underutilized Cereal Whole Grain with the Potential to Assist in the Prevention of Chronic Disease. **Food Reviews International**, v. 31, n. 4, p. 401–437, 2015.

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

TUBEROSA, R. Phenotyping for drought tolerance of crops in the genomics era. **Frontiers in Physiology**, v. 3, p. 1–26, 2012.

VILLELA, F. A.; DONI FILHO, L.; SEQUEIRA, E. L. Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietileno glicol 6.000 e da temperatura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 11/12, p. 1957–1968, 1991.

WANG, C. et al. Influence of water stress on endogenous hormone contents and cell damage of maize seedlings. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 50, n. 4, p. 427–434, 2008.

WANISKA, R. D.; ROONEY, L. W.; MCDONOUGH, C. M. Utilization. *In*: **Reference Module in Food Science**. [S. l.]: Elsevier, 2016.

WATERWORTH, W. M.; BRAY, C. M.; WEST, C. E. The importance of safeguarding genome integrity in germination and seed longevity. **Journal of Experimental Botany**, v. 66, n. 12, p. 3549–3558, 2015.

WET, J. M. J. Systematics and evolution of sorghum Sect. Sorghum (Gramineae). **American Journal of Botany**, v. 65, p. 477–484, 1978.

XIA, X. J. et al. Interplay between reactive oxygen species and hormones in the control of plant development and stress tolerance. **Journal of Experimental Botany**, v. 66, n. 10, p. 2839–2856, 2015.

YOUNESI, O.; MORADI, A. Effect of different priming methods on germination and seedling establishment of two medicinal plants under salt stress. **Cercetări Agronomice în Moldova**, v. 163, n. 3, p. 43–51, 2015.

YOUNESI, O.; MORADI, A. Effect of priming of seeds of *Medicago sativa* “Bami” with gibberellic acid on germination, seedlings growth and antioxidant enzymes activity under salinity stress. **Journal of Horticultural Research**, v. 22, n. 2, p. 167–174, 2014.

ZHANG, F. et al. Seed priming with polyethylene glycol induces physiological changes in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) seedlings under suboptimal soil moisture environments. **PLoS ONE**, v. 10, n. 10, p. 1–15, 2015.

ZHAO, Y.; LU, Z.; HE, L. Effects of saline-alkaline stress on seed germination and seedling growth of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 173, p. 1680–1691, 2014.