

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
MIGUEL JULIO MACHADO GUIMARÃES

**TOLERÂNCIA DE VARIEDADES DE SORGO GRANÍFERO À
SALINIDADE EM CONDIÇÕES SEMIÁRIDAS**

RECIFE-PE

2017

MIGUEL JULIO MACHADO GUIMARÃES

**TOLERÂNCIA DE VARIEDADES DE SORGO GRANÍFERO À
SALINIDADE EM CONDIÇÕES SEMIÁRIDAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, área de concentração: Manejo integrado de água e solo.

Orientadores

Prof^ª Dra. Lilia Gomes Willadino

Prof. Enio Farias de França e Silva

Coorientador

Dr. Welson Lima Simões

RECIFE-PE

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

G963t Guimarães, Miguel Julio Machado.
Tolerância de variedades de sorgo granífero à salinidade em
condições semiáridas / Miguel Julio Machado Guimarães. – 2017.
100 f.: il.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de
Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia agrícola,
Recife, BR-PE, 2017.

Inclui referências e apêndice(s).

1. Crescimento 2. Salinidade 3. Estresse oxidativo
4. *Sorghum bicolor* [L]. Moench I.
II. Título

CDD 630

TOLERÂNCIA DE VARIEDADES DE SORGO GRANÍFERO À SALINIDADE EM CONDIÇÕES SEMIÁRIDAS

Tese defendida e aprovada pela banca examinadora em 29 de dezembro de 2017

Dsc. Lilia Gomes Willadino
Universidade Federal Rural de Pernambuco - DEAGRI

Dsc. Ênio Farias de França e Silva
Universidade Federal Rural de Pernambuco - DEAGRI

Dsc. José Nildo Tabosa
Instituto Agrônômico de Pernambuco

Dsc. Terezinha Camara
Universidade Federal Rural de Pernambuco - DQ

Dsc. Maria Betânia Galvão dos Santos Freire
Universidade Federal Rural de Pernambuco - DA

RECIFE-PE

2017

AGRADECIMENTOS

A Deus por sempre iluminar o meu caminho

Aos meus pais, Aderaldo e Sandra Guimarães, pela educação, formação pessoal e apoio em toda minha vida: “Amo vocês!”

Ao meu irmão, João Henrique, que mesmo na distância sempre se manteve presente em todos os momentos: “Tamo Junto!”

A Universidade Federal Rural de Pernambuco e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola por me oferecer a oportunidade de realização do curso

A Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco – FACEPE pela concessão da bolsa de pós-graduação

Aos amigos do PGEA Breno Lima, José Jairo, Sávio Cavalcanti, Luis Antonio, Hammady Ramalho, Alan Cesar: “Valeu Galera!”

A Prof^a Lilia Gomes Willadino, por toda orientação, ensinamentos, paciência, amizade e, principalmente, confiança: “Um exemplo a ser seguido!”

Ao pesquisador Welson Lima Simões, por me oferecer a oportunidade de realizar minha pesquisa em sua unidade de trabalho, pela amizade, confiança, companheirismo, conselhos: “Um orientador para toda a vida!”

A Embrapa Semiárido pela infraestrutura e apoio durante a realização do trabalho. Aos funcionários, bolsistas e estagiários: “Muito obrigado por todo o apoio!”

A toda equipe de trabalho da Embrapa Semiárido que lutou comigo durante esses quatro anos: Emanuel Jurema, Keila Costa, Wesley Oliveira, Antônio Alves, Bruna Cavalcanti, Max Venícius, Moises Alves, Pedro Paulo, Alisson Sobreira, Victor Alves, Vinícius Aquino, Hélio Tavares, Igor Fernandes, Alexandro Santos, Jeferson Rodrigues: “Há gotas do suor de vocês aqui nessas páginas!”

A toda equipe de Mudanças Climáticas da Embrapa Semiárido: Danielle Carolina, Gilmara Moreira, Juliane Rafele, Maydara Rêgo, Rodrigo Moura: “Ninguém trabalha aqui, não é?”

Aos grandes amigos pesquisadores e coordenadores que conheci nesta unidade de trabalho: “Vocês foram muito importantes!”

Aos meus irmãos da vida, Rafael Silva, Douglas Elizeu, Francisco Assis, José Roberto, Ubirajara Oliveira, Vinicius Bernardo, Vinicius Lordello, Diogo Lordello, Pedro Ivo, Matheus Machado, que mesmo na distância sempre estavam presentes, ontem, hoje, amanhã e sempre: “Valeu Família Sisaleira!”

A todos que contribuíram, mesmo que minimamente, para a realização deste trabalho

A todos que torceram por mim e que porventura não foram citados

“A palavra convence, o Exemplo arrasta.”

(Colégio da Polícia Militar, 2006)

SUMÁRIO

RESUMO	x
ABSTRACT	xii
LISTA DE TABELAS	xiv
LISTA DE FIGURAS	xv
INTRODUÇÃO GERAL	17
REVISÃO DE LITERATURA	19
Cultivo de sorgo vs Salinidade	19
Utilização de água salina na agricultura	20
Plantas sob estresse abiótico	26
CAPÍTULO 1: Produção de variedades de sorgo granífero irrigadas com águas salinas	37
RESUMO	38
ABSTRACT	38
INTRODUÇÃO	39
MATERIAL E MÉTODOS	40
RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
CONCLUSÕES	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
CAPÍTULO 2: Trocas gasosas e metabolismo enzimático em variedades de sorgo granífero irrigado com água salina	56
RESUMO	57
ABSTRACT	57
INTRODUÇÃO	58
MATERIAL E MÉTODOS	59
RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
CONCLUSÕES	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
Capítulo 3: Cultivo de sorgo granífero irrigado com água salina em condições semiáridas ...	77
RESUMO:	78
ABSTRACT:	78
INTRODUÇÃO	79
MATERIAL E MÉTODOS	80
	viii

RESULTADOS E DISCUSSÃO	83
CONCLUSÕES	90
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90
CONSIDERAÇÕES FINAIS	94
APÊNDICES	95

RESUMO

O semiárido brasileiro apresenta diversas áreas com limitações quanto à disponibilidade de água de qualidade apropriada para o consumo e para a atividade agrícola. Para o aproveitamento de água com níveis de sais elevados deve-se levar em consideração o potencial de produção da cultura sobre essas condições. Com isto, a produção de sorgo vem ganhando destaque nos últimos anos, devido à sua facilidade de cultivo, resistência à seca, rapidez no estabelecimento e no crescimento. Mesmo sendo considerado moderadamente tolerante à salinidade, tal estresse abiótico apresenta grande interferência no metabolismo destas plantas, o que torna imprescindível a seleção de variedades tolerantes a salinidade e que apresentem adaptação a essa região. Com isto, o objetivo desse trabalho foi avaliar a tolerância à salinidade de variedades de sorgo granífero, visando à inclusão dessas variedades em sistemas de produção que utilizam água com elevados teores de sais para irrigação. Para isto, foram realizados dois experimentos nos anos de 2015 e 2016 no município de Petrolina-PE. Primeiramente foram avaliadas seis variedades de sorgo submetidas à irrigação com soluções de diferentes concentrações salinas. Esse experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada na sede da Embrapa Semiárido, utilizando o delineamento experimental inteiramente casualizado, disposto em esquema fatorial 6x5, composto por seis variedades de sorgo e soluções salinas com cinco valores de condutividade elétrica: 0; 1,5; 3,0; 6,0 e 12,0 dS m⁻¹. Em um segundo momento, as três variedades mais tolerantes à salinidade, selecionadas a partir dos resultados do primeiro experimento, foram cultivadas em campo na mesma localidade. Na ocasião, as mesmas foram irrigadas com água salina provinda de poços artesianos da região, sendo adotado o delineamento experimental em blocos ao acaso, em parcelas subdivididas, composto pelas três variedades de sorgo selecionadas e quatro frações de lixiviação (0; 5; 10 e 15% de lixiviação). Foram avaliados, durante e ao final dos experimentos, aspectos da planta (parâmetros biométricos, fisiológicos e bioquímicos) e do solo (propriedades físicas e químicas). Com os resultados obtidos no primeiro experimento pode-se verificar que as variedades avaliadas apresentaram resultados de produção satisfatórios quando submetidas níveis de salinidade da água de irrigação de até 6 dS m⁻¹, com exceção da variedade 2564-IPA, não sendo recomendada para cultivo em condições salinas. As variedades 1011-IPA e 2502-IPA foram as que obtiveram maiores produções de grãos. A irrigação com água salina provoca uma redução nas trocas gasosas e no estado hídrico das

variedades de sorgo granífero avaliadas. O sistema antioxidativo foi ativado nas seis variedades de sorgo para evitar o acúmulo de EROs, sendo que o sincronismo entre as enzimas refletiu numa melhor resposta produtiva das variedades Ponta negra e 1011-IPA. A partir do segundo experimento pode-se concluir que a aplicação de frações de lixiviação na irrigação com água salina proporcionou uma melhor distribuição dos sais no perfil do solo, bem como aumentos de até 60% na produtividade de grãos nas variedades de sorgo granífero avaliadas. As variedades 1011-IPA e Ponta Negra se mostraram mais tolerantes à salinidade quando comparadas a variedade 2502-IPA, por apresentarem maiores produtividade de grãos quando irrigadas com água salina com condutividade elétrica média de 4,19 dS m⁻¹.

Palavras-chave: crescimento, salinidade, estresse oxidativo, *Sorghum bicolor* [L]. Moench

ABSTRACT

TOLERANCE OF SORGHUM GRANIFERO VARIETIES TO SALINITY IN SEMI-ARID CONDITIONS

The Brazilian semi-arid region presents several areas with limitations on the availability of quality water for consumption and for agricultural activity. For the use of water with high salt levels, the production potential of the crop over these conditions must be taken into account. With this, sorghum production has been gaining prominence in recent years due to its ease of cultivation, resistance to drought, rapid establishment and growth. Even though it is considered moderately tolerant to salinity, such abiotic stress has a great influence on the metabolism of these plants, which makes it imperative to select varieties that are tolerant to salinity and that adapt to this region. The objective of this work was to evaluate the tolerance to salinity of sorghum genotypes, aiming at the inclusion of these genotypes in production systems that use water with high levels of salts for irrigation. For this, two experiments were carried out in the years of 2015 and 2016 in the city of Petrolina, Brazil. First, six sorghum genotypes were submitted to irrigation with solutions of different salt concentrations. The experiment was conducted in a greenhouse located at Brazilian Agricultural Research Corporation, Semiarid Unit, using a completely randomized experimental design, arranged in a 6x5 factorial scheme, composed of six sorghum varieties and saline solutions with five values of electrical conductivity: 0; 1.5; 3.0; 6.0 and 12.0 dS m⁻¹. Second, the three most salinity-tolerant varieties, selected from the results of the first experiment, were field-grown in the same locality. At the time, they were irrigated with saline water from the artesian wells of the region. The experimental design was a randomized block design in subdivided plots, composed of the three selected sorghum varieties and four leaching fractions (0, 5, 10 e 15% leaching). Plant aspects (biometric, physiological and biochemical parameters) and soil (physical and chemical properties) were evaluated during and at the end of the experiments. With the results obtained in the first experiment it can be verified that the evaluated varieties presented satisfactory results when irrigation water salinity levels of up to 6 dS m⁻¹, with the exception of the variety 2564-IPA, were not recommended for cultivation in saline conditions. The varieties 1011-IPA and 2502-IPA were the ones that obtained the highest yields of grains. Irrigation with saline water causes a reduction in gaseous and water changes of the sorghum

varieties evaluated. The antioxidative system was activated in the six varieties of sorghum to avoid the accumulation of EROs, and the synchronism between the enzymes reflected a better productive response of the black and 1011-IPA varieties. From the second experiment it can be concluded that the application of leaching fractions in the irrigation with saline water provided a better distribution of the salts in the soil profile, as well as increases of up to 60% in grain yield in the sorghum varieties evaluated. The varieties 1011-IPA and Ponta Negra were more tolerant to salinity when compared to the 2502-IPA variety, because they showed higher grain yield when irrigated with saline water with an average electrical conductivity of 4.19 dS m⁻¹.

Keyword: Growth, Salinity, oxidative stress, (*Sorghum bicolor* [L]. Moench)

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1:

Tabela 1. Características químicas e granulométricas do solo utilizado para o cultivo de sorgo granífero sob diferentes níveis de salinidade.	40
Tabela 2. Altura da planta, diâmetro do colmo (DC), comprimento e largura da folha +3, área foliar total (AFT) e biomassa seca da raiz (MSR) de plantas de sorgo granífero irrigadas com água salina.	43
Tabela 3. Produção de grãos entre variedades de sorgo granífero para cada nível de salinidade.	52

Capítulo 2.

Tabela 1. Características químicas e granulométricas do solo utilizado para o cultivo de sorgo granífero sob diferentes níveis de salinidade	60
Tabela 2. Taxa fotossintética (A), taxa de transpiração (E), condutância estomática (gs), temperatura foliar (Tf), eficiência instantânea (A/E) e intrínseca (A/gS) do uso da água, Teor relativo de água (TRA) e potencial turgor (PTu), em variedades de sorgo granífero irrigadas com água salina.....	63

Capítulo 3.

Tabela 1. Parâmetros químicos, físicos e granulometria do solo estudado.....	81
Tabela 2. Características químicas da água de irrigação proveniente de poço artesiano no município de Petrolina-PE.....	82
Tabela 3. Condutividade elétrica do extrato de saturação (dS m^{-1}) de um solo cultivado com variedades de sorgo granífero submetido a frações de lixiviação de 0; 5; 10 e 15%. 84	84
Tabela 4. Altura de planta, diâmetro do colmo e área foliar total de variedades de sorgo granífero irrigadas com água salina.....	86
Tabela 5. Valores médios de altura de plantas, diâmetro do colmo, área foliar total e produtividade de variedades de sorgo granífero em dois ciclos de produção, 1º e 2º corte.	89

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1:

- Figura 1. Altura da planta (A), diâmetro do colmo (B), comprimento (C) e largura (D) da folha +3, área foliar total (E) e biomassa seca da raiz (F) de plantas de sorgo granífero submetidos a níveis de salinidade da água de irrigação. Coeficientes da regressão significativos com $p < 0,01$ (**) e $p < 0,05$ (*). 45
- Figura 2. Biomassa seca da parte aérea (MSPA) de variedades de sorgo granífero submetidas a níveis de salinidade da água de irrigação. Coeficientes da regressão significativos com $p < 0,01$ (**). 47
- Figura 3. Eficiência do uso de água (EUA) de variedades de sorgo granífero submetidas a níveis de salinidade da água de irrigação. Coeficientes da regressão significativos com $p < 0,01$ (**). 49
- Figura 4. Produção de grãos de variedades de sorgo granífero submetidas a níveis de salinidade da água de irrigação. Coeficientes da regressão significativos com $p < 0,01$ (**). 50

Capítulo 2:

- Figura 1. Taxa fotossintética – A (A), taxa de transpiração – E (B), condutância estomática – gs (C), temperatura foliar – Tf (D), eficiência instantânea – A/E (E) e intrínseca – A/gs (F) do uso da água em variedades de sorgo granífero, submetidas a diferentes níveis de salinidade. Coeficientes da regressão significativos com $p < 0,01$ (**) e $p < 0,05$ (*). 64
- Figura 2. Teor relativo de água (A) e potencial turgor (PTu) em variedades de sorgo granífero, submetidas a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. Coeficientes da regressão significativos com $p < 0,01$ (**) e $p < 0,05$ (*). 66
- Figura 3. Atividade enzimática da superóxido dismutase (SOD) em variedades de sorgo granífero, submetidas a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. Coeficientes da regressão significativos com $p < 0,01$ (**) e $p < 0,05$ (*). 67
- Figura 4. Atividade enzimática da catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX) em variedades de sorgo granífero, submetidas a diferentes níveis de salinidade da água

de irrigação. Coeficientes da regressão significativos com $p < 0,01$ (**) e $p < 0,05$ (*).

.....	69
Figura 5. Biomassa seca da parte aérea (MSPA) de variedades de sorgo granífero submetidas a níveis de salinidade da água de irrigação. *Colunas seguidas de mesma letra dentro de cada nível de salinidade não diferem pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.	71

Capítulo 3.

Figura 1. Distribuição da umidade no perfil de um solo cultivado com variedades de sorgo granífero irrigado com água salina, submetido às frações de lixiviação de 0; 5; 10 e 15 %, sendo CC a umidade na capacidade de campo.	85
Figura 2. Altura de planta – H e diâmetro do colmo – DC (A), e área foliar total (B) de plantas de sorgo granífero irrigados com água salina, submetidos a diferentes frações de lixiviação. Coeficientes da regressão significativos com $p < 0,01$ (**) e $p < 0,05$ (*). .	86
Figura 3. Produtividade de massa fresca (MF), seca (MS) e de grãos (PG) de plantas de sorgo granífero irrigados com água salina, submetido a diferentes frações de lixiviação. Coeficientes da regressão significativos com $p < 0,01$ (**) e $p < 0,05$ (*).	87

INTRODUÇÃO GERAL

A água é um dos fatores essenciais para a vida das plantas, tanto a disponibilidade quanto a qualidade interferem diretamente nos processos metabólicos dos vegetais. Tais efeitos são potencializados em regiões áridas e semiáridas, as quais se caracterizam pela baixa pluviosidade e elevada demanda evaporativa. Nestas regiões, a água salina é, muitas vezes, a única fonte de água. Considerando-se que quanto mais severo for o estresse abiótico maior é o dano à planta, a aplicação de técnicas que minimizem o estresse provocado pela salinidade na irrigação é de fundamental importância. Nesse contexto, a utilização de plantas que sejam adaptadas às condições de cultivos salinos se torna um fator importante nestas regiões.

Com isto, o cultivo do sorgo granífero [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], o qual apresenta alto valor energético para alimentação animal, elevada adaptação a ambientes secos e quentes, além de altos rendimentos de massa seca por unidade de área, é uma alternativa para a produção em sistemas que utilizam água salina como fonte hídrica. A variabilidade genética desta cultura permitiu o desenvolvimento de diversos trabalhos de melhoramento, proporcionando assim um grande número de híbridos e variedades. Cada um desses materiais apresenta características agronômicas variadas, as quais serão influenciadas por diversos fatores ambientais.

Associado à utilização de culturas tolerantes, a utilização de águas salinas em sistemas de cultivo requer a aplicação de técnicas que minimizem os efeitos dos sais no sistema solo-planta. A irrigação com águas salinas requer aplicação de água para a lixiviação de sais da zona radicular. Tal técnica é denominada de fração de lixiviação, e consiste em aplicar na irrigação uma lâmina de água além da necessidade da cultura, para que parte dos sais, proveniente da salinidade da água utilizada na irrigação sejam lixiviados e se mantenha a salinidade do solo de maneira a permitir bons rendimentos de produção.

A salinidade é um dos estresses ambientais mais severos. Diversas são as respostas das plantas frente a um estresse. Estas respostas variam desde parâmetros fisiológicos (condutância estomática, taxa de transpiração e fotossíntese), biométricos (Altura, área foliar, produção de biomassa), a bioquímicos (solutos osmorreguladores, enzimas antioxidantes).

Estudos sobre a tolerância de espécies que apresentam grande potencial produtivo em ambientes salinos, bem como a adequação do manejo da irrigação com água salina para estas culturas, são um desafio que deve agregar esforços no sentido de mitigar as limitações para a produção agrícola em regiões semiáridas. Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a tolerância à salinidade de variedades de sorgo granífero, bem como as respostas morfofisiológicas das variedades em sistemas de produção que utilizam água com elevados teores de sais para irrigação.

REVISÃO DE LITERATURA

Cultivo de sorgo vs Salinidade

Pertencente a família Poaceae, o sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) tem como centro de origem a África, no entanto, algumas evidências indicam que houve duas regiões de dispersão independentes: África e Índia (EMBRAPA, 2009). No Brasil, acredita-se que foi introduzido na região Nordeste durante a colonização, através do tráfico de escravos africanos, sendo reintroduzido de forma ordenada nos anos 60 através de institutos de pesquisa públicos e universidades. Por volta dos anos 70 com a entrada do setor privado na produção, o Estado do Rio Grande do Sul passaria a ser o maior produtor do país. Posteriormente, com tecnologia importada da Argentina, Uruguai, e outros, a cultura se expandiu pelo Estado de São Paulo, atingindo a região central do Brasil (EMBRAPA, 2009).

A partir do final dos anos 90 a área cultivada com sorgo no Brasil deu um salto extraordinário, destacando-se a região Centro Oeste como principal produtora de sorgo granífero, seguida da Sudeste e Nordeste, respectivamente. Segundo o último levantamento da Companhia Nacional do Abastecimento – CONAB, a safra 2016/2017 atingiu 628,5 mil hectares plantados, dos quais, 113,2 ha se encontram na região Nordeste do Brasil, valor este que representa cerca de 18% da área plantada nacional (CONAB, 2017).

Por se tratar de uma gramínea que possui mecanismos fisiológicos que a tornam mais tolerante ao estresse hídrico, apresenta alto valor energético para alimentação animal, elevada adaptação a ambientes secos e quentes, os quais são limitantes para o cultivo de outras espécies forrageiras (BUSO et al., 2011), além de altos rendimentos de massa seca por unidade de área, constituindo-se numa importante alternativa de exploração agrícola para o agricultor do semiárido brasileiro. Tal região possui 969.589,4 km², cobrindo 11% do território nacional (MEDEIROS et al., 2011).

A variabilidade genética desta cultura permitiu o desenvolvimento de diversos trabalhos de melhoramento, proporcionando assim um grande número de híbridos e variedades. Cada um desses materiais apresenta características agrônômicas e valor nutritivo diferenciados, com conseqüentes variações quanto à produtividade e morfologia, resultando em forragens de diversas qualidades. Além do material genético, a produção e qualidade das plantas de sorgo

pode ser afetada por diversos fatores, podendo-se citar local de cultivo (ALBUQUERQUE et al., 2013), adubação (SANTOS et al., 2014), disponibilidade hídrica (TARDIN et al., 2013) e salinidade (GUIMARÃES et al., 2016).

Além dessas características, o sorgo tem sido reconhecido por sua tolerância moderada ao estresse salino (VIEIRA et al., 2005). Essa capacidade de adaptação é muito útil e permite a utilização dessa espécie com rendimentos economicamente aceitáveis, principalmente quando o cultivo em condições salinas é inevitável, o que permite o aproveitamento de solo e água salinos (AQUINO et al., 2007).

No entanto devido ao acúmulo diferencial de íons tóxicos, solutos orgânicos e nutrientes essenciais, observado entre diversos genótipos de sorgo, tem se verificado variações significativas quanto à tolerância dos mesmos à salinidade (LACERDA et al., 2006).

Aquino et al. (2007) observaram diferenças acentuadas quanto às respostas fisiológicas entre dois genótipos de sorgo submetidas a condições salinas. Oliveira et al. (2006) verificaram que a concentração de carboidratos solúveis, proteínas solúveis, aminoácidos livres totais e prolina no tecido foliar de sorgo forrageiro, foi proporcional ao teor de sal no meio de cultivo, no entanto, houve variações entre os genótipos estudados.

Coelho et al. (2017) ao avaliarem dez genótipos de sorgo submetidos a níveis de salinidade, concluíram que os sais influenciam na redução da quantidade de macronutrientes acumulada em folhas, colmos e raízes de sorgo forrageiro, estando diretamente relacionada com as perdas de matéria seca e com efeito competitivo de íons Na^+ e Cl^- que se encontram em excesso na solução do solo.

Dessa forma, reforça-se a necessidade de realizar estudos para identificação de genótipos mais tolerantes à salinidade e que sejam adaptados às características edafoclimáticas específicas de cada região, para que seja possível estabelecer estratégias de manejo com essa espécie em áreas que apresentam problemas com a salinização, seja por processos naturais ou induzidos pela irrigação com água que apresenta níveis elevados de sais.

Utilização de água salina na agricultura

A crescente demanda de alimentos da população mundial vem pressionando veementemente a utilização de água para irrigação no setor agrícola. Devido a necessidade de aumentar a produtividade, o setor tem alcançado grande expressividade na produção mundial com uma área irrigada no mundo em torno de 18% da área total cultivada, sendo esta responsável por 44% da produção agrícola do mundo (ANA, 2009).

A irrigação é uma técnica utilizada para obter produção agrícola rentável em regiões que os índices pluviométricos não são bem distribuídos e/ou não atende a demanda hídrica dos cultivos. Em regiões como no semiárido brasileiro, a má distribuição espacial e temporal de chuva, além da escassez recursos hídricos, têm levado alguns produtores ao uso de água proveniente de poços tubulares, que na maioria das vezes apresentam concentrações de sais que causam danos no sistema de produção (SANTOS & BRITO, 2016).

Para se utilizar a água salina em sistemas de cultivo irrigados é necessário que o produtor tenha conhecimento dos possíveis problemas ocasionados devido à salinidade da água e as soluções para atenuar estes impactos. Uma das principais consequências do manejo inadequado da irrigação com estas águas é a salinização e alcalinização dos solos. Estima-se que um quarto de toda área irrigada no mundo encontra-se seriamente comprometida pelo excesso de sais. No Brasil, estas áreas se concentram principalmente no Nordeste onde aproximadamente nove milhões de hectares estão comprometidos, sendo a Bahia o estado mais degradado com cerca de 44% das terras salinizadas, seguido do Ceará com 25,5% (LEITE, 2005).

A salinidade é um estresse ambiental severo, na sua presença as funções metabólicas dos vegetais são limitadas radicalmente, tendo como consequência a seca fisiológica, sintomas de toxidez, redução da capacidade produtiva, entre outros distúrbios graves. Diversos são os efeitos dos sais sobre as plantas, sendo que a sobrevivência das mesmas depende de vários fatores, podendo ser citados a origem do material genético, a intensidade e o tempo de exposição ao estresse. O estresse salino em plantas é formado por dois componentes: osmótico e iônico. O componente osmótico é resultado da elevada concentração de solutos na solução do solo, o que provoca um déficit hídrico pela redução do potencial osmótico e, conseqüentemente, uma redução da absorção de água pelas plantas (SILVEIRA et al. 2010; WILLADINO & CAMARA, 2010).

Em um segundo momento, há o acúmulo de íons salinos no citosol das células das plantas (Componente iônico), provocando problemas de toxicidade (principalmente dos íons Na^+ e Cl^-) e um desequilíbrio nutricional, destacando-se a redução da concentração de K^+ em

função do incremento da salinidade (SILVEIRA et al. 2010; WILLADINO & CAMARA, 2010).

Já sobre o solo, o efeito dos sais depende basicamente da interação eletroquímica existente entre os sais e as partículas constituintes do solo, a qual, refletirá diretamente no grau de estabilização de seus agregados. A característica principal deste efeito é a expansão da argila quando úmida e a contração quando seca, devido ao excesso de sódio trocável. Se a expansão for exagerada, poderá ocorrer a fragmentação das partículas, causando a dispersão da argila e modificando a estrutura do solo.

A dispersão das argilas pode interferir nas características do solo de duas formas. Quando dispersas, as mesmas são eluviadas juntamente com a água de percolação, ocupando os espaços porosos e elevando a densidade do solo. Em outros casos a dispersão das argilas ocorre sobre a superfície do solo, formando uma camada elevada densidade global, pequena porosidade e baixa condutividade hidráulica, em um processo conhecido como selamento superficial (DIAS & BLANCO, 2010).

Além da redução da qualidade física do solo, o excesso de sais pode ainda afetar a disponibilidade de nutrientes às plantas. As desordens nutricionais observadas em plantas cultivadas em solos salinos e sódicos estão diretamente relacionadas a limitação do crescimento radicular e a redução da disponibilidade de nutrientes para as plantas. A absorção de nutrientes das plantas varia com a espécie ou genótipos, e, provavelmente, estão relacionados com sua tolerância à salinidade (DIAS & BLANCO, 2010).

A utilização de águas salinas para irrigação pode acarretar no aumento da concentração de sais nos solos. Sem a adoção de técnicas adequadas de manejo de água e solo, a concentração de sais no solo tende a aumentar e pode haver evolução da salinidade.

A técnica de fração de lixiviação consiste em aplicar na irrigação uma lâmina de água além da necessidade da cultura, para que parte dos sais, proveniente da salinidade da água utilizada na irrigação se concentre abaixo da zona radicular e mantenha a salinidade do solo de maneira a permitir bons rendimentos de produção. Para Richards (1954) é a fração de água de irrigação que deve penetrar abaixo da zona radicular para manter a salinidade em um nível específico. A FL varia com a tolerância à salinidade pela cultura e a salinidade da água de irrigação (TSIMPHO, 2011).

Avanços na tecnologia de irrigação tais como sistemas de microirrigação e aspersão fornecem oportunidade para irrigar com valores baixos da fração de lixiviação (LETEY et al., 2011). A utilização de valores baixos da fração de lixiviação é fundamental para proporcionar

um método de irrigação seguro e sustentável. É necessário se obter um equilíbrio adequado entre o sal acumulado na zona radicular e o sal lixiviado para as águas subterrâneas, uma vez que é fundamental reduzir o transporte de componentes químicos que degradem a qualidade das águas subterrâneas, bem como promover um uso eficiente deste limitado suprimento de água (CORWIN et al., 2007).

Para se estimar a necessidade de lixiviação (NL) ou exigência de lixiviação (EL) necessita-se conhecer tanto a salinidade da água de irrigação como a salinidade tolerada pela cultura e solo (RICHARDS, 1954; BARROS et al., 2005). Tal necessidade é variável devido o aumento da salinidade do solo reduzir a transpiração da planta, causando elevação do nível de água no perfil do solo e, conseqüentemente, aumentando a lixiviação (BRESLER, 1987).

Para se calcular a necessidade de lixiviação, Duarte et al. (2015) afirmam que deve-se conhecer as lâminas de água de irrigação e de drenagem, com suas respectivas condutividades elétricas, conforme a Equação 1.

$$NL = \frac{CE_i}{CE_d} = \frac{h_d}{h_i} \quad (1)$$

Em que:

NL – necessidade de lixiviação, decimal;

CE_i – condutividade elétrica da água de irrigação, dS m⁻¹;

CE_d – condutividade elétrica da água de drenagem, dS m⁻¹;

h_d – lâmina de água de drenagem, mm; e

h_i – Lâmina de água de irrigação, mm.

Rhoades (1974) afirma que a Equação 1 pode ser utilizada para calcular a NL em cultivos com irrigação convencional. Já sistemas com alta frequência de irrigação, Rhoades & Merrill (1976), sugerem outra equação, a qual leva em consideração a condutividade elétrica média do extrato do solo que a cultura tende a rendimento zero, conforme a Equação 2.

$$NL = \frac{CE_a}{2CE_{max}} \quad (2)$$

Em que:

NL – necessidade de lixiviação, decimal;

CE_a – condutividade elétrica da água de irrigação, dS m⁻¹;

CE max – Condutividade elétrica média do extrato do solo que a cultura tende a rendimento zero, em dS m^{-1} .

Outra forma, muito utilizada, de se calcular a lâmina de lixiviação, consiste na simples adição de uma porcentagem de lâmina de água sobre a lâmina de irrigação exigida pela cultura. Neste método, assume-se que as irrigações irão manter a umidade do solo na capacidade de campo, e que toda água adicionada a mais da necessidade da cultura irá percolar, e levar consigo parte dos sais presentes no solo. Desta forma, a fração de lixiviação consiste na lâmina de água que atravessa e percola a zona radicular da cultura, sendo calculada pela seguinte equação 3.

$$FL = \frac{Lx}{Ln} \quad (3)$$

Em que:

FL – Fração de lixiviação, decimal;

Lx - lâmina de lixiviação ou lâmina que percola abaixo da zona radicular, mm;

Ln - lâmina de irrigação necessária para satisfazer a demanda hídrica da cultura mais a lixiviação, mm.

Tal metodologia já fora utilizada experimentalmente por vários autores no cultivo de diversas culturas, com a obtenção de resultados satisfatórios. Guimarães et al. (2016) ao utilizarem frações de lixiviação de até 15% no cultivo de sorgo forrageiro irrigado com água salina (cerca de 5 dS m^{-1}), verificaram um aumento de até 25% na produtividade de biomassa seca das plantas de sorgo. Simões et al. (2016) concluíram que a aplicação de lâminas de lixiviação de até 15% no cultivo da beterraba proporcionou uma melhor distribuição de sais no perfil do solo, e conseqüentemente, uma maior produtividade das plantas submetidas a tal lixiviação.

Outros trabalhos registram que o aumento da fração de lixiviação reduz a CEe e o acúmulo de sódio na camada superficial, além de promover uma melhor distribuição de sais no perfil do solo, como observado no cultivo de beterraba (SIMÕES et al., 2016) e amendoim (SANTOS et al., 2012), comprovando que a lixiviação, resultante da passagem de água através do perfil do solo, é uma prática eficaz para reduzir o excesso de sais solúveis na zona

radicular das culturas. A redução da CE do solo aumenta a área de exploração disponível para as raízes das plantas, diminuindo assim o estresse provocado pelo acúmulo de sais.

Quanto ao manejo da irrigação, a mesma deve ser suficientemente adequada para prevenir acumulação de sais na zona radicular, mas sem excessos para que não haja elevação do lençol freático. Ou seja, a lâmina infiltrada de água deve ser relativamente uniforme para satisfazer as necessidades da cultura e lixiviação adequada, sem escoamento superficial nem percolação profunda excessiva.

A escolha do momento certo para a irrigação pode evitar potenciais mátricos baixos da água do solo e como consequência concentrações relativamente mais elevadas. Irrigações frequentes mantêm o movimento dos sais para fora da zona radicular. Se as irrigações são aplicadas frequentemente, cada lâmina deve ser pequena, o que raramente pode ser aplicada pelos sistemas de superfície. Como os sistemas de irrigação localizada produzem concentrações elevadas de sais na superfície do solo e contorno do bulbo, chuvas inesperadas podem mover os sais para dentro da zona radicular. Então, as irrigações, deveriam ser manejadas durante ou após as chuvas para lixiviar os sais antes que crie situações de danos às culturas (PIZARRO, 1990).

Seguindo uma recomendação de Hoffman et al. (1992), o intervalo de irrigação deve ser diminuído quando se utiliza água salina na irrigação. Quando o solo perde água, ele seca pela ação da evapotranspiração, com isto, há uma diminuição do bulbo molhado formado devido a distribuição de água no solo. Sabendo-se que os sais se concentram na extremidade do bulbo molhado, com a diminuição do mesmo, os sais entram voltam a entrar na zona radicular, ficando em contato direto com as raízes e assim potencializando os efeitos da salinidade nas plantas.

Com isto, pode-se observar que, os eventos de irrigação devem acontecer de forma a manter um bulbo molhado satisfatório para o crescimento e desenvolvimento das raízes. O tamanho do bulbo necessário irá variar conforme a distribuição radicular da cultura, tendo sempre como referência a camada do solo que concentra a maior quantidade de raízes efetivas.

Bezerra & Campeche (2015), ao avaliarem a dinâmica do bulbo molhado no solo por meio da irrigação por gotejamento em diferentes tipos de solos de perímetros irrigados do Submédio do Vale do São Francisco, observaram que tal dinâmica varia conforme as características do solo e do sistema de irrigação (vazão e espaçamento dos emissores). Com isto, recomenda-se conhecer tais características para então determinar o tamanho do bulbo

necessário para manter úmida toda a área do solo que abriga o sistema radicular efetivo das plantas.

Plantas sob estresse abiótico

Os estresses abióticos desempenham um papel importante na limitação da produção de espécies vegetais em diferentes ambientes. Em condições naturais as plantas estão frequentemente submetidas a estresses, e a forma com que o solo e o clima agem sobre o seu desenvolvimento irá variar em função da sua carga genética (TAIZ & ZEIGER, 2013).

Em ambientes agrícolas diversos são os estresses que as plantas podem enfrentar. Tratando-se de fatores isolados podem-se citar problemas com salinidade, déficit hídrico, extremos de temperaturas, entre outros. No entanto, no ambiente as plantas estão submetidas ao conjunto de fatores, sendo seu comportamento reflexo da interação entre os mesmos.

Nilsen & Orcutt (1996) definem estresse fisiologicamente como sendo toda condição causada por fatores que tendem a alterar o equilíbrio. Assim, qualquer fator ambiental que tenha influência no crescimento e/ou desenvolvimento do vegetal, poderá ser um potencial fator estressante.

Diversas são as respostas das plantas quando submetidas a um estresse. Estas variam desde parâmetros fisiológicos (status hídrico, trocas gasosas, condutância estomática, taxa de transpiração e fotossíntese) (FREIRE et al., 2014), biométricos (altura, área foliar, produção de biomassa) (AQUINO et al., 2007), a bioquímicos (solutos osmorreguladores, enzimas antioxidantes) (BARBOSA et al., 2014; MONTEIRO et al., 2014).

Os parâmetros fisiológicos de plantas submetidas a ambientes salinos são afetados principalmente pelo desbalanço das relações hídricas, e conseqüentemente, das trocas gasosas, associadas ao efeito osmótico sobre o metabolismo da planta (SILVA et al., 2013). Estudos realizados com genótipos de sorgo relataram influência direta da salinidade nas relações hídricas e potencial osmótico de folhas de sorgo (SUNDAR et al., 2004). Heidari (2009) relatou que o potencial de água negativo em folhas afetadas pelo sal resultou na redução das trocas gasosas devido ao fechamento estomático.

Os efeitos sobre os parâmetros biométricos são ocasionados pela toxicidade devido ao excesso de sais no ambiente radicular, o qual pode levar a um desbalanceamento nutricional e afetar processos fisiológicos relevantes para o crescimento e desenvolvimento das plantas

(WILLADINO & CAMARA, 2010). Outra possível razão é a redução da absorção de água pelas raízes devido a diminuição do potencial da água no solo cultivado (TIGAGU et al., 2013).

Já os parâmetros bioquímicos estão, na sua maioria, associados a um estresse secundário, o oxidativo, o qual é resultante do aumento da produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) no metabolismo celular. As principais espécies produzidas incluem os radicais superóxido ($O_2^{\cdot-}$), peróxido de hidrogênio (H_2O_2), radical hidroxila (OH^{\cdot}) e oxigênio "singlet" (1O_2). O poder citotóxico destas espécies é definido de acordo com a quantidade produzida pelas células e seu tempo de vida no metabolismo. O estresse oxidativo é evidenciado quando a produção ultrapassa a capacidade antioxidante da célula (PANDHAIR & SEKHON, 2006).

As EROs são formadas pela redução parcial do oxigênio molecular (O_2). Com dois átomos de oxigênio, o O_2 é reduzido por quatro elétrons transportados ao longo da cadeia respiratória, gerando duas moléculas de água. Todavia, uma pequena parcela dos elétrons escapa da cadeia respiratória, resultando em uma redução parcial do oxigênio molecular, levando à produção de espécies reativas de oxigênio (SOARES & MACHADO, 2007).

As espécies reativas de oxigênio são, principalmente, subprodutos dos processos metabólicos dependentes do oxigênio, tais como a fotossíntese e respiração. Seu principal local de produção nas células são as organelas que atuam como "usinas energéticas" nas células: mitocôndrias e cloroplastos (BARBOSA et al., 2014).

As EROs são formadas como subprodutos de reações redox, as quais se apresentam tanto como radicais livres, como na forma molecular de um não radical (BARBOSA et al., 2014). O oxigênio singlete (1O_2) podem ser gerados como resultado de excitação, podendo-se citar a ativação e rotação de um dos elétrons desemparelhados. Já a formação das demais EROs se dá por etapas de redução univalente da molécula de oxigênio. Primeiramente, a redução de O_2 produz radicais de vida relativamente curta, os superóxidos. Esses ficam confinados onde foram formados, pois não conseguem atravessar membranas biológicas. Os mesmos podem formar hidroxiperóxidos com duplas ligações (enos) ou duplas ligações alternadas (dienos), além de oxidar aminoácidos específicos, como metionina, histidina e triptofano, podendo ainda causar peroxidação de lipídeos no ambiente celular e nas membranas celulares (BREUSEGEM et al., 2001; SOARES & MACHADO, 2007). Em seguida, é gerado o radical peróxido de hidrogênio (H_2O_2), espécie considerada

moderadamente reativa, pois, possui uma vida relativa longa e consegue atravessar as biomembranas e se distribuir na célula (VRANOVÁ et al., 2002).

O radical hidroxil (OH) é a última e mais reativa espécie a ser formada pela redução parcial do O₂. O mesmo é formado pela redução do H₂O₂ por íons metálicos (Fe²⁺ e Cu²⁺) na reação de Fenton e tem grande afinidade por moléculas biológicas em seu sítio de produção (SOARES & MACHADO, 2007).

Para se defender do estresse as plantas desenvolveram um complexo mecanismo de defesa antioxidativo constituído por enzimas e metabólitos antioxidantes (DEWIR et al., 2006). A capacidade de acionar o mecanismo de defesa antioxidativa é fundamental para prevenir os danos causados pelo estresse oxidativo (SAHER et al., 2004; DEWIR et al., 2006). Estudos mais recentes indicam as enzimas do sistema antioxidante como sinalizadoras do estresse devido a sua alta sensibilidade às condições de estresse abiótico (MITTLER, 2006).

A salinidade é um dos estresses ambientais mais severos, na sua presença as funções metabólicas dos vegetais são limitadas radicalmente. Uma planta dispõe de vários mecanismos de tolerância e escape, ou uma combinação de ambas para sobreviver ao estresse salino. Cada mecanismo irá entrar em ação em resposta as diversas variações ambientais provocadas pelos sais presentes na rizosfera (WILLADINO & CAMARA, 2010).

Dentre as diversas enzimas que atuam no sistema antioxidante destacam-se a superóxido dismutase (SOD), a catalase (CAT) e a ascorbato peroxidase (APX) (MILLER et al., 2010). Segundo Gill & Tuteja (2010), a SOD é considerada a primeira linha de defesa contra as EROs, sendo responsável pela dismutação do radical superóxido (O₂^{•-}) para formar peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e oxigênio molecular (O₂). A CAT e a APX, por sua vez, catalisam a conversão do H₂O₂ à água. O ajuste da dinâmica da atividade dessas enzimas é fundamental para a homeostase, o simples aumento da atividade do sistema antioxidativo, entretanto, não implica em elevadas produções da cultura. Estas enzimas atuam em diversos compartimentos subcelulares, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Mecanismos de modulação de espécies reativas de oxigênio em células vegetal.*

Enzima	Molécula de reação	Molécula gerada	Local de ação
Superóxido dismutase	O ₂ ^{•-}	H ₂ O ₂	Cloroplastos, citosol, mitocôndrias e peroxissomos
Catalase	H ₂ O ₂	H ₂ O	Mitocôndrias e peroxissomos

Ascorbato
Peroxidase

H₂O₂

H₂O

Citosol, mitocôndrias, peroxissomos, cloroplastos e
parede celular

*Adaptado de BHATTACHARJEE (2010)

Segundo Bhattacharjee (2010) três tipos de SOD foram relatadas em células de plantas - CuZn-SOD, Mn-SOD, Fe SODs. A CuZn-SODs é encontrado em citossolos e cloroplastos, enquanto que a Mn-SODs e Fe-SODs são encontrados predominantemente em mitocôndrias, peroxissomas e cloroplasto, respectivamente, as quais, se dividem em duas grandes famílias filogênicas: CuZn SODs e Fe/Mn SODs. Nas plantas, Cu-Zn SOD é a mais abundante das três enzimas metaloproteicas.

Quanto à CAT e APX, constituem o principal meio de remoção de H₂O₂ das células vegetais, sendo a CAT principalmente localizada nos peroxissomos, e em pequenas quantidades em mitocôndrias e cloroplastos. Já a APX está presente em vários compartimentos subcelulares, tendo uma ação mais evidente nas mitocôndrias e cloroplastos para compensar as baixas quantidades de CAT nestes compartimentos (BHATTACHARJEE, 2010).

O simples aumento ou redução da atividade de uma determinada enzima em uma espécie de planta não implica dizer que a mesma é tolerante ou não ao estresse aplicado. Tratando-se de estresse salino, diversas são as respostas do sistema de defesa antioxidativo do sorgo quando submetido a tal estresse, haja vista que a cultura é reconhecida por sua tolerância moderada ao estresse salino (VIEIRA et al., 2005).

Freitas et al. (2011) ao avaliar o efeito da salinidade na variedade de sorgo CSF 20, observaram que não houve alteração na atividade das enzimas SOD e APX quando submetidas a altas salinidades (até 8 dS m⁻¹). No entanto, os mesmos observaram ainda uma redução de até 37% na atividade enzimática da CAT quando a salinidade ultrapassou o valor de 4 dS m⁻¹.

Em um experimento estudando dois genótipos de sorgo forrageiro, CSF18 (sensível) e CSF20 (tolerante), submetidos à salinidade de até 75 mM de NaCl, Costa et al. (2005) verificaram aumentos nas atividades da SOD e da CAT de ambos os genótipos, sendo que tais aumentos foram maiores no genótipo tolerante a salinidade. Quanto a APX, houve comportamento diferenciado entre os genótipos. Enquanto no genótipo sensível houve decréscimos, no genótipo tolerante observaram-se aumentos na atividade dessa enzima em resposta a salinidade.

Em uma pesquisa com a variedade de sorgo IPA 1011 em condições salinas, Oliveira et al. (2012) corroboraram com Costa et al (2005) ao observarem aumentos na atividade das enzimas CAT e SOD nas plantas submetidas ao estresse, não havendo, no entanto, alterações significativas para a enzima APX. Os mesmos concluíram que a APX não desempenha um papel importante na proteção contra os danos do estresse oxidativo nesta variedade.

Em um estudo avaliando os genótipos de sorgo “Payam” e “Sistan” cultivados em solução nutritiva Hoagland contendo NaCl 0, 100 e 200 mM em ambiente controlado, Heidari (2009) observou aumentos significativos nas atividades das enzimas APX, CAT e guaiacol peroxidase (GPX).

Em suma, não há uma especificidade de ação enzimática no controle do estresse oxidativo decorrente da salinidade em plantas de sorgo. Os trabalhos demonstram que o comportamento do sistema enzimático varia dentro da espécie em função da variedade/genótipo avaliado. Com isto, estudos mais aprofundados devem ser realizados, a fim de se caracterizar o padrão enzimático de espécies vegetais frente a estresses abióticos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMAD, R.; JABEEN, R. Foliar spray of mineral elements antagonistic to sodium – a technique to induce salt tolerance in plants growing under saline conditions. **Pakistan Journal Botany**, v.37, n.4, p.913 – 920, 2005.

ALBUQUERQUE, C. J. B.; JARDIM, R. R.; ALVES, D. D.; GUIMARÃES, A. S.; PORTO, E. M. V. Características agronômicas e bromatológicas dos componentes vegetativos de genótipos de sorgo forrageiro em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 2, p.164-182, 2013.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Água: fatos e tendências**. Agência Nacional de Águas: CEBDS. 2 ed. Brasília: ANA, 2009. 29p.

AQUINO, A. J. S.; LACERDA, C. F.; GOMES-FILHO, E. Crescimento, partição de matéria seca e retenção de Na⁺, K⁺ e Cl⁻ em dois genótipos de sorgo irrigados com águas salinas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.31, p.961-971, 2007.

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

BARROS, M. DE F. C.; FONTES, M. P. F.; ALVAREZ, V. V. H.; RUIZ, H. A. Aplicação de gesso e calcário na recuperação de solos salino-sódicos do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n.3, p. 320-326, 2005.

BEZERRA, A. B.; CAMPECHE, L. F. S. M. Dinâmica do bulbo molhado no solo por meio da irrigação por gotejamento em perímetros irrigados do Submédio Do Vale Do São Francisco. **Irriga**, Edição Especial, IRRIGA & INOVAGRI, p. 95-102, 2015.

BHATTACHARJEE, S. Sites of generation and physicochemical basis of formation of reactive oxygen species in plant cell. In: GUPTA, S.D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfield: Science Publishers, 2010. p.1-30.

BRESLER, E. Application of conceptual model to irrigation water requirement and salt tolerance of crops. **Journal of the American Society for Soil Science**, v.51, p.788-793, 1987.

BREUSEGEM, F. V.; VRANOVA, E.; DAT, J. F.; INZE, D. The role of active oxygen species in plant signal transduction. **Plant Science**, v. 161, p.405–414, 2001.

BUSO, W.H.D.; MORGADO, H. S.; BORGES e SILVA, L.; FRANÇA, A. F. S. Utilização do sorgo forrageiro na alimentação animal. **PUBVET**, v. 5, n. 23, 2011.

Companhia Nacional do Abastecimento – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 2 – Safra 2016/17, n. 4 – Quarto Levantamento, nov. 2017.

CORWIN, D. L.; RHOADES, J. D.; SIMUNEK, J. Leaching requirement for soil salinity control: Steady-state versus transient models. **Agricultural Water Management**, v. 90, p. 165-180, 2007.

COSTA, P. H. A.; AZEVEDO NETO, A. D.; BEZERRA, M. A.; PRISCO, J. T.; GOMES-FILHO, E. Sistema enzimático antioxidante de dois genótipos de sorgo diferindo na tolerância à salinidade. **Braz. J. Plant Physiol.** v.17, n.4, p.353-362, 2005.

DEWIR, Y.H; CHAKRABARTY, D; ALI, M.B.; PAEK, K.Y. Lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities of *Euphorbia millii* hyperhydric shoots. **Environmental and Experimental Botany.** v. 58, p. 93–99, 2006.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (Ed.). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados.** Fortaleza: INCT Sal, 2010. p. 129-140.

DUARTE, S. N.; SILVA, Ê, F, de F.; MIRANDA, J, H, de.; MEDEIROS, J, F, de.; COSTA, R, N, T.; GHEYI, H, R. **Fundamentos de drenagem agrícola.** Fortaleza, CE: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2015. 356 p.

EMBRAPA Milho e Sorgo. **Sistemas de Produção**, 2 ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 5ª edição Set./2009 Produção de sorgo.

FREIRE, M.B.G.S.; FREIRE, F.J. Fertilidade do solo e seu manejo em solos afetados por sais. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade de Solo.** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 2007. 1017p.

FREITAS, V. S.; ALENCAR, N. L. M.; LACERDA, C. F.; PRISCO, J. T.; GOMES-FILHO, E. Changes in physiological and biochemical indicators associated with salt tolerance in cotton, sorghum and cowpea. **African Journal of Biochemistry Research.** v. 5, n. 8, p. 264-271, 2011.

FREIRE, J. L. O.; DIAS, T. J.; CAVALCANTE, L. J.; FERNANDES, P. D.; LIMA NETO, A. J. Rendimento quântico e trocas gasosas em maracujazeiro amarelo sob salinidade hídrica, biofertilização e cobertura morta. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 1, p. 82-91, 2014.

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

GUIMARÃES, M. J. M.; SIMÕES, W. L.; TABOSA, J. N.; SANTOS, J. E.; WILLADINO, L. Cultivation of forage sorghum varieties irrigated with saline effluent from fish-farming under semiarid conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.20, n. 5, p.461-465, 2016.

HEIDARI, M. Antioxidant Activity and Osmolyte Concentration of Sorghum (*Sorghum bicolor*) and Wheat (*Triticum aestivum*) Genotypes under Salinity Stress. **Asian Journal of Plant Sciences**, v.8, p. 240-24, 2009.

HOFFMAN, G. J., RHOADES, J. D., LETEY, J., SHENG, F. Salinity management. In: HOFFMAN, G. J., HOWELL, T. A., SOLOMON, K. H. (ed.) **Management of farm irrigation systems**. St. Joseph: ASAE, PAMELA De-Vore-Hansen, Cap. 18, p. 667-775, 1992a, (ASAE Monograph, 9).

LACERDA, C. F.; MORAIS, H. M. M.; PRISCO, J. T.; GOMES FILHO, E. BEZERRA, M. A. Interação entre salinidade e fósforo em plantas de sorgo forrageiro. **Revista Ciência Agronômica**, v.37, n.3, p.258-263, 2006.

LEITE, E. M. **Utilização de corretivos químicos em solos degradados por sódio usando milho (*Pennisetum americanum* L.) como planta teste**. Areia: UFPB, 2005. 62f. Dissertação Mestrado.

LETEY, J.; HOFFMAN, G. J.; HOPMANS, J. W.; GRATTAN, S. R.; SUAREZ, D.; CORWIN, D. L.; OSTER, J. D.; WU, L. AMRHEIN. Evaluation of soil salinity leaching requirement guidelines. **Agricultural Water Management**, v. 98, p. 502-506, 2011.

MEDEIROS, J. F.; GHEYI, H. R. Manejo do sistema solo - água - planta em solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E. ; MEDEIROS, J. F. (ed.). **Manejo e controle da salinidade na agricultura**. Campina Grande: UFPB - SBEA, 1997. p.239-287.

MEDEIROS, S. S.; GHEYI, H. R.; GALVÃO, C. O.; PAZ, V. P. S. **Recursos Hídricos e Regiões Áridas e Semiáridas**. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, 2011. 440p.

MITTLER, R. Abiotic stress, the field environmental and stress combination. **Trends in Plant Science**, v.11, n.1, p.15-19, 2006.

MONTEIRO, J. G.; CRUZ, R. J. F.; NARDIN, M. B.; SANTOS, D. M. M. Crescimento e conteúdo de prolina em plântulas de guandu submetidas a estresse osmótico e à putrescina exógena. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 1, p.18-25, 2014.

NILSEN, E.; ORCUTT, D. **The physiology of plants under stress**. New York: John Wiley & Sons, 1996. p.704.

OLIVEIRA A. B.; GOMES-FILHO E.; ENÉAS-FILHO J.; PRISCO, J. T.; ALENCAR, N. L. M. Seed priming effects on growth, lipid peroxidation, and activity of ROS scavenging enzymes in NaCl-stressed sorghum seedlings from aged seeds. **Journal of Plant Interactions**, v. 7, n. 2, p. 151-159, 2012.

PANDHAIR, V., SEKHON, B.S. Reactive oxygen species and antioxidants in plants: An overview. **Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology**, v. 15, n. 2, p.71-78, 2006.

PIZARRO, F. C. **Riego localizado de alta frecuencia: goteo, microaspersión, exudación**. 2a ed., Madrid, Mundi Prensa, 1990. 471 p.

RHOADES, J. D., MERRIL, S. Assessing the suitability of water for irrigation: Theoretical and empirical approaches. In: **PROGNOSIS OF SALINITY**. Rome, FAO, 1976. p. 69-110. (FAO. Soil Bulletin, 31)

RHOADES, J.D. Drainage for salinity control. In: Van schilfgaard, J. (ed.). **Drainage for agriculture**. Madison (EUA), 1974. p. 433-461. (Agronomy, 17).

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: USDA, 1954. 60 p. Handbook, 60.

SAHER, S. et al. Hyperhydricity in micropropagated carnation shoots: the role of oxidative stress. **Physiologia Plantarum**, v. 120, p.152-161, 2004.

SANTOS, F. C.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; RESENDE, A. V.; OLIVEIRA, A. C.; GOMES, T. C.; OLIVEIRA, M. S. Adubações nitrogenada e potássica no sorgo biomassa - produtividade e qualidade de fibra. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 1, p. 1-13, 2014.

SANTOS, M. R.; BRITO, C. F. B. Irrigação com água salina, opção agrícola consciente. **Revista Agrotecnologia**, v.7, n.1, p.33-41, 2016.

SANTOS, B.; FERREIRA, P. A.; OLIVEIRA, F. G.; BATISTA, R. O.; COSTA, A. C.; CANO, M. A. O. Produção e parâmetros fisiológicos do amendoim em função do estresse salino. **Revista Idesia**, v.30, n.2, p. 69-74, 2012.

SILVEIRA, J. A. G.; SILVA, S. L. F.; SILVA, E. N. VIÉGAS, R. A. Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas. In: HANS RAJ GHEYI, NILDO DA SILVA DIAS, CLAUDIVAN FEITOSA DE LACERDA (Editores). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados**. Fortaleza, INCT Sal, 2010. p. 161-180.

SIMÕES, W. L.; YURI, J. E.; GUIMARÃES, M. J. M.; SANTOS, J. E.; ARAÚJO, E. F. J. Beet cultivation with saline effluent from fish farming. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, p.62-66, 2016.

SOARES, A. M. S.; MACHADO, O. L. T. Defesa de plantas: Sinalização química e espécies reativas de oxigênio. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**. v.1, n.1, p.9, 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2013. 954p.

TARDIN, F. D.; ALMEIDA FILHO, J. E.; OLIVEIRA, C. M.; LEITE, C. E. P.; MENEZES, C. B.; MAGALHÃES, P. C.; RODRIGUES, J. A. S.; SCHAFFERT, R. E. Avaliação agronômica de híbridos de sorgo granífero cultivados sob irrigação e estresse hídrico. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 2, p. 102-117, 2013.

TSIMPHO, C. J. **Efeito da salinidade da água de irrigação e de frações de lixiviação no cultivo do milho (Zea mays L.)** 2011. 86f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal Rural de Pernambuco: Departamento de Tecnologia Rural. Recife, 2011.

VIEIRA, M.R.; LACERDA, C.F.; CÂNDIDO, M.J.D.; CARVALHO, P.L.; COSTA, R.N.T.; TABOSA, J.N. Produtividade e qualidade da forragem de sorgo irrigado com águas salinas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.42-46, 2005.

VRANOVA, E.; INZE, D.; BREUSEGEM, F. V. Signal transduction during oxidative stress. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, n. 372, p. 1227–1236, 2002.

WILADINO, L. CAMARA, T. R. Tolerância das plantas à salinidade: aspectos fisiológicos e bioquímicos. **Enciclopédia Biosfera: Centro Científico Conhecer**, v.6, n.11, 2010.

CAPÍTULO 1: Produção de variedades de sorgo granífero irrigadas com águas salinas

CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE VARIEDADES DE SORGO GRANÍFERO IRRIGADO COM ÁGUAS SALINAS

Miguel Julio Machado Guimarães, Welson Lima Simões, Keila da Costa Alberto, Lilia Gomes Willadino

RESUMO: Objetivou-se com o presente estudo identificar variedades de sorgo granífero com maior potencial de crescimento e produção de grãos sob condições salinas. O estudo foi conduzido em casa de vegetação localizada na sede da Embrapa Semiárido, Petrolina-PE, no ano de 2016. Foram avaliadas seis variedades de sorgo granífero (1011-IPA, 2502-IPA, 2564-IPA, 2600-IPA, Ponta Negra e Qualimax) irrigados com água salina com cinco níveis de salinidade (0; 1,5; 3,0; 6,0 e 12,0 dS m⁻¹), com três repetições. Foram avaliadas as variáveis altura da planta, diâmetro do colmo, produção de massa seca, largura e comprimento da folha +3, área foliar total, eficiência do uso da água e produção de grãos. As variedades avaliadas apresentaram resultados de produção satisfatórios quando submetidas níveis de salinidade da água de irrigação de até 6 dS m⁻¹, com exceção da variedade 2564-IPA, não sendo recomendada para cultivo em condições salinas. As variedades 1011-IPA e 2502-IPA foram as que obtiveram maiores produções de grãos.

Palavras-chave: Salinidade, *Sorghum bicolor*, semiárido.

PRODUCTION OF SORGHUM VARIETIES GRAINS IN SALT CONDITIONS

ABSTRACT: The objective of this study was to identify sorghum varieties with higher potential for growth and grain production under saline conditions. The study was conducted in a greenhouse located at the headquarters of Brazilian Agricultural Research Corporation, Semi-arid Unit, Petrolina-PE. Six sorghum varieties (1011-IPA, 2502-IPA, 2564-IPA, 2600-IPA, Ponta Negra and Qualimax) were irrigated with saline water with five levels of salinity (0, 1.5, 3.0, 6, 0 and 12.0 dS m⁻¹), with three replicates. Plant height, stem diameter, dry mass yield, leaf width and length +3, total leaf area, water use efficiency and grain yield were evaluated. The evaluated varieties presented satisfactory results when irrigation water salinity levels of up to 6 dS m⁻¹, with the exception of the variety 2564-IPA, were not satisfactory and

were not recommended for cultivation in saline conditions. The varieties 1011-IPA and 2502-IPA were the ones that obtained the highest yields of grains.

Key words: Salinity, *Sorghum bicolor*, semiarid.

INTRODUÇÃO

A água é um dos fatores mais importantes para a vida das plantas, em que tanto a disponibilidade quanto a qualidade interferem diretamente nos seus processos metabólicos. Tais efeitos são potencializados em regiões áridas e semiáridas, as quais se caracterizam pela baixa pluviosidade e elevada demanda evaporativa.

Nestas regiões, a água salina é, muitas vezes, a única fonte de água. Considerando-se que quanto mais severo for o estresse abiótico maior é o dano à planta, a aplicação de técnicas que minimizem o estresse provocado pela salinidade na irrigação é de fundamental importância. Nesse contexto, a utilização de plantas que sejam adaptadas às condições de cultivos salinos se torna um fator imperativo da produção.

Com isto, o cultivo do sorgo granífero [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] que apresenta alto valor energético para alimentação animal, elevada adaptação a ambientes secos e quentes, os quais são limitantes para o cultivo de outras espécies (BUSO et al., 2011), além de altos rendimentos de massa seca por unidade de área, torna-se uma alternativa para a produção em sistemas que utilizam água salina como fonte hídrica.

A variabilidade genética desta cultura já permitiu o desenvolvimento de diversos trabalhos de melhoramento, proporcionando assim um grande número de híbridos e variedades. Cada um desses materiais apresenta características agrônômicas variadas, as quais serão influenciadas por diversos fatores ambientais, podendo-se citar local de cultivo (ALBUQUERQUE et al., 2013), adubação (SANTOS et al., 2014b), disponibilidade hídrica (TARDIN et al., 2013) e salinidade (GUIMARÃES et al., 2016).

A tolerância das plantas à salinidade está associada ao desenvolvimento de mecanismos específicos que contribuem para a minimização do estresse salino. Tais mecanismos resultam em um custo energético podendo refletir na redução do seu crescimento e, conseqüentemente, redução da produtividade de grãos das culturas (HASSANEIN et al., 2010; IGARTUA et al., 1995).

Diante do exposto, objetivou-se com o presente estudo identificar variedades de sorgo granífero com maior potencial de crescimento e produção de grãos sob condições salinas.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em casa de vegetação localizada na sede da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) – Semiárido, localizada no município de Petrolina-PE (9°8'8,9''S/40°18'33,6''O, 373 m), cuja região apresenta clima tropical semiárido, com precipitação média anual de 400 mm, umidade relativa média do ar de 67,8% e temperatura média do ar de 26,5°C (REDDY; AMORIM NETO, 1983).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 6 x 5, com três repetições. Os tratamentos foram compostos pela combinação de seis variedades de sorgo granífero: 1011-IPA, 2502-IPA, 2564-IPA, 2600-IPA, Ponta Negra e Qualimax; e cinco níveis de salinidade da água de irrigação (CEa): 0; 1,5; 3,0; 6,0; e 12,0 dS m⁻¹, totalizando trinta tratamentos.

A semeadura foi realizada em vasos plásticos com capacidade para 20 litros, preenchidos com uma camada de 3 cm de brita na base e 15 kg de solo coletado na camada de 0-20 cm de um Argissolo Amarelo Distrófico latossólico, de textura franco arenosa, cujas características químicas e granulométricas são apresentadas na Tabela 1. Na ocasião, foram colocadas cinco sementes por vaso, a 2 cm de profundidade. Quando as plantas atingiram uma altura média de 15 cm, aproximadamente 12 dias após a semeadura, foi realizado o desbaste, deixando apenas uma planta por vaso e iniciadas as irrigações com as soluções salinas.

Tabela 1. Características químicas e granulométricas do solo utilizado para o cultivo de sorgo granífero sob diferentes níveis de salinidade.

C.O.	pH (H ₂ O)	CE _{es}	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Al ³⁺	S	H+Al	T
g kg ⁻¹	(1:2,5)	dS m ⁻¹	cmol _c dm ⁻³							
1,9	5,7	0,23	1,0	0,7	0,07	0,33	0,0	2,1	1,6	3,7
V	P	Cu	Fe	Mn	Zn	B	Areia	Silte	Argila	
%	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³				g kg ⁻¹				
57	17	0,5	67,9	32,7	6,1	0,19	846,4	135,1	17,9	

C.O.- carbono orgânico (método Walkley-Black); CE_{es}- condutividade elétrica do extrato de saturação; Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺(extração em KCl 1 mol L⁻¹); H+Al [extração em Ca (C□H□O□)□ 1 mol L⁻¹, pH 7,0]; Na⁺, K⁺, P, Cu, Fe, Mn e Zn (extração por Mehlich-1);B (extração em água quente); S- soma de bases ; T- capacidade de troca de cátions [S+(H+Al)]; V- saturação por bases.

O solo recebeu aplicação de solução nutritiva contendo 160; 400; 210; 150; 50; e 180 mg dm⁻³ de N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente, e 0,81; 1,33; 0,15; 3,66; 4,0; 0,1 mg dm⁻³ dos respectivos micronutrientes B, Cu, Mo, Mn, Zn e Fe. As fontes utilizadas foram (NH₄)₂SO₄, KH₂SO₄, NaH₂PO₄.H₂O, Ca(NO₃)₂, MgSO₄, CaCl₂.2H₂O, H₃BO₃, CuSO₄.5H₂O, (NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O, MnSO₄.H₂O, ZnSO₄.H₂O, FeSO₄.7H₂O e NaEDTA. A aplicação de nutrientes foi iniciada após o desbaste, e realizada em três parcelas iguais com intervalo de vinte e cinco dias.

As soluções salinas foram preparadas a partir dos sais NaCl, CaCl₂.2H₂O e MgSO₄.7H₂O, de modo a se obter proporção equivalente entre Na:Ca:Mg de 7:2:1 (AQUINO et al., 2007).

Para manejo da irrigação, foram instalados lisímetros de pesagem em todos os vasos de um bloco. Os lisímetros foram equipados com células de carga (modelo TSD, AEPH, capacidade de 50 kg) instaladas sob uma base metálica com dispositivo de coleta do excesso de água drenado. As células de carga foram conectadas a dois multiplexadores (AM16/32B) ligados a um datalogger (CR1000), o qual realizava leitura a cada 15 segundos, registrando-as a cada 15 minutos. Todos os lisímetros foram calibrados de forma a obter uma curva de leituras de sinal (mV) desde o ponto de murcha permanente até a capacidade máxima de retenção de água do solo.

As irrigações foram realizadas a cada dois dias, com a reposição do volume de água evapotranspirado entre as irrigações, de forma a manter a umidade do solo na capacidade de campo. Para evitar o acúmulo de sais foram adicionados uma lâmina de lixiviação de 15% a mais do volume registrado.

A colheita foi realizada quando os grãos da porção central da panícula apresentaram aspecto seco. Na ocasião as plantas foram cortadas a uma altura de 10 cm do solo, e foram avaliados os seguintes parâmetros biométricos: altura da planta, diâmetros do colmo, número de folhas, comprimento e largura da folha +3. As plantas foram separadas em colmos, folhas, panículas, grãos e raízes para determinação do peso da massa fresca, sendo posteriormente levadas a estufa de ventilação forçada a 60°C até manterem peso constante para determinação da massa seca. A partir dos dados de massa fresca de grãos foi determinado a produção de grãos por planta.

A área foliar (AF) foi estimada com os dados de largura (L) e comprimento (C) da folha +3 e o número de folhas (NF), segundo modelo proposto por Sans e Pellegrin (1998), em que:

$$AF=(0,7811 \times C \times L - 14,964) \times NF \quad R^2=0,98$$

A eficiência de uso da água (EUA) foi calculada através da razão entre a produção de massa seca total (parte aérea + raiz) e o consumo hídrico da planta.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) utilizando o programa Sisvar 5.0. Para comparação entre os níveis de salinidade foram avaliados modelos de regressão de primeiro e segundo grau quando significativos ao nível de 1 ou 5% de probabilidade. O Teste de Scott Knott, a 0,05 de probabilidade, foi adotado para agrupar as variedades.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação significativa entre variedades e CEa para as variáveis altura da planta, diâmetro do colmo, comprimento e largura da folha +3, área foliar total (AFT) e massa seca da raiz (MSR). As variedades foram influenciadas pelos efeitos isolados das variedades e dos níveis de salinidade da água de irrigação. Por outro lado, houve interações significativas para a produção de massa seca da parte aérea (MSPA), eficiência do uso de água (EUA) e produção de grãos.

As variedades apresentaram comportamentos distintos entre as variáveis de crescimento avaliadas (Tabela 2). A variedade Qualimax apresentou plantas mais altas, independentemente do nível de salinidade aplicado, seguida da Ponta Negra, não havendo diferença estatística entre as demais. Quanto ao diâmetro do colmo, as variedades 2502 -IPA, 2564 -IPA, Ponta Negra e Qualimax mostraram-se superiores, com valores próximos aos 15 mm.

Tabela 2. Altura da planta, diâmetro do colmo (DC), comprimento e largura da folha +3, área foliar total (AFT) e biomassa seca da raiz (MSR) de plantas de sorgo granífero irrigadas com água salina.

Variedade	Altura (cm)	DC (mm)	AFT (cm ²)	Folha +3		MSR (g)
				Largura	Comprimento	
1011-IPA	98,33 c	12,65 b	2531,34 b	6,38 b	74,07 b	47,79 a
2502-IPA	109,40 c	15,69 a	3568,56 a	7,31 a	75,80 b	32,13 b
2564-IPA	108,90 c	15,38 a	3855,85 a	7,73 a	72,93 b	40,73 a
2600-IPA	107,27 c	10,85 c	2315,23 b	6,50 b	68,67 b	24,72 b
Ponta Negra	126,33 b	16,32 a	3824,90 a	6,92 b	83,00 a	54,26 a
Qualimax	136,63 a	14,83 a	2751,54 b	6,89 b	71,87 b	39,34 a

*Médias seguidas de mesma letra nas colunas dentro de cada variável não diferem pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

Uma das características importantes na escolha de cultivares de sorgo granífero é o porte das plantas. Cultivares que apresentam menor altura de plantas, associada a maior resistência de colmo, apresentam menor suscetibilidade ao acamamento ou quebra das plantas (SILVA et al., 2009). Desta forma, pode-se verificar um maior potencial granífero para as variedades 1011-IPA, com menor altura e diâmetro intermediário; 2502-IPA e 2564-IPA com altura inferior e maiores diâmetros, e Ponta Negra com altura intermediária e diâmetro superior às demais.

Não houve efeito significativo dos fatores avaliados sobre o número de folhas das plantas, as quais apresentaram uma média de nove folhas (CV= 17,19%). As variedades 2502-IPA e 2564-IPA obtiveram folhas significativamente mais largas, e a variedade Ponta Negra folhas mais compridas que as demais, o que proporcionou, a estas variedades, maiores valores de AFT.

A área foliar total da planta (AFT) é calculada em função das características biométricas das folhas avaliadas. Plantas com maiores larguras e comprimento da folha proporcionarão uma maior AFT das plantas. Tal característica é desejável, visto que o processo fotossintético depende da interceptação da energia luminosa e sua conversão em energia química, sendo este um processo que ocorre diretamente na folha (TAIZ & ZEIGER, 2013).

As variedades Ponta Negra, 1011-IPA, Qualimax e 2564-IPA apresentaram maiores valores de biomassa seca da raiz quando comparada às demais (Tabela 2). Tais diferenças

apresentadas entre as variáveis de crescimento dessas variedades, independente dos níveis de salinidade avaliados, revelam características morfológicas distintas que podem favorecer maior adaptação a condições de estresse salino, haja vista que em muitas circunstâncias, é a sensibilidade da raiz ao estresse que limita a produtividade da planta (STEPPUHN & RANEY, 2005).

O aumento do nível de salinidade da água de irrigação proporcionou reduções significativas em quase todas as variáveis analisadas (Figura 1). Pode-se observar uma redução de cerca de 9 cm (5,82%) na altura das plantas com o aumento unitário do nível de salinidade (CEa). Já para o diâmetro, a redução foi de aproximadamente 0,5 mm (2,87%) a cada unidade de CEa. Para a largura da folha +3 e massa seca da raiz, a cada unidade de CEa houve reduções de 0,26 cm (3,27%) e 4,48 g (7,47%), respectivamente (Figura 1).

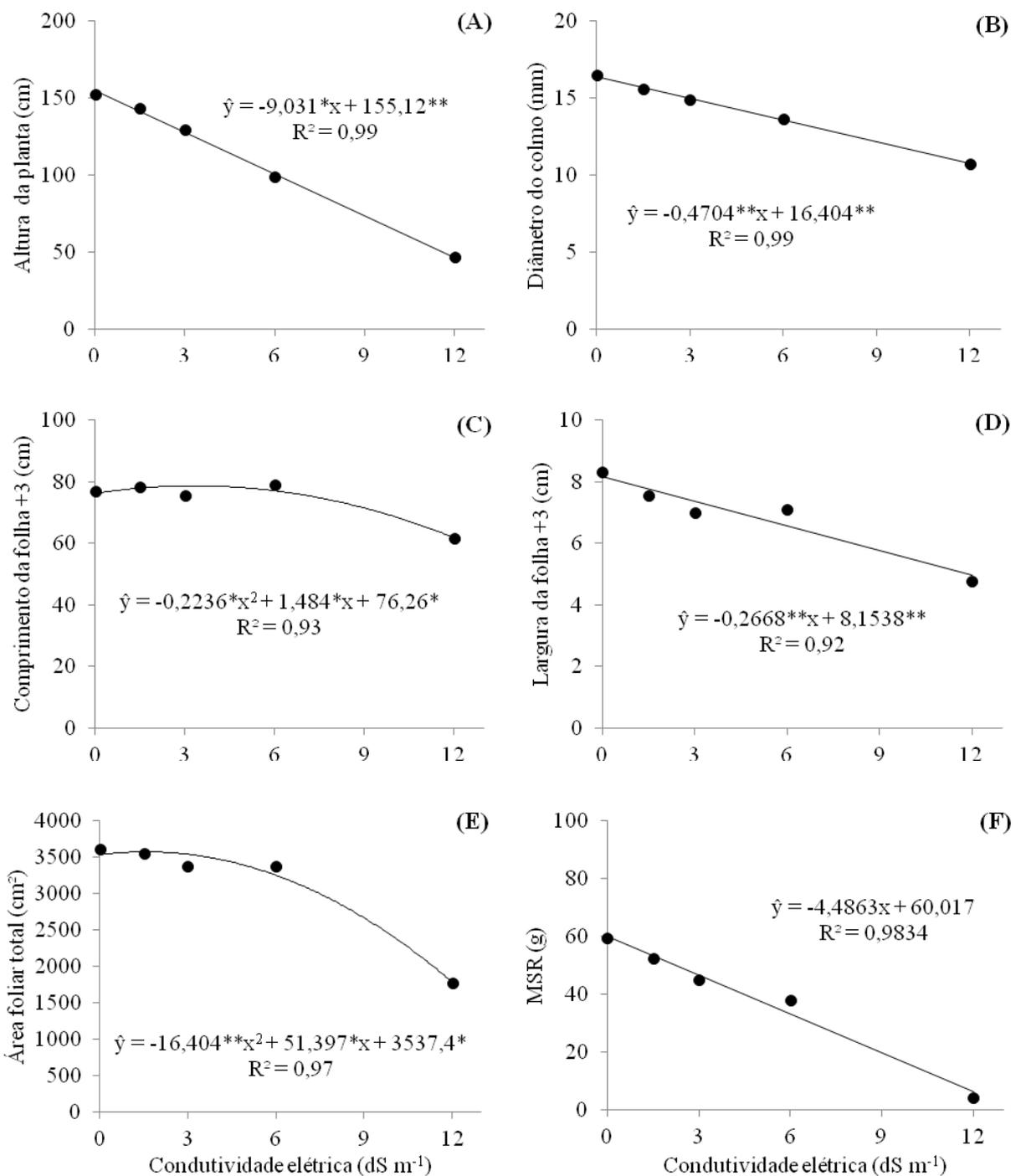


Figura 1. Altura da planta (A), diâmetro do colmo (B), comprimento (C) e largura (D) da folha +3, área foliar total (E) e biomassa seca da raiz (F) de plantas de sorgo granífero submetidos a níveis de salinidade da água de irrigação. Coeficientes da regressão significativos com $p < 0,01$ (**) e $p < 0,05$ (*).

Tais resultados corroboram com diversos autores, os quais verificaram reduções significativas nos parâmetros biométricos das plantas com o aumento da salinidade.

Tabatabaei & Anaghali. (2012) ao avaliar o crescimento inicial de variedades de sorgo submetidas à salinidade, observaram reduções superiores a 50% quando as plantas foram submetidas à níveis de salinidade superiores a 10 dS m⁻¹. Guimarães et al. (2016) ao avaliarem variedades de sorgo forrageiro submetidas à irrigação com efluente salino observaram reduções significativas na altura e no diâmetro do colmo com o aumento da salinidade do solo.

Já o comprimento da folha +3 e a AFT apresentaram um comportamento quadrático, havendo redução nos valores quando o nível de salinidade da água de irrigação ultrapassou 3,32 e 1,56 dS m⁻¹ para o comprimento da folha +3 e AFT, respectivamente, sendo que tais reduções se acentuaram quando a CEa atingiu níveis acima de 6,0 dS m⁻¹ (Figura 1). Menores valores de AFT estão relacionados a menores valores de largura e comprimento das folhas. Para alguns autores, redução da área foliar é um importante mecanismo adaptativo de plantas cultivadas sob excesso de sais e estresse hídrico, visto que, sob tais condições, é interessante a redução na transpiração e, conseqüentemente, diminuição do carregamento de íons de Na⁺ e Cl⁻ no xilema e conservação da água nos tecidos das plantas (TAIZ & ZEIGER, 2013).

As variedades avaliadas apresentaram comportamentos distintos quanto ao acúmulo de biomassa seca da parte aérea (MSPA). As variedades 2502-IPA, 2564-IPA, 2600-IPA, Ponta Negra e Qualimax apresentaram reduções lineares com o aumento do nível de salinidade, enquanto que a variedade 1011-IPA apresentou comportamento quadrático. As variedades 2564-IPA, 2600-IPA e Ponta Negra foram as que apresentaram reduções de 50% no acúmulo da MSPA em níveis mais baixos de salinidade, com 5,58; 5,30 e 6,94 dS m⁻¹, respectivamente. Já para as variedades 1011-IPA, 2502-IPA e Qualimax, as reduções de 50% da MSPA foram observadas em níveis mais altos, com 8,65; 7,21 e 7,31 dS m⁻¹, respectivamente (Figura 2).

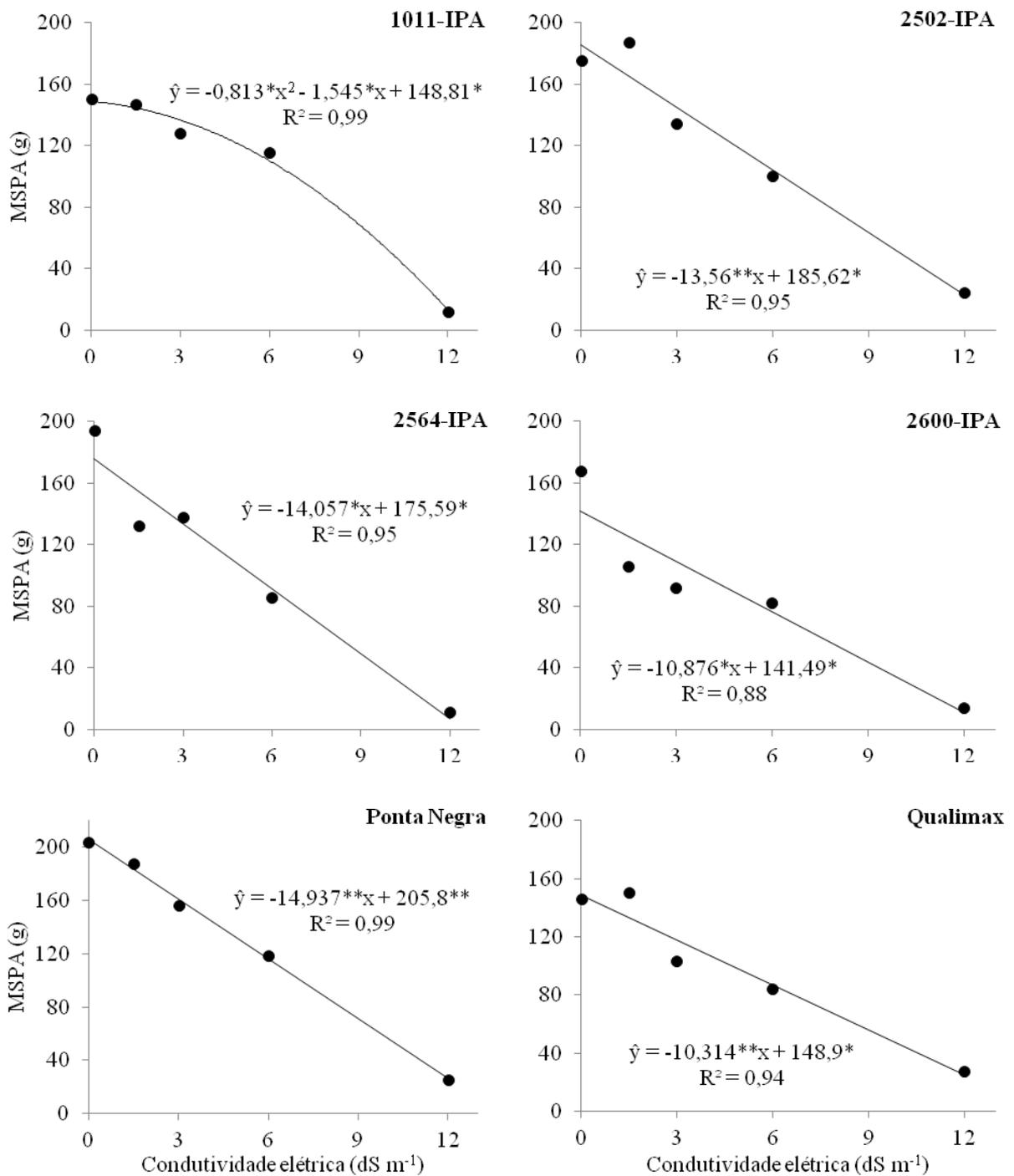


Figura 2. Massa seca da parte aérea (MSPA) de variedades de sorgo granífero submetidas a níveis de salinidade da água de irrigação. Coeficientes da regressão significativos com $p < 0,01$ (**).

A redução na produção e no crescimento das plantas causada pelo estresse salino, observadas na Figura 3, deve-se ao efeito tóxico do excesso de sais no ambiente radicular, o qual pode levar a um desbalanceamento nutricional e afetar processos fisiológicos relevantes

para o crescimento e desenvolvimento das plantas (WILLADINO & CAMARA, 2010). Outra possível razão é a redução da absorção de água pelas raízes devido a diminuição do potencial da água no solo cultivado (TIGAGU et al., 2013).

Tais reduções no crescimento de plantas de sorgo já foram observada por diversos autores em diferentes condições salinas. Sun et al. (2014) observaram reduções de até 52% na produção de variedades de sorgo quando submetidas a irrigação com água salina de até 10 dS m⁻¹. Já Niu et al. (2012), ao avaliarem os genótipos SS304, NK7829, Sordan79, e KS585 irrigados com água salina com 8 dS m⁻¹, concluíram que a salinidade afeta de forma específica cada genótipo, provocando reduções de até 79% na produção de MSPA no genótipo KS585. Shakeri & Emam (2017) avaliaram as respostas produtivas de 36 cultivares de sorgo granífero irrigados com água salina, os quais verificaram reduções de até 66% na produção de biomassa quando submetidos a uma CE_a da água de irrigação de até 12 dS m⁻¹.

Todos os autores supracitados concluíram que, apesar de ser da mesma espécie (*Sorghum bicolor* L.), os diferentes genótipos/cultivares respondem de forma específica no que diz respeito a magnitude dos efeitos da salinidade sobre o crescimento e produção das plantas.

Considerando a eficiência do uso da água (EUA), representada pela razão entre o acúmulo de biomassa seca (gramas) e o consumo de água (litro), também se observou redução significativa com o aumento da salinidade para todas as cultivares. A redução de 50% da EUA das variedades 1011-IPA, 2502-IPA, 2564-IPA, 2600-IPA, Ponta Negra e Qualimax ocorreu respectivamente para as CE_a de 9,81; 9,30; 7,0; 6,77; 10,21 e 9,53 dS m⁻¹ (Figura 3). Estas reduções indicam a necessidade de maior consumo de água pela planta para a produção de biomassa à medida que a salinidade aumenta, e infere que a redução da produção foi mais afetada do que o consumo de água, haja vista que a planta consumiu mais e produziu menos (SANTOS JUNIOR et al., 2013).

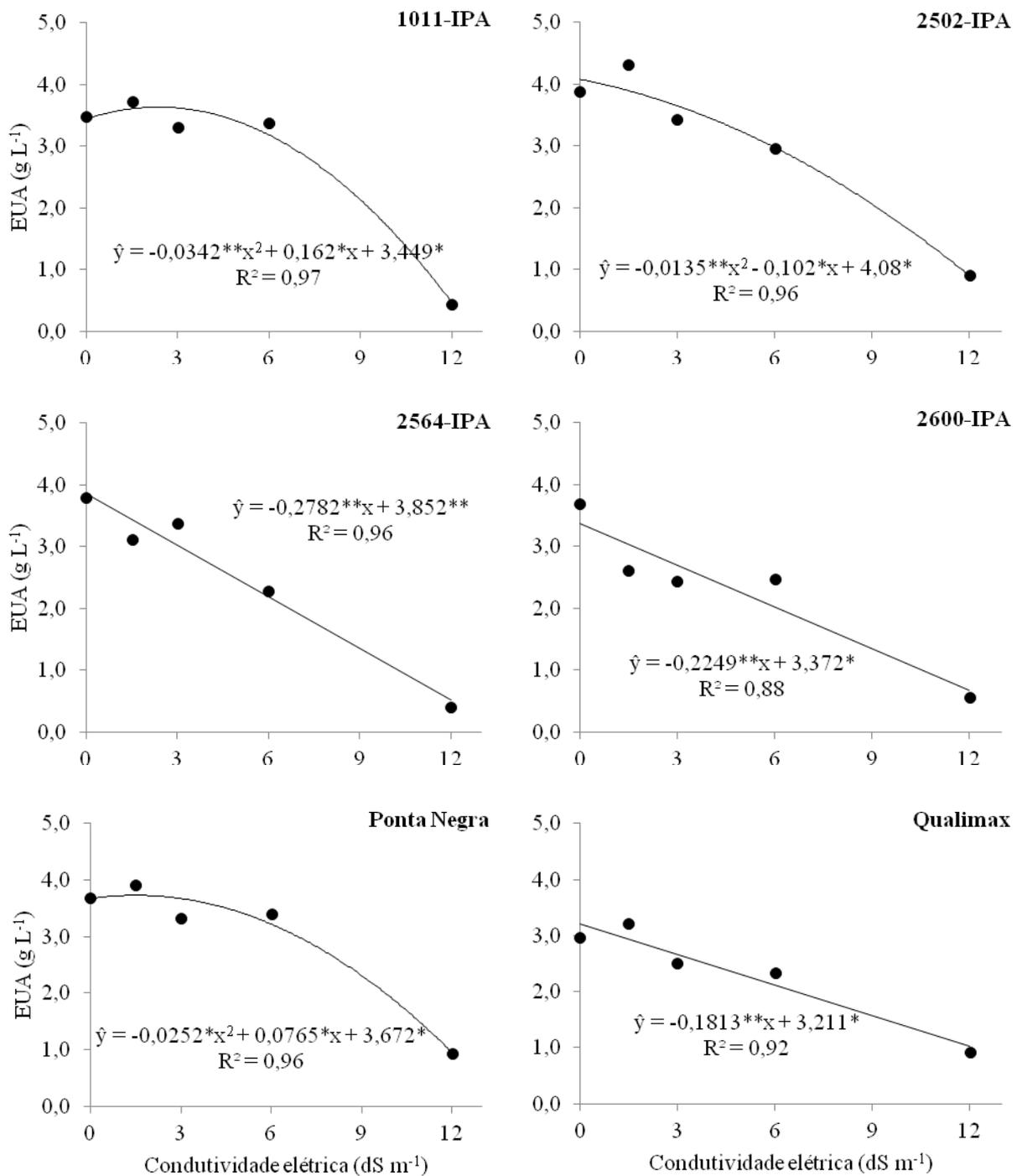


Figura 3. Eficiência do uso de água (EUA) de variedades de sorgo granífero submetidas a níveis de salinidade da água de irrigação. Coeficientes da regressão significativos com $p < 0,01$ (**).

Não houve produção de grãos nos tratamentos que foram irrigados com uma CEa de 12,0 dS m⁻¹ (Figura 4). Pode-se observar comportamentos semelhantes da produção de grãos para as variedades avaliadas, as quais apresentaram reduções mais acentuadas quando a CEa

ultrapassou 3 dS m⁻¹, sendo que as variedades 1011-IPA, 2502-IPA e Ponta Negra se apresentaram menos sensíveis à salinidade, com uma redução de 50% na produção de grãos para as CEa de 5,24; 5,01 e 5,14 dS m⁻¹, respectivamente. Já para as variedades 2564-IPA, 2600-IPA e Qualimax os efeitos da salinidade foram maiores, com reduções de 50% da produção para as CEa 3,15; 2,71 e 4,49 dS m⁻¹, respectivamente.

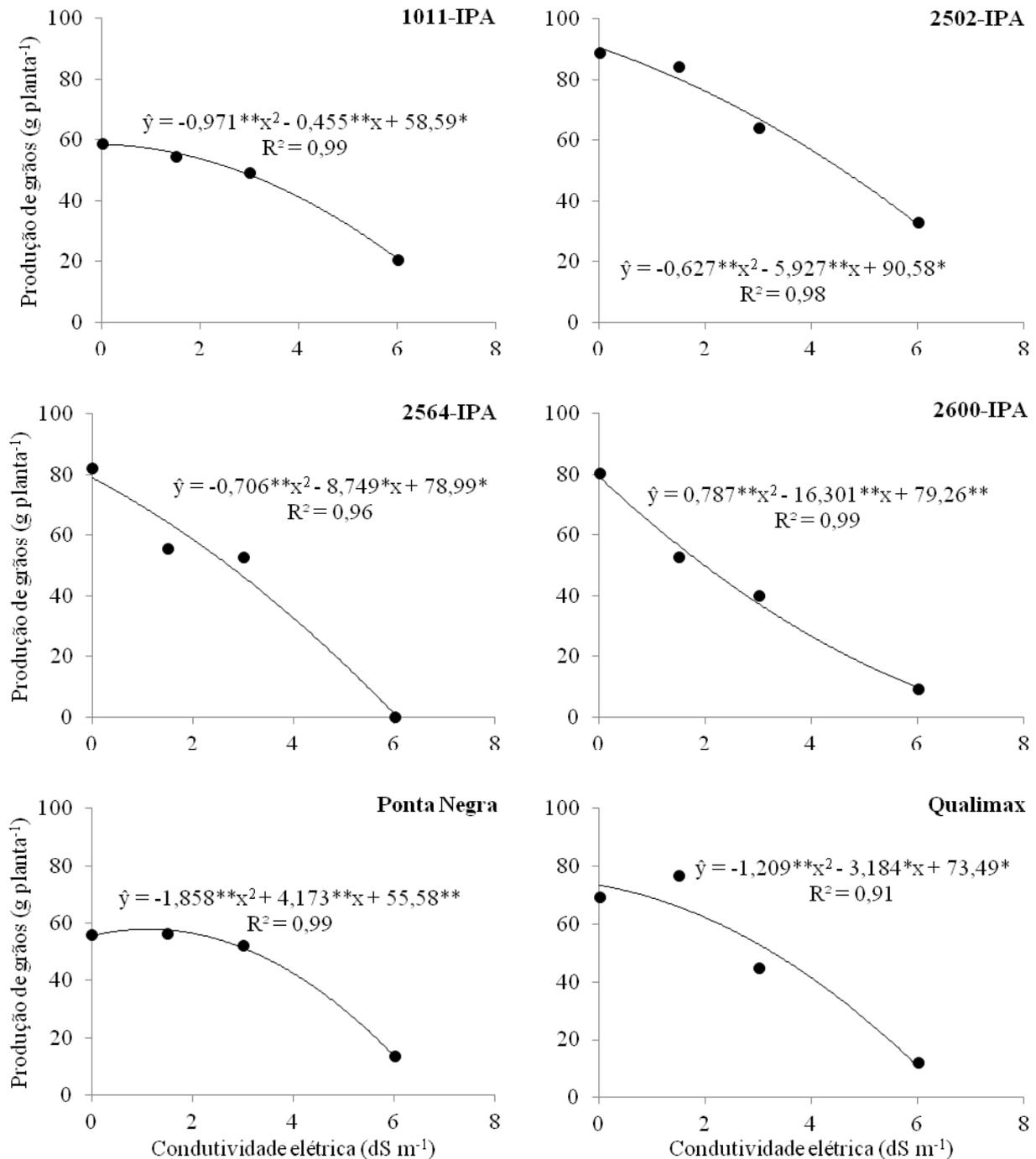


Figura 4. Produção de grãos (g planta⁻¹) de variedades de sorgo granífero submetidas a níveis de salinidade da água de irrigação. Coeficientes da regressão significativos com $p < 0,01$ (**).

As reduções na produção de grãos das variedades de sorgo avaliadas neste trabalho configuram um dos principais efeitos da salinidade sobre o rendimento das plantas, comportamento esse encontrado para outras espécies de interesse agrônomo, como amendoim (CORREIA et al., 2009), melão (MEDEIROS et al., 2008), pepino (MEDEIROS et al., 2009), entre outras. Segundo Rhoades et al. (2000), a salinidade afeta não apenas o desenvolvimento, mas também a reprodução das culturas. Tal efeito se manifesta principalmente na redução do desenvolvimento de sementes, com sintomas similares ao do estresse hídrico; em geral, a salinidade do solo, causada pela irrigação com água salina como pela combinação de fatores água, solo e manejo das culturas, pode resultar em aumento no ciclo da cultura, redução na produção e qualidade dos grãos, influenciando, diretamente a produção.

Similar ao observado neste trabalho, reduções na produção de grãos também já foram observadas por outros autores em diferentes espécies graníferas. Igartua et al. (1995) verificaram uma redução de até 72% na produção de grãos de 31 genótipos de sorgo granífero quando submetidos a irrigação com água salina com uma CEa de 12 dS m^{-1} . Hassanein et al. (2010) observaram reduções de até 21% na produção de grãos de sorgo quando submetidas a um nível e salinidade de 5 dS m^{-1} . Os mesmos associaram tais resultados aos efeitos da salinidade sobre os diferentes processos fisiológicos, podendo-se destacar a translocação de água e solutos, divisão celular e aumento e diferenciação de células.

As variedades 1011-IPA e 2502-IPA apresentaram maior produção de grãos quando irrigadas com uma água de CEa $6,0 \text{ dS m}^{-1}$, seguidas da Ponta Negra, Qualimax e 2600-IPA. A variedade 2564-IPA foi a variedade que mais sentiu os efeitos da salinidade, não apresentando produção de grãos no nível de salinidade $6,0 \text{ dSm}^{-1}$. A produção de grãos da variedade 2502-IPA ainda foi maior que as demais quando irrigadas com $3,0 \text{ dS m}^{-1}$, seguida das variedades 2564-IPA, Ponta Negra e 1011-IPA. Apesar da variedade 2564-IPA apresentar boa produção de grãos quando comparada as demais, a mesma não conseguiu produzir quando irrigada com uma água com CEa de $6,0 \text{ dS m}^{-1}$ (Tabela 3).

Tabela 3. Produção de grãos (g planta^{-1}) de variedades de sorgo granífero irrigadas com água com diferentes níveis de salinidade.

Variedade	CEa (dS m^{-1})				
	0,0	1,5	3,0	6,0	12**
1011-IPA	58,94 c	54,79 b	49,18 b	20,79 b	-
2502-IPA	89,10 a	84,24 a	64,19 a	32,94 a	-
2564-IPA	82,24 a	55,63 b	52,88 b	0,00 d	-
2600-IPA	80,59 a	53,03 b	40,10 c	9,34 c	-
Ponta Negra	56,02 c	56,47 b	52,26 b	13,57 c	-
Qualimax	69,34 b	77,08 a	44,74 c	12,24 c	-

*Médias seguidas de mesma letra nas colunas dentro de cada variável não diferem pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade. **Não houve produção de grãos para o nível de salinidade testado.

Em suma, as variedades testadas conseguiram se desenvolver com produção de grãos dentro da média para a cultura quando irrigadas com água salina, com exceção da variedade 2564-IPA. Tal comportamento sugere uma maior sensibilidade aos efeitos da salinidade quando comparadas aos demais materiais genéticos avaliados. Já as variedades 1011-IPA e 2502-IPA, apresentaram bons resultados quando submetidas a salinidade, podendo ser uma alternativa de cultivo em locais com disponibilidade de água salina com CEa de até 6 dS m^{-1} e condições de solo e clima semelhantes a este trabalho, haja vista que, acima deste nível de salinidade podem ocorrer reduções superiores a 50% na produção de grãos.

CONCLUSÕES

As variedades avaliadas apresentaram resultados de produção de grãos dentro da média quando submetidas a níveis de salinidade da água de irrigação de até 6 dS m^{-1} . A variedade 2564-IPA não é recomendada para cultivo em condições salinas. As variedades 1011-IPA e 2502-IPA destacam-se com maiores produções de grãos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, C. J. B.; JARDIM, R. R.; ALVES, D. D.; GUIMARÃES, A. S.; PORTO, E. M. V. Características agronômicas e bromatológicas dos componentes vegetativos de

genótipos de sorgo forrageiro em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 2, p.164-182, 2013.

AQUINO, A. J. S.; LACERDA, C. F.; GOMES-FILHO, E. Crescimento, partição de matéria seca e retenção de Na⁺, K⁺ e Cl⁻ em dois genótipos de sorgo irrigados com águas salinas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 5, p. 961-971, 2007.

BUSO, W. H. D.; MORGADO, H. S.; BORGES e SILVA, L.; FRANÇA, A. F. S. Utilização do sorgo forrageiro na alimentação animal. **PUBVET**, v. 5, n. 23, 2011.

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

GUIMARÃES, M. J. M.; SIMÕES, W. L.; TABOSA, J. N.; SANTOS, J. E.; WILLADINO, L. Cultivation of forage sorghum varieties irrigated with saline effluent from fish-farming under semiarid conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.20, n. 5, p.461-465, 2016.

HASSANEIN, M. S.; AHMED, A. G.; ZAKI, N. M. Growth and Productivity of Some Sorghum Cultivars under Saline Soil Condition. **Journal of Applied Sciences Research**, v. 6, n. 11, p. 1603-1611, 2010.

IGARTUA, E.; GRACIA, M. P. ; LASA, J. M. Field responses of grain sorghum to a salinity gradient. **Field Crops Research**, v. 42, p. 15-25, 1995.

MARQUES, E. C.; FREITAS, V. S.; BEZERRA, M. A.; PRISCO, J. T.; GOMES-FILHO, E. Efeitos do estresse salino na germinação, emergência e estabelecimento da plântula de cajueiro anão precoce. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 993-999, 2011.

MEDEIROS, J. F.; DIAS, N. S.; BARROS, A. D. Manejo da irrigação e tolerância do meloeiro à salinidade da água de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 3, n. 3, p. 242-247, 2008.

MEDEIROS, P. R. F.; DUARTE, S. N.; DIAS, C. T. S. Tolerância da cultura do pepino à salinidade em ambiente protegido. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 13, n. 4, p.406-410, 2009.

NIU, G.; XU, W.; RODRIGUES, D.; SUN, Y. Growth and Physiological Responses of Maize and Sorghum Genotypes to Salt Stress. **International Scholarly Research Network**, v. 2012, p. 1-12, 2012.

TABATABAEI, S. A.; ANAGHOLI, A. Effects of salinity on some characteristics of forage sorghum genotypes at germination stage. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**, v.4, n. 14, p. 979-983, 2012.

TARDIN, F. D.; ALMEIDA FILHO, J. E.; OLIVEIRA, C. M.; LEITE, C. E. P.; MENEZES, C. B.; MAGALHÃES, P. C.; RODRIGUES, J. A. S.; SCHAFFERT, R. E. Avaliação agronômica de híbridos de sorgo granífero cultivados sob irrigação e estresse hídrico. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 2, p. 102-117, 2013.

TIGABU, E.; ANDARGIE, M; TESFAYE, K. Genotypic Variation for Salinity Tolerance in Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) Genotypes at Early Growth Stages. **Journal of Stress Physiology & Biochemistry**, v. 9, n. 2, p. 253-262, 2013.

REDDY, S. J.; AMORIM NETO, M. S. **Dados de precipitação, evapotranspiração potencial, radiação solar global de alguns locais e classificação climática do Nordeste do Brasil**. Petrolina: EMBRAPA/CPATSA, 280 p, 1983.

RHOADES, J.D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A.M. **Uso de águas salinas para produção agrícola**. Tradução de H. R. GHERI, J. R. de SOUZA, J. E. QUEIROZ. Campina Grande: UFPB, 2000. p. 27. FAO. Estudos Irrigação e Drenagem, 48.

SANTOS, F. C.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; RESENDE, A. V.; OLIVEIRA, A. C.; GOMES, T. C.; OLIVEIRA, M. S. Adubações nitrogenada e potássica no sorgo biomassa -

produtividade e qualidade de fibra. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 1, p. 1-13, 2014.

SANTOS JUNIOR, J. H.; GHEYI, H. R.; G. FILHO, D. H.; SOARES, F. A. L.; DIAS, N. S. Efficiency of water use in sunflower grown in hydroponic system under saline stress. **Engenharia Agrícola.**, Jaboticabal, v.33, n.4, p. 718-729, 2013.

SANS, L. M. A.; PELLEGRIN, L. A. Método simples para estimar a área foliar da cultura do sorgo In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 22., 1998, Recife. **Anais...** Recife: ABMS, 1998.

SHAKERI, E.; EMAM, Y. Selectable Traits in Sorghum Genotypes for Tolerance to Salinity Stress. **J. Agr. Sci. Tech**, v. 19, n. 6, p. 1319-1332, 2017.

SILVA, A. G.; BARROS, A. S.; SILVA, L. H. C. P.; MORAES, E. B.; PIRES, R. TEIXEIRA. Avaliação de cultivares de sorgo granífero na safrinha no sudoeste do estado de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical** v. 39, n. 2, p. 168-174, 2009.

STEPPUHN, H.; RANEY, J. P. Emergence, height, and yield of canola and barley grown in saline root zones. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 85, n. 4, p. 815-827, 2005.

SUN, Y.; NIU, G.; OSUNA, P.; ZHAO, L.; GANJEGUNTE, G.; PETERSON, G. PERALTA-VIDEA, J. R.; GARDEA-TORRESDEY, J. L. Variability in Salt Tolerance of *Sorghum bicolor* L. **Agricultural Science**, v. 2, n. 1, p. 09-21, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.

WILLADINO, L.; CAMARA, T. R. Tolerância das plantas à salinidade: Aspectos fisiológicos e bioquímicos. **Enciclopédia Biosfera**, v.6, n. 11, p. 1-23, 2010.

CAPÍTULO 2: Trocas gasosas e metabolismo enzimático em variedades de sorgo granífero irrigado com água salina

TROCAS GASOSAS E METABOLISMO ENZIMÁTICO EM VARIEDADES DE SORGO GRANÍFERO IRRIGADO COM ÁGUA SALINA

Miguel Julio Machado Guimarães, Welson Lima Simões, Wesley Oliveira da Silva, Lilia Willadino

RESUMO: O objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito da salinidade nas trocas gasosas e nas respostas do sistema antioxidativo de seis variedades de sorgo granífero irrigadas com água salina em condições semiáridas. Para isto, foi conduzido um ensaio em casa de vegetação localizada na sede da Embrapa Semiárido, Petrolina-PE, no ano de 2016. Foram avaliadas seis variedades de sorgo granífero (1011-IPA, 2502-IPA, 2564-IPA, 2600-IPA, Ponta Negra e Qualimax) irrigados com água salina com cinco níveis de salinidade (0; 1,5; 3,0; 6,0; e 12,0 dS m⁻¹), com três repetições. Foram avaliadas as variáveis taxa de fotossíntese e transpiração, condutância estomática, temperatura foliar, eficiência intrínseca e instantânea do uso da água, teor relativo de água e potencial de turgor das folhas, bem como a atividade das enzimas catalase, ascorbato peroxidase e superóxido dismutase, e a produção de biomassa da parte aérea. Observou-se que a irrigação com água salina provoca redução nas trocas gasosas e no estado hídrico das variedades de sorgo granífero avaliadas. O sistema antioxidativo foi ativado nas seis variedades de sorgo para evitar o acúmulo de espécies reativas de oxigênio, sendo que o sincronismo entre as enzimas refletiu numa melhor resposta produtiva das variedades Ponta Negra e 1011-IPA.

Palavras-chave: Salinidade, *Sorghum bicolor*, estresse oxidativo.

GAS EXCHANGES AND ENZYMATIC METABOLISM IN SORGHUM GRAINS VARIETIES IRRIGATED WITH SALINE WATER

ABSTRACT: The objective of the present study was to evaluate the effect of salinity on gas exchange and on the antioxidative system responses of six sorghum varieties irrigated with saline water in semi-arid conditions. For this, a greenhouse test was conducted at Brazilian Agricultural Research Corporation, Semiarid Unit, Petrolina-PE, at 2016. Six sorghum varieties (1011-IPA, 2502-IPA, 2564-IPA, 2600-IPA, Ponta Negra and Qualimax) were irrigated with saline water with five levels of salinity (0, 1.5, 3.0, 6.0 and 12.0 dS m⁻¹), with

three replicates. The variables variables of photosynthesis and transpiration, stomatal conductance, leaf temperature, intrinsic and instantaneous water use, relative water content and leaf turgor potential, as well as the activity of the enzymes catalase, ascorbate peroxidase and superoxide dismutase were evaluated. production of shoot biomass. It was observed that irrigation with saline water causes a reduction in the gas exchange and in the water status of the sorghum varieties evaluated. The antioxidative system was activated in the six varieties of sorghum to avoid the accumulation of reactive oxygen species, and the synchronism between the enzymes reflected a better productive response of the black and 1011-IPA varieties.

Key words: Salinity, Sorghum bicolor, oxidative stress.

INTRODUÇÃO

Os estresses abióticos são fatores limitantes da produção de espécies vegetais nos mais diversos ambientes. Em ambientes agrícolas, diversos são os estresses que as plantas podem enfrentar. Tratando-se de fatores isolados podem-se citar problemas com salinidade, déficit hídrico, extremos de temperaturas, entre outros. No entanto, as plantas estão submetidas ao conjunto destes fatores, sendo seu comportamento reflexo da interação entre os mesmos.

A salinidade é um dos estresses ambientais mais severos e diversas são as respostas dada pelas plantas frente a mesma. Estas se refletem em variáveis fisiológicas (condutância estomática, taxa de transpiração e fotossíntese) (FREIRE et al., 2014), biométricas (altura, área foliar, produção de biomassa) (AQUINO et al., 2007), a bioquímicas (solutos osmorreguladores, enzimas antioxidantes) (BARBOSA et al., 2014; MONTEIRO et al., 2014).

Sob condições salinas, as alterações no metabolismo frequentemente promovem um estresse secundário, o oxidativo, o qual é resultante do aumento da produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) no metabolismo celular. As principais espécies produzidas incluem os radicais superóxido ($O_2^{\cdot-}$), peróxido de hidrogênio (H_2O_2), radical hidroxila (OH^{\cdot}) e oxigênio "singlet" (1O_2) (BARBOSA et al., 2014).

Como mecanismos de defesa aos estresses ambientais, as plantas desenvolveram um complexo de defesa antioxidativo constituído por enzimas e metabólitos antioxidantes (DEWIR et al., 2006). A capacidade de acionar o mecanismo de defesa antioxidativa é fundamental para prevenir os danos causados pelo estresse oxidativo extremo (SAHER et al., 2004; DEWIR et al., 2006). Dentre as diversas enzimas que atuam nesse sistema destacam-se

a superóxido dismutase (SOD), a catalase (CAT) e a ascorbato peroxidase (APX) (MILLER et al., 2010). Segundo Gill & Tuteja (2010), a SOD é considerada a primeira linha de defesa contra as EROs, sendo responsável pela dismutação do radical superóxido ($O_2^{\cdot-}$) para formar peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e oxigênio molecular (O_2). A CAT e a APX, por sua vez, catalisam a conversão do H_2O_2 à água.

Neste contexto, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito da salinidade nas trocas gasosas e nas respostas do sistema antioxidativo de seis variedades de sorgo granífero irrigadas com água salina em condições semiáridas.

MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi realizado numa casa de vegetação localizada na sede da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) – Semiárido, localizada no município de Petrolina-PE ($9^{\circ}8'8,9''S/40^{\circ}18'33,6''O$, 373 m), cuja região apresenta clima tropical semiárido, com precipitação média anual de 400 mm, umidade relativa média do ar de 67,8%, temperatura média de 26,5°C (REDDY; AMORIM NETO, 1983).

Foi utilizado o delineamento experimental em blocos casualizados, em esquema fatorial 6 x 5, com três repetições. Os tratamentos foram compostos pela combinação de seis variedades de sorgo granífero: 1011-IPA, 2502-IPA, 2564-IPA, 2600-IPA, Ponta Negra e Qualimax; e cinco níveis de salinidade da água de irrigação (CEa): 0; 1,5; 3,0; 6,0 e 12,0 dS m^{-1} .

A semeadura foi realizada em vasos plásticos com capacidade para 20 litros, preenchidos com uma camada de 3 cm de brita na base e 15 kg de solo coletado na camada de 0-20 cm de um Argissolo Amarelo Distrófico latossólico, de textura franco arenosa, cujas características químicas e granulométricas são apresentadas na Tabela 1. Na ocasião, foram colocadas cinco sementes por vaso, a 2 cm de profundidade. Quando as plantas atingiram uma altura média de 15 cm, aproximadamente 12 dias após a semeadura, foi realizado o desbaste, deixando apenas uma planta por vaso e iniciadas as irrigações com as soluções salinas.

Tabela 1. Características químicas e granulométricas do solo utilizado para o cultivo de sorgo granífero sob diferentes níveis de salinidade

C.O. g kg ⁻¹	pH (H ₂ O) (1:2,5)	CE _{es} dS m ⁻¹	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Al ³⁺	S	H+Al	T
1,9	5,7	0,23	1,0	0,7	0,07	0,33	0,0	2,1	1,6	3,7
V %	P mg dm ⁻³	Cu	Fe	Mn	Zn	B	Areia	Silte	Argila	
57	17	0,5	67,9	32,7	6,1	0,19	846,4	135,1	17,9	

C.O.- carbono orgânico (método Walkley-Black); CE_{es}- condutividade elétrica do extrato de saturação; Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺(extração em KCl 1 mol L⁻¹); H+Al [extração em Ca (C₂H₃O₂)₂ 1 mol L⁻¹, pH 7,0]; Na⁺, K⁺, P, Cu, Fe, Mn e Zn (extração por Mehlich-1);B (extração em água quente); S- soma de bases ; T- capacidade de troca de cátions [S+(H+Al)]; V- saturação por bases.

A partir dos resultados da análise de solo, foi feita a aplicação de solução nutritiva contendo 160, 400, 210, 150, 50 e 180 mg dm⁻³ de N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente, e 0,81; 1,33; 0,15; 3,66; 4,0; 0,1 mg dm⁻³ dos respectivos micronutrientes B, Cu, Mo, Mn, Zn e Fe. A aplicação de nutrientes foi iniciada após o desbaste, e realizada em três parcelas iguais com intervalo de vinte e cinco dias.

As soluções salinas foram preparadas a partir dos sais NaCl, CaCl₂.2H₂O e MgSO₄.7H₂O, de modo a se obter proporção equivalente entre Na:Ca:Mg de 7:2:1 (AQUINO et al., 2007).

Para manejo da irrigação, foram instalados lisímetros de pesagem em todos os vasos de um bloco. Os lisímetros foram equipados com células de carga (modelo TSD, AEPH, capacidade de 50 kg) instaladas sob uma base metálica com dispositivo de coleta do excesso de água drenado. As células de carga foram conectadas a dois multiplexadores (AM16/32B) ligados a um datalogger (CR1000), o qual realizava leitura a cada 15 segundos, registrando-as a cada 15 minutos. Todos os lisímetros foram calibrados de forma a obter uma curva de leituras de sinal (mV) desde o ponto de murcha permanente até a capacidade de campo do solo.

As irrigações foram realizadas a cada dois dias, com a reposição do volume de água evapotranspirado entre as irrigações, de forma a manter a umidade do solo na capacidade de

campo. Para evitar o acúmulo de sais foram adicionados uma lâmina de lixiviação de 15% a mais do volume registrado.

As avaliações fisiológicas foram realizadas aos 60 dias após o plantio. Na ocasião foram avaliadas as trocas gasosas a partir do Analisador Portátil de Gás Infravermelho (IRGA), modelo Li-6400, utilizando luz artificial fixada em $2500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. As variáveis analisadas foram: taxa de fotossíntese (A), condutância estomática (g_s), transpiração (E) e temperatura foliar (T_f), eficiência instantânea do uso da água (A/E) e eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s).

O status hídrico das plantas foi avaliado através do teor relativo de água (TRA) e potencial turgo das folhas (PTu). O TRA foi obtido através do peso da matéria fresca (MF), túrgida (MT) e seca (MS) e aplicada na seguinte fórmula: $\text{TRA} = \{[(\text{MF} - \text{MS}) / (\text{MT} - \text{MS})] \times 100\}$. As medidas de PTu foram obtidas através do uso do instrumento Wiltmeter. A calibração do aparelho foi realizada de acordo a metodologia descrita em Calbo et. al (2010).

Na mesma ocasião foram coletadas amostras do limbo foliar da terceira folha completamente expandida, a contar do ápice para o colo da planta. As amostras de tecido foliar foram imediatamente armazenadas em envelopes de papel alumínio e imersas em nitrogênio (N_2) líquido. Posteriormente todo material foi armazenado em freezer a -80°C até o momento das análises enzimáticas.

A atividade da catalase (CAT) foi determinada pelo método descrito por Havir et al., (1987) com modificações. Utilizou-se uma solução contendo 1,0 mL de tampão fosfato de potássio 100 mM a pH 7,5 e 25 μL de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) 1,0 mM e a reação foi iniciada pela adição de 25 μL do extrato proteico. A atividade determinou-se seguindo a decomposição do H_2O_2 por 60 segundos, através das leituras espectrofotométricas a 240 nm, a temperatura de 25°C .

A atividade da ascorbato peroxidase (APX) foi determinada conforme descrito por Nakano e Asada (1981). O meio de reação foi composto por 650 μL de tampão fosfato de potássio 80 mM, pH 7,5; 100 μL de ascorbato 5,0 mM; 100 μL de EDTA 1,0 M; 100 μL de H_2O_2 1,0 mM e 50 μL do extrato proteico. A atividade foi determinada pelo monitoramento da taxa de oxidação do ascorbato utilizando espectrofotômetro com comprimento de onda a 290 nm, a 30°C , durante 60 segundos.

Para a determinação da atividade da superóxido dismutase (SOD) foi utilizado o protocolo de Giannopolitis e Ries (1977). Por esse método, é determinada a inibição da redução do NBT (nitro blue tetrazolium) pelo extrato enzimático, evitando assim a formação

do cromóforo. A solução de reação (3,0 mL) foi constituída de 85 mM de tampão fosfato (pH 7,8), 75 μ M de NBT, 5,0 μ M riboflavina, 13,0 mM de metionina, 0,1 mM de EDTA e 50 μ l de extrato enzimático. A solução foi adicionada aos tubos de vidro e irradiada com luz branca (lâmpada fluorescente de 15 W) por 5 min. Após esse período de exposição, a solução foi analisada em espectrofotômetro a 560 nm.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) utilizando o programa Sisvar 5.0. Para comparação entre os níveis de salinidade foram avaliados modelos de regressão de primeiro e segundo grau quando significativos ao nível de 1 ou 5% de probabilidade. O Teste de Scott Knott, a 0,05 de probabilidade, foi adotado para a comparação entre as variedades.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação significativa entre variedades e CEa para as variáveis taxas fotossintética (*A*) e transpiração (*E*), condutância estomática (*gs*), temperatura foliar (*Tf*), eficiências instantânea (*A/E*) e intrínseca (*A/gs*) do uso da água, teor relativo de água (TRA) e potencial turgor das folhas (PTu). Estas variáveis foram influenciadas pelos efeitos isolados das variedades e/ou dos níveis de salinidade da água de irrigação. Por outro lado, houve interações significativas para a atividade das enzimas que atuam na defesa antioxidativa das plantas: CAT, APX e SOD.

As variedades de sorgo granífero avaliadas apresentaram comportamentos distintos entre as variáveis fisiológicas (Tabela 2). A variedade Qualimax apresentou as maiores taxas fotossintéticas e de transpiração, bem como uma maior condutância estomática, independentemente do nível de salinidade aplicado, não havendo diferença estatística entre as demais. Quanto ao uso da água, a variedade 1011-IPA foi a que apresentou maior eficiência instantânea e intrínseca de uso da água, seguida das variedades 2502-IPA, 2564-IPA e 2600-IPA. Fernández-García et al. (2014) afirmam que plantas que apresentam maior eficiência do uso da água podem apresentar maior tolerância à salinidade devido à maior regulação das perdas de água e, conseqüentemente, o retardamento no acúmulo de sais nas plantas ao limitar o fluxo de sais para a parte aérea devido a menor taxa transpiratória.

Tabela 2. Taxa fotossintética (*A*), condutância estomática (*gs*), taxa de transpiração (*E*), temperatura foliar (*Tf*), eficiência instantânea (*A/E*) e intrínseca (*A/gs*) do uso da água, Teor relativo de água (TRA) e potencial turgor (PTu), em variedades de sorgo granífero irrigadas com água salina.

Variedades	<i>A</i> μmol m ⁻² s ⁻¹	<i>gs</i> mol m ⁻² s ⁻¹	<i>E</i> mmol m ⁻² s ⁻¹	<i>Tf</i> °C	<i>A/E</i>	<i>A/gs</i>	TRA %	Ptu kPa
1011-IPA	27,77 b	0,13 b	3,23 b	32,09 a	10,16 a	279,79 a	72,32 a	79,81 a
2502-IPA	25,62 b	0,12 b	2,96 b	31,93 b	8,35 b	222,03 b	65,1 b	68,89 b
2564-IPA	25,59 b	0,12 b	3,1 b	32,2 a	8,37 b	228,9 b	67,58 a	78,03 a
2600-IPA	27,26 b	0,14 b	3,49 b	32,25 a	8,43 b	238,9 b	59,47 c	78,03 a
Ponta Negra	25,54 b	0,13 b	3,41 b	32,09 a	7,23 c	198,12 c	64,13 b	73,79 a
Qualimax	30,44 a	0,16 a	4,01 a	31,8 b	7,63 c	195,59 c	65,94 b	62,64 b
CV (%)	24,0	30,13	24,63	1,17	17,83	21,33	9,91	14,40

*Médias seguidas de mesma letra nas colunas dentro de cada variável não diferem pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

As variedades 1011-IPA e 2564-IPA foram as que apresentaram maiores valores de TRA, diferindo estatisticamente das demais variedades, no entanto, quando avaliado o potencial de turgor das folhas, pode-se observar comportamentos iguais para as variedades 1011-IPA, 2564-IPA, 2600-IPA e Ponta Negra.

Níveis crescentes de salinidade da água de irrigação proporcionaram reduções lineares nas variáveis *A*, *E* e *gs* (Figura 1), no entanto, pode-se verificar um aumento da temperatura foliar com o aumento da CEa da água de irrigação. É sabido que cerca de 95% da água que as plantas absorvem é utilizada na regulação da temperatura através da transpiração (TAIZ & ZEIGER, 2013), logo, com a diminuição da *gs*, há uma diminuição da transpiração e, conseqüentemente, um aumento da *Tf*.

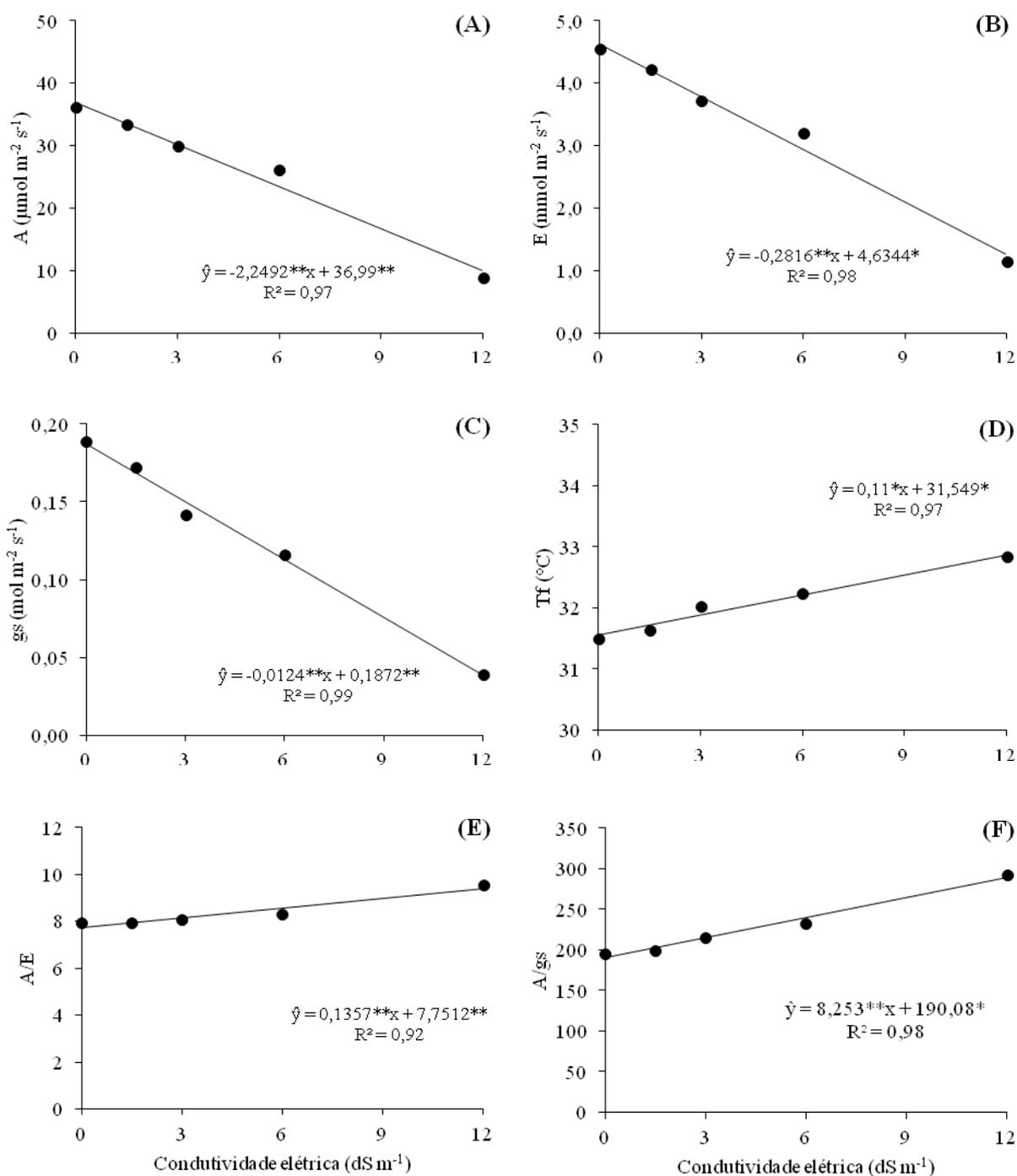


Figura 1. Taxa fotossintética – *A* (A), taxa de transpiração – *E* (B), condutância estomática – *g_s* (C), temperatura foliar – *T_f* (D), eficiência instantânea – *A/E* (E) e intrínseca – *A/g_s* (F) do uso da água em variedades de sorgo granífero, submetidas a diferentes níveis de salinidade. Coeficientes da regressão significativos com $p < 0,01$ (**) e $p < 0,05$ (*).

Reduções nas trocas gasosas de plantas submetidas a ambientes salinos estão associadas ao efeito osmótico sobre o metabolismo da planta (SILVA et al., 2013). Estudos realizados

com feijão-de-corda demonstraram que o uso contínuo de água com salinidade acima do limiar da cultura, reduz a taxa fotossintética líquida em decorrência do fechamento parcial dos estômatos (ASSIS JÚNIOR et al., 2007; NEVES et al., 2009). Sundar et al. (2004) relataram influência direta da salinidade nas relações hídricas e potencial osmótico de folhas de sorgo. Heidari (2009) relatou que o potencial de água negativo em folhas de sorgo afetadas pelo sal resultou na redução das trocas gasosas devido ao fechamento estomático, corroborando com os dados apresentados neste trabalho.

Quanto à eficiência do uso da água, observaram-se respostas crescentes lineares em relação aos níveis de salinidade aplicados. Salienta-se que quanto maior for o efeito osmótico da salinidade, menor será o grau de abertura estomática, refletindo em reduções na taxa fotossintética e na transpiração das plantas (SILVA et al., 2015). A relação entre a fotossíntese e a transpiração (A/E) relaciona a quantidade de carbono que a planta fixa, por unidade de água que perde (FERRAZ et al., 2012). Neste sentido, os acréscimos observados na A/E e A/g_s são reflexos da redução mais acentuada na transpiração e condutância estomática, respectivamente, das plantas avaliadas.

O aumento da eficiência do uso da água em plantas submetidas ao estresse salino já fora observado por diversos autores. Oliveira et al. (2017) observaram incrementos nos valores de eficiência intrínseca de uso da água em plantas de feijão-caupi irrigadas com água salina. Azizian & Sepaskhah (2014) observaram o mesmo comportamento quando avaliaram milho submetido ao estresse salino. Fernández-García et al. (2014) verificaram um aumento de até 40% em plantas de hena (*Lawsonia inermis* L.) submetidas a uma salinidade de 150 mM de NaCl (cerca de 12 dS m⁻¹), os quais associaram este aumento ao comportamento adaptativo da cultura ao estresse salino aplicado.

Pode-se observar uma redução nas variáveis TRA e PTu, as quais retratam o estado hídrico das plantas (Figura 2). A redução na turgescência das folhas pode estar relacionada à redução na disponibilidade de água ocasionada pelo aumento na concentração de sais, todavia, essa redução no potencial é pouco expressiva quando comparada com a redução observada nas variáveis de crescimento, podendo-se deduzir que há ocorrência de mecanismos de tolerância das plantas ao estresse.

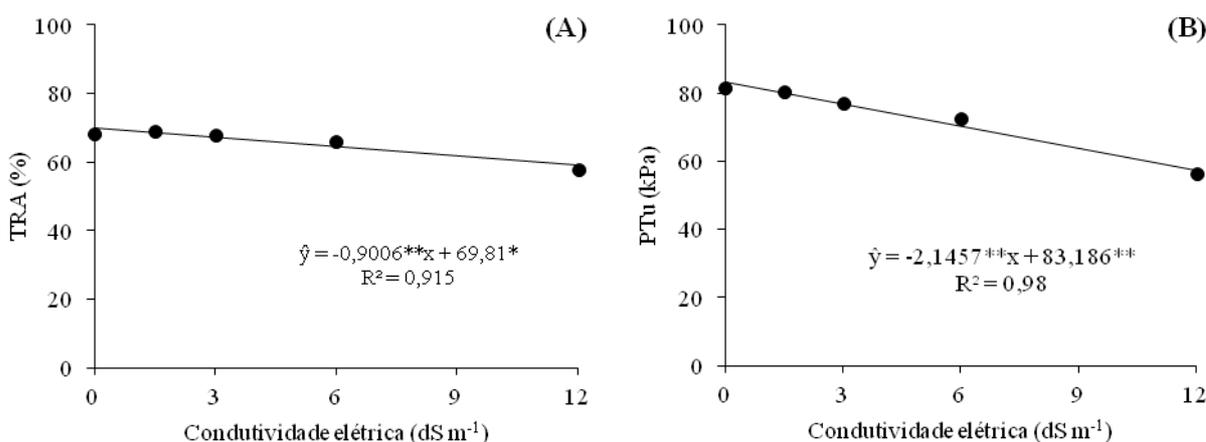


Figura 2. Teor relativo de água (A) e potencial turgor (PTu) (B) em variedades de sorgo granífero, submetidas a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. Coeficientes da regressão significativos com $p < 0,01$ (**) e $p < 0,05$ (*).

A manutenção do turgor celular é uma característica que pode ser associada a plantas com maior adaptabilidade ao ambiente salino pois, quando o PTu é mantido, processos como a condutância estomática, transpiração, assimilação de CO_2 e a expansão dos tecidos vegetais são parciais ou totalmente mantidos (SAMPAIO et al., 2014), ajustes estes que têm sido observados nas variedades de sorgo estudadas.

Pôde-se observar alterações no metabolismo enzimático de todas as variedades avaliadas. O aumento da CEa coincidiu, de uma maneira geral, com uma maior atividade enzimática da enzima antioxidante superóxido dismutase (SOD) (Figura 3). Para as variedades 1011-IPA e 2502-IPA observou-se um aumento linear crescente com o aumento da CEa, sendo que tal aumento foi mais expressivo na variedade 1011-IPA, com um acréscimo de $2,43 \text{ U gMF}^{-1} \text{ min}^{-1}$ a cada unidade de CEa, valor este cerca de seis vezes maior que o observado na variedade 2502-IPA. As demais variedades apresentaram comportamento quadrático com o aumento do nível de salinidade. As maiores atividades enzimáticas da SOD foram observadas nos níveis de salinidade 5,19; 10,93; 7,77 e 6,26 dS m^{-1} para as variedades 2564-IPA, 2600-IPA, Ponta negra e Qualimax, respectivamente (Figura 3).

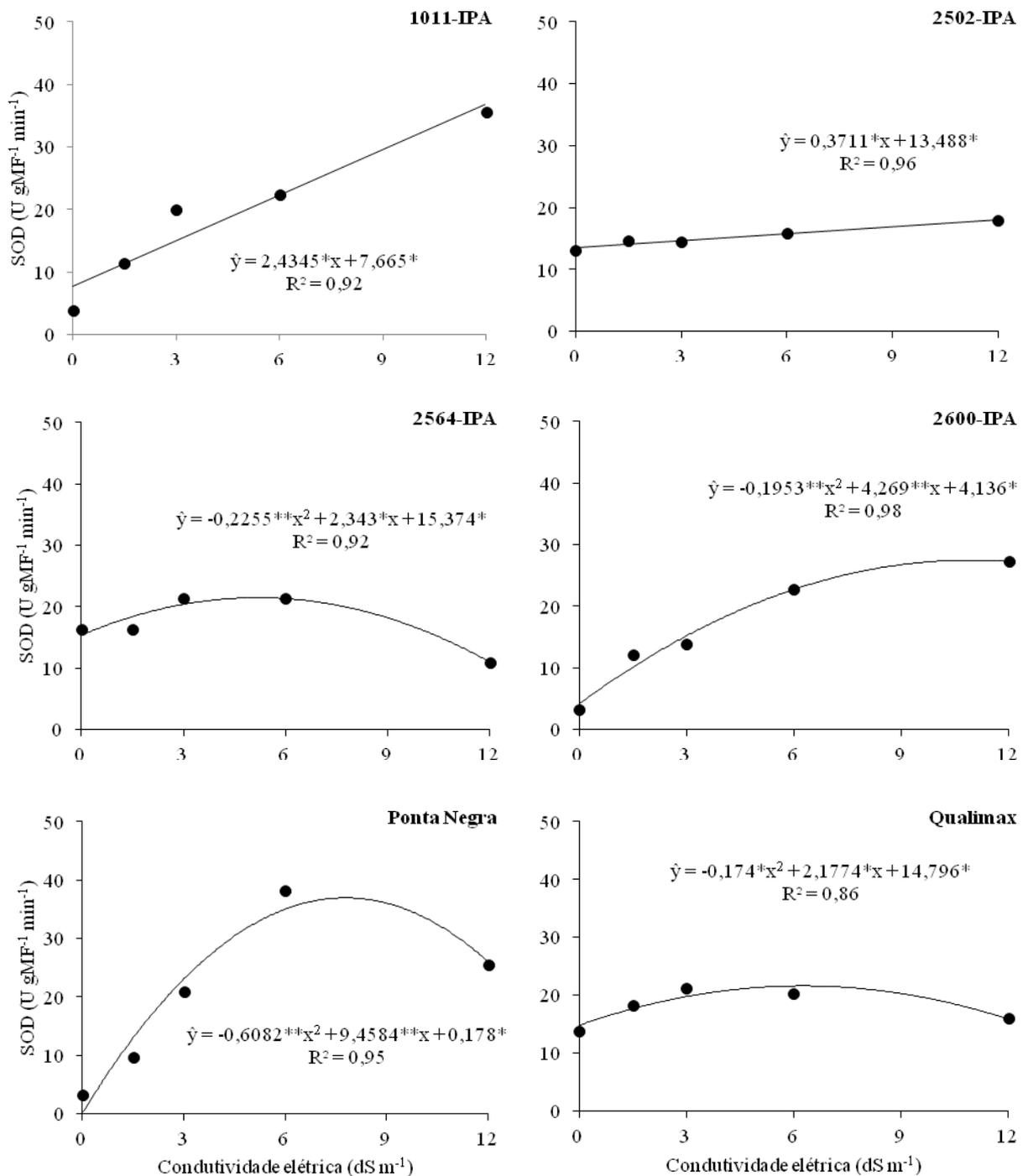


Figura 3. Atividade enzimática da superóxido dismutase (SOD) em variedades de sorgo granífero, submetidas a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. Coeficientes da regressão significativos com $p < 0,01$ (**) e $p < 0,05$ (*).

Sabendo-se que a SOD é considerada a primeira linha de defesa contra as EROs, plantas que apresentam maiores atividades desta enzima apresentam um maior potencial para reduzir os efeitos do ($O_2^{\cdot-}$) no metabolismo. Este radical é moderadamente reativo e possui

curta duração, o mesmo reage com moléculas de proteína e lipídeos, podendo trazer grandes prejuízos ao metabolismo celular.

Quanto à atividade das enzimas CAT e APX, que elimina o H_2O_2 gerado pela SOD ou por outras reações metabólicas, pode-se observar diferentes comportamentos entre as variedades avaliadas (Figura 4). Nas variedades 1011-IPA e 2600-IPA houve uma redução linear da CAT e um comportamento quadrático da APX com o aumento da salinidade, com uma atividade máxima da APX registrada no nível de salinidade de 2,56 e 8,07 $dS\ m^{-1}$, respectivamente. Já a variedade 2564-IPA apresentou comportamento inverso, no qual, houve uma redução linear da atividade da APX e um efeito quadrático da CAT com o aumento do nível salino, com uma atividade máxima a 7,26 $dS\ m^{-1}$.

Padrões enzimáticos distintos dentro de uma mesma espécie vegetal já fora observado por Guimarães et al. (2018) ao avaliarem variedades de sorgo irrigadas com água salina. Tal comportamento pode estar relacionado à grande variabilidade genética da cultura do sorgo, o que possibilita diferentes respostas do sistema enzimático em cada variedade/genótipo/cultivar.

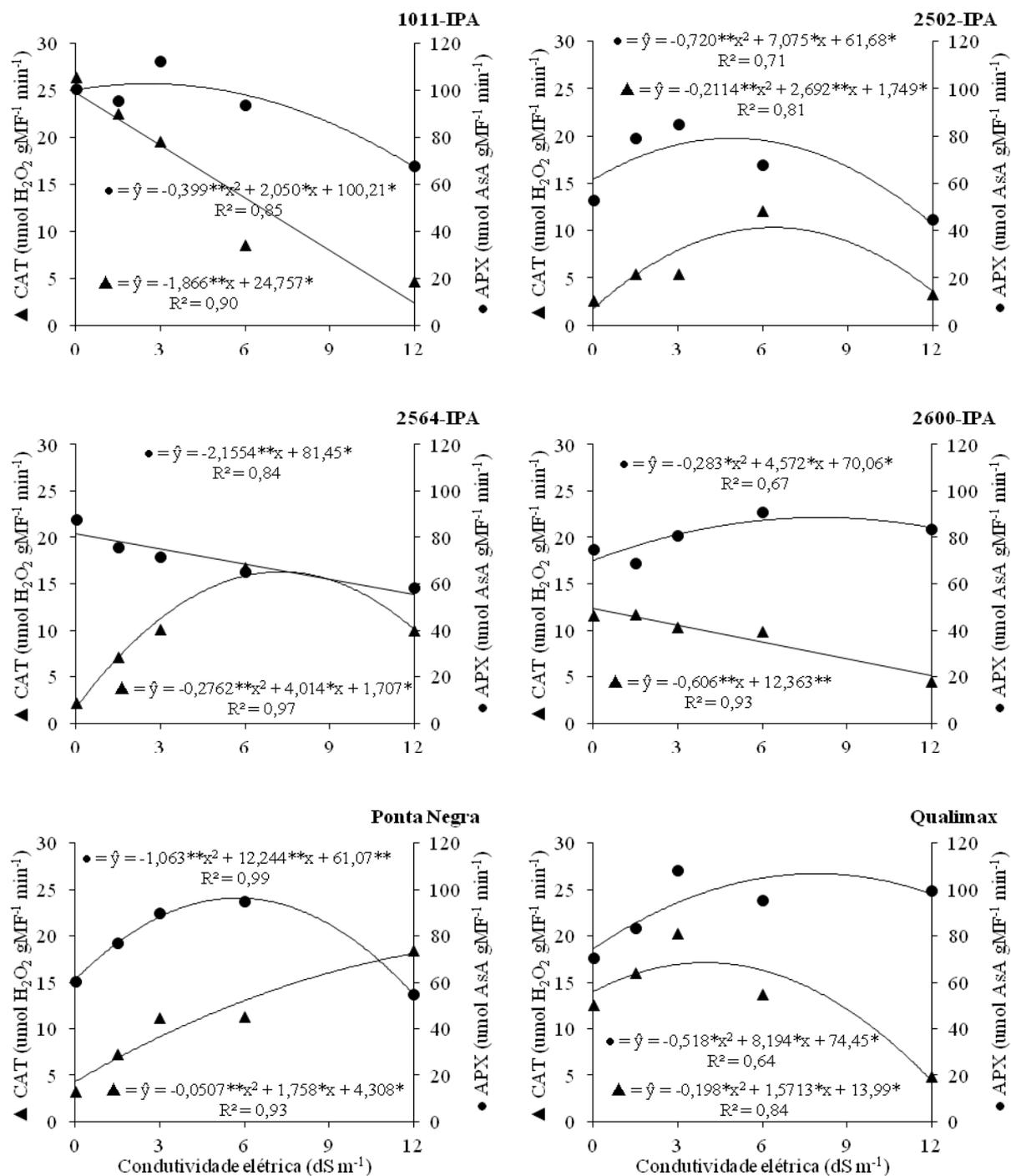


Figura 4. Atividade enzimática da catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX) em variedades de sorgo granífero, submetidas a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. Coeficientes da regressão significativos com $p < 0,01$ (**) e $p < 0,05$ (*).

As variedades 2502-IPA, Ponta Negra e Qualimax apresentaram regressões quadráticas para as atividades da CAT e APX. Para a 2502-IPA as atividades máximas da CAT e APX foram observadas nos níveis salinos 6,36 e 4,91 dS m^{-1} , respectivamente. Na

variedade Ponta negra os níveis salinos 17,3 e 5,75 dS m⁻¹ proporcionaram as maiores atividades da CAT e APX, respectivamente. A variedade Qualimax apresentou a maior atividade da enzima CAT quando irrigada com uma CEa de 3,96 dS m⁻¹ e da APX com uma CEa de 7,9 dS m⁻¹.

Os resultados obtidos neste trabalho corroboram diversos autores, os quais afirmam que os mecanismos fisiológicos de proteção frente ao estresse salino variam até mesmo dentro de uma mesma espécie. Em um experimento estudando dois genótipos de sorgo forrageiro, CSF18 (sensível) e CSF20 (tolerante), submetidos à salinidade de até 75 mM de NaCl, Costa et al. (2005) verificaram aumentos nas atividades da SOD e da CAT de ambos os genótipos, sendo que tais aumentos foram maiores no genótipo tolerante à salinidade. Quanto a APX, houve comportamento diferenciado entre os genótipos. Enquanto no genótipo sensível houve decréscimos, no genótipo tolerante observaram-se aumentos na atividade dessa enzima em resposta a salinidade.

Em um estudo avaliando os genótipos de sorgo “Payam” e “Sistan” cultivados em solução nutritiva Hoagland contendo NaCl 0, 100 e 200 mM em ambiente controlado, Heidari (2009) observou aumentos significativos nas atividades das enzimas APX, CAT e guaiacol peroxidase (GPX). Freitas et al. (2011) ao avaliar o efeito da salinidade na variedade de sorgo CSF 20, observaram que não houve alteração na atividade das enzimas SOD e APX quando submetidas a níveis elevados de salinidade (até 8 dS m⁻¹). No entanto, os mesmos observaram ainda uma redução de até 37% na atividade enzimática da CAT quando a salinidade ultrapassou o valor de 4 dS m⁻¹.

As reduções das atividades enzimáticas em níveis elevados de salinidade, como observado neste trabalho, podem ser associados à adaptabilidade dos materiais genéticos avaliados quando submetidos ao estresse salino, haja vista que é reconhecido que níveis salinos muito elevados provocam a inibição de uma vasta gama de enzimas (MUNNS et al., 2002). Sendo assim, variedades que conseguem manter a atividade enzimática em níveis elevados de salinidade podem ser sinalizadas como tolerantes ao estresse aplicado.

Associado à manutenção da atividade enzimática, a sincronia do padrão de comportamento entre estas enzimas deve ser fundamental para regulação do nível das EROs produzidas na célula vegetal, uma vez que na medida em que os O₂⁻ são gerados, eles são dismutados a H₂O₂ pela SOD e em seguida, o H₂O₂ é eliminado pela ação da CAT e APX que o converte em água e oxigênio. Assim, a eficiência deste processo reduz o nível de estresse oxidativo (ASHRAF, 2009).

Todas as alterações observadas no metabolismo fisiológico refletiram em respostas morfológicas na produção das plantas avaliadas (Figura 5). As variedades 2600-IPA e Qualimax foram as que apresentaram menor produção de massa seca da parte aérea (MSPA) em praticamente todos os níveis de salinidade avaliados. A variedade Qualimax destacou-se por apresentar a maior taxa de transpiração e condutância estomática, e menor potencial turgor o qual, compromete o alongamento celular (Tabela 2) (SAMPAIO et al., 2014). A variedade 2600-IPA, por sua vez, apresentou valores numericamente próximos à Qualimax no que se refere à taxa de transpiração e condutância estomática, e o menor teor relativo de água. A falta de sincronia entre as enzimas SOD, APX e CAT observada nestas variedades sugerem uma maior sensibilidade das mesmas ao estresse salino.

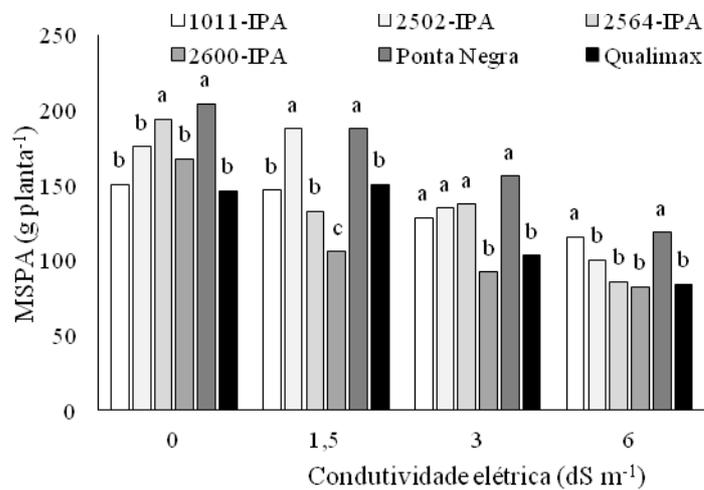


Figura 5. Biomassa seca da parte aérea (MSPA) de variedades de sorgo granífero submetidas a níveis de salinidade da água de irrigação. *Colunas seguidas de mesma letra dentro de cada nível de salinidade não diferem pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

Na variedade 2600-IPA houve um aumento da atividade da SOD, uma redução da CAT, e um pequeno aumento da APX até a CEa de 8,07 dS m⁻¹ com o aumento da salinidade. Este tipo de comportamento pode provocar danos devido ao acúmulo de H₂O₂ nas células, uma vez que tanto a CAT quanto a APX constituem o principal meio de remoção de H₂O₂ das células vegetais, convertendo-o em H₂O. Já na variedade Qualimax houve um pequeno acréscimo da atividade da SOD com o aumento da CEa, o qual pode não ter sido suficiente para dismutar o excesso de (O₂^{•-}) nas células. Comportamentos semelhantes foram observados para as variedades 2502-IPA e 2564-IPA, as quais apresentaram valores de MSPA intermediários quando comparada às demais variedades (Figura 5).

A variedade 1011-IPA apresentou um aumento linear da atividade da SOD (Figura 3), acompanhado de reduções na CAT e APX (Figura 4). No entanto, pode-se observar que essa variedade, juntamente com a variedade Ponta Negra, foi a que obteve maiores MSPA nos níveis de salinidade de 3,0 e 6,0 dS m⁻¹ (Figura 5). Tal comportamento sugere que esta variedade dispõe de outras formas de regulação dos níveis de H₂O₂ oriundos da dismutação do (O₂^{•-}).

A variedade Ponta Negra foi a que apresentou, no geral, maiores valores de MSPA em praticamente todos os níveis de salinidade testados (Figura 5). Tal comportamento é resultado do sincronismo na atividade das enzimas que atuam contra o estresse oxidativo. Para esta variedade, a atividade da SOD e da APX tiveram sua maior atividade próximo a 7,0 dS m⁻¹ evidenciando a sincronia destas enzimas no controle das EROS, provavelmente geradas pela fotossíntese nos cloroplastos. A CAT, por sua vez, apresenta um aumento em sua atividade em função dos níveis de sais, vale salientar que esta enzima está confinada aos peroxissomos local de elevada formação de H₂O₂, que é gerado na fotorrespiração, por plantas sob estresse.

CONCLUSÕES

A irrigação com água salina provoca uma redução nas trocas gasosas e no estado hídrico das variedades de sorgo granífero avaliadas. O sincronismo entre as enzimas SOD e APX e a crescente atividade da CAT garantiu uma melhor resposta produtiva da variedade Ponta Negra, a única que enquadrou-se no grupo das variedades de maior produção de biomassa seca da parte aérea em todos os tratamentos salinos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AQUINO, A. J. S.; LACERDA, C. F.; GOMES-FILHO, E. Crescimento, partição de matéria seca e retenção de Na⁺, K⁺ e Cl⁻ em dois genótipos de sorgo irrigados com águas salinas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.31, p.961-971, 2007.

ASHRAF, M. Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers. **Biotechnology Advances**, v. 27, n. 1, p. 84-93, 2009.

ASSIS JÚNIOR J. O.; LACERDA C. F.; SILVA F. B.; FRANCISCO SILVA L. B.; BEZERRA M. A.; GHEYI H. R. Produtividade do feijão-de-corda e acúmulo de sais no solo em função da fração de lixiviação e da salinidade da água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 3, p.702-713, 2007.

AZIZIAN, A.; SEPASKHAH, A. R. Maize response to water, salinity and nitrogen levels: physiological growth parameters and gas exchange. **International Journal of Plant Production**, v.8, p.131-162, 2014.

BARBOSA, M. R. et al. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, v. 44, n. 3, p. 453-460, 2014.

BHATTACHARJEE, S. Sites of generation and physicochemical basis of formation of reactive oxygen species in plant cell. In: GUPTA, S.D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfield: Science Publishers, 2010. p.1-30.

CALBO, A. G.; FERREIRA, M. D.; PESSOA, J. D. C. A Leaf Lamina Compression Method for Estimating Turgor Pressure. **Hort Science**, Alexandria, v. 45, n. 3, p. 418-423, 2010.

COSTA, P. H. A.; AZEVEDO NETO, A. D.; BEZERRA, M. A.; PRISCO, J. T.; GOMES-FILHO, E. Sistema enzimático antioxidante de dois genótipos de sorgo diferindo na tolerância à salinidade. **Braz. J. Plant Physiol**, v.17, n.4, p.353-362, 2005.

DEWIR, Y.H; CHAKRABARTY, D; ALI, M.B.; PAEK, K.Y. Lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities of *Euphorbia millii* hyperhydric shoots. **Environmental and Experimental Botany**. v. 58, p. 93–99, 2006.

FERRAZ, R. L. S.; MELO, A. S.; SUASSUNA, J. F.; BRITO, M. E. B.; FERNANDES, P. D.; NUNES JUNIOR, E. S. Trocas gasosas e eficiência fotossintética em ecótipos de feijoeiro cultivados no semiárido. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 2, p. 181-188, 2012.

FERNÁNDEZ-GARCÍA, N.; OLMOS, E.; BARDISI, E.; GARMA, J. G.; LÓPEZ-BERENGUER, C.; RUBIO-ASENSIO, J. S. Intrinsic water use efficiency controls the

adaptation to high salinity in a semi-arid adapted plant, henna (*Lawsonia inermis* L.). **Journal of Plant Physiology**, v. 171, p. 64-75, 2014.

FREIRE, J. L. O.; DIAS, T. J.; CAVALCANTE, L. J.; FERNANDES, P. D.; LIMA NETO, A. J. Rendimento quântico e trocas gasosas em maracujazeiro amarelo sob salinidade hídrica, biofertilização e cobertura morta. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 1, p. 82-91, 2014.

FREITAS, V. S.; ALENCAR, N. L. M.; LACERDA, C. F.; PRISCO, J. T.; GOMES-FILHO, E. Changes in physiological and biochemical indicators associated with salt tolerance in cotton, sorghum and cowpea. **African Journal of Biochemistry Research**. v. 5, n. 8, p. 264-271, 2011.

GIANNOPOLITIS, C.N.; RIES, S.K. Superoxide Dismutases: I. Occurrence in Higher Plants. **Plant Physiology**, Rockville, v. 59, p. 309-314, 1977.

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

HAVIR, E.A., MCHALE, N.A. Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalase in tobacco leaves. **Plant Physiology**, Rockville, v. 84, p. 450-455, 1987.

HEIDARI, M. Antioxidant Activity and Osmolyte Concentration of Sorghum (*Sorghum bicolor*) and Wheat (*Triticum aestivum*) Genotypes under Salinity Stress. **Asian Journal of Plant Sciences**, v.8, p. 240-24, 2009.

MILLER, G. et al. Reactive oxygen species homeostasis and signaling during drought and salinity stresses. **Plant, Cell and Environment** v.33, n. 4, p. 453–467, 2010.

MONTEIRO, J. G.; CRUZ, R. J. F.; NARDIN, M. B.; SANTOS, D. M. M. Crescimento e conteúdo de prolina em plântulas de guandu submetidas a estresse osmótico e à putrescina exógena. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 1, p.18-25, 2014.

MUNNS, R.; HUSAIN, S. RIVELLI, A. R.; JAMES, R. A.; CONDON, A. G. T.; LINDSAY, M. P.; LAGUDAH, E. S.; SCHACHTMAN, D. P.; HARE, R. A. Avenues for increasing salt tolerance of crops, and the role of physiologically based election traits. **Plant and Soil**, v.247, p. 93-105, 2002.

NAKANO, Y., ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplast. **Plant Cell Physiol**, v. 22. p. 867-880, 1981.

NEVES, A. L. R.; LACERDA, C. F.; GUIMARÃES, F. V. A.; HERNANDEZ, F. F. F.; SILVA, F. B.; PRISCO, J. T.; GHEYI, H. R. Acumulação de biomassa e extração de nutrientes por plantas de feijão-de-cordas irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. **Ciência Rural**, v. 39, p.758-765, 2009.

OLIVEIRA, W. J.; SOUZA, E. R.; CUNHA, J. C.; SILVA, E. F. F.; VELOSO, V. L. Leaf gas exchange in cowpea and CO₂ efflux in soil irrigated with saline water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.21, n.1, p.32-37, 2017.

REDDY, S. J.; AMORIM NETO, M. S. **Dados de precipitação, evapotranspiração potencial, radiação solar global de alguns locais e classificação climática do Nordeste do Brasil**. Petrolina: EMBRAPA/CPATSA, 280 p, 1983.

SAHER, S. et al. Hyperhydricity in micropropagated carnation shoots: the role of oxidative stress. **Physiologia Plantarum**, v.120, p.152-161, 2004.

SAMPAIO, A. H. R.; COELHO FILHO, M. A.; CALBO, A. G.; SILVA, T. C.; SANTOS, D. B.; MACHADO, M. S. Leaf and Fruit Turgor Potential in Passion Fruit Plants using Wiltmeter and Turgormeter. **Journal of Agricultural Physics**, v. 14, n. 1, p. 30-36, 2014.

SILVA, F. L. B.; LACERDA, C. F.; NEVES, A. L. R.; SOUSA, G. G.; SOUSA, C. H. C.; FEERIRA, F. J. Irrigação com águas salinas e uso de biofertilizante bovino nas trocas gasosas e produtividade de feijão-de-corda. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 2, p. 304-317, 2013.

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

SUNDAR, D.; PERIANAYAGUY, B.; REDDY, A. R. Localization of antioxidant enzymes in the cellular compartments of sorghum leaves. **Plant Growth Regulation**, v.44, p. 157–163, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.

WILADINO, L. CAMARA, T. R. Tolerância das plantas à salinidade: aspectos fisiológicos e bioquímicos. **Enciclopédia Biosfera: Centro Científico Conhecer**, v.6, n.11, p. 1-23, 2010.

Capítulo 3: Cultivo de sorgo granífero irrigado com água salina em condições semiáridas

CULTIVO DE SORGO GRANÍFERO IRRIGADO COM ÁGUA SALINA EM CONDIÇÕES SEMIÁRIDAS

Miguel Julio Machado Guimarães, Welson Lima Simões, Gherman Garcia Leal de Araujo,
Lilia Gomes Willadino

RESUMO: Para um bom cultivo do sorgo granífero em sistemas de produção que utilizam água salina, torna-se necessário um manejo adequado para maximização da sua produção. Com isto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de frações de lixiviação com água salina na produção de variedades de sorgo granífero e na distribuição da água e dos sais no perfil do solo, em condições semiáridas. O estudo foi conduzido no Campo Experimental Caatinga, na sede da Embrapa Semiárido, Petrolina-PE, no ano de 2016. Foi adotado o delineamento experimental em blocos ao acaso, com quatro repetições, organizados em parcelas subdivididas, sendo as parcelas três variedades de sorgo granífero (1011-IPA, 2502-IPA e Ponta Negra) e as subparcelas quatro frações de lixiviação (0; 5; 10 e 15%) com água salina com condutividade elétrica de $4,19 \text{ dS m}^{-1}$, em dois ciclos: 1º e 2º corte. Foram avaliadas a distribuição de sais e água no perfil do solo, bem como as variáveis altura da planta, área foliar total, diâmetro do colmo e produtividade de massa fresca e seca e de grãos. A aplicação de frações de lixiviação na irrigação com água salina proporciona uma melhor distribuição dos sais no perfil do solo, bem como aumentos de até 60% na produtividade de grãos nas variedades de sorgo granífero avaliadas, tornando-se uma alternativa viável para a produção destas variedades em sistemas irrigados com água salina com uma condutividade elétrica média de $4,19 \text{ dS m}^{-1}$, sob condições semiáridas.

Palavras-chave: Salinidade, fração de lixiviação, *Sorghum bicolor* (L.) Moench

CULTIVATION OF IRRIGATED GRANÍFERO SORGO WITH SALINE WATER IN SEMIARID CONDITIONS

ABSTRACT: For a good cultivation of grain sorghum in production systems that use saline water, adequate management is necessary to maximize its production. The objective of this study was to evaluate the effect of leaching fractions with saline water in the production of

sorghum varieties and the distribution of water and salts in the soil profile in semi - arid conditions. The study was conducted at the Caatinga Experimental Field, at Brazilian Agricultural Research Corporation, Semiarid Unit, Petrolina-PE. The experimental design was a randomized complete block design with four replications and subdivided plots. The plots were three varieties of sorghum (1011-IPA, 2502-IPA and Ponta Negra) and the subplots four leaching fractions (0; 5; 10 and 15%) with saline water with electrical conductivity of 4.19 dS m^{-1} , in two cycles: 1st and 2nd cutting. The distribution of salts and water in the soil profile was evaluated, as well as the variables plant height, total leaf area, shoot diameter and yield of fresh and dry mass and grains. The application of leaching fractions in the irrigation with saline water provided a better distribution of the salts in the soil profile, as well as increases of up to 60% in grain yield in the varieties of grain sorghum evaluated, becoming a viable alternative for the production of these varieties in irrigated systems with saline water with an average electrical conductivity of 4.19 dS m^{-1} , under semi-arid conditions.

Key words: Salinity, leaching fraction, *Sorghum bicolor* (L.) Moench

INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor* L.) é uma cultura típica de clima quente, de características xerófilas, com metabolismo C4 que apresenta baixa exigência em termos de fertilidade do solo e tolerância/resistência a diversos fatores abióticos. Em função dessas características é considerado o quinto cereal mais importante do mundo, adaptando-se às diferentes condições edafoclimáticas encontradas em regiões áridas e semiáridas (TABATABAEI et al., 2012).

As explorações agrícolas do sorgo nestas regiões são submetidas à diversos fatores ambientais adversos, potencialmente capazes de causar efeitos negativos no crescimento, desenvolvimento, produção e qualidade da produção (NASCIMENTO et al., 2011). Nestas regiões, a água salina é, muitas vezes, a única fonte hídrica. Contudo, a utilização desse recurso requer estratégias de longo prazo que garantam a sustentabilidade socioeconômica e ambiental dos sistemas agrícolas, permitindo a obtenção de colheitas rentáveis sem que ocorra degradação do solo (SOARES et al., 2013).

A irrigação com água salina requer aplicação extra de água para a lixiviação dos sais da zona radicular para evitar a acumulação excessiva destes sais que limitariam o potencial de

rendimento das culturas (ARAGÜESA et al., 2014). Tal técnica é conhecida como fração de lixiviação e constitui uma importante estratégia de manejo em cultivos com águas salinas.

Resultados promissores da aplicação de frações de lixiviação em cultivos salinos têm sido observados por diversos autores para diferentes culturas de grande importância agrícola (GUIMARÃES et al., 2016; SIMÕES et al., 2016; SANTOS et al., 2012; ASSIS JÚNIOR et al., 2007). No entanto, para se estimar a necessidade de lixiviação deve-se conhecer tanto a salinidade da água de irrigação como a salinidade tolerada pela cultura e solo. É necessário se obter um equilíbrio adequado entre os sais acumulados na zona radicular e os sais lixiviados para as águas subterrâneas, uma vez que é fundamental reduzir o transporte de componentes químicos que degradem a qualidade das águas subterrâneas, bem como promover um uso eficiente deste limitado suprimento de água (CORWIN et al., 2007).

O plantio de variedades de sorgo adaptadas aos sistemas de produção que utilizam água salina, além do manejo adequado da cultura, constitui fator importante para a maximização da produção. A variabilidade genética desta cultura permitiu o desenvolvimento de diversos trabalhos de melhoramento, proporcionando assim um grande número de híbridos e variedades, tornando-se necessária avaliações de desempenho no intuito de disponibilizar, ao produtor rural, informações técnicas para emprego do sorgo em sistemas de produção que utilizam água salina na irrigação, sobretudo nas regiões semiáridas do Nordeste brasileiro.

Com isto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de frações de lixiviação com água salina na produção de variedades de sorgo granífero e na distribuição da água e dos sais no perfil do solo, em condições semiáridas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Campo Experimental Caatinga, pertencente à Embrapa Semiárido, em Petrolina - PE, na região do Submédio São Francisco (latitude 9° 8' 8,9'' S, longitude 40° 18' 33,6'' O, altitude 373 m), no período de abril a outubro de 2016. O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo (EMBRAPA, 2006) textura média, apresentando relevo plano.

O clima da região é classificado como semiárido, do tipo BSw^h segundo a classificação de Köppen, com período de chuvas bem definidos, compreendendo os meses de novembro a abril (LOPES et al., 2017). Durante o período do experimento a umidade relativa e a temperatura média do ar foi de 55,75% 26,17°C respectivamente. A evapotranspiração

máxima observada foi de 6,72, tendo uma média de 4,58 mm dia⁻¹. Os eventos de precipitação totalizaram 42,9 mm ao final do experimento.

Foi adotado o delineamento experimental em blocos ao acaso, com quatro repetições, organizado em parcelas subdivididas no tempo, compostas por três variedades de sorgo forrageiro: 1011-IPA, 2502-IPA e Ponta negra, nas parcelas e quatro frações de lixiviação (FL): 0; 5; 10 e 15%, nas subparcelas, com água salina proveniente de poço artesiano, as quais foram cultivadas durante dois ciclos produtivos: 1º e 2º corte. As variedades utilizadas foram escolhidas devido a sua adaptação ao cultivo salino, previamente verificado em estudos anteriores. Cada unidade experimental (subparcela) foi formada por cinco fileiras de cinco metros de comprimento, perfazendo uma área de 5 fileiras com 5,0 m x 0,50 m = 12,5 m², sendo fixado 10 plantas por metro linear, considerando-se úteis as plantas das fileiras centrais, eliminando os metros iniciais e finais de cada fileira.

A área experimental foi preparada conforme necessidades da cultura, realizando-se uma calagem aos 90 dias antes do plantio. A adubação de fundação foi realizada com base na análise de solo previamente coletada (Tabela 1), sendo aplicados 30 kg ha⁻¹ de nitrogênio, 60 kg ha⁻¹ de fósforo e 20 kg ha⁻¹ de potássio. Aos 30 DAP e 15 dias após o 1º corte foram realizadas adubações nitrogenadas de cobertura com 30 kg ha⁻¹ cada. A semeadura foi realizada no mês de abril/2016, tendo a emergência ocorrido aos 7 DAP.

Tabela 1. Parâmetros químicos, físicos e granulometria do solo estudado.

Camada (cm)	CE	pH	M.O.	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V
	dS m ⁻¹	-	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³								%
0 - 20	1,33	4,6	4,6	6,14	0,23	0,27	1,6	0,6	0,05	1,5	2,7	4,2	64,0
20 - 40	2,2	5,7	4,1	1,22	0,16	0,68	1,4	0,6	0,00	2,7	2,8	5,6	50,9
40 - 60	2,41	5,0	3,7	0,55	0,15	1,12	2,4	1,5	0,20	2,5	5,2	7,7	67,4
60 - 80	2,5	4,5	2,3	1,69	0,11	1,40	2,8	2,2	0,15	2,3	6,5	8,8	74,3
80 - 100	2,6	4,5	2,1	0,21	1,18	1,18	3,2	2,0	0,05	2,3	6,5	8,7	74,2

Camada (cm)	Densidade (kg dm ⁻³)		Porosidade total (%)	Granulometria (g kg ⁻¹)		
	Solo	Partícula		Areia	Silte	Argila
0 - 20	1,49	2,59	42,40	808,1	116,9	75,0
20 - 40	1,37	2,51	45,41	721,7	195,3	83,0
40 - 60	1,23	2,55	51,84	631,3	174,6	194,1
60 - 80	1,20	2,59	53,54	431,9	220,7	347,4
80 - 100	1,20	2,59	53,42	498,2	170,1	331,7

CE= condutividade elétrica do extrato de saturação; M,O,= matéria orgânica; P= fósforo disponível extraído por Mehlich⁻¹; Ca= cálcio trocável; Mg= magnésio trocável; Na= sódio

trocável; K= potássio trocável; Al: acidez trocável; CTC= capacidade de troca de cátions à pH 7,0; V=saturação por bases

As irrigações foram realizadas diariamente por gotejamento superficial, através de tubo gotejador com emissores com vazão de 1,6 L h⁻¹, diâmetro nominal (DN) de 16mm e espaçamento 0,30 m entre si. As características químicas da água de irrigação, proveniente da piscicultura, foram determinadas em avaliações semanais antes e durante o experimento, apresentando as médias descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Características químicas da água de irrigação proveniente de poço artesiano no município de Petrolina-PE.

Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	pH	C.E. -25°C	Dureza CaCO ₃	R.A.S.
mmolc L ⁻¹						dS m ⁻¹	mg L ⁻¹	
15,83	14,49	14,8	0,52	55,79	7,37	4,19	140,65	3,8

CE= condutividade elétrica; Ca= cálcio; Mg= magnésio; Na= sódio; K= potássio; Cl⁻= cloreto; RAS= relação de adsorção de sódio

As lâminas de água aplicadas por irrigação foram calculadas de acordo com a evapotranspiração da cultura medida no período entre as irrigações, utilizando o Kc indicado pela FAO (2006), de acordo com a eficiência de aplicação de água do sistema e as frações de lixiviação testadas, conforme a Eq.1.

$$Li = \frac{(ET_o * Kc * KI) - P}{Ef} * (1 + FL) \quad (1)$$

Em que:

Li – lâmina de irrigação, mm;

ET_o – Evapotranspiração medida no período, mm;

Kc – Coeficiente de cultivo da cultura;

KI – Coeficiente de irrigação localizada;

P – Precipitação medida no período, mm;

Ef – Eficiência do sistema de irrigação, 0,9;

FL – Fração de lixiviação aplicada, decimal.

Para acompanhar a umidade no perfil do solo foram utilizadas sondas de PR2 (Profile Probe PR2, Delta-T Devices Ltda), a qual se baseia no princípio da Reflectometria no Domínio da Frequência (FDR), previamente configuradas para medir a umidade do solo nas profundidades de 10; 20; 30; 40; e 60 cm. As leituras de umidade foram realizadas semanalmente, cerca de duas horas após cada irrigação.

As colheitas foram realizadas quando os grãos da porção central da panícula apresentaram aspecto seco. As plantas da parcela útil foram cortadas a uma altura de 10 cm do solo e separadas em colmo, folha, panícula e grãos. Foram avaliados os seguintes parâmetros: peso de massa fresca, área foliar total, altura da planta (trena) e diâmetro do colmo (paquímetro digital). Posteriormente o material foi colocado em estufa para secar a 60°C até obter um peso constante para determinação do peso da massa seca. Para calcular a produtividade foram utilizados os dados de peso de massa fresca e seca, bem como o peso de grãos.

Na ocasião da colheita do sorgo foram coletadas amostras simples de solo nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 e 50-60 cm de profundidade para determinação da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), utilizando o programa Sisvar 5.0. Para comparação entre as frações de lixiviação foram avaliados modelos de regressão de primeiro e segundo grau quando significativos ao nível de 1% ou 5% de probabilidade. O Teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade, foi adotado para a comparação entre as variedades.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação de frações de lixiviação (FL) com água salina proporcionou menores valores de condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes) em todas as camadas de solo avaliadas. Pode-se verificar que as parcelas irrigadas com uma lâmina de 15% de lixiviação apresentaram menores valores de CEes quando comparadas às parcelas onde não houve lâmina de lixiviação (0%) (Tabela 3). Tais resultados corroboram Guimarães et al. (2016), os quais, verificaram reduções da CEes em solo cultivado com variedades de sorgo forrageiro irrigados com efluente salino de piscicultura.

Tabela 3. Condutividade elétrica do extrato de saturação (dS m^{-1}) de um solo cultivado com variedades de sorgo granífero submetido a frações de lixiviação de 0; 5; 10 e 15%.

Camada (cm)	Fração de lixiviação (%)			
	0	5	10	15
0 - 10	7,47 a	5,33 b	4,95 b	4,25 b
10 - 20	5,34 a	4,84 a	5,69 a	3,48 b
20 - 30	5,92 a	4,36 b	4,48 b	3,98 b
30 - 40	6,12 a	4,62 b	4,80 b	3,99 b
40 - 50	6,48 a	4,62 b	4,58 b	4,58 b
50 - 60	6,14 a	5,43 ab	4,96 ab	4,28 b

*Médias seguidas de mesma letra nas linhas dentro de camada não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observa-se, no entanto, que houve um aumento da CEes do solo para valores próximos a CE da água de irrigação em todas as parcelas avaliadas (Tabela 3) quando comparadas com a CEes inicial do solo cultivado (Tabela 1), confirmando assim os resultados obtidos por Guimarães et al. (2016) e Simões et al. (2016), os quais observaram uma evolução dos valores de CEes de um Argissolo Vermelho Amarelo cultivado com sorgo e beterraba, respectivamente.

As parcelas que foram submetidas a 5, 10 e 15 % de lixiviação apresentaram um aumento na disponibilidade de água, na camada de 0-60 cm de profundidade do solo, com valores acima da capacidade de campo (CC) (Figura 1). Resultados como estes demonstram um baixo movimento de água neste solo, os quais podem estar relacionados com o aumento do teor de argila do solo nas camadas mais profundas, o qual provoca uma diminuição da velocidade de infiltração de água no solo, e conseqüentemente, retardando a drenagem.

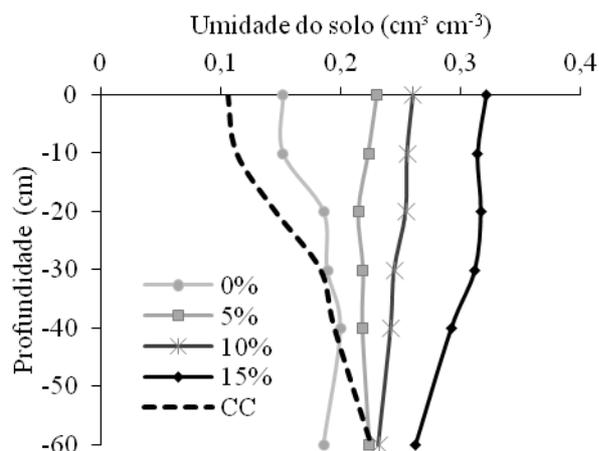


Figura 1. Distribuição da umidade no perfil de um solo cultivado com variedades de sorgo granífero irrigado com água salina, submetido às frações de lixiviação de 0; 5; 10 e 15 %, sendo CC a umidade na capacidade de campo.

Admitindo-se que a retenção máxima de água do solo é quando o mesmo atinge a umidade na capacidade de campo, todo o volume de água acima desse valor será drenado, provocando assim a lixiviação dos sais no perfil do solo. Tal afirmação é confirmada com os dados apresentados na Tabela 3, nos quais, pode-se observar uma redução da CEes do solo com o aumento da FL. A redução da CEes com o aumento da fração de lixiviação já fora observado por diversos autores em cultivos de sorgo forrageiro (GUIMARÃES et al., 2016), beterraba (SIMÕES et al., 2016), amendoim (SANTOS et al., 2012) e pimenta (QIU et al., 2017), comprovando que a lixiviação é uma prática eficaz para reduzir o excesso de sais na zona radicular das culturas. A redução da CEes do solo aumenta a área de exploração disponível para as raízes das plantas, diminuindo assim o estresse provocado pelo acúmulo de sais.

Não houve interação significativa entre as variedades e as FLs aplicadas para as variáveis altura de planta, diâmetro do colmo e área foliar total (AFT) das plantas avaliadas. As plantas avaliadas não apresentaram interação significativa entre ciclos, variedades e FLs, havendo apenas diferenças significativas entre os ciclos para as variáveis altura de planta, área foliar total e produtividade de massa fresca. Pode-se observar incrementos lineares crescentes destas variáveis com o aumento da FL aplicada. O aumento em parâmetros biométricos de plantas submetidas a frações de lixiviação com água salina já foi observado em plantas de milho (CARVALHO et al., 2012) e sorgo (GUIMARÃES et al., 2016), os quais, associaram tais resultados à redução da salinidade do solo cultivado.

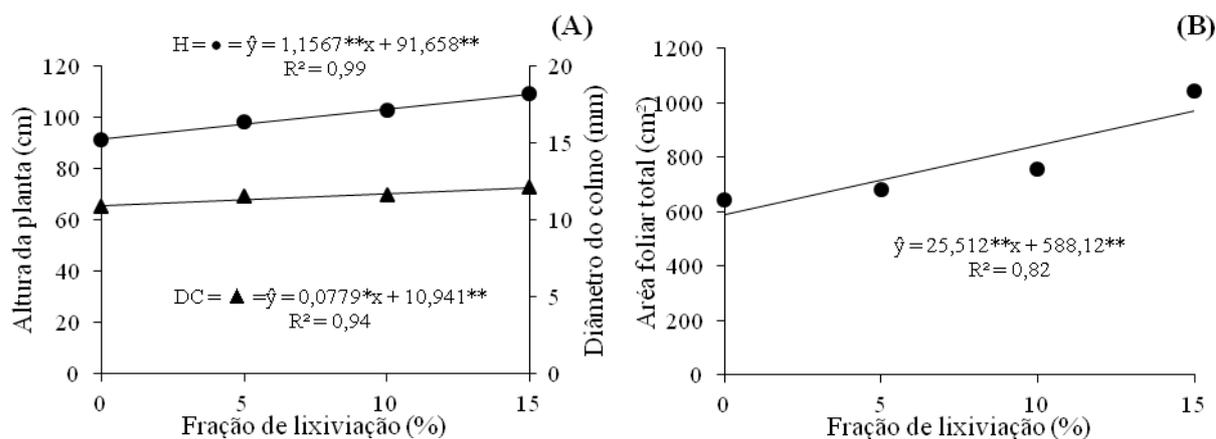


Figura 2. Altura de planta – H e diâmetro do colmo – DC (A), e área foliar total (B) de plantas de sorgo granífero irrigados com água salina, submetidos a diferentes frações de lixiviação. Coeficientes da regressão significativos com $p < 0,01$ (**) e $p < 0,05$ (*).

A variedade 1011-IPA foi a que apresentou plantas mais altas, seguida da variedade Ponta Negra e 2502-IPA. Quanto ao diâmetro do colmo e AFT, pode-se observar maiores valores para as variedades 1011-IPA e Ponta Negra, diferenciando-se significativamente da 2502-IPA (Tabela 4). O porte das plantas e a resistência do colmo são características que devem ser levadas em consideração na escolha de variedades de sorgo granífero. Variedades que apresentam menor altura de plantas, associada a maior resistência de colmo, apresentam menor suscetibilidade ao acamamento ou quebra das plantas (SILVA et al., 2009). Desta forma, pode-se verificar um maior potencial granífero para as variedades 1011-IPA e Ponta Negra que, apesar de apresentarem plantas maiores, pode-se observar colmos com maior diâmetro, característica esta que pode trazer maior resistência física às plantas.

Tabela 4. Altura de planta, diâmetro do colmo e área foliar total de variedades de sorgo granífero irrigadas com água salina.

Variedade	Altura da planta (cm)	Diâmetro do colmo (mm)	Área foliar total (cm^2)
1011-IPA	110,90 a	12,61 a	812,57 ab
2502-IPA	89,53 c	9,56 b	671,34 b
Ponta negra	100,56 b	12,39 a	854,46 a

*Médias seguidas de mesma letra nas colunas dentro de cada variável não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As variedades avaliadas apresentaram comportamentos diferenciados de produtividade quanto à irrigação com água salina sob crescentes frações de lixiviação (Figura 3). A 1011-

IPA apresentou comportamento quadrático, com produtividades máximas de MF de 30,23 t ha⁻¹ com 9,7%, MS 11,67 t ha⁻¹ com 10,22% e uma produtividade de grãos de 5,03 t ha⁻¹ com 12,0% de FL. Quando comparados às plantas sem aplicação de FL, estes valores representaram aumentos de 44,6%, 61,8% e 61,2%, respectivamente.

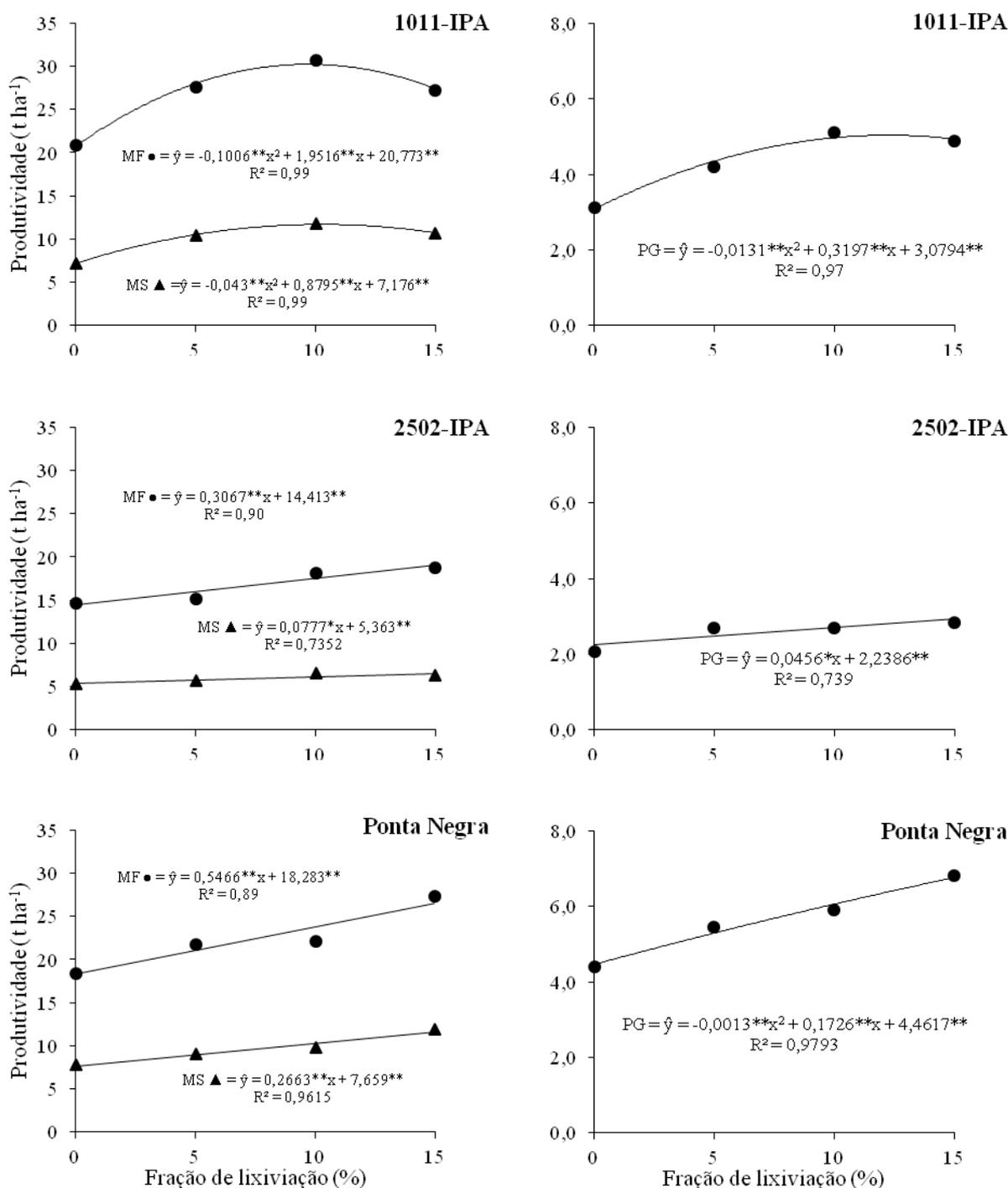


Figura 3. Produtividade de massa fresca (MF), seca (MS) e de grãos (PG) de plantas de sorgo granífero irrigados com água salina, submetido a diferentes frações de lixiviação. Coeficientes da regressão significativos com p<0,01 (**) e p<0,05 (*).

Já para as variedades 2502-IPA e Ponta Negra houve um aumento linear da produtividade com o aumento das lâminas de lixiviação aplicadas. Pode-se observar aumentos de 27,9%, 19,08% e 36,4% na produtividade de MF, MS e grãos da variedade 2502-IPA com a aplicação de uma FL de 15%, com valores de 18,8; 6,26 e 2,83 t ha⁻¹, respectivamente. Valores estes inferiores aos observados na variedade Ponta Negra, a qual apresentou aumentos de cerca de 50% em todas as produtividades avaliadas, com produtividades de 27,35, 11,96 e 6,81 t ha⁻¹ para MF, MS e grãos, respectivamente.

Diversos autores relatam o aumento da produtividade com a aplicação de frações de lixiviação com água salina. Resultados semelhantes foram observados por Guimarães et al. (2016) em plantas de sorgo forrageiro, Assis Júnior (2007) em feijão-caupi, Santos et al. (2012) em amendoim, Simões et al. (2016) em beterraba e Qiu et al. (2017) em pimenteiras. No entanto, vale salientar que frações de lixiviação elevadas podem causar redução no rendimento das culturas, devido a redução da disponibilidade de íons indispensáveis para a nutrição mineral das plantas, conforme observado por Carvalho et al. (2012), na produtividade de milho irrigado com água salina com 20 de FL, e na produtividade da variedade 1011-IPA avaliada neste trabalho (Figura 3).

A redução da CEEs do solo devido à aplicação de frações de lixiviação proporcionou um aumento na produtividade de grãos das variedades avaliadas. O desenvolvimento de órgãos reprodutivos está diretamente relacionado com a salinidade do meio de cultivo. Resultados semelhantes foram observados em outras espécies de interesse agrônomo, como amendoim (CORREIA et al., 2009), melão (MEDEIROS et al., 2008), pepino (MEDEIROS et al., 2009), entre outras.

Os resultados obtidos neste trabalho sugerem que, apesar de ser da mesma espécie (*Sorghum bicolor* L.), diferentes variedades/genótipos/cultivares respondem de forma específica no que diz respeito a magnitude dos efeitos da salinidade sobre o crescimento e produção das plantas.

Os dados médios das variáveis biométricas e de produtividade das variedades de sorgo granífero para os dois ciclos de produção avaliados encontram-se na Tabela 5. Não houve interação entre o ciclo, variedades e frações para nenhuma das variáveis estudadas. Em termos gerais, as variedades apresentaram plantas mais altas e com maior AFT no primeiro corte. A redução nos parâmetros biométricos de plantas de sorgo do 1º para o 2º corte foi relatado por alguns autores ao avaliarem diferentes variedades de sorgo em diversas condições de cultivo

(BOTELHO et al., 2010). Se tratando de cultivos salinos, estas reduções podem estar associadas ao tempo de exposição ao estresse aplicado, o qual, juntamente com a intensidade do estresse, refletem diretamente nas respostas morfológicas das plantas (WILLADINO & CAMARA, 2010).

Tabela 5. Valores médios de altura de plantas, diâmetro do colmo, área foliar total e produtividade de variedades de sorgo granífero em dois ciclos de produção, 1º e 2º corte.

Ciclo	Altura da planta (cm)	Diâmetro do colmo (mm)	Área foliar total (cm ²)	Produtividade (t ha ⁻¹)		
				MF	MS	Grãos
1º Corte	119,81 a	11,19 a	887,45 a	24,06 a	8,64 a	4,08 a
2º Corte	80,85 b	11,85 a	671,47 b	19,73 b	8,44 a	4,29 a

*Médias seguidas de mesma letra nas colunas dentro de cada variável não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. MS – massa seca; MF massa fresca.

Pode-se observar menores valores de altura de plantas neste trabalho quando comparados aos resultados obtidos por diversos autores para diversas variedades de sorgo granífero (BOTELHO et al., 2010; CHIESA et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2005). A redução no porte das plantas avaliadas é reflexo do ambiente salino as quais foram cultivadas, haja vista que um dos principais efeitos da salinidade sobre o crescimento das plantas deve-se ao aumento da pressão osmótica do meio de cultivo, que atua negativamente sobre os processos fisiológicos das plantas, reduzindo a absorção de água pelas raízes, inibindo assim a atividade meristemática e o alongamento celular (AYERS; WESTCOT, 1999).

Quanto aos dados de produtividade, apenas a variável produtividade de MF apresentou diferença significativa entre o 1º e 2º corte, com uma redução de cerca de 18% na produção de MF. Além dos efeitos deletérios da duração do estresse salino nas plantas de 2º corte, alguns autores relacionam reduções na produtividade de MF com o estande ideal, pois, na rebrota, devido ao perfilhamento, pode ocorrer um aumento do estande final. Assim, no sorgo de 1º corte, pode ter ocorrido maior captação de luz pela planta, potencializando seu desenvolvimento, possivelmente pelo aumento da capacidade fotossintética, elevando a produtividade de matéria verde (BOTELHO et al., 2010).

Apesar de serem observadas reduções significativas na altura das plantas, AFT e produtividade de MF entre os ciclos avaliados, o mesmo comportamento não foi observado para produtividade de MS e grãos. Tais resultados sugerem reduções mais acentuadas na produção de colmos e folhas entre os ciclos, corroborando com Botelho et al. (2010), os quais

verificaram reduções significativas nas proporções de folhas e colmos em variedades de sorgo granífero entre ciclos produtivos, 1º e 2º corte.

CONCLUSÕES

A aplicação de frações de lixiviação na irrigação com água salina proporciona aumentos de até 60% na produtividade de grãos nas variedades de sorgo granífero avaliadas, sendo as variedades 1011-IPA e Ponta Negra mais tolerantes à salinidade quando comparadas a variedade 2502-IPA, tornando-se uma alternativa viável para a produção destas variedades em sistemas irrigados com água salina com uma condutividade elétrica média de 4,19 dS m⁻¹, sob mesmas condições de solo e clima avaliados no presente trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAGÜESA, R.; MEDINAA, E. T.; CLAVERÍAA, I.; MARTÍNEZ-COBB, A.; FACIA, J. Regulated deficit irrigation, soil salinization and soil sodification in a table grape vineyard drip-irrigated with moderately saline Waters. **Agricultural Water Management**. v.134, p.84-93, 2014.

ASSIS JÚNIOR J. O.; LACERDA C. F.; SILVA F. B.; FRANCISCO SILVA L. B.; BEZERRA M. A.; GHEYI H. R. Produtividade do feijão-de-corda e acúmulo de sais no solo em função da fração de lixiviação e da salinidade da água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 3, p.702-713, 2007.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade de água na agricultura**. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1999, 153 p. (FAO, Irrigação e Drenagem, 29).

BOTELHO, P. R. F.; PIRES, D. A. A.; SALES, E. C. J.; ROCHA JÚNIOR, V. R.; JAYME, D. G.; REIS, S. T. Avaliação de genótipos de sorgo em primeiro corte e rebrota para produção de silagem. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.9, n.3, p. 287-297, 2010.

CARVALHO, J. F.; TSIMPHO, C. J.; SILVA, E. F. F.; MEDEIROS, P. R. F.; SANTOS, M. H. V.; SANTOS, A. N. Produção e biometria do milho verde irrigado com água salina sob

frações de lixiviação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.4, p.368–374, 2012.

CHIESA, E. D.; ARBOITTE, M. Z.; BRONDANI, I. L.; MENEZES, L. F. G. de; RESTLE, J.; SANTI, M. A. M. Aspectos agronômicos de híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench) no desempenho e economicidade de novilhos confinados. **Revista Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v. 30, n. 1, p. 67-73, 2008.

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

CORWIN, D. L.; RHOADES, J. D.; SIMUNEK, J. Leaching requirement for soil salinity control: Steady-state versus transient models. **Agricultural Water Management**, v. 90, p. 165-180, 2007.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006.

GUIMARÃES, M. J. M.; SIMÕES, W. L.; TABOSA, J. N.; SANTOS, J. E.; WILLADINO, L. Cultivation of forage sorghum varieties irrigated with saline effluent from fish-farming under semiarid conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.20, n. 5, p.461-465, 2016.

MEDEIROS, J. F.; DIAS, N. S.; BARROS, A. D. Manejo da irrigação e tolerância do meloeiro à salinidade da água de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 3, n. 3, p. 242-247, 2008.

MEDEIROS, P. R. F.; DUARTE, S. N.; DIAS, C. T. S. Tolerância da cultura do pepino a salinidade em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 406–410, 2009.

NASCIMENTO, S. P. do *et al.* Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 08, p. 853-860, 2011.

OLIVEIRA, R. de P.; FRANÇA, A. F. de S.; RODRIGUES FILHO, O.; OLIVEIRA, E. R. de; ROSA, B.; SOARES, T. V.; MELLO, S. Características agronômicas de cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) sob três doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 35, n. 1, p. 45-53, 2005.

QIU, R.; LIU, C. WANG, Z. YANG, Z. JING, Y. Effects of irrigation water salinity on evapotranspiration modified by leaching fractions in hot pepper plants. **Scientific Reports**, v. 7, n. 7231, p-, 2017.

SANTOS, D. B.; FERREIRA, P. A.; OLIVEIRA, F. G.; BATISTA, R. O.; COSTA, A. C.; CANO, M. A. O. Produção e parâmetros fisiológicos do amendoim em função do estresse salino. **Idesia**, v.30, p.69-74. 2012.

SILVA, A. G.; BARROS, A. S.; SILVA, L. H. C. P.; MORAES, E. B.; PIRES, R. TEIXEIRA. Avaliação de cultivares de sorgo granífero na safrinha no sudoeste do estado de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical** v. 39, n. 2, p. 168-174, 2009.

SIMÕES, W. L. et al. Beet cultivation with saline effluent from fish farming. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 62-66, 2016.

SOARES, L. A. A.; FURTADO, G. F.; ANDRADE, E. M. G.; SOUSA, J. R. M.; GUERRA, H. O. C.; NASCIMENTO, R. Troca de CO₂ do feijão-caupi irrigado com água salina e fertilização nitrogenada. **ACSA – Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v.9, n.3, p 30-37, 2013.

TABATABAEI, S. A.; ANAGHOLI, A. Effects of salinity on some characteristics of forage sorghum genotypes at germination stage. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**, v. 4, n. 14, p. 979-983, 2012.

WILADINO, L. CAMARA, T. R. Tolerância das plantas à salinidade: aspectos fisiológicos e

bioquímicos. **Enciclopédia Biosfera: Centro Científico Conhecer**, v.6, n.11, p. 1-23, 2010.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando-se a utilização a irrigação com água salina, as variedades avaliadas apresentaram resultados de produção satisfatórios quando submetidas níveis de salinidade da água de irrigação de até 6 dS m^{-1} , com exceção da variedade 2564-IPA, não sendo recomendada para cultivo em condições salinas. As variedades 1011-IPA e 2502-IPA foram as que obtiveram maiores produções de grãos.

A irrigação com água salina provoca uma redução nas trocas gasosas e no status hídrico das variedades de sorgo granífero avaliadas. O sistema antioxidativo foi ativado nas seis variedades de sorgo para evitar o acúmulo de EROs. Quando observado o sincronismo entre as enzimas avaliadas e a produtividade de massa seca, pode-se verificar que a variedade Ponta Negra obteve uma melhor resposta produtiva, sendo a única que enquadrou-se no grupo das variedades de maior produção de massa seca da parte aérea em todos os tratamentos salinos.

A aplicação de frações de lixiviação na irrigação com água salina proporcionou aumentos de até 60% na produtividade de grãos nas variedades de sorgo granífero avaliadas, tornando-se uma alternativa viável para a produção destas variedades em sistemas irrigados com água salina com uma condutividade elétrica média de $4,19 \text{ dS m}^{-1}$, sob condições de clima e solo semelhantes a este trabalho.

Quanto às variedades, a 1011-IPA e Ponta Negra se mostraram mais tolerantes à salinidade quando comparadas a variedade 2502-IPA, por apresentarem maiores produtividade de grãos, sendo estas recomendadas para cultivos que utilizam irrigação com água salina com condutividade elétrica média de $4,19 \text{ dS m}^{-1}$, com a aplicação de lâminas de lixiviação de até 15%, sob condições de clima e solo semelhantes a este trabalho.

Assim, a utilização de água salina para a produção de sorgo granífero é uma prática viável para produção agrícola em regiões semiáridas, desde que se utilize variedades tolerantes à salinidade e práticas de manejo que visam minimizar os efeitos da salinidade sob as plantas.

APÊNDICES



Figura 1. Experimento 1, em casa de vegetação, avaliando seis variedades de sorgo granífero submetidas a irrigação com água salina. 1 dia após a semeadura.



Figura 2. Conjunto lisímetros+vaso utilizados no manejo da irrigação.



Figura 3. Experimento 1, em casa de vegetação, avaliando seis variedades de sorgo granífero submetidas a irrigação com água salina. 10 dias após a semeadura.

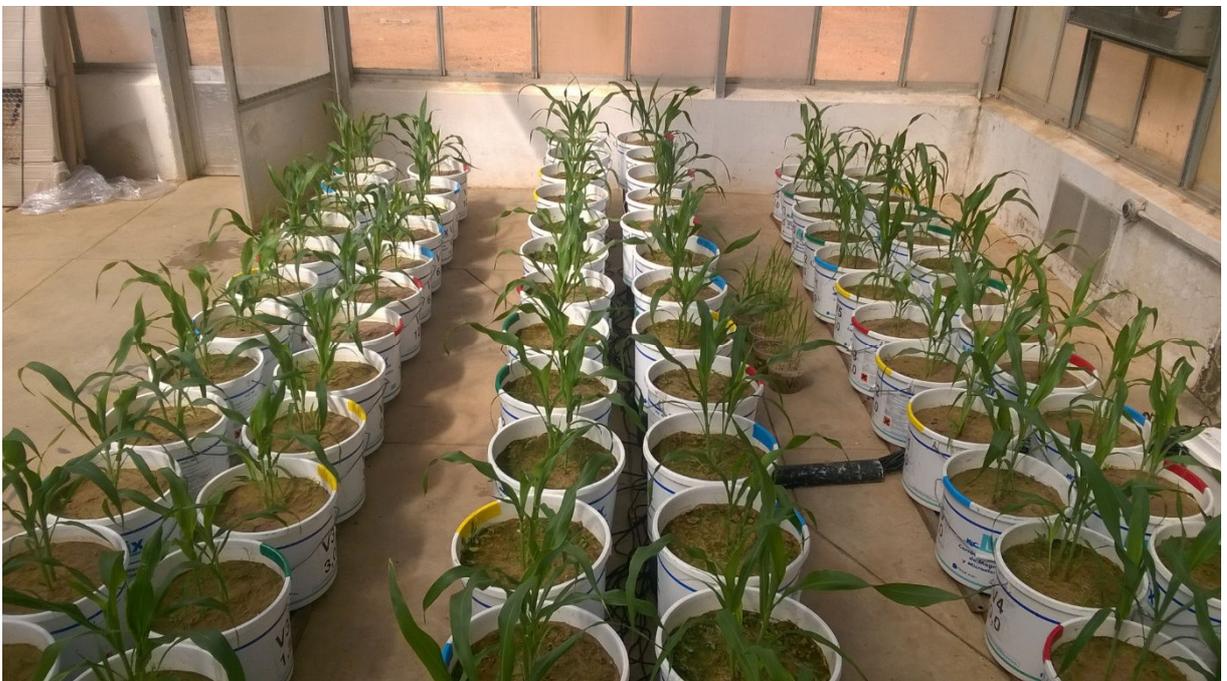


Figura 4. Experimento 1, em casa de vegetação, avaliando seis variedades de sorgo granífero submetidas a irrigação com água salina. 25 dias após a semeadura.



Figura 5. Experimento 1, em casa de vegetação, avaliando seis variedades de sorgo granífero submetidas a irrigação com água salina. 45 dias após a semeadura.



Figura 6. Experimento 2, em campo, avaliando três variedades de sorgo granífero submetidas frações de lixiviação com água salina. Área de plantio.



Figura 7. Experimento 2, em campo, avaliando três variedades de sorgo granífero submetidas frações de lixiviação com água salina. 15 dias após a semeadura.



Figura 8. Experimento 2, em campo, avaliando três variedades de sorgo granífero submetidas frações de lixiviação com água salina. 45 dias após a semeadura.



Figura 9. Acúmulo de sais na extremidade do bulbo molhado em variedades de sorgo granífero irrigado com água salina.



Figura 10. Acúmulo de sais na extremidade do bulbo molhado em variedades de sorgo granífero irrigado com água salina.



Figura 11. Experimento 2, em campo, avaliando três variedades de sorgo granífero submetidas frações de lixiviação com água salina. 60 dias após a semeadura.



Figura 12. Experimento 2, em campo, avaliando três variedades de sorgo granífero submetidas frações de lixiviação com água salina. Panícula com tela de proteção contra pássaros.



Figura 13. Experimento 2, em campo, avaliando três variedades de sorgo granífero submetidas frações de lixiviação com água salina. Colheita manual.