



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
CURSO DE AGRONOMIA**

JESIMIEL DA SILVA VIANA

**TOLERÂNCIA À SALINIDADE DE SEMENTES DE SORGO TRATADAS COM
PLASMA FRIO**

FORTALEZA

2017

JESIMIEL DA SILVA VIANA

TOLERÂNCIA À SALINIDADE DE SEMENTES DE SORGO TRATADAS COM
PLASMA FRIO

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de engenheiro agrônomo.

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)

V667t Viana, Jesimiel da Silva.

Tolerância à salinidade de sementes de sorgo tratadas com plasma frio / Jesimiel da Silva Viana. – 2017.
37 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2017.

Orientação: Prof. Dr. Sebastião Medeiros Filho.

1. Germinação. 2. Estresse. 3. Sorghum bicolor. I. Título.

CDD 630

JESIMIEL DA SILVA VIANA

TOLERÂNCIA A SALINIDADE DE SEMENTES DE SORGO TRATADAS COM
PLASMA FRIO

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de engenheiro agrônomo.

Aprovada em: 28/11/2017

BANCA EXAMINADORA

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

Prof. Dr. Fabiano André Narciso Fernandes
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng. Agrônoma Dra. Elizita Maria Teófilo
Pesquisadora da Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng. Agrônomo MSc Charles Lobo Pinheiro
Doutorando em Agronomia/Fitotecnia (UFC)

Dedico

A Deus.

Aos meus pais, Joel Viana e Francisca
Esmerina da Silva, amigos e professores que
contribuíram significativa em minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus por conceder-me o dom da vida e por nunca ter me desamparado nos momentos mais difíceis que já passei;

Aos meus pais, Joel Viana e Francisca Esmerina da Silva, pelo o apoio incondicional e por fazer do meu sonho o deles;

Aos meus familiares, Jamille Bastos e Rozilene Viana, pelo os momentos bons vivenciados;

A minha afilhada, Anna Lais Bastos, por fazer dos meus dias os melhores;

Aos professores do ensino fundamental e médio, Samid Rocha, Rita Luiza Braga, Rita Viana, Marcos Weyne, Izoneide Magalhães, Simone Forte, Graça, que além das matérias curriculares obrigatórias me ensinaram a matéria mais importante: a vida.

Agradeço também a todos os professores da Universidade Federal do Ceará, que contribuíram significativamente para minha formação como profissional e como pessoa.

Ao Professor Sebastião Medeiros Filho pelos os ensinamentos, confiança e orientação;

A pesquisadora Elizita Maria Teófilo por suas orientações e ensinamentos;

Ao Prof. Fabiano Fernandes pela oportunidade de trabalhar na linha de pesquisa cujo tema está em minha monografia e por integrar a banca;

A todos os que compõem a equipe do Laboratório de Análise de Sementes: Charles, Selma, Regina, Silvana, Marcos, Kayanne, Kelly, Hellem, Liliane, Halina, Raimundo, João, Salete, Luci, pelos os momentos de descontração e ensinamentos.

Agradeço aos meus amigos: Maria Fgenia, Sharon Gomes, Julia Queirós, Leonardo Formiga, Rubens Zimmerman, Idayanne Souza e Matheus Carlos, por serem bons e verdadeiros amigos, por termos compartilhado momentos bons e ruins ao longo do curso;

E por fim agradeço a Jeanne Oliveira, Wellington Ramos, Gleislla Soares, Elielson Viana e Eudes Doca, pelo apoio e pela longa amizade compartilhada.

A todos o meu muito obrigado!

“O que sabemos é uma gota; o que ignoramos
é um oceano.”

Isaac Newton

RESUMO

Na agricultura a obtenção de sementes de qualidade é de fundamental importância para o sucesso da lavoura, principalmente, quando estas se encontram em condições adversas. Nesta perspectiva surge novas tecnologias, como a aplicação do plasma a frio, que buscam assegurar e/ou melhorar esses atributos. Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar a tolerância a salinidade de sementes de sorgo tratadas com plasma a frio. O experimento foi realizado na Universidade Federal do Ceará (UFC) no município de Fortaleza – CE. No Laboratório de Análise e Desenvolvimento de Processos as sementes de sorgo foram tratadas com plasma frio, enquanto no Laboratório de Análise de Sementes, foram feitos os testes de germinação. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 5 (tempo de aplicação de plasma frio x potenciais osmóticos). A aplicação do nitrogênio em forma de plasma frio foi feita nos tempos 0, 20, 40 e 60 min, fixando o fluxo de 20 ml.min⁻¹ na potência de 80 kV. Para a simulação das condições de estresse salino foi empregado o NaCl, de modo que as concentrações utilizadas do sal correspondessem aos potenciais osmóticos: 0, -0,3, -0,6, -0,9, -1,2 MPa. Para o teste de germinação foi utilizada uma amostra de 100 sementes de sorgo subdividida em 4 repetições por tratamento. As sementes tratadas em diferentes períodos com plasma frio foram semeadas em rolos de papéis Germitest® umedecidos com as soluções nos diferentes potenciais osmóticos, na proporção de 3 vezes o peso do substrato. Durante os 10 dias do experimento, diariamente, foram contabilizados o número de sementes com protrusão da raiz primária maior que 2 mm de comprimento, e com os dados obtidos foi determinado o IVG. Findado os 10 dias do experimento, foi calculado a porcentagem de protrusão da radícula, porcentagem de plântulas normais e anormais, e sementes não germinadas. Posteriormente, foram retiradas ao acaso, 10 plântulas por repetição, medindo-se o comprimento da parte aérea e da radícula, sendo os resultados expressos em cm.plântula⁻¹. Após a mensuração as partes correspondentes à raiz e aérea, foram secas em estufa com circulação de ar a 80°C por 24 horas para determinar a massa seca em mg.plântula⁻¹. Os dados foram submetidos à análise de variância a 5% probabilidade, e quando significativos, as médias foram comparadas por regressão polinomial. Concluiu-se que a aplicação com plasma frio a base de nitrogênio por 40 ou 60 minutos, são eficientes na proteção das sementes de sorgo em condições de estresse salino, enquanto o tratamento por 20 minutos promove efeito negativo sobre a qualidade das sementes.

Palavras-chave: Germinação. Estresse. *Sorghum bicolor*.

ABSTRACT

In agriculture, obtaining a quality seed is of fundamental importance for the success of the crop, mainly, when these are in adverse conditions. In this perspective, new technologies, such as the application of cold plasma, seek to ensure and / or improve these attributes. Thus, the objective of this work was to evaluate the salinity tolerance of sorghum seeds treated with cold plasma. The experiment was carried out at the Federal University of Ceará (UFC) in the city of Fortaleza - CE. In the Laboratory of Analysis and Development of Processes sorghum seeds were treated with cold plasma, while in the Laboratory of Seed Analysis, the germination tests were done. The design was completely randomized in factorial scheme 4 x 5 (time of application of cold plasma x osmotic potentials). The application of nitrogen in the form of cold plasma was done at 0, 20, 40 and 60 min times, setting the flow of 20 ml.min⁻¹ at the power of 80 kV. For the simulation of saline stress conditions, NaCl was used, so that the salt concentrations used corresponded to the osmotic potentials: 0, -0.3, -0.6, -0.9, -1.2 MPa. For the germination test a sample of 100 seeds of sorghum subdivided in 4 replicates per treatment was used. Seeds treated in different periods with cold plasma were seeded on Germitest® paper rolls moistened with the solutions in the different osmotic potentials, at a ratio of 3 times the weight of the substrate. During the 10 days of the experiment, the number of seeds with protrusion of the primary root larger than 2 mm in length was counted daily, and the data obtained determined the IVG. After the 10 days of the experiment, the percentage of radicle protrusion, percentage of normal and abnormal seedlings, and non-germinated seeds were calculated. Subsequently, 10 seedlings per replicate were randomly collected, measuring the length of the aerial part and the radicle, and the results were expressed in cm.plantula⁻¹. After the measurement the parts corresponding to the root and aerial were dried in an oven with air circulation at 80 ° C for 24 hours to determine the dry mass in mg.plantula⁻¹. The data were submitted to analysis of variance at 5% probability, and when significant, means were compared by polynomial regression. It was concluded that the application with cold plasma based on nitrogen for 40 or 60 minutes, are efficient in protecting the seeds of sorghum under conditions of saline stress, while the treatment for 20 minutes promotes negative effect on seed quality.

Keywords: Germination. Stress. *Sorghum bicolor*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Aparelho de aplicação indireta de plasma frio.....	18
Figura 2	– Rolos de papeis germitest envoltos por saco plástico transparente.....	19
Figura 3	– Plântula Normal (PN), Plântula Anormal (PA) e Sementes Não Germinadas (SNG).....	20
Figura 4	– Porcentagem de Protrusão da Radícula (PPR) de sementes <i>Sorghum bicolor</i> tratadas com plasma frio semeadas em diferentes concentrações salinas.....	23
Figura 5	– Índice de Velocidade de Germinação (IVG) de sementes <i>Sorghum bicolor</i> tratadas com plasma frio sob efeito do estresse salino induzido por NaCl.....	24
Figura 6	– Porcentagem de plântulas normais de sementes <i>Sorghum bicolor</i> tratadas com plasma frio sob efeito do estresse salino induzido por NaCl.....	25
Figura 7	– Porcentagem de plântulas anormais de sementes <i>Sorghum bicolor</i> tratadas com plasma frio sob efeito do estresse salino induzido por NaCl.....	26
Figura 8	– Porcentagem de sementes não germinadas de <i>Sorghum bicolor</i> tratadas com plasma frio sob efeito do estresse salino induzido por NaCl.....	27
Figura 9	– Comprimento da Parte Aérea (A) e da Raiz (B) de plântulas de sementes de <i>Sorghum bicolor</i> tratadas com plasma frio sob efeito do estresse salino induzido por NaCl.....	29
Figura 10	– Massa Seca da Parte Aérea - MS - PA (A) e raiz - MS - R (B) de plântulas <i>Sorghum bicolor</i> tratadas com plasma frio sob efeito do estresse salino induzido por NaCl.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise de variância da germinação de sementes <i>Sorghum bicolor</i> tratadas com plasma frio sob efeito do estresse salino induzido por NaCl.....	22
Tabela 2 – Análise de variância de sementes <i>Sorghum bicolor</i> tratadas com plasma frio sob efeito do estresse salino induzido por NaCl.....	28

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1	Cultura do sorgo	13
2.2	Salinidade	14
2.3	Sementes	15
2.3	Plasma	16
3	MATERIAIS E MÉTODOS	18
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
5	CONCLUSÃO	32
	REFERÊNCIAS	33
	APÊNDICE A – DESVIO PADRÃO DOS TRATAMENTOS NAS	
	VARIÁVEIS	ANALISADAS
		NO
	EXPERIMENTO	37

1 INTRODUÇÃO

O sorgo é o quinto cereal mais cultivado no mundo. No Brasil é umas das Poaceas que desempenha papel fundamental na economia, sendo seu cultivo caracterizado pela sucessão a culturas de verão, o que é comum em grande parte das regiões produtoras, representando uma significativa renda tanto para agropecuaristas como para as agroindústrias de rações, uma vez que seus produtos constituem uma fonte de alimento que agregam qualidade e baixo custo (LOURENÇÃO; BAGEGA, 2012).

O sorgo é utilizado para a produção de energia e alimentação animal, sendo uma cultura de grande adaptabilidade a clima muito quente e seco, comum a regiões áridas e semi-áridas do mundo, tornando-se desta forma, uma alternativa importante para os agricultores, em razão de culturas menos adaptáveis a estas condições, além de possibilitar um bom retorno financeiro ao produtor (RIBAS, 2008).

Salienta-se que o sucesso agrícola está primariamente centrado na qualidade das sementes, cuja soma de fatores genéticos, fisiológicos, físicos e sanitários, estão intimamente ligados ao estabelecimento e desenvolvimento de uma determinada espécie no campo (FRANÇA NETO *et al.*, 2010). Dessa maneira as tecnologias voltam-se à preservação ou melhoria desses atributos inerentes as sementes, a fim de alavancar a sua produção ou preservação.

Um das tecnologias surgidas é o plasma, que busca a preservação da qualidade das sementes, mediante tratamento de sua superfície (BORMASHENKO *et al.*, 2012). O plasma tem suas características distinguidas a partir dos átomos e moléculas que o constituem, assim como a densidade, energia e grau de ionização (ALVES JR., 2001). Considerado o quarto estado da matéria o mesmo tem seus processos físicos baseados em excitação, relaxação e ionização (BOGAERTS *et al.*, 2002).

Na indústria as aplicações do plasma vêm ganhando destaque, uma vez que suas propriedades contribuem para a modificação das superfícies dos polímeros, afetando sobretudo suas características de molhabilidade, aderência, rugosidade, entre outros (POLAK, 2010). Porém, é importante destacar que a polimerização por plasma não promove alterações na estrutura química das unidades do monômero de partida, somente contribui na modificação da superfície do material por um filme fino (VIANA, 2002), as quais são dependente do tipo gás utilizado na sua formação. Exemplo disso é o plasma a frio utilizando o gás nitrogênio, que Macêdo *et al.* (2011), avaliando as membranas de quitosana, demonstraram que esse tratamento foi capaz de alterar as características de molhabilidade,

rugosidade e textura.

Atrelado a isso, surge uma nova perspectiva quanto ao estudo da eficiência do tratamento superficial por plasma nas sementes, na proteção a danos ou limitações causadas pela condição de salinização dos solos. A salinidade trata-se de um fenômeno global comum a regiões áridas e semiáridas do mundo, sendo caracterizada pelo acúmulo de sais solúveis na superfície e no interior do solo, resultante da ação antrópica ou natural (IANNETTA; COLONNA, 2008).

Segundo Araújo *et al.* (2014) a salinidade têm sua origem, em parte, associada a prática da agricultura, especificamente a irrigada, comum a regiões onde a disponibilidade hídrica é deficitária e a segurança alimentar é de importância principal. E ainda, segundo a FAO (2011), a ocorrência da salinidade é devido ao fato que nestas áreas, de baixa pluviometria, o fornecimento de água é insuficiente para atender as necessidades das culturas e lixiviar os sais presentes no solo.

Desta maneira, os sais podem contribuir na promoção do estresse osmótico, diminuindo a disponibilidade hídrica, e o estresse fitotóxico iônico específico, o qual resultará na diminuição da absorção de nutrientes pelas plantas, provocando distúrbios em suas atividades metabólicas, prejudicando, conseqüentemente, o seu desenvolvimento (HARTER *et al.*, 2014).

Além do mais, os elevados níveis de sais no solo podem afetar a percentagem de germinação e o índice de velocidade de germinação (SIVRITEPE *et al.* 2003). O sorgo, mesmo apresentando certa tolerância a salinidade (ALBUQUERQUE; ANDRADE, 2015), podem sim ter seus rendimentos afetados (LEMES, 2013).

Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a eficiência do tratamento com plasma a frio em sementes de sorgo, na supressão dos efeitos causados pela salinidade sobre a germinação e crescimento inicial das plântulas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultura do sorgo

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) é originário da África e em parte da Ásia. No Brasil teve sua expansão somente na década de 70, ocorrendo o seu cultivo primariamente nos estados do Rio Grande do Sul, São Paulo, Bahia e Paraná (ROSA, 2012). Segundo dados levantados pela Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB (2017), a safra brasileira 2015/2016 chegou a uma produção de 1031,5 mil toneladas de grãos, com destaque para as regiões do Centro-Oeste e Sudeste do país, que obtiveram uma produção de 482,6 e 388,8 mil toneladas, respectivamente. Vale salientar que a produção da safra 2015/2016 teve uma redução de 49,8% quando comparada a safra 2014/2015, sendo também observado uma redução na sua produtividade e área plantada, devido principalmente a problemas relacionados ao clima, como a pluviometria abaixo da média requerida pela cultura.

É uma planta C4, de dias curtos, tolerante às condições de alta umidade no solo e baixa disponibilidade hídrica, sendo cultivado em zonas de precipitações anuais variando de 375 a 625 mm, adaptada a latitudes de 45° N a 45°S (RIBAS, 2008). Esta espécie possui um sistema radicular fascicular fibroso que atinge uma profundidade de 1,3 m, embora a maior concentração dessas raízes se encontrem nos primeiros 30 cm de profundidade do solo. Além disso, o sorgo possui haste única, de diâmetro de 0,5 a 5cm, que alcança alturas de 0,5 a 4 m, folhas lanceoladas que estão dispostas alternadamente ao longo da haste, na quantidade de 7-24 folhas, variando com a idade da planta e a cultivar. A inflorescência é do tipo panícula, podendo ser curto ou longo, solto ou aberto, e compacto ou semi-compacto, com comprimento de 4 a 25 cm, 2 a 20 cm de largura e 400 a 800 grãos por panícula (CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA Y FORESTAL, 2007).

Existem inúmeras variedades de sorgo, porém estas são divididas em apenas quatro categorias, que segundo Cidraes (1966) são:

- Sorgo forrageiro: são plantas de porte elevado com colmos suculentos e grossos, com grande produção de massa verde, porém baixa produção de grãos;
- Sorgo granífero: plantas com elevada produção de grãos, cujos colmos são pequenos e pouco suculentos;
- Sorgo sacarino: é característico plantas altas com caules de elevado teor de açúcar, sendo as variedades desta categoria de baixa produção de grãos;

- Sorgo das vassouras: plantas altas, pouco suculentas e de baixos níveis de açúcar, as quais possuem panículas no formato que permitam ser destinadas a confecção de vassouras ou escovas.

O sorgo é uma espécie que possui melhor desempenho do que outras culturas quanto a tolerância à salinidade da água de irrigação, pois esta suporta níveis de condutividade elétrica da água (CEa) e do extrato de saturação do solo (CEes) até $4,5 \text{ dS.m}^{-1}$ e $6,8 \text{ dS.m}^{-1}$, respectivamente, enquanto por exemplo o milho, outro cereal, tolera valores de CEa até $1,1 \text{ dS.m}^{-1}$ e CEes até $1,7 \text{ dS.m}^{-1}$ (ALBUQUERQUE; ANDRADE, 2015). Contudo, o sorgo não é isento dos efeitos adversos causados pela elevada salinidade do solo, podendo ser afetado negativamente o seu desenvolvimento.

2.2 Salinidade

Segundo a FAO (2011), com base no grau de degradação dos solos no mundo, cerca de 25% dos solos estão distribuídos e classificados como degradados, enquanto 8% moderadamente e outros 36% levemente. Estes números estão relacionados ao estilo de agricultura praticada, sendo sumariamente a prática intensiva a forma mais significativa e prejudicial ao ambiente, contribuindo na sua deterioração e por conseguinte inutilização. Segundo Ahmed e Qamar (2004) 7% de toda a superfície terrestre está degradada pela a salinização, sendo esta de ocorrência natural ou antrópica.

No Brasil os problemas de salinização é real e presente, concentrando-se basicamente na região nordeste do país, já que as suas condições edafoclimáticas apresentam elevado déficit hídrico e baixa infiltração, favorecendo a salinização, além do manejo inadequado da água e do solo que também contribuem na elevação dos níveis de sais no solo (CORDEIRO; MANSEFÚ, 2001).

Existem uma série de características que distinguem os solos salinos dos demais tipos de solo, que segundo Abrol, Yadav e Massoud (1988) podem ser:

- Química: concentrações elevadas de sais solúveis neutros, como os cloretos e sulfatos de sódio, cálcio e magnésio; pH inferior a 8,2 em solo saturado; condutividade do extrato do solo saturado superior a $4,5 \text{ dS.m}^{-1}$ a 25°C ; e podem conter quantidades significativas de compostos de cálcio moderadamente solúveis.
- Física: flocculação da argila e estrutura estável do solo, em decorrência da presença de excesso de sais solúveis neutros.

- Efeitos no crescimento das plantas: menor disponibilidade hídrica para as plantas, em razão do excesso de sais atuando na pressão osmótica da solução do solo; e toxidez por íons específicos.
- Qualidade da água subterrânea: elevada concentração de eletrólitos e maior risco de salinidade.

Segundo Lemes (2013) a ocorrência da salinização gera consigo diversos problemas, principalmente relacionado as plantas, as quais o metabolismo é afetado negativamente, tendo como resultado a redução de seus rendimentos. Porém segundo Ianetta e Colona (2008) não têm como mensurar de forma eficiente os impactos econômicos gerados pela salinização, já que inexistente uma correlação linear entre esta e a produtividade das culturas.

De forma geral a salinidade poderá afetar as culturas de duas maneiras: pela toxidez gerada por elementos como o sódio, boro, bicarbonatos e cloretos, que em elevados níveis de concentração causam distúrbios fisiológicos nas plantas, e pelo aumento do potencial osmótico do solo (BATISTA *et al.*, 2002). Freitas *et al.* (2010), afirmam que a salinidade é um dos principais fatores prejudiciais à produção agrícola, pois esta causa alterações de ordem morfológica nas plantas, relacionadas ao desenvolvimento, que vão desde a germinação até a sua produção. Sendo que além da germinação, segundo Sivritepe *et al.* (2003), pode ser afetado também o vigor das sementes.

Em estudo conduzido por Mortelet *et al.* (2006) mostrou que a diminuição do potencial osmótico, em decorrência do aumento das concentrações de KCl, provocou uma redução no desempenho de sementes de milho-pipoca, quando observado a germinação, comprimento da parte aérea e raiz das plântulas formadas. Resultados semelhantes foram encontrados em maxixe (GÓIS; TORRES; PEREIRA, 2008), coentro (RIBEIRO *et al.*, 2004) e aveia (TIMM *et al.*, 2015) quando submetidas a condições de elevada salinidade.

Assim, as espécies vegetais podem sofrer drasticamente com os efeitos deletérios dos sais, que contribuem para um menor potencial osmótico do solo, obstrução dos processos metabólicos essenciais à nutrição vegetal e toxidez provocada pela elevada concentração salina e de íons específicos como o Na⁺ e o Cl⁻, tornando a salinidade em um potencial fator limitante à produção agrícola mundial (AMORIM, 2017).

2.2 Sementes

As sementes constituem um órgão primordial na agricultura, uma vez que é a

matéria prima determinante do desempenho das plantas em campo. Assim, sementes que carregam consigo elevado valor de qualidade, contribuem significativamente no alcance de níveis satisfatórios de produtividade e de qualidade do produto final. Lembrando que o estabelecimento e desenvolvimento de uma dada estande de plantas, se dá mediante a utilização de sementes vigorosas, que frequentemente determinam a velocidade de germinação e emergência de plântulas (NASCIMENTO; DIAS; SILVA, 2011).

Durante a germinação as sementes estão condicionadas a inúmeros fatores, os quais segundo Carvalho e Nakagawa (2012) destacam:

Fatores internos:

- Longevidade: um parâmetro de difícil quantificação, uma vez está relacionada o período em que as sementes podem se manter vivas.
- Viabilidade: corresponde ao efetivo período que a semente vive, sendo este fator dependente das interações genéticas e ambientais.

Fatores externos:

- Água: fator crucial na retomada dos processos metabólicos essenciais a germinação e emergência das plântulas.
- Temperatura: influência direta sobre a velocidade de absorção de água pelas sementes, bem como sobre a velocidade das reações bioquímicas.
- Oxigênio: importante no fornecimento de energia para retomada dos processos metabólicos das sementes.

Assim demonstra a importância da preservação e obtenção da qualidade das sementes, pois segundo Valentini, Oliveira e Ferreira (2008) sementes de qualidade tratam-se de um insumo fundamental para o desenvolvimento da agricultura, permitindo as cultivares serem propagadas no tempo e no espaço, possibilitando ao agricultor maiores chances de sucesso nas lavouras.

2.2 Plasma

O emprego da palavra plasma está inteiramente associada a substâncias que são neutras e que possuem grande quantidade de elétrons livres interagindo mutuamente, além de moléculas ionizadas ou átomos neutros, que exibem comportamento coletivo devido a existência de forças atuantes a longa distância (BITTENCOURT, 2004).

O plasma pode ser encontrado sob duas condições. A primeira em equilíbrio

termodinâmico (LTE), usualmente conhecido como plasma quente, onde existe uma elevada densidade eletrônica, cujas colisões inelásticas resultam no surgimento de espécies ativas, e as colisões elásticas promovem o aquecimento das partículas mediante a perda de energia dos elétrons. Já a segunda forma encontrada do plasma é o de não equilíbrio termodinâmico (N-LTE), este ao contrário do plasma LTE, possui uma baixa densidade eletrônica e suas colisões inelásticas estimulam o enriquecimento químico da atmosfera, sendo comumente denominado como plasma frio (MOISAN *et al.*, 1996). Sendo este último o usado no tratamento superficial de sementes, desde que sejam utilizadas temperaturas que não causem a morte do embrião (temperatura ambiente).

Ao contrário de muitas tecnologias utilizadas no tratamento de materiais, a utilização do plasma mostra-se como uma alternativa economicamente viável e ambientalmente favorável, pois a mesma tem um custo relativamente baixo e não gera resíduos poluentes ao meio ambiente (GARCIA; BITTENCOURT, 2010).

Salienta-se que a aplicação do plasma tem se mostrado capaz de modificar apenas a superfície dos materiais, além de contribuir na formação de um elevado número de compostos químicos, incluindo os não polimerizáveis pelos métodos convencionais de síntese, podendo ser empregado também na introdução de grupos funcionais na superfície dos materiais tratados (YASUDA, 1985).

No decorrer dos últimos anos a aplicação de plasma chegou a diversas áreas, sejam a área da saúde ou da indústria. Hoje ela trata-se de uma tecnologia moderna e presente na agricultura ecológica, sendo a aplicação do plasma frio no tratamento das sementes a mais comum, a qual é baseada na radiação não ionizante de baixo nível, que contribui na ativação eficiente da vitalidade das sementes, e por conseguinte no estímulo do crescimento e desenvolvimento das plantas (JIANG *et al.*, 2014).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Universidade Federal do Ceará (UFC) no município de Fortaleza – CE. No Laboratório de Análise e Desenvolvimento de Processos, do Centro de Tecnologia, as sementes de sorgo foram submetidas a aplicação do plasma a frio, enquanto no Laboratório de Análise de Sementes, do Centro de Ciências Agrárias, foram realizados os testes de desempenho biológico das sementes e plântulas.

As sementes utilizadas foram de sorgo granífero da linhagem 201420. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 5 (tempo de aplicação de plasma frio x potenciais osmóticos), perfazendo no total 20 tratamentos com 4 repetições, incluindo as testemunhas.

Aplicação do nitrogênio em forma de plasma frio

As sementes de sorgo foram submetidas aos tempos de 0, 20, 40 e 60 min de aplicação do plasma a frio, usando o nitrogênio (N₂), a temperatura ambiente, fixando o fluxo de 20 ml.min⁻¹ a uma potência de 80 kV (Figura 1). Salienta-se que 0 min constituiu a testemunha, uma vez não ter ocorrido a aplicação do plasma neste tempo.

Figura 1 - Aparelho de aplicação do plasma frio.



Fonte: Silva Fraga, 2012.

Estresse salino

Para a simulação das condições de estresse salino nos potenciais osmóticos de 0, -0,3, -0,6, -0,9, -1,2 MPa, foi utilizado a equação de Van't Hoff: $\psi_{os} = -RTC$, em que ψ_{os} = potencial osmótico (atm); R= constante geral dos gases perfeitos (8,32 J mol⁻¹ K⁻¹); T= temperatura (K); C= concentração (mol L⁻¹) (SALISBURY; ROSS, 1991 *apud* COELHO *et al.*, 2010). Sendo as concentrações de NaCl corrigidas pela a curva de calibração representada pela a equação $\psi_{os} = 0,194699 + 0,750394C$, R² = 0,9999, em que: ψ_{os} = potencial osmótico (bar); C=concentração (g L⁻¹) (BRACCINI *et al.*,1996 *apud* COELHO *et al.*, 2010). Lembrando que para a condição de 0 MPa não houve a necessidade do preparo da solução a base de NaCl, somente a utilização da água destilada.

Teste de germinação

Para o teste de germinação foi utilizado uma amostra de 100 sementes de sorgo subdividida em 4 repetições por tratamento. As sementes tratadas em diferentes períodos com plasma frio (0, 20, 40 e 60 min) foram semeadas em rolos de papéis Germitest® umedecidos com água destilada (0 MPa) e as soluções nos potenciais osmóticos de -0,3; -0,6; -0,9 e -1,2 MPa, na proporção de 3 vezes o peso do substrato. Os rolos foram dispostos em B.O.D a 25°C, sob fotoperíodo de 12 horas, e mantidos em recipientes plásticos e envoltos de sacos transparentes (Figura 2), afim de reduzir a perda de umidade por evaporação.

Figura 2 - Rolos de papéis Germitest® envoltos por saco plástico transparente.



Fonte: Jesimiel Viana, 2017.

Durante os 10 dias do experimento, diariamente, foram contabilizados o número de sementes germinadas, sendo consideradas sementes germinadas aquelas que apresentavam a protrusão da raiz primária maior que 2 mm de comprimento. Com os dados obtidos, foi utilizado a fórmula descrita por Maguire (1962) para calcular o Índice de Velocidade de Germinação (IVG). Findado o experimento, foi contabilizado a porcentagem de protrusão da radícula, como base na definição utilizada na obtenção do IVG, bem como para a variável sementes não germinadas.

Na avaliação da porcentagem de plântulas levou-se em consideração a presença e a forma como as estruturas essenciais se apresentavam, sendo consideradas plântulas normais aquelas cujo o sistema radicular e a parte aérea apresentavam-se bem desenvolvidas, ou seja, com a parte aérea alongada e de coloração verde e a raiz principal alongada com algumas raízes secundárias. Enquanto as plântulas anormais foram classificadas mediante a observação da ausência de algumas estruturas essenciais, como por exemplo a parte aérea, ou a presença de aspecto truncado das partes aérea e/ou raiz (Figura 3).

Figura 3 – Plântula Normal (PN), Plântula Anormal (PA) e Sementes Não Germinadas (SNG).



Fonte: Jesimiel Viana, 2017.

Comprimento da parte aérea e radícula

Dez dias após a semeadura em rolos de papéis Germitest®, foram selecionadas ao acaso 10 plântulas por repetição de cada tratamento, as quais foram mensurados o comprimento da parte aérea e da radícula com o auxílio de uma régua graduada em milímetro sendo os resultados expressos em cm.plântula^{-1} .

Massa seca

Após a mensuração das variáveis comprimento da parte aérea e da raiz das plântulas, as partes das plântulas correspondentes a estas avaliações foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas em estufa com circulação de ar forçado a 80°C por 24 horas, sendo, posteriormente, pesadas em balança de precisão com três casas decimais. Os resultados foram expressos em mg.plântula^{-1} .

Estatística

Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) a 5% probabilidade, utilizando o software SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2006). A médias foram analisadas mediante regressão polinomial.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância da porcentagem de protrusão da radícula, IVG, plântulas normais, anormais e sementes não germinadas são apresentadas na Tabela 1. Nela observa-se que os resultados foram significativos para a interação potencial osmótico e tratamento com plasma frio ($p < 0,05$). Já no tratamento das sementes com plasma frio somente o IVG não foi significativo.

Tabela 1 - Análise de variância da germinação de sementes *Sorghum bicolor* tratadas com plasma frio sob efeito do estresse salino induzido por NaCl.

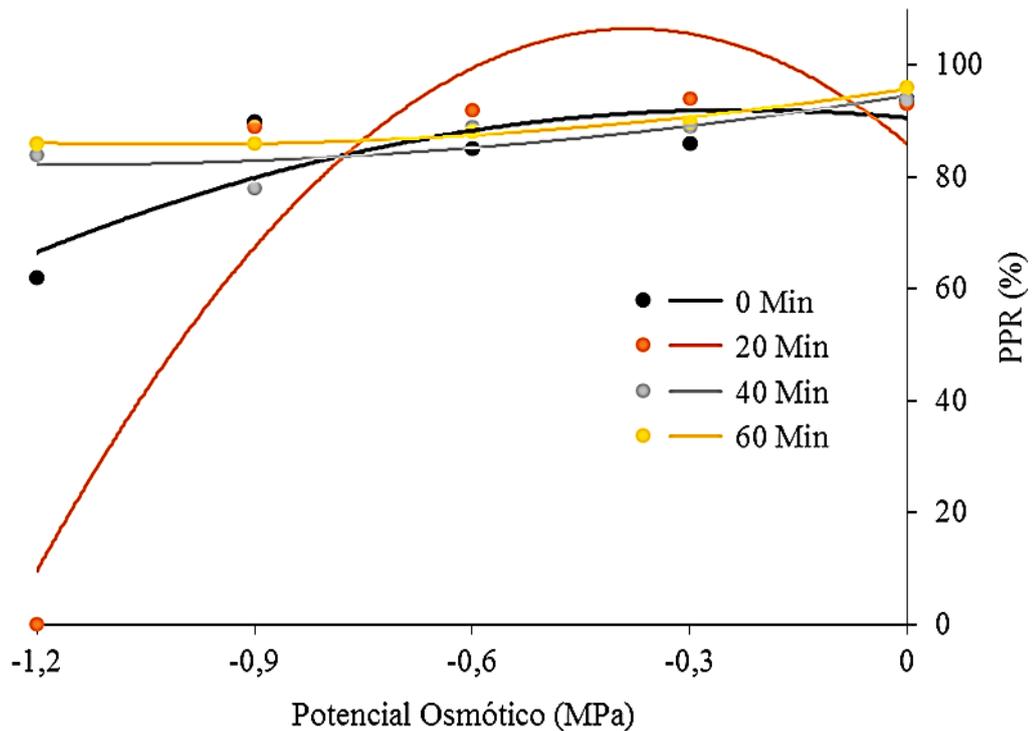
Fonte de Variação	GL	QM				
		PPR	IVG	PN	PA	SNG
Plasma	3	941,00 *	111,46 ^{NS}	242,40 *	315,20 *	1006,05*
Potencial osmótico	4	3338,50 *	2399,90*	26624,80 *	13287,50 *	3323,95 *
Plasma x Potencial osmótico	12	1428,5 *	164,00*	361,07 *	2124,03 *	1449,55 *
CV %		7,17	6,31	12,03	28,21	37,46

^{NS}: não significativo ao nível de 5 % de probabilidade; *: significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; QM: quadrado médio; CV: coeficiente de variação; GL: graus de liberdade; PPR: porcentagem de protrusão da radícula; IVG: índice de velocidade de germinação; PN: plântulas normais; SNG: sementes não germinadas.

Na Figura 4 a porcentagem de protrusão da radícula das sementes tratadas com plasma a frio por 0, 20, 40 e 60 min, tiveram seus dados ajustados a curvas quadráticas. Sendo possível observar que nas concentrações salinas de 0 a -0,9 MPa a protrusão da radícula, das sementes de sorgo tratadas por 0, 40 e 60 min, não foram afetadas. Já a partir da concentração de -0,9 MPa esta variável apresentou uma redução quando as sementes foram submetidas ao tratamento com plasma no tempo 0 e 20 min, sendo o tempo de 20 min mais prejudicial às sementes, uma vez não ter sido emitida a radícula na concentração de -1,2 MPa. Neste mesmo nível de estresse, as sementes tratadas com plasma a frio por 40 e 60 min apresentaram maior estabilidade, proporcionando 84 e 86% de sementes com protrusão da raiz primária maior que

2mm de comprimento, respectivamente, ao passo que na mesma concentração a testemunha atingiu 64%.

Figura 4 - Porcentagem de Protrusão da Radícula (PPR) de sementes *Sorghum bicolor* tratadas com plasma frio semeadas em diferentes concentrações salinas.



$$PPR_{0 \text{ min}} (\%) = -26,984x^2 - 12,381x + 90,543 \quad R^2 = 0,7102$$

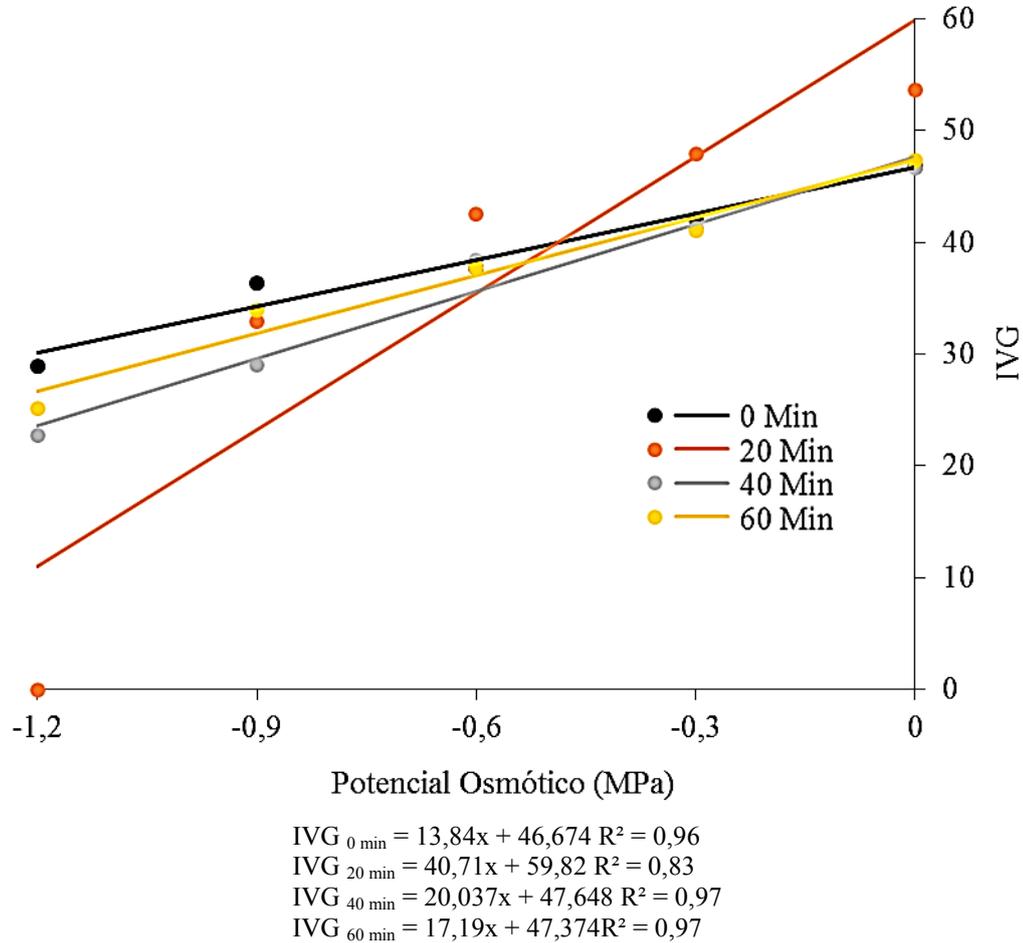
$$PPR_{20 \text{ min}} (\%) = -143,65x^2 - 108,71x + 85,943 \quad R^2 = 0,88$$

$$PPR_{40 \text{ min}} (\%) = 8,7302x^2 + 20,81x + 94,571 \quad R^2 = 0,71$$

$$PPR_{60 \text{ min}} (\%) = y = 9,5238x^2 + 19,429x + 95,714 \quad R^2 =$$

Quanto ao índice de Velocidade de Germinação (IVG) os dados foram representados por retas de equações de primeiro grau (0, 20, 40 e 60 minutos). Sendo que as sementes tratadas nos tempos de 40 e 60 min obtiveram comportamento inferior ao da testemunha a partir do potencial $-0,3\text{MPa}$. Porém o tratamento de sementes com plasma por 20 min, mostrou-se mais uma vez ineficiente, pois na máxima condição de estresse salino o IVG alcançado foi de 0, embora tenham tido valores maiores do que os demais tratamentos nas condições de 0 e $-0,3\text{MPa}$ (Figura 5).

Figura 5 - Índice de Velocidade de Germinação (IVG) de sementes *Sorghum bicolor* tratadas com plasma frio sob efeito do estresse salino induzido por NaCl.



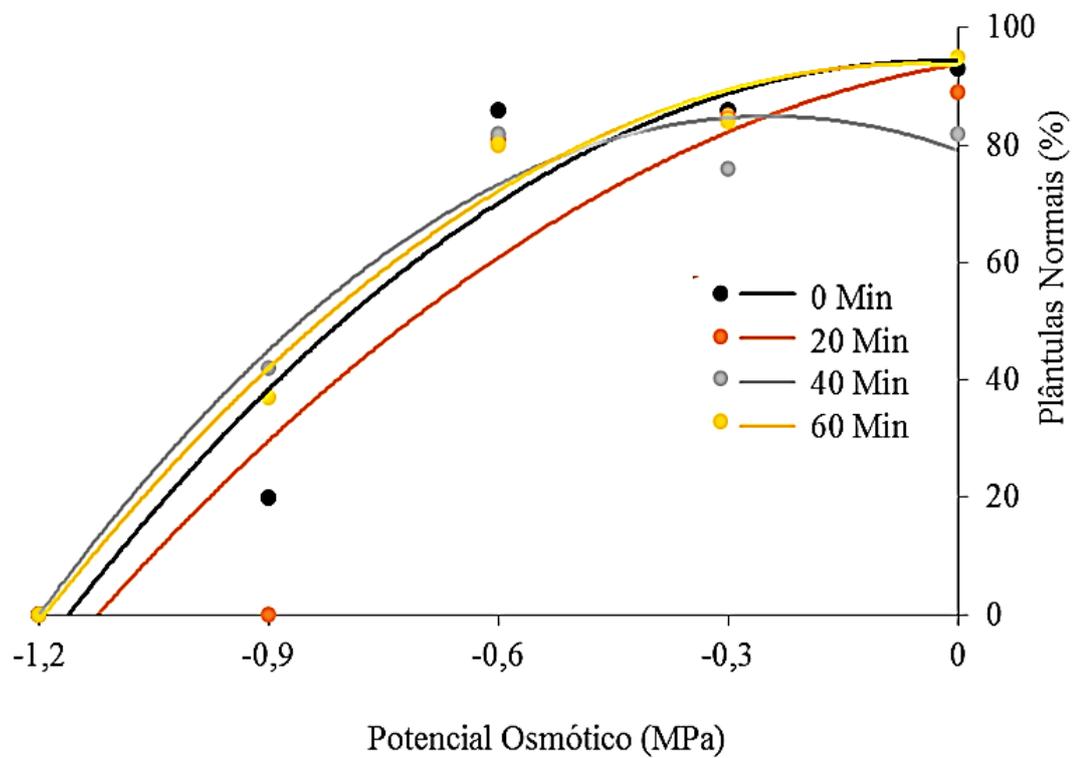
É importante destacar que a elevada concentração de sais no solo, como o cloreto de sódio (NaCl), pode resultar na inibição da germinação e/ou redução do IVG, justamente pelo efeito osmótico induzido, o qual dificulta o processo de embebição necessário a retomada do metabolismo das sementes (FANTI; PEREZ, 1996). Ling *et al.* (2015), estudando o efeito do estresse hídrico em sementes de colza tratadas com plasma a frio a base de hélio, mostraram que embora estas sementes tenham sido afetadas pelas condições de estresse, apresentaram melhor desempenho em sua germinação e IVG quando comparada as sementes não tratadas com plasma. Não corroborando com os dados do IVG deste experimento, cujas sementes submetidas aos tratamentos com plasma obtiveram desempenho inferior ao da testemunha.

Quanto a porcentagem de plântulas normais (Figura 6) e anormais (Figura 7), existe uma relação inversa entre estes dois parâmetros, uma vez que a medida em que diminuiu o nível do potencial osmótico, houve redução no número plântulas normais, e ao

mesmo tempo, um aumento no número de plântulas anormais. Isso é aplicável aos tratamentos com plasma por 0, 40 e 60 minutos, pois a partir do potencial -0,9MPa, ambos tiveram aumento na porcentagem de plântulas anormais e redução de plântulas normais.

Para o número de plântulas normais, as sementes que foram submetidas a 60 minutos de tratamento com plasma a frio, apresentaram resultados que alcançaram 95 e 37% nos potenciais 0 e -0,9, respectivamente. Em contrapartida as sementes submetidas a 20 minutos alcançaram resultados abaixo dos demais tratamentos, contendo já no potencial -0,9 MPa 0% de plântulas normais, enquanto no mesmo potencial, a testemunha (0 minutos) alcançou 20% de plântulas normais, e as sementes tratadas por 40 minutos 42%. Sendo que a máxima condição de estresse salino (-1,2 MPa) nenhum dos tratamentos foi eficiente no surgimento de plântulas normais, chegando todos a 0% (Figura 6).

Figura 6 - Porcentagem de plântulas normais de sementes *Sorghum bicolor* tratadas com plasma frio sob efeito do estresse salino.



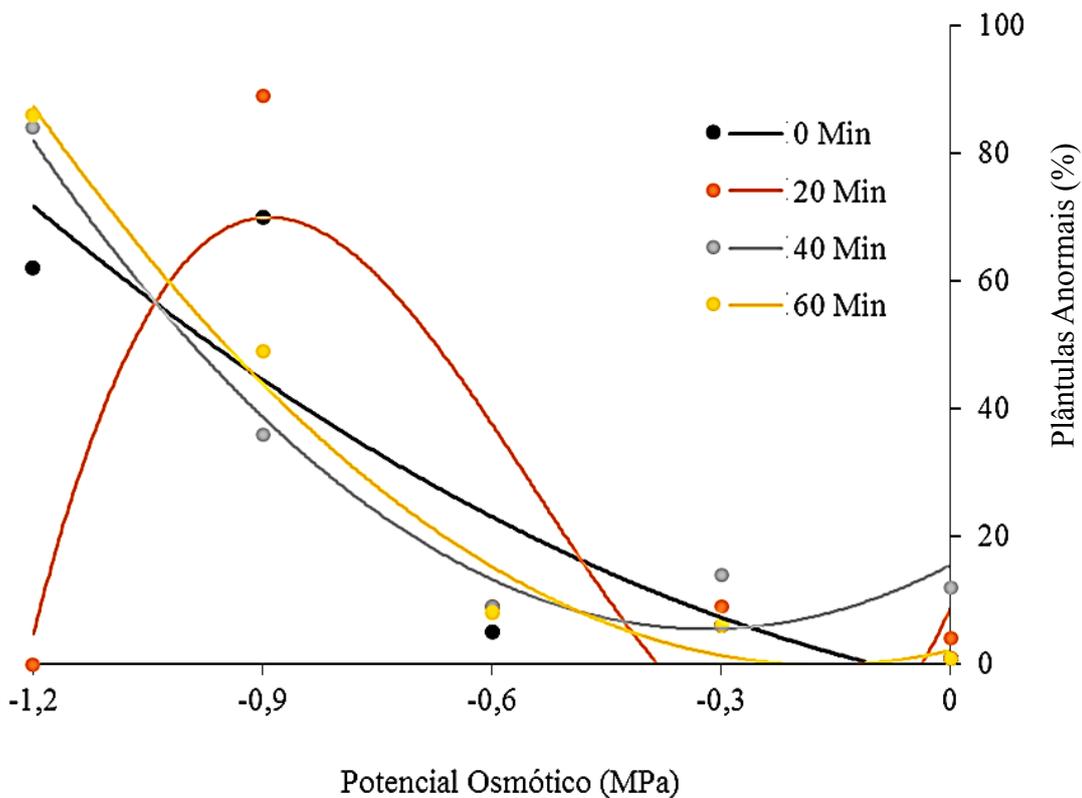
$$PN_{0 \text{ min}} (\%) = -73,016x^2 - 3,619x + 94,257 \quad R^2 = 0,9156$$

$$PN_{20 \text{ min}} (\%) = -54,762x^2 + 21,952x + 93,743 \quad R^2 = 0,8339$$

$$PN_{40 \text{ min}} (\%) = -93,651x^2 - 46,381x + 79,143 \quad R^2 = 0,9669$$

Na figura 7 o percentual de plântulas anormais em sementes de sorgo tratadas por 20 min com plasma a frio no potencial osmótico -0,9MPa foi de 89%, enquanto aquelas tratadas por 40 e 60 minutos o percentual de plântulas anormais foi 36 e 49% respectivamente. Já no potencial -1,2 MPa o tratamento de 40 minutos atingiu 84% plântulas anormais e o de 60 minutos 86%. Sendo observadas anormalidades quanto a ausência de estruturas essenciais, como a parte aérea, além de outras deformidades.

Figura 7- Porcentagem de plântulas anormais de sementes *Sorghum bicolor* tratadas com plasma frio sob efeito do estresse salino induzido por NaCl.



$$PA_{0 \text{ min}} (\%) = 31,746x^2 - 23,905x - 2,6857 \quad R^2 = 0,7671$$

$$PA_{20 \text{ min}} (\%) = 506,17x^3 + 825,4x^2 + 264,92x + 8,7714 \quad R^2 = 0,7172$$

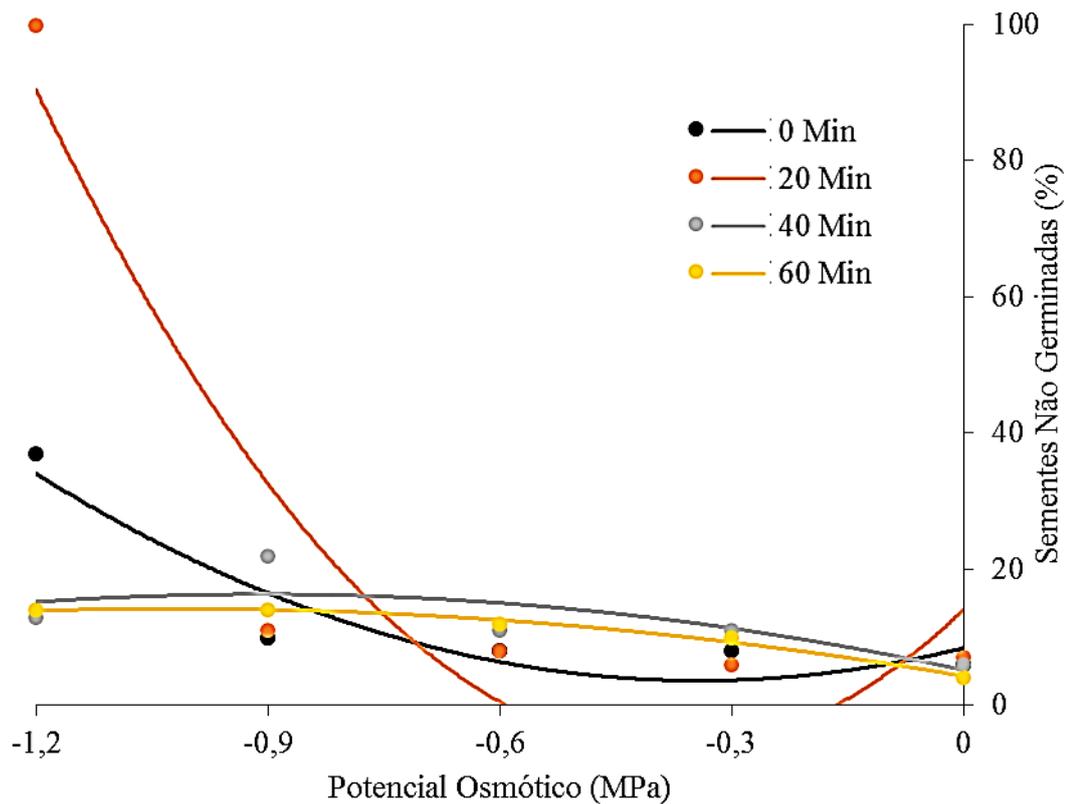
$$PA_{40 \text{ min}} (\%) = 98,413x^2 + 62,762x + 15,514 \quad R^2 = 0,9712$$

$$PA_{60 \text{ min}} (\%) = 81,746x^2 + 27,095x + 2,1143 \quad R^2 = 0,9809$$

Neste caso os tratamentos de 40 e 60 minutos de aplicação com plasma a frio, obtiveram os melhores resultados, pois considerando o percentual de sementes não germinadas (Figura 8) e de plântulas normais (Figura 6), pode conjecturar-se que mesmo na máxima condição de estresse salino as sementes de sorgo, tratadas com plasma frio nestes tempos, foram eficientes no surgimento, embora anormais, de plântulas. E dentre os tratamentos com plasma a frio, aqueles submetidos a 20 minutos de aplicação, resultaram em

efeito negativo sobre as sementes, culminando com a não germinação das mesmas no potencial -1,2 MPa (100%).

Figura 8 - Porcentagem de sementes não germinadas de *Sorghum bicolor* tratadas com plasma frio sob efeito do estresse salino induzido por NaCl.



$$\begin{aligned} \text{SNG}_{0 \text{ min}} (\%) &= 41,27x^2 + 28,19x + 8,4286 \quad R^2 = 0,8853 \\ \text{SNG}_{20 \text{ min}} (\%) &= 143,65x^2 + 108,71x + 14,057 \quad R^2 = 0,8825 \\ \text{SNG}_{40 \text{ min}} (\%) &= -13,492x^2 - 24,524x + 5,1714 \quad R^2 = 0,606 \\ \text{SNG}_{60 \text{ min}} (\%) &= -9,5238x^2 - 19,429x + 4,2857 \quad R^2 = 0,9867 \end{aligned}$$

A análise de variância, observada na Tabela 2, mostrou que as variáveis comprimento da raiz (CPR), massa seca da parte aérea (MS – A) e da raiz (MS – R), foram afetadas significativamente pela interação potencial osmótico e tratamento com plasmaa frio ($p < 0,05$). Os fatores isolados também foram significativos para todas as variáveis, com exceção do MS - R e CPA que não foram afetadas pelo o tratamento das sementes com plasma a frio ($p > 0,05$).

Tabela 2 - Análise de variância de sementes *Sorghum bicolor* tratadas com plasma frio sob efeito do estresse salino induzido por NaCl.

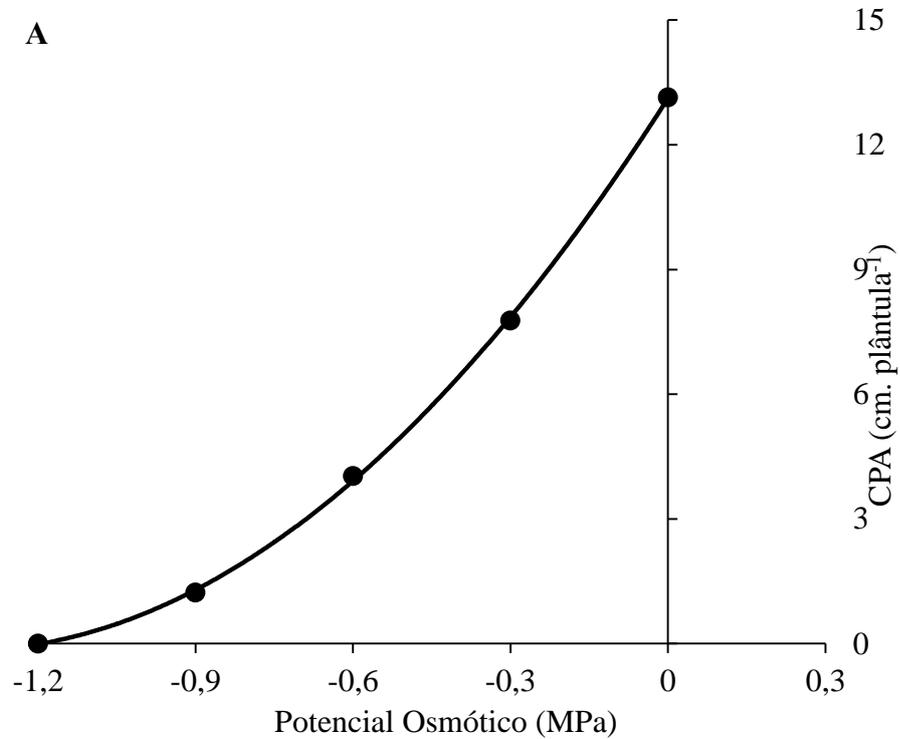
Fonte de Variação	GL	QM			
		CPA	CPR	MS -PA	MS - R
Plasma	3	0,71 ^{NS}	11,13 *	1,03*	2,27 ^{NS}
Potencial osmótico	4	455,33 *	654,81 *	484,03 *	59,23 *
Plasma x Potencial osmótico	12	0,84 ^{NS}	6,28 *	3,34*	0,51*
CV %		17,33	13,70	24,83	28,03

^{NS}: não significativo ao nível de 5 % de probabilidade; *: significativo ao nível de 5% de probabilidade; QM: quadrado médio; CV: coeficiente de variação; GL: graus de liberdade; CPA: comprimento da parte aérea; CPR: comprimento da raiz; MS - PA: massa seca da parte aérea; MS - R: massa seca da raiz.

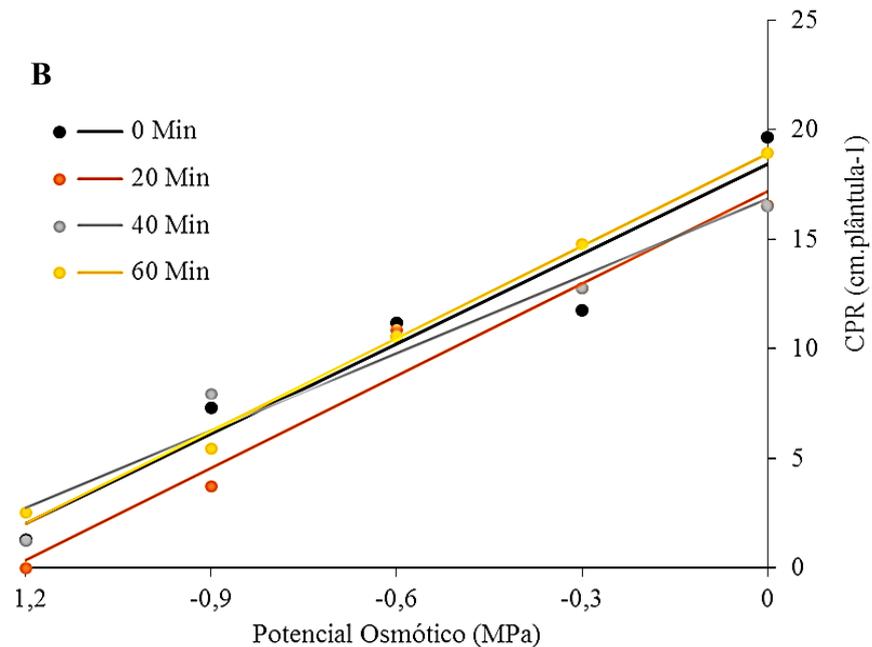
Para o comprimento da parte aérea (Figura 9 – A) somente foi observado o efeito dos níveis de salinidade, pois com o aumento da concentração de NaCl na solução salina, representado pelo potencial osmótico, houve favorecimento na redução desta variável. De modo que a testemunha (0 MPa) atingiu o comprimento médio de 13,14 cm.plântula⁻¹, enquanto na máxima condição salina (-1,2 MPa) o comprimento foi de 0 cm.plântula⁻¹, mostrando assim o efeito adverso da salinidade sobre as plântulas, e cuja aplicação do plasma frio foi indiferente ao desenvolvimento da parte aérea.

Quanto ao comprimento da raiz (CPR), observado na figura 9 – B, houve diferença entre os tratamentos com plasma dentro de cada nível do potencial osmótico. E pela regressão polinomial, os dados referentes a esta variável foram representados por retas de equações de primeiro, com ajuste de dados variando de 0,939 a 0,996. Vale ressaltar que dentre os tratamentos com plasma, aqueles de 60 minutos tiveram seu comprimento médio reduzido de 18,96 a 2,50 cm, indicando resultados superiores aos demais tratamentos em quase todos os níveis de estresse salino avaliados. Um desses exemplos é em relação as sementes de sorgo tratadas por 20 minutos, as quais resultaram em plântulas que atingiram 0 cm de comprimento radicular no potencial -1,2MPa, embora tenham alcançado, na condição de 0 MPa, o comprimento máximo de 16,53 cm.

Figura 9- Comprimento da Parte Aérea (A) e da Raiz (B) de plântulas de sementes de *Sorghum bicolor* tratadas com plasma frio sob efeito do estresse salino induzido por NaCl.



$$\text{CPA (cm.plântula}^{-1}\text{)} = 7,3175x^2 + 19,721x + 13,115 \quad R^2 = 0,9998$$



$$\text{CPR}_{0 \text{ min}} (\text{cm.plântula}^{-1}) = 13,72x + 18,462 \quad R^2 = 0,9393$$

$$\text{CPR}_{20 \text{ min}} (\text{cm.plântula}^{-1}) = 14,033x + 17,186 \quad R^2 = 0,9693$$

$$\text{CPR}_{40 \text{ min}} (\text{cm.plântula}^{-1}) = 11,79x + 16,872 \quad R^2 = 0,9532$$

$$\text{CPR}_{60 \text{ min}} (\text{cm.plântula}^{-1}) = 14,08x + 18,894 \quad R^2 = 0,9952$$

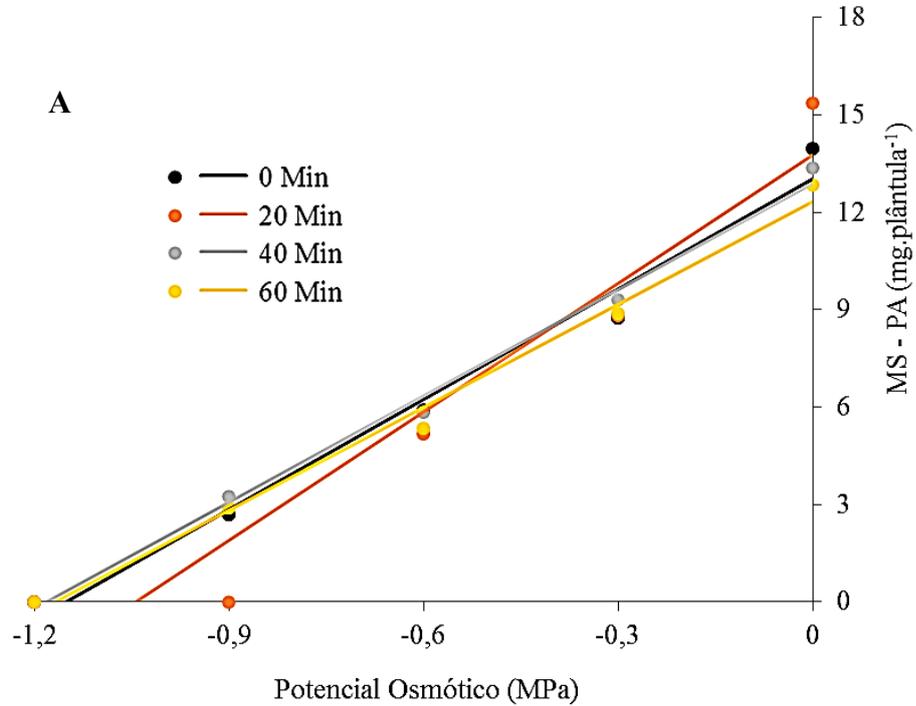
Também é possível notar que variáveis como massa seca da parte aérea e da raiz, tiveram seus valores reduzidos com a diminuição do potencial osmótico em todos os tempos de aplicação com plasma a frio. A massa seca da parte aérea, por exemplo, no nível de 0 MPa obteve diferença significativa entre os tratamentos com plasma, nos quais as sementes submetidas a 20 min alcançaram média superior aos de 0, 40 e 60 minutos, que por sua vez não diferiram entre si a 5% de probabilidade. Já a massa seca da raiz, somente o tratamento de sementes de sorgo por 60 minutos atingiu valores médios que foram superiores em todas as condições de estresse salino, embora tenha apresentando nos níveis 0 e -0,6 MPa valores que também não diferiram dos resultados inferiores alcançados nestes níveis.

Para a massa seca da parte aérea (MS – PA) e raiz (MS – R), Figura 10 – A e B, os dados foram representados por equações de primeiro grau. No que se refere a MS – PA todos os tratamentos com plasma reduziram seus valores para 0 mg.plântula⁻¹ na máxima condição de estresse salino avaliado (-1,2 MPa), sendo que no potencial -0,9 MPa o tratamento de 20 min com plasma já havia atingido a marca de 0 mg.plântula⁻¹

Quanto a massa seca da raiz, as sementes tratadas por 60 minutos com plasma atingiram resultados que foram superiores em todas as condições de estresse salino. Sendo que nos potenciais -0,3, -0,9 e -1,2 MPa alcançaram um peso de 4,83; 2,84 e 1,30 mg.plântula⁻¹, respectivamente. Já nos níveis de 0 e -0,6 MPa os valores foram de 6,08 e 3,45 mg.plântula⁻¹, que por sua vez não diferiram dos maiores e também o dos menores valores alcançados nestes níveis.

Ling *et al.* (2014) em seus estudos conduzidos com sementes de soja, mostraram que as sementes tratadas com plasma a frio apresentaram um aumento significativo na porcentagem de degradação e utilização de suas reservas. O que segundo Dobrynin *et al.* (2009) é explicado pela existência de interações das células com o plasma, as quais poderão resultar na melhoria das suas atividades enzimáticas, o que acarretará no melhor desenvolvimento das plântulas formadas.

Figura 10 - Massa Seca da Parte Aérea - MS – PA (A) e raiz – MS – R (B) de plântulas *Sorghum bicolor* tratadas com plasma frio sob efeito do estresse salino induzido por NaCl.

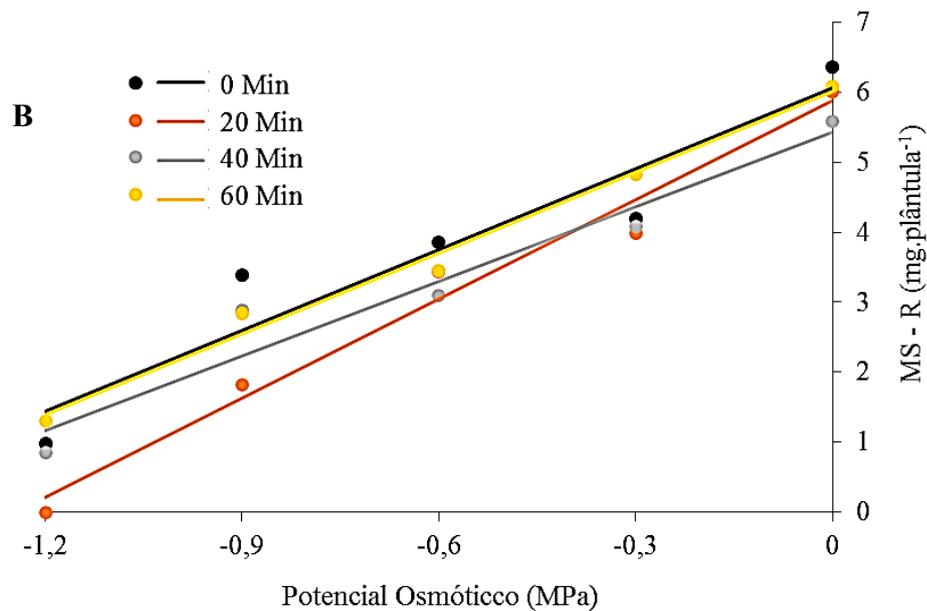


$$\text{MS - PA}_{0 \text{ min}} (\text{mg.plântula}^{-1}) = 11,317x + 13,05 \quad R^2 = 0,9824$$

$$\text{MS - PA}_{20 \text{ min}} (\text{mg.plântula}^{-1}) = 13,167x + 13,766 \quad R^2 = 0,9296$$

$$\text{MS - PA}_{40 \text{ min}} (\text{mg.plântula}^{-1}) = 10,92x + 12,9 \quad R^2 = 0,9942$$

$$\text{MS - PA}_{60 \text{ min}} (\text{mg.plântula}^{-1}) = 10,55x + 12,32 \quad R^2 = 0,9914$$



$$\text{MS - R}_{0 \text{ min}} (\text{mg.plântula}^{-1}) = 3,85x + 6,064 \quad R^2 = 0,9029$$

$$\text{MS - R}_{20 \text{ min}} (\text{mg.plântula}^{-1}) = 4,72x + 5,878 \quad R^2 = 0,9768$$

$$\text{MS - R}_{40 \text{ min}} (\text{mg.plântula}^{-1}) = 3,55x + 5,43 \quad R^2 = 0,9438$$

$$\text{MS - R}_{60 \text{ min}} (\text{mg.plântula}^{-1}) = 3,85x + 6,01 \quad R^2 = 0,9879$$

4 CONCLUSÃO

Os tratamentos com plasma a frio a base de nitrogênio (N₂) por 40 e 60 minutos são eficientes na proteção das sementes de sorgo em condições de estresse salino, enquanto o tratamento por 20 minutos é prejudicial às sementes em condições de máxima salinidade. Contudo cabe mais estudos a serem realizados, a fim de elucidar com maior clareza e precisão a interação existente entre o plasma e as sementes de sorgo.

REFERÊNCIAS

- ABROL, I. P.; YADAV, J. S. P.; MASSOUD, F. I. **Salt-affected soils and their management**. United Nations, Rome, FAO Soils Bull. 39. 1988.
- AHMED, M.; QAMAR, I. A. **Rehabilitation and Productive use of Salt affected Lands through Afforestation**. Science Vision. v.9, n.1, p.178-191, 2004.
- ALBUQUERQUE, P. E. P.; ANDRADE, C. L. T. **Irrigação**. In: FILHO, I. A. P.; RODRIGUES, J. A. S. (ed.). *Sorgo: o produtor pergunta, a Embrapa responde*. DF: Embrapa, 2015.
- ALVES JR., C. **Nitretação a plasma: fundamentos e aplicações**. Natal, EDUFRN, 2001.
- AMORIM, J. R. A. **Salinidade em áreas irrigadas: origem do problema, conseqüências e possíveis soluções**. Disponível em: <<http://www.grupocultivar.com.br/artigos/salinidade-em-areas-irrigadas-origem-do-problema-consequencias-e-possiveis-solucoes>>. Acesso em: 02 abr. 2017.
- ARAÚJO, L. F.; LIMA, R. E. M.; COSTA, L. O.; SILVEIRA, E. M. C.; BEZERRA, M. A. Alocação de íons e crescimento de plantas de cajueiro anão-precoce irrigadas com água salina no campo. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v.18, (Suplemento), p.S34–S38, 2014.
- BATISTA, M. J.; NOVAES, F.; SANTOS, D. G.; SUGUINO, H. H. **Drenagem como instrumento de dessalinização e prevenção da salinização de Solos**. 2.ed., rev. E ampliada. Brasília: CODEVASF, 2002.
- BITTENCOURT, J.A. **Fundamentals of Plasma Physics**. 3ª Ed., Springer, 2004. 400 p.
- BOGAERTES, A.; NEYTS, E.; GIJBELS, R.; VAN DER MULLEN, J. Gas discharge plasmas and their applications. **Spectrochimica Acta Part B**, v.57, v.609-658, 2002.
- BORMASHENKO, E.; GRYNIOV, R.; BORMASHENKO, Y. DRORI, E. Cold radiofrequency plasma treatment modifies wettability and germination speed of plant seeds. **Scientific Reports**, 741-748, 2012.
- CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: Ciência, Tecnologia e Produção**. 5.ed. Campinas, Fundação Cargill, 2012. 590p.
- CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA Y FORESTAL. **Guía técnica del sorgo**. La Libertad: CENTA, marzo 2007.
- CIDRAES, A. G. **A cultura do sorgo**. Série divulgação nº 35, 1966. Disponível em: <http://www.drapc.min-agricultura.pt/base/documentos/a_cultura_do_sorgo.pdf>. Acesso em: 8 fev. 2017.
- COELHO, D. L. M.; AGOSTINI, E. A. T.; GUABERTO, L. M.; NETO, N. B. M.; CUSTÓDIO, C. C. Estresse hídrico com diferentes osmóticos em sementes de feijão e

expressão diferencial de proteínas durante a germinação. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 3, p. 491-499, 2010.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Dados de séries históricas do sorgo**. Brasília, DF, 2017.

CORDEIRO, G. G.; MANSEFÚ, A. R. **Degradação de terras por salinidade no Nordeste do Brasil e medição instrumental da salinidade**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2001.

DOBRYNIN, D.; FRIDMAN, G.; FRIEDMAN, G.; FRIDMAN, A. **Physical and biological mechanisms of direct plasma interaction with living tissue**. *New J. Phys.* 11, 2–26, 2009.

FANTI, S. C.; PEREZ, S. C. J. G. A. Efeitos do estresse hídrico e salino na germinação de *Bauhinia forficata*. **Revista Ceres**, v.43, p.654-662, 1996.

FAO, **The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture (SOLAW) — managing systems at risk**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome and Earthscan, London, 2011.

FERREIRA, D. F. **Sisvar 5.6**. 2006. Disponível em: <<http://www.dex.ufla.br/~danielff/programas/sisvar.html>>. Acesso em: 03 de junho de 2017.

FRANÇA NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; HENNING, A. A. A importância do uso de sementes de soja de alta qualidade. **Informativo ABRATES**, v.20, p.037-038, 2010.

FREITAS, R. M. O.; NOGUEIRA, N. W.; OLIVEIRA, F. N.; COSTA, E.M.; RIBEIRO, M.C.C. Efeito da irrigação com água salina na emergência e crescimento inicial de plântulas de Jucá. **Revista Caatinga**, v.23, n.3, p.54-58, 2010.

GARCIA, T.; BITTENCOURT, E. Plasma: Tecnologia limpa. *In: 3rd AMAZONIC GREEN MATERIALS MEETING*, 2010, Manaus-AM. **Anais...** Universidade Federal do Amazonas, 2010.

GÓIS, V. A.; TORRES, S. B.; PEREIRA, R. A. Germinação de sementes de maxixe submetidas a estresse salino. **Caatinga**, v.21, n.4, p.64-67, out./dez. 2008.

HARTER, L. S. H.; HARTE, F. S.; DEUNER, C.; MENEGHELLO, G. E.; VILLELA F. A. Salinidade e desempenho fisiológico de sementes e plântulas de mogango. **Horticultura Brasileira**, 32: 80-85, 2014.

IANNETTA, M.; COLONNA, N. Salinização. *In: Land Care in Desertification Affected Areas: from science towards application*. [S. l.]: 2008. (Série do Folheto B, 3). Disponível em: <http://geografia.fsch.unl.pt/lucinda/Leaflets/B3_Leaflets_PT.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2017.

JIANG, J; LU, Y; LI, J; Ling LI; XIN, E; SHAO, H; DONG, Y. Effect of Seed Treatment by Cold Plasma on the Resistance of Tomato to *Ralstoniasolanacearum* (Bacterial Wilt). **JournalsPlosOne**. Volume 9, 2014.

LEMES, E. S. **Aplicação de cinza da casca de arroz, via solo, como fonte de silício em**

arroz irrigado sob estresse salino. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2013.

LING, L.; JIAFENG, J.; JIANGANG, L.; MINCHONG, S.; XIN, H.; HANLIANG, S.; YUANHUA, D. Effects of cold plasma treatment on seed germination and seedling growth of soybean. **Scientific Reports**, 4, 5859. 2014.

LING, L.; JIANGANG, L.; MINCHONG, S.; CHUNLEI, Z.; YUANHUA, D. **Cold plasma treatment enhances oilseed rape seed germination under drought stress.** Scientific Reports, 2015.

LOURENÇAO, A.L.F.; BAGEGA, D. Tecnologias para a Cultura do Sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). In: **Tecnologia e Produção: Milho Safrinha e Culturas de Inverno 2012.** Fundação MS. 2012.

MACÊDO, M. O. C. *et al.* O uso do plasma de nitrogênio para modificação superficial em membranas de quitosana. **Revista brasileira de inovação tecnológica em saúde**, 2011.

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

MORTELE, L.M.; LOPES, P. C.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A. 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.

MOISAN, M. *et al.* Experimental investigation and characterization of the the departure from local thermody – namic equilibrium along a surfase-wave-sustained discharge at atmospheric pressure. **Journal of Applied Physics**, 1996.

NASCIMENTO, W. M.; DIAS, D. C. F. dos S.; SILVA, P. P. Qualidade fisiológica da semente e estabelecimento de plantas de hortaliças no campo. In: CURSO SOBRE TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE SEMENTES DE HORTALIÇAS, 11., 2010, Porto Alegre. **Palestras...** Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2011. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/51460/1/palestra17-Curso-Sementes-Hortalicas-11.pdf>>. Acesso em: 17 jan. 2017.

POLAK, P. L. **Processamento por plasma de polímeros para aplicações eletroquímicas.** 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

RIBAS, P. M. Importância econômica. **Embrapa Milho e Sorgo**, Versão eletrônica, 4 ed., set. 2008. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo_4_ed/importancia.htm>. Acesso em: 02 fev. 2017.

RIBEIRO, R. A. M.; CORREIA, J. de S.; FERNANDES, J. G.; NOGUEIRA, F. P.; RIBEIRO, L. de S.; ARAGÃO, C. A.; DANTAS, B. F. Germinação de sementes de coentro submetidos ao estresse salino. In: REUNIÃO NORDESTINA DE BOTÂNICA, 27., 2004, Petrolina. **Anais...** Petrolina: Embrapa Semi-Árido: SBB: UNEB, 2004.

ROSA, W. J. **Cultura do sorgo**. [S. l.]: EMATER-MG, ago. 2012.

SIVRITEPE, N.; SIVRITEPE, H. O.; ERIS, A. The effect of NaCl priming on salt tolerance in melon seedling grown under saline conditions. **Scientae Horticulturae**, 97: 229-237, 2003.

TIMM, F. C.; BANDEIRA, J. M.; BICCA, M. L.; DODE, J. S.; MORAES, D. M. Germinação e crescimento de plântulas de genótipos de aveia branca submetidas ao estresse salino. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 5, p. 2987-3000, set./out. 2015.

VALENTINI, L.; OLIVEIRA, L. A. A. de; FERREIRA, J. M. **Produção de sementes de milho variedade para uso próprio em propriedades de microbacias hidrográficas**. Niterói: Programa Rio Rural, 2008. 15 p. Disponível em: <[http://www.pesagro.rj.gov.br/downloads/riorural/15 Producao de Sementes de Milho.pdf](http://www.pesagro.rj.gov.br/downloads/riorural/15%20Producao%20de%20Sementes%20de%20Milho.pdf)>. Acesso em: 18 jan. 2017.

VIANA, H. M. **Estudo da resistência à corrosão de aço carbono protegido por um sistema de pintura epóxi/poliuretano com pré-tratamento à base de siloxano e pirrol plasma-polimerizados**. 2002. Tese (Doutorado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

YASUDA, H. **Plasma polymerization**. London: Academic Press, 1985. 432 p.

**APÊNDICE A – DESVIO PADRÃO DOS TRATAMENTOS NAS VARIÁVEIS
ANALISADAS NO EXPERIMENTO**

VARIÁVEL	TEMPO	POTENCIAL OSMÓTICO				
		0 MPa	- 0,3 MPa	- 0,6 MPa	- 0,9 MPa	- 1,2 MPa
IVG	0 Min	2,24	2,45	1,77	0,93	1,24
	20 Min	2,33	1,33	2,36	0,61	0,00
	40 Min	2,22	1,90	1,33	2,54	2,47
	60 Min	2,08	3,20	2,59	2,81	0,49
CPA	NSII	0,99	0,66	0,57	0,22	0,00
CPR	0 Min	0,46	1,44	1,38	1,48	0,04
	20 Min	1,70	0,58	0,37	0,36	0,00
	40 Min	1,36	0,70	0,58	0,80	0,19
	60 Min	2,08	2,47	1,62	0,62	0,65
MS - PA	0 Min	0,39	1,02	0,81	0,66	0,00
	20 Min	0,74	0,80	0,73	0,00	0,00
	40 Min	0,21	1,07	0,74	0,44	0,00
	60 Min	0,44	0,31	0,26	0,68	0,00
MS - R	0 Min	0,22	0,36	0,18	0,56	0,28
	20 Min	0,12	0,20	0,20	0,15	0,00
	40 Min	0,26	0,45	0,16	0,16	0,11
	60 Min	0,42	0,27	0,21	0,52	0,22
PPR	0 Min	4,47	6,00	1,73	3,46	4,47
	20 Min	3,32	3,46	4,00	3,32	0,00
	40 Min	4,47	5,20	3,32	12,81	4,90
	60 Min	2,83	4,47	6,32	8,25	3,46
PN	0 Min	5,92	6,00	1,73	10,20	0,00
	20 Min	5,20	5,20	10,34	0,00	0,00
	40 Min	4,47	8,49	7,21	4,47	0,00
	60 Min	3,32	2,83	2,83	11,45	0,00
PA	0 Min	1,73	4,47	5,20	13,42	4,47
	20 Min	2,83	4,36	7,68	3,32	7,14
	40 Min	4,90	4,47	1,73	17,20	4,90
	60 Min	1,73	2,00	4,90	13,38	3,46
SNG	0 Min	4,47	2,83	6,32	3,46	3,32
	20 Min	3,32	3,46	4,00	3,32	0,00
	40 Min	4,47	5,20	3,32	12,81	4,90
	60 Min	2,83	4,47	6,32	8,25	3,46

NSII: Não Significativo para efeito Isolado e Interação; IVG: Índice de Velocidade de Germinação; CPA: Comprimento da Parte Aérea; CPR: Comprimento da Parte da Raiz; MS-PA: Massa Seca da Parte Aérea; MS-R: Massa Seca da Raiz; PPR: Porcentagem de Protusão da Radícula; PN: Plântulas Normais; PA: Plântulas Anormais; SNG: Sementes Não Germinadas.