



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA
MESTRADO

RENAN FERREIRA DA NÓBREGA

**EFEITO DA SALINIDADE E LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO SOBRE O
CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DO SORGO**

MOSSORÓ, RN

2020

RENAN FERREIRA DA NÓBREGA

**EFEITO DA SALINIDADE E LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO SOBRE O
CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DO SORGO**

Dissertação apresentada ao Mestrado em Manejo de Solo e Água do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

Orientador: Prof. Dr. Glauber Henrique de Sousa Nunes
Co-orientador: Prof. Dr. José Francismar De Medeiros

MOSSORÓ, RN

2020

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)
Setor de Informação e Referência (SIR)



Bibliotecário-Documentalista
Nome do profissional, Bib. Me. (CRB-15/10.000)
RENAN FERREIRA DA NÓBREGA

**EFEITO DA SALINIDADE E LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO SOBRE O
CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DO SORGO**

Dissertação apresentada ao Mestrado em
Manejo de Solo e Água do Programa de Pós-
Graduação em Manejo de Solo e Água da
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Mestre em Manejo de Solo e Água.

Defendida em: ____ / ____ / _____.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Glauber Henrique de Sousa Nunes. (UFERSA)
Presidente

Prof. Dr. José Francismar De Medeiros (UFERSA)
Membro Examinador

Lidiane Kelly de Lima Graciano, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Elaine Welk Lopes Pereira Nunes, Dr.
Membro Externo

AGRADECIMENTOS

Agradeço,

A Universidade Federal do Rural do Semi-Árido (UFERSA) por ter me dado à oportunidade de estudar na instituição.

À toda minha família, em especial aos meus pais Luciano e Josilene, aos meus irmãos George, Renato e Luciano Jr, por acreditarem sempre no meu potencial e que mesmo de longe se fizeram presentes.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa durante todo o período de realização do mestrado e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro que possibilitou a realização deste trabalho.

Ao Orientador Glauber Henrique de Sousa Nunes e ao co-orientador José Francismar de Medeiros por todos os conhecimentos transmitidos, incentivo, orientação, ao longo do desenvolvimento da pesquisa.

A todos os professores e colegas que fazem parte do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água.

A todos os meus familiares e amigos que contribuíram de alguma forma durante essa jornada.

Meus sinceros agradecimentos a todos que somaram e contribuíram para esta conquista!

A natureza não é cruel, apenas implacavelmente indiferente. Esta é uma das lições mais duras que os humanos têm de aprender.

Richard Dawkins

RESUMO

RENAN FERREIRA DA NÓBREGA. **Efeito da salinidade e lâminas de irrigação sobre o crescimento e produtividade do sorgo.** 2020. 39f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) – Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), Mossoró-RN, 2020.

O sorgo (*Sorghum bicolor* L.) é uma planta indicada para cultivo em regiões secas por apresentar tolerância ao estresse hídrico e qualidade nutricional. Diante da necessidade de se obter informações sobre a cultura do sorgo para região do semiárido, objetivou-se verificar o efeito da salinidade e lâminas de irrigação sobre o crescimento e produtividade do sorgo. O delineamento experimental adotado foi blocos casualizados em esquema fatorial 4 x 4, sendo 4 concentrações de sais, expressas em condutividade elétrica (1,5, 3,0, 4,5 e 6,0 dS.m⁻¹) e 4 lâminas de irrigação calculada diariamente em relação a evapotranspiração da cultura (51,3, 70,6, 90,0 e 118,4%). O espaçamento utilizado foi o duplo de 1,40 x 0,25 x 0,30 m, e a parcela experimental constituída de seis linhas de 7 m de comprimento. Foram avaliadas caracteres morfoagronômicos, eficiência de uso e volume de água em sorgo sudanense. Concluiu-se que o sorgo pode ser cultivado mesmo em condições de estresse salino ($\leq 3,0$ dS/m) e de déficit hídrico (300,0 mm).

Palavras-chave: *Sorghum bicolor*. semiárido. Estresse hídrico.

ABSTRACT

RENAN FERREIRA DA NÓBREGA. **Effect of salinity and irrigation depths on growth and productivity of sorghum.** 2020. 39f. Dissertation (Master in Soil and Water Management) - Federal Rural University of the Semi-Arid (UFERSA), Mossoró-RN, 2020.

Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) is a plant suitable for cultivation in dry regions because it has tolerance to water stress and nutritional quality. In view of the need to obtain information on the culture of sorghum for the semiarid region, the objective was to verify the effect of salinity and irrigation depths on the growth and productivity of sorghum. The experimental design adopted was randomized blocks in a 4 x 4 factorial scheme, with 4 concentrations of salts, expressed in electrical conductivity (1.5, 3.0, 4.5 and 6.0 dS.m⁻¹) and 4 slides of irrigation calculated daily in relation to crop evapotranspiration (51.3, 70.6, 90.0 and 118.4%). The spacing used was double 1,40 x 0,25 x 0,30 m, and the experimental plot consisted of six lines of 7 m in length. Morpho-agronomic characters, efficiency of use and water volume in Sudan sorghum were evaluated. It was concluded that sorghum can be grown even under conditions of saline stress (≤ 3.0 dS / m) and water deficit (300.0 mm).

Keywords: *Sorghum bicolor*. Semiarid. Hydrical tress.

LISTA DE TABELA

Tabela 1 Atributos químicos e físicos do solo da área experimental.....	19
Tabela 2 Composição química da água natural e após de acrescentadas as soluções de sais, para serem utilizadas no experimento.....	20
Tabela 3. Resumo da análise de caracteres morfoagronômicos, eficiência de uso e volume de água em sorgo sudanense cultivado em diferentes lâminas de irrigação e níveis de salinidade da água.	24

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 área experimental localizada na zona rural do município de Upanema-RN	18
Figura 2 Sementes de sorgo sudão.....	19
Figura 3 Evapotranspiração diária da cultura e de referência e coeficiente diário da cultura (Kc) estimado pelo método do Kc dual (Allen et al., 2006) para sorgo sudão cultivado sob irrigação no município de Upanema, RN, Brasil.....	21
Figura 4 Sistema de irrigação por gotejamento espaçado entre linhas	21
Figura 5. Sorgo sudanense colhido numa fileira de 3 metros para avaliação da produção.....	22
Figura 6 Pesos da matéria seca do caule e total, rendimento e altura total da planta em função da salinidade em sorgo sudanense cultivado em diferentes lâminas de irrigação e níveis de salinidade da água.....	26
Figura 7 Matéria seca total, rendimento e altura total da planta em função da lâmina de irrigação em sorgo sudanense cultivado em diferentes lâminas de irrigação e níveis de salinidade da água.....	27
Figura 8. Altura do colmo, comprimento foliar e número de folhas em função da lâmina de irrigação em sorgo sudanense cultivado em diferentes lâminas de irrigação e níveis de salinidade da água.....	28
Figura 9. Área foliar, índice de área foliar e volume de água em função da lâmina de irrigação em sorgo sudanense cultivado em diferentes lâminas de irrigação e níveis de salinidade da água.....	29
Figura 10. Eficiência do uso de água em função da lâmina de irrigação e condutividade elétrica da água de irrigação em sorgo sudanense cultivado em diferentes lâminas de irrigação e níveis de salinidade da água.....	30

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	11
2.1 A CULTURA DO SORGO	11
2.2 PRODUÇÃO DO SORGO.....	12
2.3 SALINIDADE	13
2.4 USO DE ÁGUA SALINA NA AGRICULTURA	15
2.5 NECESSIDADE HÍDRICA DA CULTURA	16
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	18
3.2 PREPARO DO SOLO, INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	19
3.4 VARIÁVEIS AVALIADAS.....	22
3.4.1 Produtividade	22
3.4.2 Altura das plantas.....	23
3.4.3 Diâmetros do colmo	23
3.4.4 Número de folhas	23
3.4.5 Índice de área foliar.....	23
3.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	24
4 RESULTADOS	24
4.1 SALINIDADE	25
4.2 LÂMINA DE IRRIGAÇÃO.....	26
4.3 SALINIDADE X LÂMINA DE IRRIGAÇÃO	29
5 DISCUSSÃO	31
5.1 SALINIDADE	31
5.2 LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO	32
6 CONCLUSÃO	36
REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) é um dos principais cereais cultivados em todo o mundo. O sorgo é uma das espécies alimentares mais versáteis, podendo ser utilizada na alimentação animal e humana. O sorgo forrageiro tem como principal utilização o uso na alimentação animal. O sorgo sacarino também se apresenta como alternativa promissora. O Sorgo sacarino contempla plantas com altas concentrações de açúcar nos colmos, com o cultivo voltado para produção de alimento, forragem para animais, fibra e energia. O sorgo também pode ser utilizado em usinas termelétricas para produção de energia, assim como, em indústrias que utilizam caldeiras e geram energia para consumo próprio (ALMODARES; HADI, 2009; RODRIGUES, 2010; TANAKA, 2010).

A planta do sorgo se adapta a um grande espectro de ambientes, sobretudo, sob condições desfavoráveis à maioria de outros cereais. O sorgo é considerado como uma cultura mais apta para as regiões áridas, em virtude de sua alta eficiência pelo uso da água, mesmo com déficit hídrico. Em adição, possui a vantagem devido a rebrota, com mais de um ciclo com produção (TARDIN; RODRIGUES, 2008). Assim sendo, a cultura do sorgo é alternativa viável para o Nordeste brasileiro, região caracterizada pela escassez hídrica, com períodos prolongados de seca (SOARES, 2016) que acarreta problemas sérios nas vertentes econômica e social.

Por outro lado, a exploração de recursos subterrâneos do semiárido pode ser uma opção para minimizar os problemas derivados da falta de água (COSTA et al., 2012). Todavia, as águas subterrâneas são geralmente salobras e, em muitas situações, inviáveis para a irrigação em várias culturas. Isso ocorre porque o estresse salino inibe o crescimento das plantas uma vez que reduz o potencial osmótico da solução do solo, o potencial hídrico, a disponibilidade de água e acúmulo excessivo de íons nos tecidos vegetais (SILVA et al., 2008). Nesse contexto, surge um grande desafio para a pesquisa, qual seja a produção de alimentos com elevados níveis de produtividade e qualidade. Uma possível solução é o uso de espécies forrageiras ou leguminosas tolerantes à salinidade.

As espécies vegetais possuem respostas diferenciadas ao estresse salino sendo classificadas desde sensíveis a altamente tolerantes ao ambiente salino (SANTANA, 2007). As plantas tolerantes ajustam-se osmoticamente pelo acúmulo de solutos osmoticamente ativos, permitindo a absorção de água sob estresse salino. Além da variação específica, também ocorre variação dentro das espécies. A resposta à salinidade pode variar

em função de fatores como o tipo de sal, tempo de exposição ao estresse, estágio fenológico, fatores edafoclimáticos, bem como a interação entre eles (MUNNS; TESTER, 2008). O sorgo é considerado moderadamente tolerante à salinidade (AYERS; WESTCOT, 1999; DIAS; BLANCO, 2010; SADEGHI; SHOURIJEH, 2012). Existe grande variação dentro do sorgo com cultivares com distintos níveis de sensibilidade à salinidade (NIU et al., 2012, SUN et al., 2014; SHAKERI; EMAM, 2017, COSTA, 2017).

Outro aspecto importante em áreas com água escassa é estratégia de manejo de irrigação. O desafio nesse caso seria a otimização da irrigação que basicamente corresponde à aplicação de lâminas sem perdas significativas de produção e com a vantagem de redução dos riscos associados aos impactos ambientais adversos da irrigação plena (COSTA; MEDEIROS, 2017). Adicionalmente, o manejo da irrigação em condições de reduzida disponibilidade de água precisa resultar no melhor retorno econômico por unidade de água aplicada (ENGLISH, 2002).

Geralmente, em regiões com restrição hídrica, a estratégia de manejo de irrigação é a aplicação de irrigações em períodos nos quais a cultura é mais sensível aos efeitos negativos do déficit hídrico (GEERTS; RAES, 2009; LIMA et al., 2011). A irrigação deficitária deve ser adotada sem acarretar perdas expressivas de rendimento, podendo atingir valores elevados na produtividade da água (GEERTSRAES, 2009; DU et al., 2010) que pode ser alcançada quando a cultura é submetida ao déficit hídrico, porém este déficit deve manter a viabilidade econômica da produção (PEREIRA et al., 2012).

O sorgo é uma cultura que apresenta tolerância a condições de estresse hídrico (SOUSA et al., 2017). O estresse hídrico influencia todas as fases na cultura do sorgo, desde a germinação até o enchimento de grãos (LIMA et al., 2011; TOLK et al., 2013; TARDIN et al., 2013). Costa (2017) avaliando a produtividade de massa fresca total da parte aérea da rebrota de cinco cultivares de sorgo em função das lâminas de irrigação e a produção de massa seca verificou-se que a cultivar IPA SF-15, associada a lâmina de 100% da ETC, junto com a IPA 467-4-2 e BRS Ponta Negra foram mais produtivas. Aplicação de lâmina de irrigação equivalente a 50% da ETC proporcionou redução de apenas 17% de biomassa fresca e de 23% de biomassa seca em relação a lâmina (100%ETC).

Diante dessas considerações, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o crescimento e o desempenho produtivo de sorgo submetido a concentrações de sais da água de irrigação e lâminas de irrigação no semiárido nordestino.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura do sorgo

O sorgo é uma gramínea do tipo C4, de dias curtos e com altas taxas fotossintéticas, que se destaca pelo seu crescimento rápido e sua versatilidade (MORRIL et al., 2012, MAGALHÃES; DURÃES, 2003). Entre os cereais mais cultivados no mundo, o sorgo tem participado ativamente na alimentação humana e alimentação animal com a produção de grãos e forragem. Com mais de sete mil genótipos, é extremamente importante para as regiões áridas e semiáridas (EMBRAPA, 2015).

No semiárido brasileiro, é indicado para uso forrageiro devido à velocidade de crescimento, acúmulo de biomassa e adaptabilidade às condições edafoclimáticas, inclusive ao estresse hídrico (NASCIMENTO et al., 2020). Entre os principais tipos de sorgo estão o granífero, forrageiro, sacarino.

O sorgo possui três etapas de crescimento: a primeira fase ou EC1 inicia-se do plantio e limita-se até a iniciação da panícula; a fase posterior a EC1 corresponde a EC2 que vai da iniciação da panícula ao florescimento. Nesse momento os processos de crescimento ao serem afetados poderão comprometer o rendimento. São eles: desenvolvimento da área foliar, sistema radicular, acumulação de matéria seca e o estabelecimento de um número potencial de sementes. Sendo este último o mais crítico. Por fim, tem-se a terceira fase ou EC3 que corresponde à floração até maturação fisiológica (MAGALHÃES; DURÃES, 2003).

O sorgo sudão (*Sorghum sudanense*), campim sudão ou sundgrass é uma forrageira anual, precoce, excelente capacidade de perfilhamento e de origem africana adaptada ao semiárido. Além da sua qualidade nutritiva e folhas longas peabundantes, colmo fino e succulento, que podem chegar a três metros de altura, apresenta elevada eficiência de uso de água, resistência à seca e ainda possui aptidão expressiva para produção de forragem, na forma de feno, silagem e pastejo (EMBRAPA, 2000). Destaca-se pela flexibilidade na época de plantio, potencial produtivo e forrageiro para nutrição animal, em especial, em períodos de escassez alimentar (ARENHARDT et al., 2016; SIMILI et al., 2008).

Outras características que favorecem o cultivo dessa cultura é a capacidade de tolerância à solos com alta acidez e baixa fertilidade, calor, doenças foliares e competitividade sobre ervas daninhas (ARENHARDT et al., 2016). Com relação ao manejo, a cultura permite até quatro cortes durante a estação de crescimento (ABUSUWAR, 2019). Quando comparada com outras culturas o sorgo sudão apresenta maior produção de massa seca na

parte aérea, característica desejável devido ser a parte comercializável (NASCIMENTO et al., 2020).

O sorgo sudão é apreciado pela produção de pasto, silagem e feno (SOUZA; INOMOTO, 2019). Respostas positivas da nutrição animal através do sorgo sudão é encontrado na literatura. Comparado com milho, o sorgo sudão apresentou características produtivas semelhantes com relação ao ganho de peso individual e por área de vacas para abate, indicando ser uma cultura forrageira de potencial para pastejo contínuo (PACHECO et al., 2014).

O desempenho agrônomico da cultura pode ser melhorado com manejo adequado. O uso de técnicas agrônomicas como consórcio pode ser uma ferramenta importante na otimização do cultivo do sorgo sudão. Quando consorciado com feijão-caupi, a cultura apresentou melhora na produtividade e qualidade da forragem (ABUSUWAR; BAKSHAWAIN, 2012). O consórcio de sorgo-sudão com clitoria melhorou os parâmetros de crescimento em comparação com o cultivo solteiro (ABUSUWAR, 2019). Estes autores também observaram melhora significativa na produtividade da forragem fresca e seca durante a condução do experimento.

2.2 Produção do sorgo

Sendo quinto cereal mais importante no mundo, precedido por trigo, arroz, milho e cevada. O sorgo vem sendo utilizado como principal fonte de alimento em países da África, regiões do sul da Ásia e América Central. Em países como Estados Unidos, Austrália e na América do Sul sua importância se dá através da alimentação animal. Os grãos, também, podem ser utilizados na produção de farinha para panificação, amido industrial, álcool e a palhada é utilizada como forragem ou cobertura de solo. No Brasil, destaca-se o Sul em plantios de verão, no Centro-oeste e sudeste em sucessão a plantios de verão (safrinha) e no Nordeste em plantios nas condições do semiárido com altas temperaturas e precipitação inferior a 600 mm anuais (TARDIN, 2008)

Existem cinco tipos de sorgo cultivados no Brasil: granífero, forrageiro (silagem e pastejo), sacarino, biomassa e vassoura. (EMBRAPA, 2015) Porém, o maior interesse vem do cultivo do sorgo granífero e do forrageiro para a produção de silagem e pastejo. Onde o granífero é caracterizado por plantas de porte mais baixas, com valores máximos próximos a 1,6 metros, e possui grande produção de grãos. O forrageiro sua principal característica é a

elevada produção de biomassa por hectare, pois às plantas são mais altas que os materiais graníferos, valores acima de 2 metros de altura (MAY, 2011).

A área colhida no Brasil do sorgo forrageiro de acordo com o senso 2017 do IBGE foi de 154.844 hectares com produção de 2,58 milhões de toneladas e uma produtividade média nacional de 16,7 toneladas por hectare. Para o sorgo granífero, a área colhida a nível nacional foi 543.456 hectares com produção de 1,69 toneladas com uma produtividade média de 3,11 toneladas por hectare. (IBGE, 2010).

No Brasil, 91% do sorgo produzido são cultivados na safrinha, nas regiões centrais do país, quando a produtividade da cultura passa a depender das últimas chuvas da estação de cultivo e dos nutrientes residuais da adubação da safra principal, devido ao baixo investimento em fertilizantes durante essa segunda safra (RESENDE et al., 2009).

O Sudeste e Centro-Oeste brasileiro são as principais regiões produtoras de sorgo forrageiro, com destaque para os estados de Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso. No nordeste destaca-se o Ceará. O estado de Minas Gerais, a cultura ocupa a maior área colhida e respectivamente a maior produção com produtividade média de 21 toneladas por hectare. Para o sorgo granífero, o destacam-se os estados de Minas Gerais e Goiás com valores superiores a de 3,5 toneladas por hectare de acordo com o senso de 2017 do IBGE. A Bahia é a grande produtora no nordeste para o sorgo granífero.

2.3 Salinidade

A salinização do solo é um processo presente em todos os continentes, excetuando-se a Oceania, tal fenômeno vem crescendo e ocasionando ano a ano grandes quantidades de áreas agricultáveis perdidas.

De acordo com a FAO Land and Nutrition Management Service (2008), mais de 6% das terras do mundo estão sendo afetadas por salinidade ou sodicidade, o que representa cerca de 800 milhões de hectares de terra que passam a se tornar improdutivos, o que pode vir a ser fator ocasionador do processo de desertificação (PEDROTTI, 2015).

Nas regiões áridas e semiáridas, a salinidade se desenvolve de forma mais propícia, nessas regiões, a baixa precipitação pluviométrica atrelada a uma baixa atividade bioclimática conduzem a formação de solos com altas concentrações de sais. Deve-se observar também como fatores que influenciam a inexistência de sistema de drenagem em áreas irrigadas e a utilização de águas de má qualidade (BUTCJHER, 2016).

O desenvolvimento do processo de salinização do solo pode ocorrer naturalmente ou pela ação humana. A salinidade primária, isto é, aquela que ocorre por causas naturais ocorre devido a processos hidrológicos, geológicos e pedológicos naturais, além do material de origem (YADAV, 2011). Os fatores climáticos e o regime pluvial podem acelerar o desenvolvimento da salinização, principalmente nas regiões áridas e semiáridas, no qual a evapotranspiração desempenha notório papel na formação dos solos (MURKUTE, 2005).

A salinização secundária pode ocorrer por diversas práticas atreladas ao manejo incorreto do solo. O processo de salinização antrópica geralmente está relacionado como consequência a utilização de métodos errôneos de irrigação, além da utilização de águas de má qualidade, de modo com que os sais se acumulem no solo (PEDROTTI, 2015).

Entretanto, outras práticas também se relacionam como fatores que influenciam no processo de salinização dos solos, entre elas a execução do desmatamento, o qual é reconhecido como uma das principais causas da salinização, visto que a realização do mesmo ocasiona a redução da precipitação média e consequente aumento da temperatura da superfície (PEDROTTI, 2015). Entre outras práticas é importante citar o aumento de sais pelo manejo inadequado de pesticidas.

Define-se como tolerância a salinidade das plantas, a capacidade das mesmas de se desenvolverem e completarem seu ciclo de vida sobre um substrato que contém elevada concentração de sais solúveis (SANTOS, 2008). Nesse contexto, denominam-se halófitas as plantas que conseguem tolerar altas quantidades de sais sem comprometer o seu desenvolvimento e glicófitas, as que não toleram sob substrato com elevada concentração de sais (MUNNS, 2008).

A salinidade afeta todos os estágios do crescimento, entretanto, deve-se salientar que a germinação, emergência e o crescimento inicial geralmente são as fases mais afetadas pela salinidade (IVUSHKIN, 2019). Os acúmulos de sais afetam o funcionamento das raízes por conta da redução do potencial osmótico, reduzindo a absorção de nutrientes pelas plantas (MURKUTE, 2005).

As plantas diferem quanto a sua tolerância nos níveis de salinidade, a sensibilidade reflete no crescimento. A salinidade afeta as culturas pela toxicidade de alguns íons específicos que em determinadas concentrações ocasionam diversos problemas fisiológicos (SANTOS, 2008).

Ademais, há um crescimento do desequilíbrio nutricional nas plantas, visto que o processo de absorção, assimilação e transporte são comprometidos, consequência do aumento

do potencial osmótico, fazendo com que as plantas gastem mais energia para a absorção de água (MUNNS, 2008).

2.4 Uso de água salina na agricultura

Sendo essencial para a manutenção da vida humana na terra, a água é recurso fundamental para o desenvolvimento das plantas. Nesse contexto, a agricultura necessita de altas quantidades para a produção das culturas, dessa forma, é necessário um correto manejo para completo aproveitamento (FERNANDES, 2013). Em virtude disso, estudos são realizados a fim de verificar a viabilidade do emprego de técnicas que utilizem águas residuais ou salinas, conquanto, mitigando os danos e efeitos negativos.

Consequência da utilização de águas de qualidade inadequada, falta de sistema de drenagem e o manejo incorreto do sistema solo-planta-água, a salinidade ocasiona severos danos a produtividade das culturas (OLIVEIRA, 2012). No Nordeste Brasileiro, estima-se que cerca de nove milhões de hectares de solos são afetados por sais (RODRIGUES, 2019).

Para irrigação, a qualidade da água é estabelecida através da salinidade, sodicidade e toxicidade, onde a salinidade avalia o aumento da concentração de sais no solo, a sodicidade o risco de aumento da PST e a toxicidade avalia os problemas de acúmulo de íons específicos nas plantas, os quais podem ocasionar danos fisiológicos nas mesmas (FREIRE, 2018).

Em regiões áridas e semiáridas uma das principais formas de obtenção de água potável é a captação de águas subterrâneas, entretanto, por conta da geologia muitas dessas águas possuem altas quantidades de sais tornando necessário o uso de dessalinizadores (RODRIGUES, 2019).

Entretanto o rejeito da dessalinização gera um rejeito com alta concentração de sais, que necessita de uma destinação adequada. O uso da água salina na irrigação surge como uma alternativa para suprir a demanda hídrica em regiões áridas e semiáridas. Dessa forma a execução de pesquisas a fim de testificar os níveis de tolerância à salinidade das culturas se faz cada vez mais necessário (RODRIGUES, 2019).

O sorgo vem sendo reconhecido através diversos estudos por sua tolerância moderada ao estresse salino, que é considerada marginal para outros cereais. O mesmo possui uma ampla adaptação a variações edafoclimática, entre essas variações destaca-se os solos salinos (EMBRAPA, 2015, SADEGHI;SHOURIJEH, 2012). Esses estudos vêm se baseando na

classificação 21 de Ayers e Westcot (1999) para plantas que não são significativamente afetadas pela salinidade quando submetidas à salinidade correspondente ao nível de condutividade elétrica da pasta de saturação entre 3 e 6 dSm⁻¹.

Quando comparado ao milho, o sorgo é quatro vezes mais tolerante à salinidade da água de irrigação. Essa tolerância é medida em relação à condutividade elétrica da água (CEa) e do extrato de saturação do solo (CEes) (EMBRAPA, 2015). Essa capacidade de adaptação é muito útil e permite a utilização dessa espécie em regiões que apresentam problemas com salinidade, principalmente quando o cultivo em condições salinas é inevitável, permitindo o aproveitamento água (AQUINO et al, 2007). Estudos vêm sendo desenvolvidos para seleção de genótipos mais tolerantes a salinidade levando em consideração rendimentos economicamente aceitáveis, através do seu alto potencial de produção em regiões secas e que apresentam problemas com salinidade (COELHO, 2017)

2.5 Necessidade hídrica da cultura

A região semiárida do Nordeste do brasileiro caracteriza-se pela escassez hídrica e pela distribuição irregular da precipitação pluviométrica no tempo e no espaço, apresentando precipitações médias inferiores a 800 mm (ANDRADE et al, 2018, ANDRADE et al 2016).

A quantidade de água disponível como a sua qualidade estão relacionadas à escassez de água. Logo, pesquisas que busquem alternativas para conviver com a escassez hídrica tornam-se essencial para o não comprometimento da produtividade agrícola (PEREIRA et al., 2002). O aperfeiçoamento do uso da água na irrigação é primordial para um manejo responsável da irrigação como forma de estratégia para preservação dos recursos hídricos e manutenção da produção sustentável (KOETZ, 2006). De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA), a irrigação consome 72% da água brasileira, enquanto as populações urbana e rural, apenas 10% (ARAÚJO et al., 2014).

A necessidade hídrica da cultura, normalmente determinada pela necessidade evapotranspiração da cultura ou pela tensão de água no solo, varia com sua fase de desenvolvimento ao longo do ciclo. Esse conhecimento é importante para dimensionamento e manejo de projetos de irrigação, pois quantifica a água a ser repostada ao solo para atender a demanda da cultura (KOETZ, 2006, FREIRE *et al.*, 2011). O manejo da irrigação tem como principais características decidir como, quanto e quando irrigar. Conhecer a quantidade de água requerida pelas culturas através da evapotranspiração da cultura (ETc), é de grande importância para realização de um adequado programa de manejo (KOETZ, 2006).

Os desenvolvimentos das culturas são diretamente afetados pela ocorrência de déficit ou excesso hídrico em plantas. A redução da área foliar, o fechamento dos estômatos, a aceleração da senescência e abscisão das folhas são as principais respostas das plantas ao déficit hídrico, que conseqüentemente reduz a produção (SOUSA, 2017).

O estresse hídrico tem influência em todas as fases na cultura do sorgo, desde a germinação, até nas fases finais do enchimento de grãos, pois reduz a acumulação de carbono, a expansão de tecidos e o número de células. Nessa situação, a planta de sorgo através de seus mecanismos de defesa diminui o seu metabolismo enrolando suas folhas. A fase onde o estresse hídrico proporciona maior perda de produtividade de grãos é na fase reprodutiva (LIMA et al., 2011; MAGALHÃES et al., 2012; TARDIN et al., 2013).

Se o déficit hídrico venha acontecer no estágio EC1, provocará menos danos à planta do que na EC2, nessa segunda fase, a escassez de água resultará na redução diretamente das folhas, no crescimento da panícula e conseqüentemente no número de sementes por panícula. Esses efeitos são devidos provavelmente a uma redução na área foliar, resistência estomática aumentada, fotossíntese diminuída e a uma desorganização do estado hormonal da panícula em diferenciação. E quando esse estresse hídrico, provocado pelo déficit, ocorre no EC3, o resultado é a senescência rápida das folhas inferiores, com conseqüente redução no rendimento de grãos (MAGALHÃES, DURÃES; RODRIGUES 2008).

O sorgo torna-se uma alternativa para o semiárido, pois está entre os cereais com maior tolerância à seca. Em relação a outras gramíneas, o sorgo apresenta baixa demanda hídrica e alta eficiência do uso da água (FORTES et al., 2018). A cultura destaca-se entre outras gramíneas também pela possibilidade de cultivo em sistema de sequeiro, permitindo produzir de forma satisfatória onde a disponibilidade de água se encontra limitada (XIN et al., 2009).

Os esforços por parte de instituições públicas e privadas de pesquisa, a fim de melhorar a produtividade, a qualidade de grãos e a rentabilidade da cultura do sorgo, têm proporcionado a obtenção de cultivares de melhor potencial genético produtivo tanto para sorgo granífero e forrageiro quanto para o sacarino e seus diversos fins, assim como foi verificado por Tardin et al (2013) que ao avaliar agronomicamente o desempenho de híbridos de sorgo em condições de irrigação plena e em estresse hídrico em pós-florescimento, diagnosticou que híbridos que se desenvolvem mais rápido tendem a ser mais produtivos sob estresse hídrico.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

O experimento foi conduzido em uma área experimental localizada na zona rural do município de Upanema-RN no sítio Cumaru (Figura 1), sob coordenadas geográficas 5° 33' 30" S, 37° 11' 56" O e altitude de 110 m. O clima segundo a classificação de Köppen é do tipo BSw^h, ou seja, quente e seco caracterizando como clima tropical semiárido muito quente, temperatura média anual do ar > 18°C, com estação chuvosa bastante irregular, atrasando-se do verão para o outono. A precipitação média anual é de 650 mm.

Figura 1 área experimental localizada na zona rural do município de Upanema-RN



Fonte: Nóbrega (2020)

O solo da área é classificado como Cambissolo (SANTOS et al., 2018). Com intuito de determinar a fertilidade e granulometria, amostras do solo foram coletadas, com o auxílio de um trado holandês, na camada de 0,0 a 0,20 m de profundidade antes da instalação do experimento. Logo, os indicadores químicos avaliados foram: pH, CE, M.O, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na²⁺, Al³⁺, H+L e SB. Quanto a física do solo, apenas as porcentagens de areia, silte e argila foram avaliadas. Os indicadores apresentaram as seguintes características química e física antes do plantio Tabela 1.

Tabela 1 Atributos químicos e físicos do solo da área experimental

Prof.	pH	CE	M.O	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB
	dS/m		g/kg	mg/dm ³			cmolc/dm ³				
cm	8,10	0,07	6,90	8,6	0,51	0,01	7,70	0,60	0,0	0,0	8,91
0-20	Areia		Silte		Argila						
			%								
	78		6		16						

OBS.: pH em água é determinado na relação solo:água de 1:2, 5.; CE=Condutividade elétrica do extrato solo:água, na relação 1:2,5; P, Na⁺ e K⁺ extraídos com o extrator Mehlich-1 na relação solo:extrator de 1:10; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ extraídos com KCl 1mol/L na relação solo:extrator de 1:10; (H+L)=Acidez Potencial extraída com acetado de cálcio 0,5 mol/L na relação solo:extrator de 1:15; SB=soma de bases.

3.2 Preparo do solo, instalação e condução do experimento

O preparo da área constituiu de uma aração seguida por uma gradagem, abertura dos sulcos de plantio e realização da adubação de fundação com 180 kg ha⁻¹ de MAP (10-50-00). A adubação do solo foi realizada de acordo com as recomendações dos resultados da análise do solo e das exigências nutricionais da cultura. Em fertirrigação aplicou-se 60 kg.ha⁻¹ de N, utilizando-se como fonte a ureia, e 30 kg.ha⁻¹ de K₂O, usando como fertilizante o KCl. Estes fertilizantes divididos em três aplicações iguais aos 21, 28 e 35 dias após o plantio.

A semeadura foi realizada diretamente no local definitivo, colocando-se cinco sementes por covas (Figura 2). O desbaste foi realizado dez dias após a semeadura, deixando três plantas por covas, no espaçamento em fileiras duplas 1,40 x 0,25 x 0,30 m. Foram realizadas duas capinas manuais e uma aplicação de Clorotraniliprole e Imidacloprido aplicado uma vez em fertirrigação para controle de lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) e pulgão (*Aphis gossypii*).

Figura 2 Sementes de sorgo sudão



Fonte: Nóbrega (2020)

O experimento foi conduzido durante o período de setembro a dezembro de 2019, período este que não ocorreu nenhuma chuva. A cultura empregada na pesquisa foi o sorgo Sudão (*Sorghum sudanense L.*), cultivar IPA Sudan 4202.

3.3 Tratamentos e delineamento experimental

As concentrações de sais preparadas a partir da água do poço tubular que apresenta uma salinidade média expressa em condutividade elétrica de $1,5 \text{ dS.m}^{-1}$ (água de menor salinidade). Para se obter os demais níveis de salinidade, 3,0, 4,5 e $6,0 \text{ dS.m}^{-1}$, acrescentou-se quantidades de soluções previamente preparadas de NaCl, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, numa concentração de 200 g/L de modo a se obter uma proporção molar de cargas final de 7:2:1 de Na, Ca e Mg, que representa a composição média das águas salobras do semiárido nordestino Tabela 2. Logo, a água de maior salinidade ($6,0 \text{ dS.m}^{-1}$) foi baseada na tolerância à salinidade da cultura do sorgo para rendimento de 50% do seu potencial produtivo, de acordo com Ayers & Westcot (1999). Estes níveis de concentração foram monitorados diariamente com auxílio de um condutivímetro portátil.

Tabela 2 Composição química da água natural e após de acrescentadas as soluções de sais, para serem utilizadas no experimento.

CE	Na	Ca	Mg	K	Cl	SO ₄	HCO ₃
dS.m^{-1}	$(\text{mmol}_c.\text{dm}^{-3})$						
1,50	5,0	8,0	2,0	0,12	8,1	0,3	7,0
3,00	19,0	8,0	3,0	0,12	22,1	1,3	6,9
4,50	28,5	12,0	4,5	0,12	35,6	2,8	6,9
6,00	38,0	16,0	6,0	0,12	49,1	4,3	6,8

As lâminas de irrigação foram determinadas como uma proporção da evapotranspiração da cultura (ET_c), ajustando-se as condições de campo e funcionamento do sistema de irrigação (51,3, 70,6, 90,0 e 118,4% da ET_c total estimada para o ciclo da cultura). A ET_c foi estimada diariamente a partir da estimativa da evapotranspiração de referência diária, pelo método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 2006) e o coeficiente da cultura (K_c) diário (Figura 3), determinado pelo método do K_c dual. Para calcular a lâmina bruta de irrigação adotou-se a eficiência de irrigação de 95%. A ET_o foi estimada a partir de dados coletados em uma estação meteorológica localizada, próxima ao local do experimento.

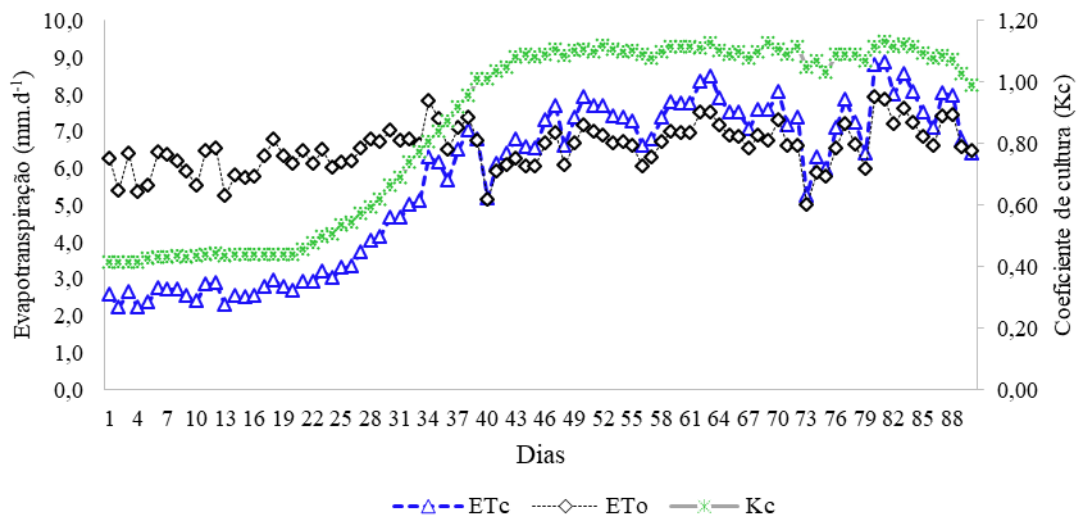


Figura 3 Evapotranspiração diária da cultura e de referência e coeficiente diário da cultura (Kc) estimado pelo método do Kc dual (Allen et al., 2006) para sorgo sudão cultivado sob irrigação no município de Upanema, RN, Brasil.

O sistema de irrigação utilizado foi o gotejamento (Figura 4). Para obtenção das diferentes lâminas empregou-se mangueiras gotejadoras espaçadas entre linhas de 1,65 m, com espaçamentos entre emissores (20, 30 e 40 cm) e vazões diferentes (1,69, 1,65, 3,46 e 3,90 L.h⁻¹), para fornecer vazões por metro linear proporcional as lâminas requeridas.

Figura 4 Sistema de irrigação por gotejamento espaçado entre linhas



Fonte: Nóbrega (2020)

O delineamento experimental adotado foi blocos casualizados em esquema fatorial 4 x 4, sendo 4 concentrações de sais, expressas em condutividade elétrica ($S_1=1,5$, $S_2=3,0$, $S_3=4,5$ e $S_4=6,0$ dS.m⁻¹) e 4 lâminas de irrigação calculada diariamente em relação a evapotranspiração da cultura ($L_1=51,3$, $L_2=70,6$, $L_3=90,0$ e $L_4=118,4\%$), constituindo-se

dezesesseis tratamentos com três repetições, totalizando 48 parcelas experimentais. As unidades experimentais foram constituídas de duas fileiras duplas de sete metros, sendo as fileiras externas de cada unidade consideradas bordadura.

3.4 Variáveis avaliadas

3.4.1 Produtividade

A produção foi avaliada a partir da contagem do número de plantas e da pesagem do material vegetal (folhas, colmos e cachos) colhido numa fileira de 3 m, depois amarradas em feixes e realizando a pesagem do montante utilizando uma balança digital portátil de gancho com capacidade de 50 kg e resolução de 10 g (figura 5). A partir destes dados calculou-se a massa média de plantas pela razão entre a massa e o número de plantas, estimando-se em seguida o rendimento de massa fresca considerando o stand médio de plantas na área cultivada na ocasião de cada colheita, e os valores foram expressos em $T.ha^{-1}$.

Figura 5. Sorgo sudanense colhido numa fileira de 3 metros para avaliação da produção



Fonte: Nóbrega (2020)

A porcentagem de massa seca foi obtida a partir de oito plantas da parcela experimental. Após a colheita, essas plantas foram separadas em folhas, colmo e inflorescência e posteriormente pesada para obtenção da massa fresca total. Na sequência foram retiradas amostras dos respectivos materiais frescos e colocados em estufa de circulação forçada à temperatura de 65 °C, por 72 horas ou até atingirem massa constante. De posse destes dados estimou-se a porcentagem de massa seca do caule e foliar e calculou-se a média ponderada para toda a planta. A massa seca total, expressa em $T.ha^{-1}$ foi o resultado do produto entre rendimento de massa fresca e o teor de massa seca na planta.

A porcentagem de florescimento foi determinada a partir do número de plantas com inflorescências ou cachos na parcela útil em relação ao total de plantas na parcela.

3.4.2 Altura das plantas

As alturas das plantas foram mensuradas com o auxílio de uma fita métrica, partindo-se do nível da extremidade inferior do colmo até o extremo da panícula.

3.4.3 Diâmetros do colmo

Os diâmetros do colmo se deram através do auxílio de um paquímetro digital, analisando-se um diâmetro a 10 cm da base planta e outro no terço médio.

3.4.4 Número de folhas

Foi determinado por meio da contagem simples das folhas verdes de cada planta das da parcela experimental.

3.4.5 Índice de área foliar

Com auxílio de uma fita métrica determinou-se as medidas de comprimento e largura das folhas para calcular índice de área foliar. A área foi estimada através do produto entre o comprimento, a maior largura e um fator de ajuste, sendo este fator variável de acordo com a cultura. A área foi estimada através do produto entre o comprimento, a maior largura e um fator de ajuste. O fator de ajuste, ou fator de forma, varia com a cultura, situando-se ao redor de 0,7. Para a cultura do sorgo o fator utilizado nos cálculos foi de 0,747 (STICKLER *et al*, 1961).

Sendo assim, a área foliar foi estimada através da equação 1 e o índice de área foliar determinado pela equação 2.

$$AF = 0,747CLN(1)$$

$$IAF = AFAT (2)$$

Onde:

AF = Área foliar (m²)

0,747 = Coeficiente estabelecido para a cultura do sorgo; (STICKLER *et al*, 1961).

C = Comprimento da folha (m);

L = Maior largura da folha (m);

N = Número de folhas por planta

IAF = índice de área foliar;

AT = área de terreno ocupada pela planta (m²).

3.5 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram analisados estatisticamente pelo teste F (F-Snedecor) para várias médias de lâminas e salinidade ao nível 1% e 5% de significância.

4 RESULTADOS

Os resumos da análise de variância para caracteres morfoagronômicos, eficiência de uso e volume de água estão na Tabela 3.

Verificou-se efeito significativo de salinidade para os caracteres peso da matéria seca do caule (PMSC), peso da matéria seca total (PMST), rendimento de grãos (REND) e altura da planta (ALP).

Observou-se efeito significativo de lâmina de irrigação para os caracteres matéria seca total (MST), rendimento de grãos (REND), altura da planta (ALP), altura do colmo (ALC), número de folhas (NFO), comprimento foliar (CFO), área foliar (AFO), índice de área foliar (IAF), eficiência de uso da água (EUA) e volume de água (VAG).

Constatou-se interação significativa entre salinidade e lâmina de irrigação para a eficiência do uso de água, indicando comportamento diferencial dos níveis de um dos fatores em função dos níveis do outro.

Tabela 3. Resumo da análise de caracteres morfoagronômicos, eficiência de uso e volume de água em sorgo sudanense cultivado em diferentes lâminas de irrigação e níveis de salinidade da água.

Caracteres	F de Snedecor (Efeito)			CV(%)
	Salinidade(S)	Lâmina (L)	S x L	
Peso da matéria seca foliar (g)	1,03 ^{ns}	1,01 ^{ns}	1,02 ^{ns}	44,92
Peso da matéria seca do caule (g)	5,70 ^{**}	2,55 ^{ns}	1,48 ^{ns}	19,24
Peso da matéria seca total (g)	7,18 ^{**}	1,78 ^{ns}	1,51 ^{ns}	15,78
Matéria seca total (g)	1,74 ^{ns}	4,56 ^{**}	0,76 ^{ns}	23,86
Rendimento de grãos (kg/ha ⁻¹)	4,01 [*]	12,52 ^{**}	1,21 ^{ns}	14,96

Diâmetro da base do caule (cm)	1,33 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,75 ^{ns}	23,67
Diâmetro do caule (cm)	2,04 ^{ns}	1,05 ^{ns}	1,17 ^{ns}	17,53
Altura da planta (cm)	4,35 ^{**}	34,52 ^{**}	1,86 ^{ns}	7,17
Altura do colmo (cm)	1,04 ^{ns}	22,71 ^{**}	1,67 ^{ns}	11,15
Porcentagem florescimento (%)	0,45 ^{ns}	1,09 ^{ns}	0,40 ^{ns}	61,41
Número de folhas	0,49 ^{ns}	3,80 [*]	0,28 ^{ns}	8,55
Largura foliar (cm)	1,44 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,30 ^{ns}	9,92
Comprimento foliar (cm)	0,57 ^{ns}	4,06 [*]	0,56 ^{ns}	11,80
Área foliar (cm ²)	1,44 ^{ns}	4,68 [*]	0,57 ^{ns}	20,18
Índice de área foliar	1,16 ^{ns}	4,18 [*]	0,38 ^{ns}	20,46
Eficiência de uso da água (%)	0,74 ^{ns}	9,97 ^{**}	3,20 ^{**}	22,01
Volume de água (mm ³)	1,05 ^{ns}	8,96 ^{**}	0,57 ^{ns}	23,98

^{**},^{*}: significativo pelo teste F de Snedecor a 1 e 5% de probabilidade. Valores entre parêntesis referem-se aos graus de liberdade de cada efeito.

4.1 Salinidade

A salinidade reduziu os pesos da matéria seca do caule e total, rendimento e altura total da planta (Figura 6). Para os pesos da matéria seca caulinar e total, observou-se uma taxa de redução de 0,01 e 0,016 g para o aumento de uma unidade na salinidade. Para o rendimento a redução a taxa de redução foi 0,383 kg/ha enquanto para a altura total da planta foi 4,410 cm. As maiores reduções foram observadas para os pesos da matéria seca do caule e total, com 25,88% e 24,32%, respectivamente.

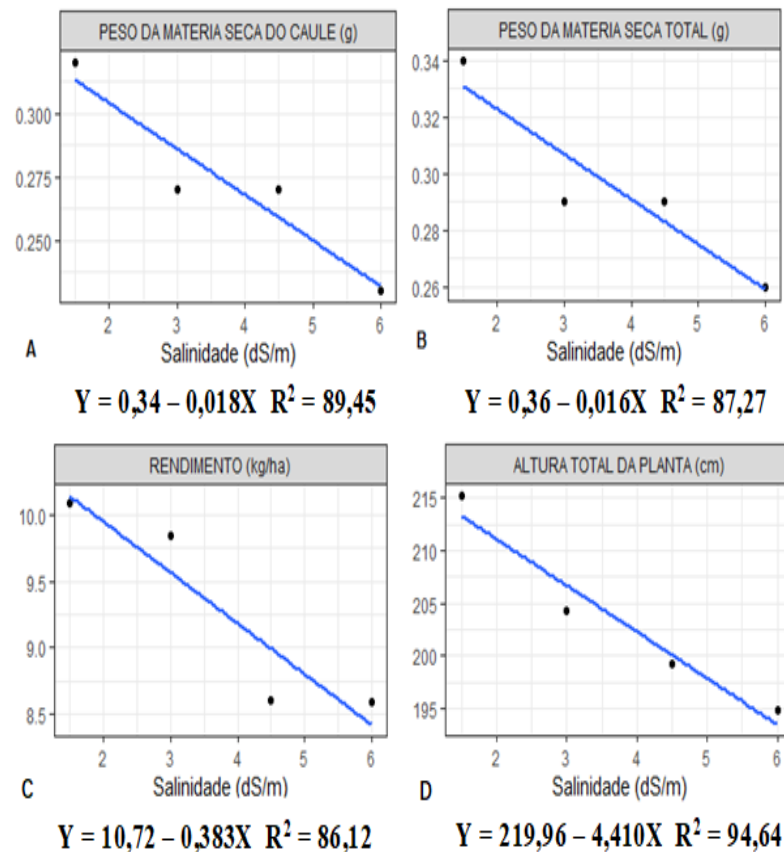


Figura 6 Pesos da matéria seca do caule e total, rendimento e altura total da planta em função da salinidade em sorgo sudanense cultivado em diferentes lâminas de irrigação e níveis de salinidade da água.

4.2 Lâmina de Irrigação

O aumento da lâmina de irrigação promoveu o incremento da matéria seca total, rendimento e altura total da planta (Figura 7). O aumento foi maior para a altura total de planta e rendimento, respectivamente, 29,03 e 28,83%.

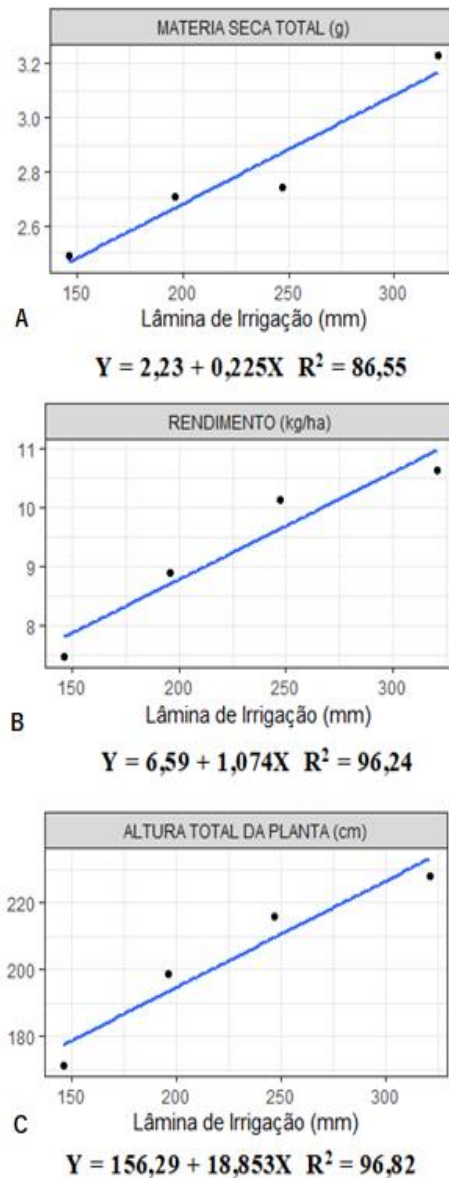


Figura 7 Matéria seca total, rendimento e altura total da planta em função da lâmina de irrigação em sorgo sudanense cultivado em diferentes lâminas de irrigação e níveis de salinidade da água.

Constatou-se aumento da altura do colmo, comprimento foliar e número de folhas com o aumento da lâmina de irrigação, sendo maior para a para a altura do colmo (34,48%) e comprimento foliar (26,98%) (Figura 8).

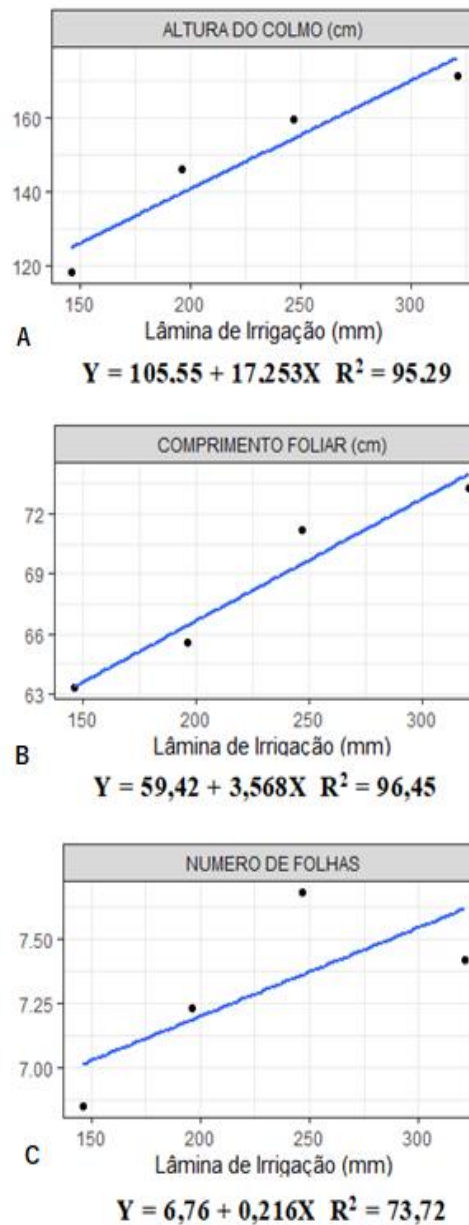


Figura 8. Altura do colmo, comprimento foliar e número de folhas em função da lâmina de irrigação em sorgo sudanense cultivado em diferentes lâminas de irrigação e níveis de salinidade da água.

A lâmina de irrigação ampliou a área foliar, o índice de área foliar e volume de água, sendo o aumento mais intenso no volume de água utilizado (38,11%) (Figura 9).

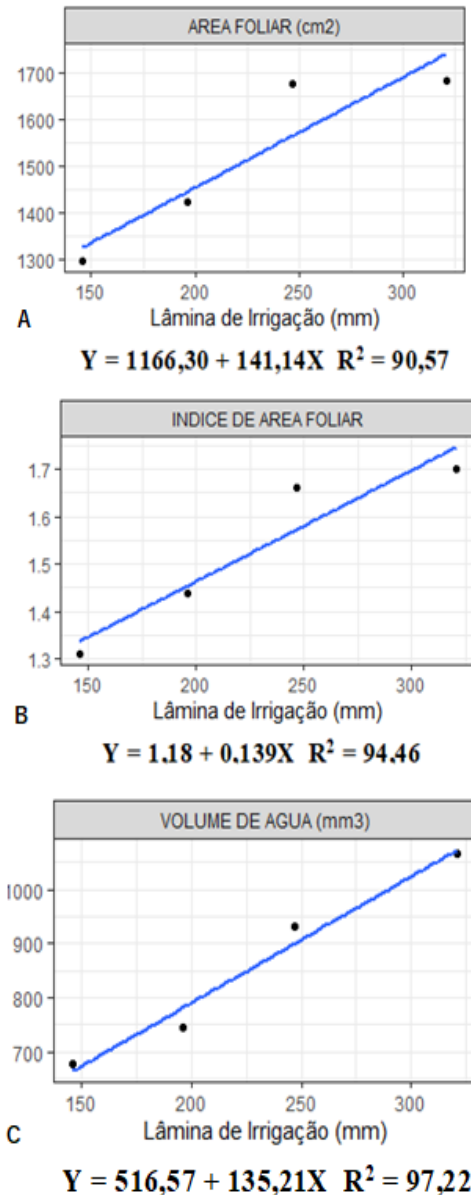


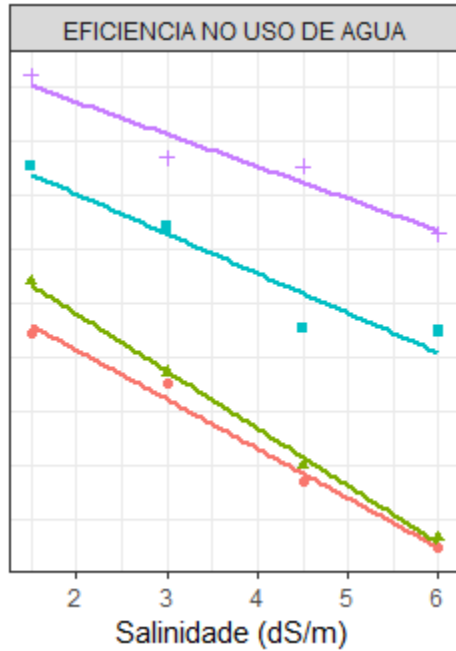
Figura 9. Área foliar, índice de área foliar e volume de água em função da lâmina de irrigação em sorgo sudanense cultivado em diferentes lâminas de irrigação e níveis de salinidade da água.

4.3 Salinidade x Lâmina de irrigação

A ocorrência da interação entre a salinidade da água e a lâmina de irrigação permitiu o desdobramento dos níveis de salinidade dentro de cada nível de lâmina, bem como o nível de lâminas dentro de salinidade (Figura 10).

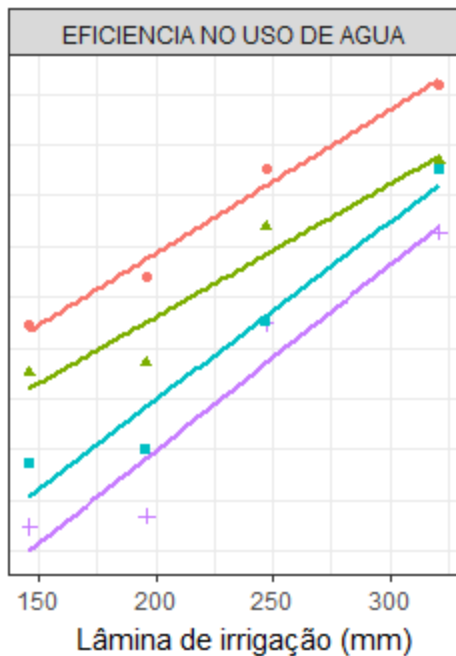
Para todas as lâminas de irrigação, a eficiência do uso de água decresceu com o aumento da salinidade sendo a redução menor nas duas maiores lâminas utilizadas, quais sejam, 321 e 247 mm (Figura 10A). Por outro lado, a eficiência aumentou com o aumento da

lâmina de irrigação em qualquer nível de salinidade utilizada, especialmente nas menores condutividade elétrica da água de irrigação (1,5 e 3,0 dS/m) (Figura 10B).



Lâmina	Equação	R ²
L146	$Y = 3,74 - 0,228X$	98,64
L196	$Y = 3,98 - 0,265X$	99,67
L247	$Y = 4,37 - 0,183X$	90,57
L321	$Y = 4,72 - 0,149X$	92,61

A



CE	Equação	R ²
S1.5	$Y = 0,91 - 0,009X$	91,16
S3.0	$Y = 1,24 - 0,009X$	94,48
S4.5	$Y = 2,09 - 0,006X$	91,67
S6.0	$Y = 2,29 - 0,007X$	98,19

B

Figura 10. Eficiência do uso de água em função da lâmina de irrigação e condutividade elétrica da água de irrigação em sorgo sudanense cultivado em diferentes lâminas de irrigação e níveis de salinidade da água.

5 DISCUSSÃO

5.1 Salinidade

O estresse salino inibiu a produção da matéria seca do caule, matéria seca total e altura da planta com graus de redução dentro da faixa relatada na literatura para a cultura do sorgo (AYERS; WESTCOT, 1999). Reduções em caracteres relacionados ao crescimento de plantas de sorgo em função da salinidade têm sido observadas por diversos autores (LACERDA et al., 2006; SILVA et al., 2003; SOUSA et al., 2010; NIU et al., 2012; GUIMARAES et al., 2017). Com relação ao rendimento de grãos, verificou-se efeito da salinidade no sentido de reduzir a média do referido caráter. Resultados semelhantes foram observados por diversos autores (TABATABAEI; ANAGHOLI, 2012; SUN et al., 2014; SHAKERI; EMAM, 2017).

A salinidade afeta o crescimento e a produtividade das plantas por causa dos efeitos osmóticos, tóxicos e nutricionais. O estresse osmótico está relacionado com a dificuldade das plantas em absorver água; com o acúmulo de íons tóxicos, como o Na⁺ e Cl⁻, que causam uma série de problemas ao metabolismo (MUNNS, 2002; FLOWERS et al., 2015). A salinidade pode acarretar desequilíbrio nutricional causado pela salinidade devidos a redução na absorção de nutrientes essenciais à planta causado por fatores como a competição na absorção e transporte, às alterações estruturais na membrana e inibição da atividade de várias enzimas relacionadas ao metabolismo celular (ZHU, 2001; PARIDA; DAS, 2005; ARAGÃO et al., 2010).

Por outro lado, não se observou decréscimo nos demais caracteres relacionados ao crescimento avaliados no presente trabalho. As culturas respondem diferentemente à salinidade podendo ser desde sensíveis a altamente tolerantes ao ambiente salino (SANTANA et al., 2007). O sorgo [*Sorghum bicolor* (L) Moench.] é considerada uma espécie moderadamente tolerante à salinidade (AYERS; WESTCOT, 1999; SADEGHI; SHOURIJEH, 2012). Em razão disso, tem sido amplamente produzida em regiões secas que apresentam problemas com salinidade em todo o mundo (COELHO et al., 2017). Ressalta-se que o grau de redução na produção de matéria seca depende do tempo de exposição ao estresse e dos níveis de sais aplicados (MUNNS, 2002).

Além da variação entre as espécies quanto à tolerância à salinidade, existe variação dentro de uma mesma espécie. Para o caso do sorgo, vários autores têm demonstrado heterogeneidade intraespécie. Sun et al. (2014) observaram diferenças no rendimento de cultivares de sorgo quando submetidas a irrigação com água salina de até 10 dS m⁻¹. Niu et al. (2012), ao avaliarem os genótipos SS304, NK7829, Sordan79, e KS585 irrigados com água

salina com 8 dS m^{-1} , constataram que a salinidade diferenças no nível de redução do rendimento entre os genótipos. Shakeri; Emam (2017) avaliaram as respostas produtivas de 36 cultivares de sorgo granífero irrigados com água salina, observaram reduções superiores a 60% da produção de biomassa quando submetidos a água de irrigação de até 12 dS m^{-1} . Todos os autores supracitados reforçam que, apesar de ser da mesma espécie, 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.

O semiárido brasileiro é caracterizado por períodos de seca prolongados afetando a disponibilidade deste recurso. As águas subterrâneas na região semiárida são alternativas de abastecimento em épocas de seca (DEMÉTRIO et al., 1993). Considerando que as águas subterrâneas possuem, geralmente, têm elevadas condutividades elétricas, o cultivo de espécies halófitas forrageiras ou leguminosas são recomendáveis. O sorgo, reconhecido por sua tolerância moderada ao estresse salino, pode ser utilizado como alternativa para o aproveitamento de águas salinas via irrigação localizada. No presente trabalho, embora a salinidade da água de irrigação tenha tido efeito inibitório sobre o crescimento e rendimento do genótipo estudado, a redução observada em CE até $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ pode ser considerada aceitável em sorgo. Esse fato reforça que o uso de água salobra na cultura do sorgo pode ser uma alternativa de utilização na irrigação, possibilitando economia de água de abastecimento urbano, proporcionando crescimento adequado. De acordo com Guimarães et al. (2017) é viável cultivar sorgo forrageiro em regiões semiáridas brasileiras sob irrigação com água salina.

Portanto, o uso de água salina na agricultura pode ser considerado alternativa importante em regiões com baixa disponibilidade hídrica (SOARES, 2016).

5.2 Lâminas de Irrigação

A ampliação da lâmina de irrigação teve um efeito positivo sobre em dez dos dezessete caracteres avaliados no presente trabalho (Tabela 3). Tardin et al. (2013), realizando avaliação agrônômica de híbridos de sorgo granífero cultivados sob irrigação e estresse hídrico, concluíram que o estresse hídrico diminuiu a média de todas as características agrônômicas da cultura.

O estresse hídrico tem influência em todas as fases na cultura do sorgo, desde a germinação, até as fases finais do enchimento de grãos (ABDEL-MOTAGALLY; 2010; LIMA et al., 2011; TOLK et al., 2013; TARDIN et al., 2013). Todavia, segundo Magalhães

(2012), o déficit hídrico em sorgo quando acontece no estágio EC1, provoca menos danos à planta do que em EC2. No estágio EC2, a escassez de água vai resultar na redução das taxas de crescimento da panícula e das folhas e no número de sementes por panícula. Esses efeitos são devidos, provavelmente, a uma redução na área foliar, resistência estomática aumentada, fotossíntese diminuída e a uma desorganização do estado hormonal da panícula em diferenciação. Quando a falta de água acontece no EC3, o resultado é a senescência rápida das folhas inferiores, com consequente redução no rendimento de grãos.

Com relação à matéria seca, verificou-se efeito linear positivo das lâminas de irrigação (Figura 7A). Pieter e Carlesso (1996), trabalhando com comportamento do sorgo granífero em função de diferentes frações da água disponível no solo encontraram acúmulo maior de massa seca total por planta à medida que aumenta a fração de água disponível no solo, tendo encontrado os seguintes valores 60,09; 78,86; 78,85 e 111,36 g para as seguintes frações 0,65; 0,75; 0,85; 0,95, respectivamente. Esse resultado corrobora com os obtidos nesse trabalho com base ao acúmulo de massa seca total por planta em resposta a fração de água disponível.

Concernente ao rendimento, também se verificou incremento em função do aumento da lamina de irrigação (Figura 7B). Klocke et al. (2012) afirmam haver uma resposta linear positiva do rendimento de grãos e a evapotranspiração da cultura (ETc). Zwirter et al. (2015) constataram que o comprimento da panícula apresentou resposta linear negativa com o incremento da irrigação deficitária, em que cada redução de 25% na ETc, observou-se decréscimo de 0,05 m no comprimento médio das panículas.

A maioria dos resultados reportados na literatura demonstram uma relação linear entre o rendimento de grãos e a ETc (LAMM et al., 1994; TOLK & HOWELL, 2009; KLOCKE et al., 2010; IGBADUN, 2012). Klocke et al. (2012) verificaram uma resposta linear positiva do rendimento de grãos e a evapotranspiração da cultura (ETc). Observando que a fase crítica de consumo de água pelas plantas de sorgo ocorre durante a emissão da panícula, quando deve ser mantida uma reposição de 100% da ETc; já no período vegetativo, as plantas podem ser mantidas com limitada reposição de água (BAUMHARDT et al., 2007).

Segundo ALBUQUERQUE & MENDES (2011), a produtividade do sorgo está diretamente relacionada com a quantidade de água no solo disponível à cultura e com a demanda evaporativa da atmosfera. Nestes casos, a utilização de irrigação deficitária pode resultar em aumento positivo na eficiência do uso da água, impactando na produção e na qualidade de grãos e na produção de biomassa.

Costa (2017) verificou que o rendimento de grãos, a massa de grãos por panícula e o comprimento de panícula apresentaram resposta linear negativa com o incremento da

irrigação deficitária (Figura 7). O maior rendimento de grãos ($6.285,4 \text{ kg ha}^{-1}$) foi obtido com plantas mantidas com reposição de 100% da ETc. Com a utilização de irrigação deficitária, cada de redução de 25% na aplicação de água na reposição da ETc resultou em diminuição de 1.113 kg ha^{-1} no rendimento de grãos das plantas de sorgo.

A altura da planta e a altura de colmo tiveram incremento positivo com lâminas crescentes (Figura 7C, Figura 8A). Ou seja, os menores valores de altura de planta ocorreram nas que foram submetidas as menores lâminas de irrigação. Isso pode ser explicado, pois a baixa disponibilidade de água no solo acarreta uma diminuição do teor hídrico foliar levando a um déficit hídrico. O fechamento dos estômatos é uma rápida resposta ao déficit, que limita a condutância dos gases nas folhas e, conseqüentemente, reduz a fotossíntese e a produção de fotoassimilados (MUTAVA et al., 2011; MAGALHAES et al., 2012a).

Coelho et al. (2016) trabalhando com plantas de sorgo submetidas à deficiência hídrica observaram redução na altura das plantas que tiveram déficit hídrico. Ávila et al. (2011) também constataram que a altura da planta respondeu de maneira linear a irrigação, para o híbrido de milho IAC 125. A menor altura, sem irrigação, foi de 141,6 cm. A irrigação promoveu a partir desde ponto um acréscimo de 0,094 cm por mm de água aplicado, sendo que a altura final das plantas chegou próximo aos 217 cm. Costa et al. (2017) constatou um aumento na altura da planta de 206,82 cm, observada no tratamento de menor lamina aplicada ($L1 = 385,0 \text{ mm}$, equivalente a 50% da ETc), até 281,96 cm, observado na maior lamina aplicada ($L5 = 1.060,2 \text{ mm}$, equivalente a 150% da ETc), representando um acréscimo de 36,33%.

Resultados semelhantes foram constatados por Zwirtes et al. (2015) avaliando o desempenho produtivo e o retorno econômico da cultura do sorgo submetida a irrigação deficitária. Os autores verificaram que a altura das plantas de sorgo, mensurada aos 80 dias após a emergência (DAE), apresentou um aumento linear com o aumento da lâmina (de 25% para 100% de reposição da ETc). De acordo com Freitas et al. (2012), a altura da planta evidencia o seu desenvolvimento e crescimento do colmo, sendo importante no acúmulo de reservas da planta.

As lâminas de irrigação aumentaram as médias de quase todos os caracteres relacionados às folhas (Figura 8B, C; Figura 9 A, B). Resultados semelhantes foram observados por outros autores (FARRÉ; FACI, 2006; MOREIRA, 2011; SILVA et al., 2012; ZWIRTES et al., 2015; COSTA, 2017). Segundo Godbharle et al. (2010), a cultura do sorgo apresenta uma correlação positiva entre a produtividade de grãos por planta e o índice de área foliar, indicando haver aumento na produtividade de grãos com o aumento no índice de área foliar. Diversos fatores podem influenciam o IAF, entre esses, o número de rebrotas, o tamanho e a largura das folhas,

número de folhas verdes, eficiência fotossintética, a influência dos genótipos e os fatores edafoclimáticos da região. De acordo com Leme et al. (1984), o índice de área foliar (IAF) é efetivo para avaliar a rendimento final, visto que os maiores valores durante o ciclo de desenvolvimento estariam relacionados com a maior produção final de colmos.

Observou-se que os fatores salinidade (condutividade elétrica) e lâminas de irrigação interagiram com relação a eficiência de uso de água (Figura 10). A interação verificada é do tipo simples, isto é, o ordenamento das lâminas dentro da salinidade, bem como, a salinidade dentro das lâminas praticamente é o mesmo. Esse tipo de interação é função da magnitude da diferença entre os níveis de um fator dentro do outro. Assim sendo, a maior eficiência do uso de água, em qualquer nível de salinidade, foi constatada na lâmina 321 mm, embora decrescente. A eficiência do uso de água aumentou com as lâminas de irrigação, sendo maior na água com maior condutividade elétrica ($1,5 \text{ ds m}^{-1}$).

No presente estudo, os resultados obtidos comprovam que o sorgo pode ser cultivado mesmo em condições de estresse salino e de déficit hídrico. Segundo Albuquerque et al. (2010) a cultura do sorgo apresenta elevada produção de biomassa, rusticidade e maior tolerância ao déficit hídrico em relação ao milho. A planta do sorgo se adapta a uma gama de ambientes, principalmente, sob condições de deficiência hídrica, desfavoráveis à maioria de outros cereais. O sorgo, devido a sua resistência à seca, é considerado como uma cultura mais apta para as regiões áridas, em virtude de sua alta eficiência pelo uso da água, mesmo quando se irriga com lâmina deficitária. Apresenta grande vantagem devido a rebrota, podendo ter mais de um ciclo com produção maior até que o primeiro corte, pois a intensidade da rebrota é proporcional a sanidade da época do primeiro corte e o rendimento da rebrota depende do número de plantas (perfilho) existentes na plantação, do material genético, das condições de cultivo e do ambiente (TARDIN; RODRIGUES, 2008). Portanto, o sorgo apresenta-se como boa alternativa para produção de forragem no semiárido brasileiro, produz em condições de delimitado suprimento de água em longos períodos de seca (ELIAS et al., 2016), além capacidade adaptativa e moderada tolerância a salinidade (AQUINO et al. 2007).

6 CONCLUSÃO

Concluiu-se que o sorgo pode ser cultivado mesmo em condições de estresse salino ($\leq 3,0$ dS/m) e de déficit hídrico (300,0 mm).

REFERÊNCIAS

- ABDEL-MOTAGALLY, F. M. F. Avaliação da eficiência de uso da água sob diferentes regimes hídricos em sorgo de grãos (*Sorghum bicolor*, L. monech). *World Journal of Agricultural Sciences*, v. 6, n. 5, p.499-505, 2010.
- ABUSUWAR, A. O. Effect of fermented manures on intercropped sudan grass (*Sorghum sudanese* L.) And clitoria (*Clitoria ternate*) grown in an arid saline environment. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, v. 29, n. 1, p. 269-277, 2019.
- ABUSUWAR, A. O.; BAKSHAWAIN, A. A. Effect of chemical fertilizers on yield and nutritive value of intercropped Sudan grass (*Sorghum Sudanense*) and cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) forages grown in an adverse environment of western Saudi Arabia. *African Journal of Microbiology Research*, v. 6, n. 14, p. 3485-3491, 2012.
- ALBUQUERQUE, C. J. B. et al. Espacamento reduzido para o cultivo do sorgo granífero no sistema irrigado e em sequeiro, *Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias*, v.3, n. 2, p.7-16, 2010.
- ALBUQUERQUE, C. J. B.; MENDES, M. C. Época de semeadura do sorgo forrageiro em duas localidades do estado de Minas Gerais. *Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias*, v.4, n.1 p.116-134, 2011.
- ALLEN, R. G. et al. FAO 2006. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos., p. 298, 2006.
- ALMODARES, A.; HADI, M. R. Production of bioethanol from sweet sorghum: A review. *African Journal of Agricultural Research*, Nairobi, v.4, p.772-780, 2009.
- ANA. Agência Nacional de Águas. Conjuntura dos recursos hídricos: Informe 2016. Brasília: ANA, 2016, 95p.
- ANDRADE, E. M. DE et al. Uncertainties of the rainfall regime in a tropical semi-arid region: the case of the State of Ceará. *Revista Agro@mbiente On-line*, v. 10, n. 2, p. 88, 2016.
- ANDRADE, E. M. et al. Water as capital and its uses in the Caatinga. *Caatinga: The Largest Tropical Dry Forest Region in South America*, p. 281–302, 2018.
- 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*, Viçosa, MG, v. 31, n. 5, p. 961-971, 2007.
- Aragão, R. M et al. Absorção, fluxo no xilema e assimilação do nitrato em feijão-caupi submetido à salinidade. *Revista Ciência Agronômica*, v.14, p.100-106, 2010.
- ARAÚJO, J., PAGANINE, J. & GUEDES, S. (2014). *Revista Em Discussão. Jornal do Senado*, 23(Ano 5), pp 6–11.
- ARENHARDT, E. G. et al. A sudangrass cultivar with high biomass and grain yields.

Crop Breeding and Applied Biotechnology, v. 16, p. 158-162, 2016.

AVILA, M. R.; et al. Híbridos de milho pipoca cultivados sob diferentes lâminas de irrigação. *Scientia Agraria*, v. 12, n. 4, p. 199-209, 2011.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A qualidade da água na agricultura. 2 ed. Campina Grande: DEAg/CCT, Universidade Federal da Paraíba. 1999. 153p.

BATISTA, P. S. C. et al SANTOS, C. V.; JULIO, M. P. M. Performance of grain sorghum hybrids under drought stress using GGE biplot analyses. *Genetics and Molecular Research*, Ribeirão Preto, v. 16, n. 3, p. 1-12, 2017.

BAUMHARDT, R. L et.al. Sorghum Management Practices Suited to Varying Irrigation Strategies: A Simulation Analysis. *Agronomy Journal*, Madison, v.99, p.665-672, 2007.

BUTCHER, K et al. Soil salinity: A threat to global food security. *Agronomy Journal*, v. 108, n. 6, p. 2189-2200, 2016.

COELHO, I.L. et al. Acúmulo de biomassa em plantas de sorgo submetidas à deficiência hídrica. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA. 60. SBPC, 2008. Campinas. Anais... Campinas. UNICAMP, 2008. Disponível em: <<http://www.sbpnet.org.br/livro/60ra/resumos/resumos/R1259-1.html>>. Unicamp, Campinas, SP, 2008. Acesso em: 20 de ago. 2020.

COELHO, D. S. *et al.* Acúmulo e distribuição de nutrientes em genótipos de sorgo forrageiro sob salinidade. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 16, n. 2, p. 178-192, 2017.

COELHO, D. S. *et al.* Germinação e crescimento inicial de variedades de sorgo forrageiro submetidas ao estresse salino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, PB, v. 18, n. 1, p. 25-30, 2013.

COELHO, D. S.. Influência da salinidade nos aspectos nutricionais e morfofisiológicos de genótipos de sorgo forrageiro. Juazeiro, BA, 2013. 86 p. Dissertação (mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, BA, 2013.

COSTA, F. G. B. et al. Crescimento da melancia e monitoramento da salinidade do solo com TDR sob irrigação com águas de diferentes salinidades. *Irriga*, v. 17, n. 3, p. 327-336, 2012.

COSTA, A. R. F. C *et al.* Desempenho de variedades de sorgo dupla aptidão submetidas a diferentes lâminas de irrigação com água salina. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 18, n. 3, p. 417-428, 2019.

COSTA, A. R. I. F. C; MEDEIROS, J.F. Água salina como alternativa para irrigação de sorgo para geração de energia no Nordeste brasileiro. *Water Resources and Irrigation Management*, Cruz das Almas, BA, v. 6, n. 3, p. 169-177, 2017.

COSTA, J. P. N. Crescimento e produção da primeira rebrota de cultivares de sorgo sob diferentes lâminas de irrigação. 83p. Dissertação (mestrado em fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, MOSSORÓ- RN, 2017.

DEMÉTRIO, J. G. A. et al. Qualidade de água subterrânea no nordeste brasileiro. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA

CIÊNCIA, 45., Recife, 1993. Anais... Recife: UFPE, 1993. p. 79.

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

ELIAS, O. F. A. S. et al. Características agronômicas de cultivares de sorgo em sistema de plantio direto no semiárido de Pernambuco. Revista Ciência Agrícola, v. 14, n. 1, p. 29-36, 2016.

EMBRAPA. Sorgo: 500 perguntas/500 respostas. Brasília, DF: EMBRAPA, 2015. 332 p.

EMBRAPA. Sorgo sudão: Sudan 4202-variedade tolerante à salinidade com aptidão para o feno. Recife, PE, 2000. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/487334/sorgo-sudao-sudan-4202-variedade-tolerante-a-salinidade-com-aptidao-para-feno>. Acesso em: 11 ago. 2020.

ENDRES, L. et al. Gas exchange alteration caused by water deficit during the bean reproductive stage Alterações das trocas gasosas na fase reprodutiva e produtividade do feijão sob déficit hídrico. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, n. 82, p. 11-16, 2010.

ENGLISH, M. J.; SOLOMON, K. H.; HOFFMAN, G. J. A paradigm shift in irrigation management. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v. 128, n. 5, p. 267-277, 2002.

ESTEVES, B. S.; SUZUKI, M.S. Plants under effect of salinity. Oecologia Australis, v. 12, n. 4, p. 662-679, 2008.

FARRÉ, I.; FACI, J. M. Comparative response of maize (*Zea mays L.*) and sorghum (*Sorghum bicolor L. Moench*) to deficit irrigation in a Mediterranean environment, Agricultural Water Management, Amsterdam, v.83, p.135-143, may. 2006.

FEIJÃO, A. R. *et al.* Efeito da nutrição de nitrato na tolerância de plantas de sorgo sudão à salinidade. Revista Ciência Agronômica, Fortaleza, CE, v. 42, n. 3, p. 675-683, 2011.

FEITOSA, D. R. C. Trocas gasosas, crescimento e produção de sorgo sacarino sob lâminas de irrigação com água salobra e doses de potássio. Recife, PE, 2019. 76 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, 2019.

FERNANDES, D. A. et al. Uso da água e sustentabilidade da agricultura. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 8, n. 5, p. 101-107, 2013.

FILHO, J. N. *et al.* Efeito de lâminas de irrigação sobre o rendimento e qualidade da fibra de cultivares de algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum L. R. Latifolium Hutch*). Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, v. 2, n. 3, p. 295-299, 1998.

FLOWERS, T. J.; MUNNS, R.; COLMER, T. D. Sodium chloride toxicity and the cellular basis of salt tolerance in halophytes. Annals of Botany, Oxford, v. 115, n. 3, p. 419- 431, 2015.

FORTES, C. et al. Desempenho agronômico de híbridos de sorgo biomassa nas condições

edafoclimáticas do tocantins. *Energia na Agricultura*, v. 33, p. 27–30, 2018.

FREIRE, J. L. O.; NASCIMENTO, G. S. Produção de mudas de maracujazeiros amarelo e roxo irrigadas com águas salinas e uso de urina de vaca. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 41, n. 4, p. 111-120, 2018.

FREITAS, C. A. S. DE et al. Produção de matéria seca e trocas gasosas em cultivares de mamoneira sob níveis de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 11, p. 1168–1174, 2011.

FREITAS, G. A. et al. Adubação orgânica no sulco de plantio e sua influência no desenvolvimento do sorgo. *Journal of Biotechnology and Biodiversity, Tocantins*, v. 3, v. 1: p. 61-67, fev, 2012.

GEERTS, S.; RAES, D. Deficit irrigation as anon-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agricultural Water Management*, v. 96, n. 9, p. 1275-1284, 2009.

GODBHARLE, A. R.; MORE, A.W.; AMBEKAR, S. S. Genetic variability and correlation studies in elite ‘B’ and ‘R’ lines in kharif sorghum. *Electronic Journal of Plant Breeding, Tamil Nadu*, v.1, n.4, p. 989-993, jul. 2010.

GUIMARÃES, M. J. M. Tolerância de variedades de sorgo granífero à salinidade em condições semiáridas. RECIFE-PE, 2017. 101 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, RECIFE-PE, 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo agropecuário. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/templates/censo_agro/resultadosagro/index.html
Acesso em: 15 ago. 2020

IGBADUN, H. E. Impact of methods of administering growth-stage deficit irrigation on yield and soil water balance of a maize crop (SAMAS TZEE). *Nigerian Journal of Basic and Applied Sciences, Sokoto*, v. 20, n. 4. p. 357-367, dec. 2012.

IVUSHKIN, K. et al. Global mapping of soil salinity change. *Remote Sensing of Environment*, v. 231, p. 111260, 2019.

KHANUM, S. A.; et. al. Digestibility studies in sheep fed sorghum, sesbania and various grasses grown on medium saline lands. *Small Ruminant Research*, v. 91, n. 1, p. 63-68, 2010.

KLOCKE, N. L. et al. Planning for déficit irrigation, *Applied Engineering in Agriculture*, v. 26, n. 3. p. 405-412, 2010.

KLOCKE, N. L. et al. Resposta do rendimento de sorgo à irrigação deficitária. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, v. 55, n. 3, p.947-955, 2012.

LACERDA, C. F. et al. Interação entre salinidade e fósforo em plantas de sorgo forrageiro. *Revista Ciência Agronômica*, v.37, n.3, p.258-263, 2006.

LACERDA, C. F. *et al.* Influência do cálcio sobre o crescimento e solutos em plântulas de sorgo estressadas com cloreto de sódio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, p. 289-295, 2004.

LAMM, F. R.; ROGERS, D. H.; MANGES, H. L. Irrigation scheduling with planned soil

- water depletion. Transaction of the ASAE, St. Joseph, v.37, n.5, p. 1491-1497, 1994.
- LEME, E. J. A., MANIERO, M. A.; GUIDOLIN, J. C. Estimativa da área foliar da cana-de-açúcar e sua relação com a produtividade. Cadernos Planalsucar, Piracicaba, n. 2, p. 3-22, 1984.
- LIMA, N. R. C. B et al. Periodos críticos de sorgo e palisadegrass no cultivo intercalado para zoneamento de risco climático. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 40, n. 7, p. 1452-1457, 2011.
- MAGALHAES, P. C.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; VIANA, J. H. M. Resposta fisiológica do sorgo ao estresse hídrico em casa de vegetação. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. 21 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 46).
- MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; RODRIGUES, J. A. S. Cultivo do Sorgo. Embrapa Milho e Sorgo. 2008. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/35247/1/Ecofisiologia.pdf>>. Acesso em 15/08/2020
- MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M. Ecofisiologia da Produção de Sorgo. Sete Lagoas: EMBRAPA Milho e Sorgo, 2003. 4p. (Comunicado Técnico, 87).
- MAY, A. et al Cultivares de sorgo para o mercado brasileiro na safra 2011/2012. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. 30 p. (documentos, 117).
- MOREIRA, L. R. Caracterização morfofisiológica de cultivares de sorgo sacarino em estresse hídrico. 2011. 89f. Tese (Doutorado em fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.
- MORRIL, W. B. B *et al.* Produção e nutrientes minerais de milheto forrageiro e sorgo sudão adubado com soro de leite. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, v. 16, n. 2, p. 182–188, 2011.
- MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. Plant, Cell and Environment, v. 25, n. 02, p. 239-250, 2002.
- MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. Plant, Cell and Environment, v. 25, n. 02, p. 239-250, 2002.
- MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology, v.59, p.651-681, 2008.
- MURKUTE, A. A.; SHARMA, S.; SINGH, S. K. Citrus in terms of soil and water salinity: a review. 2005.
- MUTAVA, R. N. et al. Characterization of sorghum genotypes for traits related to drought tolerance. Field Crops Research, v. 123, p. 10-18, 2011.
- NASCIMENTO, A. R. L.; et. al. Manejo da adubação nitrogenada em solo alcalino cultivado com sorgo Sudão. Revista GEMA – Ciências Ambientais e Biotecnologia, v. 6, n. 2, p. 72-80, 2020.
- NIU, G. et al. Growth and Physiological Responses of Maize and Sorghum Genotypes to

- Salt Stress. International Scholarly Research Network, v. 2012, p. 1-12, 2012.
- OLIVEIRA, A. M. et al. Cultivo de rabanete irrigado com água salina. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 7, n. 4, p. 5, 2012.
- PACHECO, R. F et. al. CALLEGARO, A. M. Características produtivas de pastagens de milho ou capim sudão submetidas ao pastejo contínuo de vacas para abate. *Ciência Animal Brasileira, Goiânia*, v. 15, n. 3, p. 266-276, jul./set., 2014.
- PARIDA, A. K.; DAS, A. B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environment Safety*, v. 60, n. 03, p. 324-349, 2005.
- PEDROTTI, A. et al. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 19, n. 2, p. 1308-1324, 2015.
- PERAZZO, A. F. *et al.* Características agronômicas e eficiência do uso da chuva em cultivares de sorgo no semiárido. *Ciência Rural, Santa Maria, RS*, v. 43, n. 10, p. 1771-1776, 2013.
- PEREIRA, L. S., OWEIS, T. & ZAIRI, A. (2002). Irrigation management under water scarcity. *Agricultural Water Management*, 57(3), pp 175–206.
- PIETER, M. X.; CARLESSO, R. Comportamento do sorgo granífero em função de diferentes frações da água disponível no solo. *Ciência Rural, Santa Maria*, v.26, n.1, p.51-55, 1996.
- REDDY, B. V. S. et al. Sorghum genetic enhancement for climate change adaptation. In: REDDEN, J. R.; LOTZECAMPEN, H.; YADAV, S. S.; HATFIELD, J. L. (Ed.). *Crop adaptation to climate change*. Oxford: Wiley-Blackwell, 2011.
- RESENDE, A. V.; COELHO, A. M.; RODRIGUES, J. A. S.; SANTOS, F. C. Adubação maximiza o potencial produtivo do sorgo. *Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo*, 2009. 8 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 119).
- RODRIGUES, J. A. S. *Cultivo do sorgo*. 6. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010.
- RODRIGUES, V.S.. *Manejo da irrigação com água salina na cultura do milho no Maciço de Baturité-Ce*. 2019.
- SADEGHI, H.; SHOURIJEH, F. A. Salinity induced effects on growth parameters, chemical and biochemical characteristics of two forage sorghum (*Sorghum bicolor* L.) cultivars. *Asian Journal of Plant Sciences*, v. 11, n. 1, p. 19-27, 2012.
- SANTANA, M. J et al Efeitos da salinidade da água de irrigação na brotação e desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) e em solos com diferentes níveis texturais. *Ciência e Agrotecnologia*, v.31, p.1470- 1476, 2007.
- SANTOS, H. G. et al. Sistema brasileiro de classificação de solos. *Embrapa Solos*, p. 353, 2018.
- 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, J. N. et al. Biometria em Plantas de Sorgo Submetidas à Deficiência Hídrica e a Diferentes Concentrações de Silício. *Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)*,

- Capitão Poço - AM. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 29. 2012. Águas de Lindóia. Anais... Águas de Lindóia: CNMS, 2012. p.275-281.
- SILVA, J. V. Caracteres fisiológicos e bioquímicos de dois genótipos de sorgo forrageiro submetidos a salinidade. Fortaleza, 2003. 109p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2003.
- SILVA, M. O et al. Crescimento de meloeiro e acúmulo de nutrientes na planta sob irrigação com águas salinas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 12, n. 6, p. 593-605, 2008.
- SILVA, A. D. G. Efeito da salinidade e adubação nitrogenada na produção do sorgo BRS ponta negra no semiárido. In: Congresso Brasileiro de Zootecnia, 28. 2018, Goiânia, GO, 2018.
- SILVA, K. M. P *et al.* Comportamento de variedades de sorgo em função de lâminas de irrigação e densidade de plantas. In: Inovagri International Meeting, IV. 2017.
- SIMILI, F. F. et al. Resposta do híbrido de sorgo-sudão à adubação nitrogenada e potássica: composição química e digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 32, n. 2, p. 474-480, 2008.
- SIMÕES, W. L. *et al.* Respostas de crescimento e fisiologia de variedades de sorgo submetidas a estresse salino. In: Inovagri International Meeting, IV. 2017.
- SOARES, H. R. et al. Mineral nutrition of crisphead lettuce grown in a hydroponic system with brackish water. Revista Caatinga, Mossoró, v. 29, n. 3, p. 656-664, 2016.
- SOUSA, C. H. C. Análise da tolerância à salinidade em plantas de sorgo, feijão-de-corda e algodão. Fortaleza, CE, 2007. 73 p. Dissertação (Mestrado em irrigação e drenagem) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2007.
- SOUSA, C. H. C. *et al.* Respostas morfofisiológicas de plantas de sorgo, feijão-de-corda e algodão sob estresse salino. Agropecuária Técnica, Areia, PB, v. 31, p. 29-33, 2010.
- SOUSA, P. G. R. *et al.* Efeito de diferentes lâminas de irrigação e cobertura do solo no crescimento da cultura do sorgo. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, Fortaleza, CE, v. 11, n. 4, p. 1528 - 1537, 2017.
- SOUSA, P. G. R. Produtividade e rentabilidade da forragem de sorgo sob lâminas de irrigação e níveis de cobertura morta em condições semiáridas. Fortaleza, CE, 2017. 95 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2017.
- SOUZA, V. H. M.; INOMOTO, M. M. Host suitability of grain sorghum and sudangrass for *Pratylenchus brachyurus*. Arquivos do Instituto Biológico, v. 86, p. 1-4, 2019.
- SUN, Y et al. Variability in Salt Tolerance of *Sorghum bicolor* L. Agricultural Science, v. 2, n. 1, p. 09-21, 2014.
- 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.
- TANAKA, A. A. Desenvolvimento de plantas de sorgo submetidas a diferentes níveis de

lençol freático. 2010. 54 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

TARDIN, F. D. et al. Avaliação agrônômica 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.

TARDIN, F. D.; RODRIGUES, J. A. S. Cultivo do Sorgo (Sistemas de Produção, 2) .Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 4^a edição, p.3Set./2008. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/491912/cultivares>> Acesso em 15 de ago. 2020.

TOLK, J. A.; HOWELL, T. A. Transpiration and Yield Relationships of Grain Sorghum Grown in a Field Environment, *Agronomy Journal*, Madison, v.101, n.3, p.657-662, 2009.

TOLK, J. A.; HOWELL, T. A.; MILLER, F. R. Yield component analysis of grain sorghum grown under water stress, *Field Crops Research*, Amsterdam, v.145, p.44-51, 2013.

YADAV, S. et al. Causes of salinity and plant manifestations to salt stress: a review. *Journal of Environmental Biology*, v. 32, n. 5, p. 667, 2011.

ZHU, J. K. Plant salt tolerance. *Trends Plant Science*, v. 6, n. 02, p. 66-71, 2001.

ZWIRTES, A. L *et al.* Desempenho produtivo e retorno econômico da cultura do sorgo submetida à irrigação deficitária. *Engenharia agrícola*, Jaboticabal, SP, v. 35, n. 4, p. 676-688, 2015.