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

HERNANE ARLLEN MEDEIROS TAVARES

CRESCIMENTO, TROCAS GASOSAS, PRODUÇÃO DE BIOMASSA E NUTRIÇÃO MINERAL DE MUDAS DE UMBU-CAJAZEIRA (*Spondias* sp.) IRRIGADAS COM ÁGUA SALINA

MOSSORÓ
2023

HERNANE ARLLEN MEDEIROS TAVARES

CRESCIMENTO, TROCAS GASOSAS, PRODUÇÃO DE BIOMASSA E NUTRIÇÃO MINERAL DE MUDAS DE UMBU-CAJAZEIRA (*Spondias* sp.) IRRIGADAS COM ÁGUA SALINA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Propagação de plantas e Fruticultura

Orientador: Prof. Dr. Vander Mendonça

MOSSORÓ

2023

© Todos os direitos estão reservados a 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 n° 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei n° 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

TT231c

Tavares, Hernane Arllen Medeiros.
CRESCIMENTO, TROCAS GASOSAS, PRODUÇÃO DE BIOMASSA E NUTRIÇÃO MINERAL DE MUDAS DE UMBU-CAJAZEIRA (Spondias sp.) IRRIGADAS COM ÁGUA SALINA / Hernane Arllen Medeiros Tavares. - 2023.
63 f. : il.

Orientador: Vander Mendonça.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, 2023.

1. Semiárido. 2. produção de mudas. 3. tolerância ao sal. I. Mendonça, Vander, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automáto em conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC´s) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

HERNANE ARLLEN MEDEIROS TAVARES

CRESCIMENTO, TROCAS GASOSAS, PRODUÇÃO DE BIOMASSA E NUTRIÇÃO MINERAL DE MUDAS DE UMBU-CAJAZEIRA (*Spondias* sp.) IRRIGADAS COM ÁGUA SALINA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Propagação de plantas e Fruticultura

Defendida em: _31_ / _03_ / _2023_.

BANCA EXAMINADORA

gov.br Documento assinado digitalmente
VANDER MENDONCA
Data: 01/06/2023 14:52:02-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Vander Mendonça (UFERSA)
Presidente

Profa. Dra. Luciana Freitas de Medeiros Mendonça (UFCG)
Membro Examinador

Dr. Elias Ariel de Moura (UFRR)
Membro Examinador

Profa. Dra. Elizangela Cabral dos Santos (UFERSA)
Membro Examinador

À minha família.

EU DEDICO

AGRADECIMENTOS

Sou grato a Deus pelo dom da vida e por tantas bênçãos em minha vida.

Agradeço a UFERSA e aos competentes professores, pela rica experiência de ser aluno desta instituição.

Agradeço ao CNPq pela concessão da bolsa, apoio essencial a desenvolvimento e sobrevivência da pesquisa e da formação de bons profissionais.

Agradeço a toda minha família pelo apoio incondicional. A Hélida, minha esposa, pela companhia, compreensão e apoio. A meus pais, Fernando e Arlete, e meus irmãos Fernando Filho e Ananda Heloise, assim como Yasmin, minha nora, com Hadassa, minha sobrinha.

Agradeço a todo o Grupo de Pesquisa em Fruticultura da UFERSA pela amizade, companheirismo, ajuda, troca de experiências e momentos compartilhados.

Agradeço ao meu orientador, o Prof. Dr. Vander Mendonça, por toda a paciência e ensinamentos para minha formação e para a vida.

Agradeço a Banca Examinadora com Prof. Dr. Vander Mendonça, Prof. Dr. Luciana Freitas, Dr. Elias Ariel e Profa. Dra. Elizangela Cabral pela ajuda e pelas valiosas contribuições para esta dissertação.

Agradeço a todos os que compõem o Laboratório de Nutrição de Plantas da UFERSA pelas ajudas e orientações na realização das análises.

Agradeço a toda coordenação da Pós-Graduação em Fitotecnia, em nome do Prof. Dr. Aurélio Paes Barros Júnior, sempre atencioso e prestativo quando precisei de alguma orientação.

Sou grato pelas amizades construídas, pelos momentos partilhados e pelas experiências adquiridas durante o mestrado.

“O otimista é um tolo. O pessimista, um chato.
Bom mesmo é ser um realista esperançoso”.

Ariano Suassuna

TAVARES, Hernane Arllen Medeiros. **Crescimento, trocas gasosas, produção de biomassa e nutrição mineral de mudas de umbu-cajazeira (*Spondias* sp.) irrigadas com água salina**. 2023. 63f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, RN.

RESUMO

Um dos grandes desafios da agricultura contemporânea está relacionado diretamente com a disponibilidade e qualidade da água. O excesso de salinidade, especialmente em regiões áridas e semiáridas, desponta como um fator que tem afetado grandes áreas de terra em todo o mundo, com impacto severo na agricultura. São escassas as informações na literatura sobre as respostas da umbu-cajazeira à salinidade na fase de produção de mudas nas condições do semiárido brasileiro. Este trabalho teve por objetivo avaliar as respostas de mudas de umbu-cajazeira submetidas a irrigação com águas salinas. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, localizado na Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró/RN. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com oito repetições e seis níveis de salinidade na água de irrigação (CEa: 0,5; 1,5; 2,5; 3,5; 4,5; 5,5 dS m^{-1}). Após 90 do transplantio obteve-se os parâmetros de crescimento, produção de biomassa, nutrição mineral, trocas gasosas e fluorescencia da clorofila. Determinou-se ainda o nível de máxima tolerância da cultura. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, teste F ($p \leq 0,05$) no programa estatístico SISVAR. Os resultados apontam para os efeitos deletérios da salinidade nas mudas. Houve redução no crescimento e na produção de biomassa, além do efeito negativo nas trocas e na produção de fotossíntese. As mudas foram tolerantes até o nível de 1,5 dS^{-1} de salinidade na água de irrigação.

Palavras-chave: Semiárido; produção de mudas; tolerância ao sal.

TAVARES, Hernane Arllen Medeiros. **Growth, gas exchange, biomass production and mineral nutrition of seedlings of umbu-cajazeira (Spondias sp.) irrigated with saline water.** 2023. 63f Dissertation (Master's in Phytotechnics) - Federal Rural University of the Semi-Arid, Mossoró, RN.

ABSTRACT

One of the great challenges of contemporary agriculture is directly related to the availability and quality of water. Excess salinity, especially in arid and semi-arid regions, has emerged as a factor that has affected large areas of land around the world, with a severe impact on agriculture. There is little information in the literature about the responses of umbu-cajazeira to salinity in the seedling production phase in the conditions of the Brazilian semi-arid region. This work aimed to evaluate the responses of umbu-cajazeira seedlings submitted to irrigation with saline water. The experiment was conducted in a greenhouse, located at the Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró/RN. The experimental design used was completely randomized, with eight replications and six levels of salinity in the irrigation water (ECa: 0.5; 1.5; 2.5; 3.5; 4.5; 5.5 dS m^{-1}). After 90 days of transplanting, the growth parameters, biomass production, mineral nutrition, gas exchange and chlorophyll fluorescence were obtained. The level of maximum tolerance of the culture was also determined. The data obtained were submitted to analysis of variance, F test ($p \leq 0.05$) in the SISVAR statistical program. The results point to the deleterious effects of salinity on seedlings. There was a reduction in growth and biomass production, in addition to the negative effect on exchanges and photosynthesis production. The seedlings were tolerant up to the level of 1.5 dS^{-1} salinity in the irrigation water.

Keywords: Semiarid.; seedling production; salt tolerance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Plantas representativas de cada tratamento após 90 dias irrigadas com águas salinas nas concentrações: 0,5 (A); 1,5 (B); 2,5 (C); 3,5 (D); 4,5 (E); e 5,5 dS m^{-1} (F) 30

Figura 2 – Análise de fluorescência da clorofila a em condição escura (A) e fluorescência da clorofila a em condição clara (B) 32

Figura 3 – Análise de regressão para as variáveis altura de planta (AP) (A), número de folhas (NF) (B), diâmetro da estaca (DE) (C), diâmetro da haste (DH) (D), sobrevivência das folhas (SF) (E) e matéria seca total (MST)(F) 33

Figura 4 – Análise de regressão para as variáveis: concentração interna de CO_2 (*Ci*) (A), transpiração (E) (B), condutância estomática (gs) (C), taxa de assimilação de CO_2 (A) (D), eficiência instantânea do uso da água (EiUA) (E) e eficiência instantânea da carboxilação (EiCi) (F) e temperatura foliar (Tl) (G) de mudas de umbu-cajazeira irrigadas com águas salinas 36

Figura 5 – Análise de regressão para as variáveis: máxima eficiência quântica do fotossistema II (PSII) (Fv/Fm) (A), eficiência quântica efetiva de PSII (Y) (B), taxa de transporte de elétrons (ETR) (C), fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado (Fo') (D) e rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada (YNPQ) (E) de mudas de umbu-cajazeira irrigadas com águas salinas..... 38

Figura 6 – Mudas transplantadas (A), manejo de irrigação dos tratamentos (B), disposição das mudas na casa de vegetação (C) e as mudas utilizadas para cálculo da irrigação (D) 52

Figura 7 – Análise de regressão para as variáveis matéria seca das folhas (MSF) (A), matéria seca da estaca (MSE) (B), matéria seca da haste (MSH) (C) e matéria seca da raiz (MSR) (D) 55

Figura 8 – Composição em matéria seca por partes da planta de umbu-cajazeira submetida a diferentes níveis de salinidade na água de irrigação 56

Figura 9 – Análise de regressão para teores de nutrição mineral na folha de mudas de umbu-cajazeiras submetidas a salinidade para os nutrientes fósforo (P) (A), potássio (K) (B), cálcio (Ca) (C), magnésio (Mg) (D) e Sódio (Na) (E) 57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização química do substrato no início e ao final do experimento 27

Tabela 2 – Caracterização química do fertilizante foliar Liqui-Plex Fruit® 28

Tabela 3 – Quantidades de sais utilizados no preparo das águas salinas 28

Tabela 4 – Classificação das plantas quanto à tolerância à salinidade, baseando-se na redução da produção .....……..... 31

Tabela 5 – Resumo da análise de variância ($p<0,05$) para as variáveis altura de planta (AP), número de folhas (NF), diâmetro da estaca (DE), diâmetro da haste (DH), sobrevivência das folhas (SF) e matéria seca total (MST) 33

Tabela 6 – Classificação das plantas jovens de umbu-cajazeiras quanto à tolerância à salinidade, baseando-se na redução da produção de matéria seca total (MST), seguindo a classificação apresentada Fageria (1985) 35

Tabela 7 – Resumo da análise de variância ($p<0,05$) para as variáveis: concentração interna de CO_2 (*Ci*), transpiração (E), condutância estomática (gs), taxa de assimilação de CO_2 (A), eficiência instantânea do uso da água (EiUA) e eficiência instantânea da carboxilação (EiCi) e temperatura foliar (Tl) de mudas de umbu-cajazeira irrigadas com águas salinas 35

Tabela 8 – Resumo da análise de variância ($p<0,05$) para as variáveis: máxima eficiência quântica do fotossistema II (PSII) (Fv/Fm), eficiência quântica efetiva de PSII (Y), taxa de transporte de elétrons (ETR), fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado (Fo'), coeficiente de extinção fotoquímica (qL), rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada (YNPQ) e rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada (YNO) de mudas de umbu-cajazeira irrigadas com águas salinas..... 37

Tabela 9 – Caracterização química do substrato no início e ao final do experimento 51

Tabela 10 – Médias da condutividade elétrica da última lâmina de lixiviação 54

Tabela 11 – Resumo do teste F para as variáveis: matéria seca das folhas (MSF), matéria seca da estaca (MSE), matéria seca da haste (MSH) e matéria seca da raiz (MSR) 55

Tabela 12 – Resumo da análise de variância para teores de nutrição mineral na folha de mudas de umbu-cajazeiras submetidas a salinidade para os nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), Sódio (Na) e as relações entre os nutrientes Na/K (G) e Na/Ca (H) 57

SUMÁRIO

RESUMO 8

ABSTRACT 9

LISTA DE FIGURAS 10

LISTA DE TABELAS 11

1. INTRODUÇÃO GERAL 15

2. REFERÊNCIAS 18

CAPÍTULO 1: CRESCIMENTO E TROCAS GASOSAS EM MUDAS DE UMBU-CAJAZEIRA (*Spondias* sp.) SUBMETIDAS A SALINIDADE NA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO. 22

RESUMO 22

CHAPTER 1: GROWTH AND GAS EXCHANGE IN UMBU-CAJAZEIRA (*Spondias* sp.) SEEDLINGS SUBMITTED TO SALINITY IN IRRIGATION WATER.. 23

ABSTRACT 23

1. INTRODUÇÃO 24

2. MATERIAL E MÉTODOS 25

3. RESULTADOS 33

4. DISCUSSÃO 39

5. CONCLUSÃO 42

6. REFERÊNCIAS 42

CAPÍTULO 2: PRODUÇÃO DE BIOMASSA E NUTRIÇÃO MINERAL DE MUDAS DE UMBU-CAJAZEIRA SUBMETIDA A SALINIDADE NA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO. 47

RESUMO 47

CHAPTER 2: BIOMASS PRODUCTION AND MINERAL NUTRITION OF UMBU-CAJAZEIRA SEEDLINGS SUBMITTED TO SALINITY IN IRRIGATION WATER. ..48

ABSTRACT 48

1. INTRODUÇÃO 49

2. MATERIAL E MÉTODOS 50

3. RESULTADOS 55

4. DISCUSSÃO 58

5. CONCLUSÃO 61

6. REFERÊNCIAS 62

1. INTRODUÇÃO GERAL

A umbu-cajazeira ou cajaraneira (*Spondias* sp.) é uma árvore frutífera nativa do Nordeste brasileiro, que pertence à família Anacardiaceae. Está disseminada em vasta região do semiárido brasileiro, de forma agrupada ou isolada em campos de pastagens, principalmente em quintais e pomares domésticos (SOUZA, PORTO FILHO, MENDES, 2020; YAMAMOTO, 2014). Apesar de sua exploração ocorrer quase que totalmente em sistema extrativo, Souza, Porto Filho & Mendes (2020) relatam produtividades maiores que 1.500 kg de umbu-cajá por safra, que abastecem anualmente as centrais de abastecimento (CEASA's) e indústrias de processamento de polpas da região Nordeste.

Devido à falta de informações relacionadas à propagação, adubação e cultivo, predomina a exploração extrativista, no qual os agricultores coletam os frutos de plantas oriundas de áreas naturais e quintais e os vende em feiras livres. Assim, ainda são poucos os pomares comerciais e as agroindústrias ficam totalmente dependentes de uma produção sazonal e em alguns casos insuficiente para operacionalização das fábricas durante todo o ano. A demanda pelo fruto, entretanto, tem aumentado devido ao amplo consumo de sua polpa, despertando assim o interesse para o cultivo da espécie, que ainda carece de informações sobre o seu manejo (SANTANA et al., 2011; VÉRAS et al., 2018).

Para elevação da produtividade da cultura faz-se necessário observá-la para além do extrativismo e caminhar rumo a formação de pomares comerciais que atendam as crescentes demandas das agroindústrias. De acordo com Véras et al. (2018), uma das etapas mais importantes no cultivo comercial de frutíferas é a fase de mudas, uma vez que mudas de boa qualidade originam pomares bem formados.

A produção de mudas de umbu-cajazeira se dá através do método assexual de propagação, tendo em vista que a propagação sexual (por sementes) se torna difícil por causa do alto índice de esterilidade das sementes. Sendo a propagação vegetativa quase que obrigatória. Tradicionalmente, a umbu-cajazeira vem sendo propagada por estacas de caule, onde os produtores utilizam estacas grandes, as quais demoram a enraizar e formar uma nova planta (VIEIRA et al., 2020).

O método tradicionalmente mais empregado é a estaquia que depende principalmente da capacidade de formação de raízes de cada espécie e/ou cultivar, além disso, a qualidade do

sistema radicular formado e o desenvolvimento posterior da área de produção é um fator relevante na propagação por este método (SOUZA, PORTO FILHO & MENDES, 2020; VÉRAS et al., 2018).

Como destaca Queiroz (2017), a propagação das Spondias por estaquia ainda apresenta fortes limitações e não se dispõe de tecnologia para a produção comercial de mudas. Dessa forma, é de grande importância o desenvolvimento de pesquisas para melhor compreensão das respostas da planta às principais limitações encontradas em sistemas produtivos do nordeste brasileiro.

Em regiões áridas e semiáridas, os solos salinos são abundantes, onde a quantidade de chuva é insuficiente para a lixiviação substancial. Aliado a baixa precipitação ainda encontramos outros fatores como a má qualidade da água de irrigação, altas taxas de evaporação e baixa precipitação pluviométrica, aliada ao material de origem que também contribuem para o processo de salinização. A condição de solos salinizados, por sua vez, afeta o crescimento e o desenvolvimento das plantas devido aos efeitos nocivos dos íons e ao estresse hídrico causado pela redução do potencial osmótico na solução do solo (SILVA et al., 2008).

O sal pode surgir naturalmente no subsolo ou ser introduzido por águas salobras de irrigação. A salinidade está se tornando mais extensa como resultado do desmatamento e práticas de irrigação insustentáveis e por meio de pressões para trazer terras marginais à produção. As soluções agronômicas e de engenharia estão se esgotando, portanto, para minimizar o impacto das terras salinas na produção global de alimentos, o caminho a seguir é criar maior tolerância ao sal nas culturas atuais e introduzir novas espécies para cultivo (MUNNS, GILLIHAM, 2015).

Um dos grandes desafios da agricultura contemporânea está relacionado diretamente com a questão da água, uma vez que, dado o efeito das mudanças climáticas e a falta de políticas mais eficazes para a reutilização da água, tende a se tornar cada vez mais limitada qualitativa e quantitativamente (BEZERRA et al., 2020). E o excesso de salinidade no solo desponta como um fator que tem afetado grandes áreas de terra em todo o mundo, com impacto severo na agricultura, geralmente associado a uma combinação de irrigação excessiva e drenagem insuficiente (TAIZ et al., 2017).

Apesar da expressividade da irrigação na produção de frutíferas e de alimentos, em geral, nas regiões semiáridas, onde a evapotranspiração supera a pluviosidade a salinidade do solo e da água de irrigação se constitui num grande obstáculo ao sistema de produção (CAVALCANTE et al., 2010).

Como destacam Munns & Gilliham (2015), a salinidade do solo pode reduzir a produção de culturas, horticultura e forragem em regiões áridas e semiáridas. O estresse salino é um dos principais estresses abióticos que limitam a produtividade e a qualidade das culturas agrícolas. Os efeitos adversos dizem respeito à germinação, vigor das plantas e rendimento das culturas em regiões áridas e semiáridas (WAŚKIEWICZ, GŁADYSZ & GOLIŃSKI, 2016).

É certo que, além da disponibilidade, a qualidade da água é fator de fundamental importância para obtenção de elevadas produtividades. Neste sentido, Oliveira et al. (2013) afirmam que dentre as características que determinam a qualidade da água para a irrigação, a concentração de sais solúveis ou salinidade, é um dos principais fatores limitantes ao crescimento e desenvolvimento de algumas culturas.

De acordo com BEZERRA et al. (2020) os métodos usados para classificar a tolerância da planta a salinidade podem resultar em espécies ou variedades com baixa, intermediária ou alta capacidade de suportar o excesso de sais no ambiente de cultivo. Este nível de tolerância também depende no estágio de desenvolvimento da planta e outros fatores, como tipo de sal, método e frequência de irrigação, e condições climáticas.

As respostas das plantas à salinidade são complexas e de difícil compreensão por envolverem vários genes e diversos mecanismos fisiológicos e bioquímicos. Além disso, as plantas podem se comportar de forma variada em relação aos limites de tolerância a salinidade, dentro de uma mesma espécie pode haver variações entre genótipos nos quais os efeitos podem variar entre as fases de desenvolvimento (AMORIM et al., 2010).

De forma geral, os efeitos da salinidade alta nas plantas ocorrem por um processo de duas fases: na primeira fase, a osmótica, há uma diminuição no crescimento da parte aérea, com redução da expansão foliar e inibição da formação de gemas laterais. A segunda fase inicia com a acumulação de quantidades tóxicas de Na^+ nas folhas, levando à inibição da fotossíntese e dos processos biossintéticos (TAIZ et al., 2017).

As culturas respondem diferenciadamente à salinidade, algumas com rendimentos aceitáveis em condições de elevada condutividade elétrica do solo ou da água de irrigação, enquanto outras são sensíveis em níveis relativamente baixos. A avaliação do comportamento de determinada cultura com relação à salinidade é observada pelos efeitos de natureza osmótica, tóxica e/ou nutricional, afetando processos metabólicos vitais, como cadeia respiratória, assimilação do nitrogênio e metabolismo das proteínas. Entretanto, os efeitos deletérios às plantas dependem de muitos outros fatores como espécie, cultivar, estádio fenológico, características dos sais, intensidade e duração do estresse salino, manejo cultural, da irrigação e condições edafoclimáticas (TORRES et al., 2014).

Como afirma Amorin (2022), as pesquisas sobre produção de mudas de umbu-cajazeiras são escassas quanto ao uso de águas salinas.

Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo determinar o nível crítico de tolerância à salinidade e avaliar o crescimento, a produção de biomassa, a nutrição e a ecofisiologia de mudas de umbu-cajá irrigadas com águas salinas.

2. REFERÊNCIAS

AMORIM, A. V.; GOMES FILHO, E.; BEZERRA, M. A.; PRISCO, J. T.; LACERDA, C. F. **Physiologic responses of precocious dwarf cashew at different levels of salinity.** Rev. Ciênc. Agron., v. 41, n. 1, p. 113-121, jan-mar, 2010. https://doi.org/10.5935/1806-6690.20100016

AMORIM, P. E. C. **Adubações silicatadas em mudas de umbu-cajazeira (Spondias sp.) irrigadas com águas salinas**. 2022. 52f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2022.

BEZERRA, F. M. S.; LACERDA, C. F; RUPPENTHAL, V.; CAVALCANTE, E. S.; OLIVEIRA, A. C. **Salt tolerance during the seedling production stage of Catharanthus roseus, Tagetes patula and Celosia argentea.** Rev. Ciênc. Agron., v. 51, n. 3, Fortaleza, CE, 2020. https://doi.org/10.5935/1806-6690.20200059

CAVALCANTE, L. F; CORDEIRO, J. C; NASCIMENTO, J. A. M; CAVALCANTE, I. H. L; DIAS, T. J. **Sources and levels of salinity of water on seedlings of papaya tree cv. sunrise solo**. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v.31, n.1, p.1281-1290, 2010. Disponível em: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445744099018. Acesso em: 31 jan. 2023.

HAIDER, M. S.; JOGAIAH, S.; PERVAIZ, T.; YANXUE, Z.; KHAN, N.; FANG, J. **Physiological and transcriptional variations inducing complex adaptive mechanisms in grapevine by salt stress.** Environ. Exp. Bot. 162, 2019. p.455–467. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.03.022

HOLANDA, J. D.; AMORIM, J. D.; FERREIRA NETO, M.; HOLANDA, A. D.; SÁ, F. D. S. Qualidade da água para irrigação. In: GHEYI H. R. et al. (org.). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados.** Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 35-50.

MATOS, F. S; FREITAS, I. A. S; PEREIRA, V. L. G; BORGES, L. P; PIRES, W. K. L; SOUZA, M. C. H; LIMA, G. H. F. **Growth of Spondias tuberosa Irrigated With Saline Water.** Journal of Agricultural Science; Vol. 11, No. 3; 2019. https://doi.org/10.5539/jas.v11n3p320

MUNNS, R.; GILLIHAM, M. **Salinity tolerance of crops – what is the cost?** New phytologist, v. 208, n. 3, p. 668-673, 2015. https://doi.org/10.1111/nph.13519

OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; OLIVEIRA, M. K. T.; SOUZA, A. A. T.; FERREIRA, J. A.; SOUZA, M. S. **Interaction between water salinity and biostimulant in the cowpea plants.** R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.17, n.5, 2013, p.465–471. https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000500001

QUEIROZ, J. L. F. de. **Produção de mudas de cajarana submetidas a níveis de efluente doméstico tratado e manejos de AIB**. 2017. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN, 2017. Disponível em: https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/924. Acesso em: 17 fev. 2023.

SANTANA, I. B. B. **Divergência genética entre acessos de umbu-cajazeira mediante análise multivariada utilizando marcadores morfoagronômicos e moleculares**. 2010. Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais). Cruz das Almas, BA, 2010. Disponível em: http://www.repositorio.ufrb.edu.br/handle/123456789/728. Acesso em: 31 jan. 2023.

SANTANA, I. B. B.; SOARES FILHO, W. S.; RITZINGER, R.; COSTA, M. A. P. C. **Umbu-cajazeira: boas perspectivas para o Semiárido baiano.** Bahia Agrícola, Bahia, v. 9, p. 101–105, 2011. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-

/publicacao/924319/umbu-cajazeira-boas-perspectivas-para-o-semiarido-baiano. Acesso em: 31 jan. 2023.

SILVA, E. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; ARAÚJO, F. P.; MELO, N. F.; AZEVEDO NETO, A. D. **Physiological responses to salt stress in young umbu plants.** Environmental and Experimental Botany. v. 63, n. 1–3, p. 147-157 mai, 2008. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.11.010

SOUZA, F. X. DE.; PORTO FILHO, F. DE Q.; MENDES, N. V. B. **Umbu-cajazeira: descrição e técnicas de cultivo**. EdUFERSA, Mossoró/RN, 2020. https://doi.org/10.7476/9786587108599

TAIZ, L; ZEIGER, E; MOLLER, I.M; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Tradução: Alexandra Antunes Mastroberti; revisão técnica: Paulo Luiz de Oliveira. 6. ed. Artmed, Porto Alegre, RS, 2017. p.736.

TORRES, E. C. M; FREIRE, J. L. O; OLIVEIRA, J. L; BANDEIRA, L. B; MELO, D. A; SILVA, A. L. **Seedling of dwarf cashew biometry irrigated with saline water and salt stress attenuators use.** Nativa, Sinop, v. 02, n. 02, abr-jun. 2014, p. 71-78. Disponível em: https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/1400/pdf. Acesso em 31 jan. 2023.

VÉRAS, M.L.M.; ANDRADE, R.; FIGUEIREDO, L.F.; ARAÚJO, V.L.; MELO FILHO, J.S.; MENDONÇA, R.M.N.; PEREIRA, W.E. **Use of plant regulators in the propagation via cutting of umbu-cajazeira.** Revista de Ciências Agrárias, v. 41(3) p. 740-748, 2018. https://doi.org/10.19084/RCA17153

VIEIRA, A. R.; ALVES, R. E.; SOUZA, F. X.; BATISTA, M. A. V.; BATISTA, I. M. V. **Rooting of stem umbu-cajazeira treated with indolbutyric acid**. Braz. J. Anim. Environ. Res., Curitiba, v. 3, n. 4, p. 4134-4145, out./dez, 2020. https://doi.org/10.34188/bjaerv3n4-109

YAMAMOTO, E. L. M. **Caracterização morfológica de frutos e genética de indivíduos de umbu-cajazeira no semiárido potiguar.** 2014. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN, 2014. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1071203. Acesso 31 jan. 2023.

WAŚKIEWICZ, A.; GŁADYSZ, O.; GOLIŃSKI, P. **Participation of phytohormones in adaptation to salt stress.** In: Plant Horm. Challenging Environ Factors, Springer, Dordrecht, 2016, p. 75–115. https://doi.org/10.1007/978-94-017-7758-2_4

CAPÍTULO 1: CRESCIMENTO E TROCAS GASOSAS EM MUDAS DE UMBU-CAJAZEIRA (*Spondias* sp.) SUBMETIDAS A SALINIDADE NA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO.

RESUMO

A umbu-cajazeira é uma frutífera, presente no semiárido brasileiro, com elevado potencial para abastecimento da agroindústria. Seu cultivo, no entanto, é limitado pelo baixo nível tecnológico e o reduzido número de pomares comerciais. O estresse salino representa um grande desafio para a produção agrícola em regiões áridas e semiáridas. Diante disso, este trabalho teve como objetivo avaliar o crescimento e trocas gasosas de mudas de umbu-cajazeira irrigadas com águas salinas. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, localizado na Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró/RN. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com seis tratamentos (níveis de salinidade na água de irrigação: CEa: 0,5; 1,5; 2,5; 3,5; 4,5; 5,5 dS m^{-1}) e oito repetições. Noventa dias após o transplantio foram avaliados os parâmetros de crescimento, tolerância, trocas gasosas e fluorescencia da clorofila. Os dados coletados foram submetidos à análise de variância, teste F ($p \leq 0,05$) no programa estatístico SISVAR. Houve redução no crescimento das mudas, com prejuízo às trocas gasosas caracterizado pela perturbação no metabolismo de carbono e redução na produção de fotossíntese. As mudas toleraram as águas salinas até a condutividade elétrica de 1,5 dS^{-1}.

Palavras-chave: Estresse salino; spondias; fotossíntese.

CHAPTER 1: GROWTH AND GAS EXCHANGE IN UMBU-CAJAZEIRA (*Spondias* sp.) SEEDLINGS SUBMITTED TO SALINITY IN IRRIGATION WATER..

ABSTRACT

The umbu-cajazeira is a fruit tree, present in the Brazilian semi-arid region, with high potential for supplying the agroindustry. Its cultivation, however, is limited by the low technological level and the reduced number of commercial orchards. Salt stress represents a major challenge for agricultural production in arid and semi-arid regions. Therefore, this work aimed to evaluate the growth and gas exchange of umbu-cajazeira seedlings irrigated with saline water. The experiment was conducted in a greenhouse, located at the Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró/RN. The experimental design used was completely randomized, with six treatments (salinity levels in irrigation water: ECa: 0.5; 1.5; 2.5; 3.5; 4.5; 5.5 dS m^{-1}) and eight repetitions. Ninety days after transplanting, parameters of growth, tolerance, gas exchange and chlorophyll fluorescence were evaluated. The collected data were submitted to analysis of variance, F test ($p \leq 0.05$) in the SISVAR statistical program. There was a reduction in the growth of seedlings, with damage to gas exchange characterized by disturbance in carbon metabolism and reduction in the production of photosynthesis. The seedlings tolerated saline waters up to an electrical conductivity of 1.5 dS^{-1}.

Keywords: Salt stress; spondias; photosynthesis.

1. INTRODUÇÃO

Da família das anacardiáceas, a umbu-cajazeira (*Spondias* sp.) é uma planta frutífera, xerófita, dispersa em vasta região semiárida do Nordeste brasileiro. Sua produção geralmente é destinada a abastecer as centrais de abastecimento e as indústrias de processamento de polpa, podendo uma única planta produzir mais que 1.500 Kg de fruto por safra (MENDES et al., 2021). O consumo do cajá-umbu e seus subprodutos ainda é concentrado principalmente na região Nordeste do Brasil, no entanto apresentam grande potencial de exploração comercial tanto no mercado interno quanto no externo (SANTOS et al., 2021).

O Brasil se destaca como um dos maiores produtores mundiais de frutas, onde o umbu-cajá está inserido e encontra grandes perspectivas devido ao seu aroma e sabor agradável. Apesar das frutas tropicais serem comumente consumidas *in natura*, quando suas características sensoriais e nutricionais são melhor aproveitadas, o processamento agroindustrial permite o melhor aproveitamento da produção diante da sazonalidade e da alta perecibilidade (SANTOS et al., 2021). Nesse contexto, o umbu-cajá encontra elevado potencial de comercialização, especialmente no nordeste brasileiro, uma vez que o fruto é bastante valorizado tanto para o consumo natural como o processamento agroindustrial.

O semiárido brasileiro é caracterizado por poucas chuvas concentradas em um curto período do ano, temperaturas elevadas e altas taxas de evapotranspiração, fatores que favorecem a salinização dos solos. Os altos níveis salinos nos solos são apontados como uma ameaça a agricultura e a segurança alimentar no mundo, notadamente devido ao estresse salino, junto a seca, os principais fatores abióticos que prejudicam o crescimento, o desenvolvimento e a produção das culturas em todo o mundo (ALVES et al., 2022; PRAXEDES et al 2020; KUMAR et al., 2022). Munns & Gilliham (2015) destacam que os custos da salinidade no solo se refletem do ponto de vista econômico, prejudicando a produção e a renda dos agricultores, e o custo de energia da planta, que é a causa da redução do rendimento das culturas.

O estresse abiótico causado pela salinidade prejudica o crescimento das plantas através do efeito osmótico, do desequilíbrio nutricional, da toxicidade iônica e do estresse oxidativo. De acordo com KUMAR et al. (2022), estima-se que mais de 800 milhões de hectares de terra são afetados pela salinidade, o que representa 6% da área total da terra e 20% da área total cultivada. O aumento das áreas afetadas por sais é previsto devido à aplicação de água de

irrigação com alto teor de sal decorrente a chuvas insuficientes e práticas agrícolas inadequadas, especialmente em áreas áridas e semiáridas com maior evapotranspiração que precipitação.

Já é notado que cerca de metade das terras irrigadas sofrem com estresse salino (TALAAT & HANAFY, 2022) e cerca de 8% das terras irrigadas no mundo estão em áreas áridas ou semiáridas, onde a salinização dos solos acontece com frequência (SHARAVDORJ et al., 2022). Como apontam Munns & Gilliham (2015) o caminho a ser seguido para minimizar o impacto da salinidade na produção mundial de alimentos, diante do esgotamento das soluções agronômicas e de engenharia frente a salinidade, é promover uma maior tolerância ao sal nas culturas atuais e a introdução de novas espécies.

Várias culturas frutíferas como a goiabeira, a bananeira, o maracujazeiro e citros, já foram avaliadas quanto a resposta à salinidade, determinando inclusive o seu nível de tolerância à salinidade da água (HOLANDA et al., 2016) assim como algumas spondias, a exemplo do umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.) (MATOS et al., 2019; SILVA et al., 2008; NEVES, CARVALHO & RODRIGUES, 2004). Entretanto, para a umbu-cajazeira os trabalhos que avaliam as respostas a condição de salinidade ainda são insipientes e carentes de informações.

É importante destacar que as culturas toleram níveis salinos elevados em limites diferentes, passando por culturas bastante tolerantes a sais, como o algodão, até culturas muito sensíveis, a exemplo das hortaliças e frutíferas, em geral. Essas variações ainda ocorrem mesmo entre variedades de uma mesma espécie ou ainda entre estádios de desenvolvimento de uma mesma variedade (HOLANDA et al., 2016). Várias culturas já possuem sua tolerância relativa conhecida, o que pode ser usado como critério técnico para a seleção da cultura adequada aos níveis de salinidade da água ou do solo de uma área (DIAS et al., 2016)

Dessa forma, o trabalho tem como objetivo avaliar o crescimento e trocas gasosas de plantas de umbu-cajazeiras à salinidade na água de irrigação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em Mossoró, RN, no período de abril a julho de 2022. O município

localiza-se no semiárido do Nordeste brasileiro e possui coordenadas geográficas 5º11’ S de latitude, 37º20’ W de longitude, e 18 m de altitude.

Segundo a classificação climática de Koppen, o clima de Mossoró é do tipo BSwh’, isto é, seco, muito quente e com estação chuvosa no verão atrasando-se para o outono, apresentando temperatura média anual de 27,4 ºC, precipitação pluviométrica anual bastante irregular, com média de 673,9 mm e umidade relativa de 68,9 % (DIAS, et al., 2010). Os dados climáticos de temperatura e umidade relativa do ar foram monitorados na área experimental durante toda a condução da pesquisa com o auxílio de um termo-hidrômetro. Os dados observados correspondem ao valor máximo, mínimo e a média obtida das leituras. Para temperatura os obteve-se 42,58°C, 21,80°C e 35,70°C, respectivamente, e para umidade relativa do ar os valores correspondentes são 87,78 %, 29,51% e 47,32%, respectivamente.

A casa de vegetação utilizada dispõe de 7,0 m de largura, 18,0 m de comprimento e 3,0 m de pé direito. Possui uma cobertura do tipo túnel, com uma manta de polietileno de baixa densidade, transparente, com 0,15 mm de espessura. As paredes laterais são de sombrite 50% e a estrutura de aço galvanizado.

Delineamento experimental

O delineamento utilizado foi em inteiramente casualizado constituído de seis tratamentos (níveis de salinidade na água de irrigação: T1: 0,5; T2: 1,5; T3: 2,5; T4: 3,5; T5: 4,5; T6: 5,5 dS m^{-1}) e com 8 repetições em cada tratamento, totalizando 48 parcelas experimentais. Além destas, foram acrescidas mais duas parcelas em cada tratamento para a determinação da lâmina de irrigação. Cada parcela experimental foi composta por um vaso com uma muda de umbu-cajazeira.

Instalação e condução do experimento

As estacas de umbu-cajazeiras utilizadas para a produção das mudas do experimento foram coletadas de plantas matrizes com bom desenvolvimento vegetativo, cultivadas na UFERSA, campus Mossoró. A obtenção das estacas se deu ao término do repouso vegetativo da planta, que ocorreu no mês de outubro, período em que a planta se encontra desfolhada e com as gemas intumescidas. As estacas foram padronizadas com cerca de 15 cm de comprimento e 10 a 15 mm de diâmetro (SOUZA & COSTA, 2010).

As estacas foram plantadas, para pegamento inicial, em tubetes de polipropileno com substrato comercial Tropstrato® (composto de superfosfato simples, nitrato de potássio, turfa, vermiculita e casca de pinus). Em seguida, após 106 dias, as mudas enraizadas foram transplantadas para vasos com capacidade volumétrica de 8,0 dm^3, com substrato constituído de uma mistura de areia e esterco bovino na proporção de 2:1. O substrato foi analisado quanto as suas características químicas no Laboratório de Nutrição de Plantas da UFERSA, conforme Silva (2009), no início e na conclusão do experimento (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização química do substrato no início e ao final do experimento.

	Substrato antes do experimento												
	Ph	CE	M.O.	P	K+	Na+	Ca2+	Mg2+	SB	T	CTC	V	PST
	(H2O) 1:25	(dS/m)	(%)	.....(mg/dm3).....			.....cmolc/dm3.....					(%)	
	7,03	0,77	0,38	138,0	71,8	133,9	6,55	3,01	10,33	10,33	10,33	100	6,0
	Substrato ao final do experimento												
T1	6,8	0,32	0,06	138,8	271,7	321,0	3,60	3,82	9,51	9,51	9,51	100	14,7
T2	6,75	0,87	1,05	99,1	243,7	859,3	5,25	2,35	11,96	11,96	11,96	100	31,2
T3	6,49	1,31	0,51	138,0	297,3	1149,4	3,17	4,30	13,23	13,23	13,23	100	37,8
T4	6,56	1,74	0,22	117,9	349,1	1466,5	5,06	3,88	16,21	16,21	16,21	100	39,3
T5	6,34	2,26	1,02	87,6	322,3	2113,7	4,60	3,26	17,88	17,88	17,88	100	51,4
T6	6,07	3,66	0,83	156,1	363,9	2963,5	6,12	3,91	23,85	23,85	23,85	100	54,0

Al^{3+}, (H + Al) e m = 0, P, K^+, Na^+: extrator Mehlich 1; Al^{3+}, Ca^{2+}, Mg^{2+}: extrator KCl 1,0 mol L^{-1}; CE: Condutividade elétrica; SB: Soma de base; T: Capacidade de troca de cátions; M.O.: Digestão Úmida Walkley-Black; PST: Percentagem de sódio trocável. T1: CEa 0,5 dS m^{-1} (Testemunha); T2: CEa 1,5 dS m^{-1}; T3: CEa 2,5 dS m^{-1}; T4: CEa 3,5 dS m^{-1}; T5: CEa 4,5 dS m^{-1}; e T6: CEa 5,5 dS m^{-1}.

A adubação com os macronutrientes nitrogênio, fósforo e potássio (NPK) seguiu metade da recomendação para ensaios em vasos de Novais, Neves & Barros (1991), consistindo em 50% de 100 mg de N, 300 mg de P_2O_5 e 150 mg de K_2O por dm^{-3} de solo, fornecida semanalmente via fertirrigação e dividida em onze aplicações. Durante o experimento, foram aplicados em cada vaso 364 mg de ureia (45% de N), 178,82 mg de fosfato monoamônico (12% de N e 61% de P) e 91 mg de cloreto de potássio (60% de K).

Os micronutrientes foram fornecidos pelo produto Liqui-Plex Fruit®, na proporção de 3 mL L^{-1} (Tabela 2), via aplicação foliar, seguindo a recomendação do fabricante. Ao longo do experimento o manejo fitossanitário e cultural foi aplicado nas mudas, de acordo com a necessidade.

Tabela 2. Caracterização química do fertilizante foliar Liqui-Plex Fruit®.

Parâmetros / Nutrientes								
N	Ca	S	B	Cu	Mn	Mo	Zn	C.O.
..... (g L-1)								%
73,5	14,7	R$ 78,63	14,17	R$ 0,74	73,5	1,47	73,5	2,45

N: Nitrogênio; Ca: Cálcio; S: Enxofre; B: Boro; Cu: Cobre; Mn: Manganês; Mo: Molibdênio; Zn: Zinco; C.O.: carbono orgânico.

As mudas foram dispostas em espaçamento de 1,0 m entre linhas e 0,5 m entre plantas. Além das parcelas experimentais foram acrescidas 02 mudas para cada tratamento, que ficaram submetidas às mesmas condições durante todas as etapas do experimento. Assim, somaram-se 12 mudas, dispostas em duas fileiras centrais, utilizadas para fins de cálculo da lâmina de irrigação necessária para cada tratamento.

Os diferentes níveis de salinidade da água de irrigação foram obtidos a partir da água de abastecimento local e a adição de sais solúveis para atingir o nível salino adequado. A água com menor condutividade elétrica da água (CEa), T1, foi constituída da água de abastecimento local, com CEa=0,5 dS m^{-1}. O crescimento dos níveis de água salina dos demais tratamentos correspondem ao acréscimo de 1,0 dS m^{-1} na CEa de cada tratamento, T2=1,5, T3=2,5, T4=3,5, T5=4,5 e T6=5,5 dS m^{-1}. O preparo das águas salinas se deu com o incremento dos sais de NaCl, $CaCl_2.2H_2O$ e $MgCl2.6H_2O$, na proporção equivalente de 7:2:1 (MEDEIROS, 1992), obedecendo a relação entre a CEa e concentração (mmolc L^{-1}= CE x 10), extraída de Rhoades; Kandiah; Mashali (1992).

Tabela 3. Quantidades de sais utilizados no preparo das águas salinas.

Tratamentos	**Nível de Salinidade (dS/m)**	**NaCl**	**CaCl2.2H2O**	**MgCl2.6H2O**
		(g)		
T1	0,5	0,00	0,00	0,00
T2	1,5	13,60	4,55	3,37
T3	2,5	29,98	10,03	7,43
T4	3,5	46,36	15,51	11,49
T5	4,5	62,74	20,99	15,55
T6	5,5	79,12	26,47	19,61

No preparo das águas de irrigação os sais foram pesados conforme quantidade requerida para atingir cada nível de salinidade dos tratamentos e dissolvidos no recipiente com água, aferindo-se o teor salino com um condutivímetro portátil, que tem sua condutividade ajustada à temperatura de 25ºC. Após preparadas, as águas salinas foram armazenadas em respectivos recipientes plásticos de 60 L devidamente identificados, protegidos de evaporação, entrada de água de chuva e contaminações que pudessem comprometer suas características.

As mudas foram transplantadas dos tubetes para os vasos plásticos e aclimatadas com água de baixa salinidade (CEa= 0,5 dS m^{-1}), sendo aplicada a irrigação com as águas salinas iniciada aos 57 dias após o transplantio das mudas (DAT). A aplicação das lâminas de irrigação obedeceu ao turno de rega de 48 h, sendo realizadas manualmente com o auxílio de uma proveta graduada (1.000 mL), tomando como referência o método de lisimetria de drenagem, conforme Eq.1, acrescido de uma fração de lixiviação de 20% aplicada a cada 15 dias, buscando evitar o acúmulo demasiado de sais no solo.

$$\mathrm{Va} = \frac{(\mathrm{La} - \mathrm{D})}{n(1-FL)} \qquad \text{(Eq.1)}$$

Em que: La - Lâmina anterior aplicada;

D - Média de drenagem;

n - Número de recipientes;

FL - Fração de lixiviação.

Na última fração de lixiviação aplicada no experimento avaliou-se a condutividade elétrica em todos os tratamentos. Os valores médios de condutividade encontrados foi T1 = 1,87, T2 = 5,34, T3 = 7,47, T4 = 8,26, T5 = 9,29 e T6 = 12,12 dS m^{-1}.

Variáveis analisadas

A avaliação do crescimento das mudas se deu com a coleta de dados ao fim do experimento, no 90º dia após a instalação do experimento. Determinou-se a altura da planta (AP) com o auxílio de uma trena, medindo da base até a gema apical. Com um paquímetro digital foi aferido o diâmetro da estaca (DE), a 5 cm de distância da superfície do substrato, e o diâmetro da haste (DH), a partir de 1 cm da base. O número de folhas na planta ao final do experimento (NF) foi obtido por contagem direta das folhas totalmente expandidas. O percentual de sobrevivência das folhas (SF) foi obtido com base na contagem de folhas caídas

(FC) durante a condução do experimento somadas ao total de folhas vivas e expandidas ao fim do experimento, através de uma regra de três se obteve da porcentagem de folhas sobreviventes.

Figura 1. Plantas representativas de cada tratamento após 90 dias irrigadas com águas salinas nas concentrações: 0,5 (A); 1,5 (B); 2,5 (C); 3,5 (D); 4,5 (E); e 5,5 dS m^{-1} (F).



Ao final da pesquisa as plantas foram separadas por partes entre raiz, estaca, haste e folhas para a quantificação da matéria seca. Condicionadas em sacos de papel, as partes coletadas secaram em estufa de circulação de ar forçada a 65ºC, até atingir peso constate. Os pesos de cada parte das plantas foram obtidos em balança de precisão e o somatório das partes formaram a matéria seca total (MST).

O índice de tolerância à salinidade foi determinado com base na quantificação das reduções na produção de biomassa seca total das mudas submetidas à irrigação com água salina, em comparação com a testemunha, de acordo com a proposta de Fageria (1985) na Eq.2. Os resultados foram interpretados com o auxílio da Tabela 6, que exibe a classificação das plantas quanto à tolerância à salinidade, tomando como base a redução da produção.

$$RP = \frac{(PSTS - PCTS)}{PSTS} * 100 \qquad (2)$$

Em que: RP - Redução da produção;

PSTS - Produção no tratamento irrigado com água não salina (g planta^{-1});

PCTS - Produção nos tratamentos irrigados com água salina (g planta^{-1}).

Tabela 4. Classificação das plantas quanto à tolerância à salinidade, baseando-se na redução da produção.

Redução da produção (%)	Classificação
0 - 20	Tolerante (T)
20,1 - 40	Moderadamente Tolerante (MT)
40,1 - 60	Moderadamente Sucetível (MS)
> 60	Sucetível (S)

Fonte: Fageria (1985).

As medições de trocas gasosas ocorreram no 75º dia após o início do experimento, realizadas na terceira folha totalmente expandida contada a partir da gema apical com o analisador de gás infravermelho ("LCPro $^{+}$" - ADC Bio Scientific Ltd.), no período de 7h10min as 8h30min da manhã; o equipamento operou com o controle de temperatura a 25 ºC, irradiação de 1200 µmol de fótons m^{-2} s $^{-1}$ e vazão de ar de 200 mL min^{-1} no nível atmosférico de CO_2. Foram obtidas as variáveis de condutância estomática (gs) em mol de H_2O m^{-2} s $^{-1}$, transpiração (E) em mol de H_2O m^{-2} s $^{-1}$, concentração interna de CO_2 (Ci) em µmol m-2 s $^{-1}$, taxa de assimilação de CO_2 (A) em µmol m-2 s $^{-1}$, temperatura foliar (Tl) em °C. Depois de obtidos esses dados, foram estimadas a eficiência instantânea no uso da água (EiUA) (E/A) em [(µmol m^{-2} s^{-1}) (mol H_2O m^{-2} s^{-1})$^{-1}$] e a eficiência instantânea da carboxilação (EiCi) (A/Ci) (SILVA et al., 2014).



Figura 2. Análise de fluorescência da clorofila a em condição escura (A) e fluorescência da clorofila a em condição clara (B).

Ainda no 75º obteve-se as variáveis fluorescência inicial (Fo), fluorescência máxima (Fm), fluorescência variável (Fv = Fm-Fo), máxima eficiência quântica do PSII (Fv/Fm) (SÁ et al., 2015). Logo após, deram-se às avaliações em condições de claro, com base no protocolo Yield. Utilizando-se do fluorômetro de pulso modulado, aplicou-se uma fonte de iluminação actínica com pulso multi flash saturante, acoplado a um clipe de determinação da radiação fotossinteticamente ativa (PAR-Clip). As variáveis obtidas foram taxa de transporte de elétrons (ETR) e eficiência quântica do fotossistema II (PS II) (Y(II)). Com a obtenção dos dados, foi possível estimar: fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado (Fo') (OXBOROUGH; BAKER, 1997), coeficiente de extinção fotoquímico pelo modelo lake (qL); rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada (Y(NPQ)) e rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada (Y(NO)) (KRAMER et al., 2004).

Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste 'F' ao nível de 5% de significância e as médias das variáveis foram submetidas à análise de regressão, utilizando-se o software estatístico SISVAR® (FERREIRA, 2011).

3. RESULTADOS

Crescimento

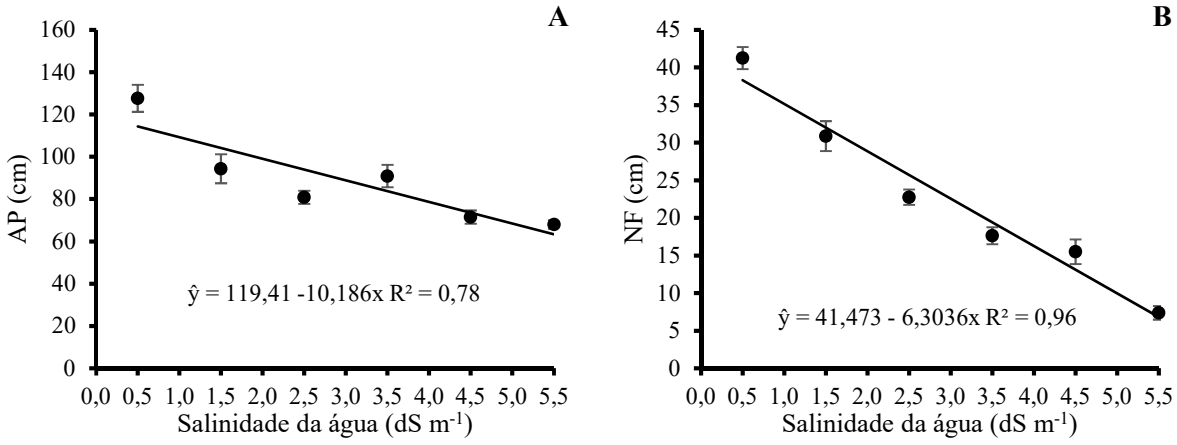
O crescimento das plantas foi afetado significativamente ($p<0,05$) pelo estresse salino durante o estudo. Observe na figura 3 o efeito da irrigação com água salina no crescimento da umbu-cajazeira, onde o aumento de 1,0 dS m^{-1} diminuiu 8,5, 15,0, 5,3, 10,0, 10,7 e 13,4 % nas variáveis AP, NF, DE, DH, SF e MST, respectivamente. Entre o menor e o maior nível de salinidade ocorreu redução de 50,0, 83,7, 29,6, 55,0, 58,7 e 73,5% nas variáveis AP, NF, DE, DH, SF e MST (Figuras 3A, B, C, D, E e F).

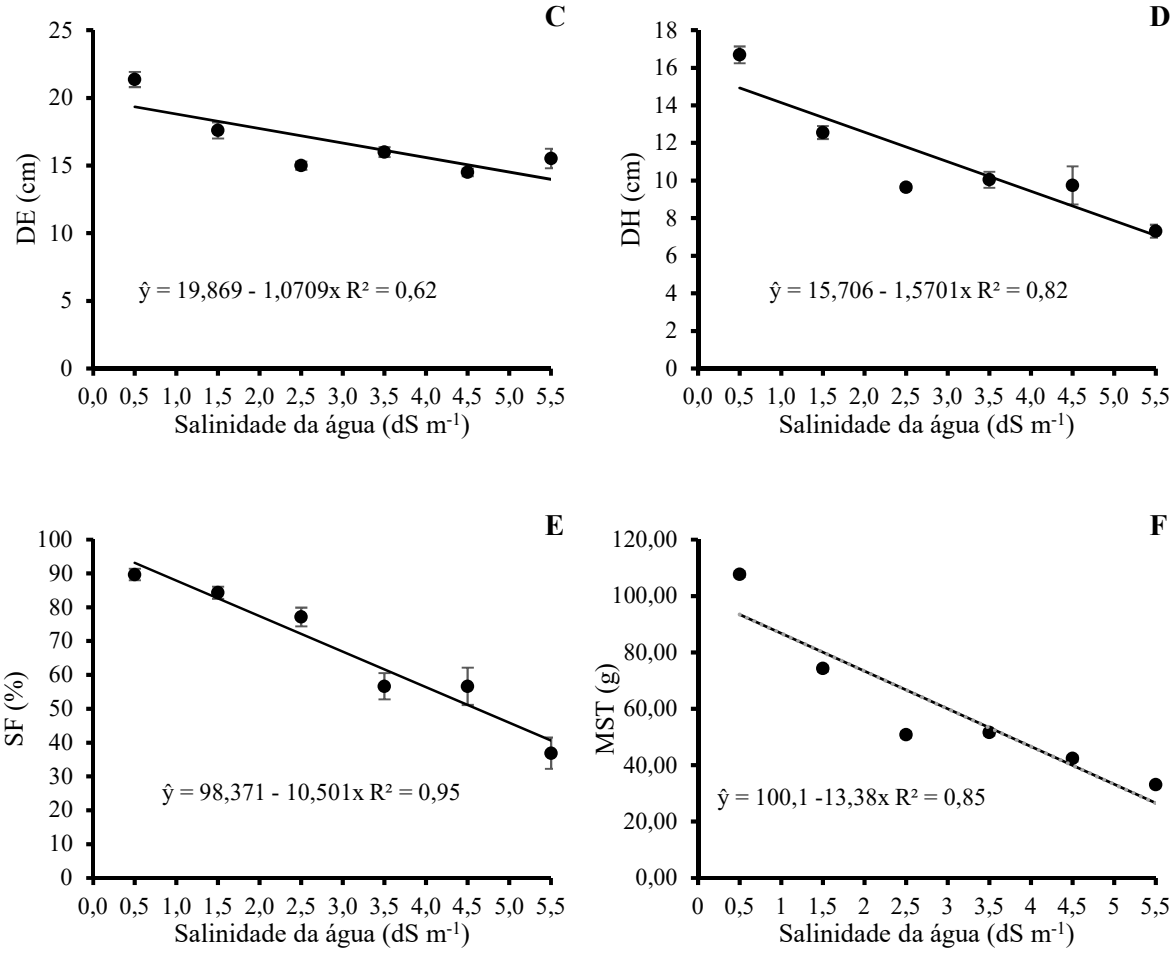
Tabela 5. Resumo da análise de variância ($p<0,05$) para as variáveis altura de planta (AP), número de folhas (NF), diâmetro da estaca (DE), diâmetro da haste (DH), sobrevivência das folhas (SF) e matéria seca total (MST).

	Teste F (p-valor)					
FV	**AP (cm)**	**NF (unidade)**	**DE (mm)**	**DH (mm)**	**SF (%)**	**MST (g)**
Tratamento	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*
CV (%)	15,72	17,72	8,50	13,60	15,45	12,19

Nota: T1: CEa 0,5 dS m^{-1} (Testemunha); T2: CEa 1,5 dS m^{-1}; T3: CEa 2,5 dS m^{-1}; T4: CEa 3,5 dS m^{-1}, T5: CEa 4,5 dS m^{-1}, T6: CEa 5,5 dS m^{-1}. FV: Fonte de variação; CV: Coeficiente de variação; (*) significativo e (^{ns}) não significativo a 5% ($p \leq 0,05$) pelo teste F, respectivamente.

Figura 3. Análise de regressão para as variáveis altura de planta (AP) (A), número de folhas (NF) (B), diâmetro da estaca (DE) (C), diâmetro da haste (DH) (D), sobrevivência das folhas (SF) (E) e matéria seca total (MST)(F).





Tolerância à salinidade

A classificação da tolerância à salinidade nas mudas foi determinada pela redução da matéria seca total dos tratamentos quando comparados a testemunha, seguindo a classificação apresentada Fageria (1985) (Tabela 4). Como apresentado na Tabela 6, as plantas jovens de umbu-cajá são tolerantes a salinidade quando cultivadas em ambiente com condutividade elétrica de até 1,50 dS m^{-1}, limite onde a redução da MST atinge 20%; entre os níveis 1,50 e 2,99 dS m^{-1}, que representa a redução de 20 a 40% são moderadamente tolerantes; moderadamente suscetíveis quando submetidas entre os níveis salinos de 2,99 e 4,49 dS m^{-1}; e suscetíveis quando submetidas a níveis que ultrapassam 4,49 dS m^{-1}.

Tabela 6. Classificação das plantas jovens de umbu-cajazeiras quanto à tolerância à salinidade, baseando-se na redução da produção de matéria seca total (MST), seguindo a classificação apresentada Fageria (1985).

Classificação	Redução da produção de MST (%)	Salinidade (dS m^{-1})	MST (g $planta^{-1}$)
Tolerante	0,0 - 20,0	0,00 - 1,50	100,1 - 80,03
Moderadamente Tolerante	20,0 – 40,0	1,50 - 2,99	80,03 - 60,09
Moderadamente Suscetível	40,0 – 60,0	2,99 - 4,49	60,09 - 40,02
Suscetível	> 60,0	> 4,49	< 40,02

Trocas gasosas

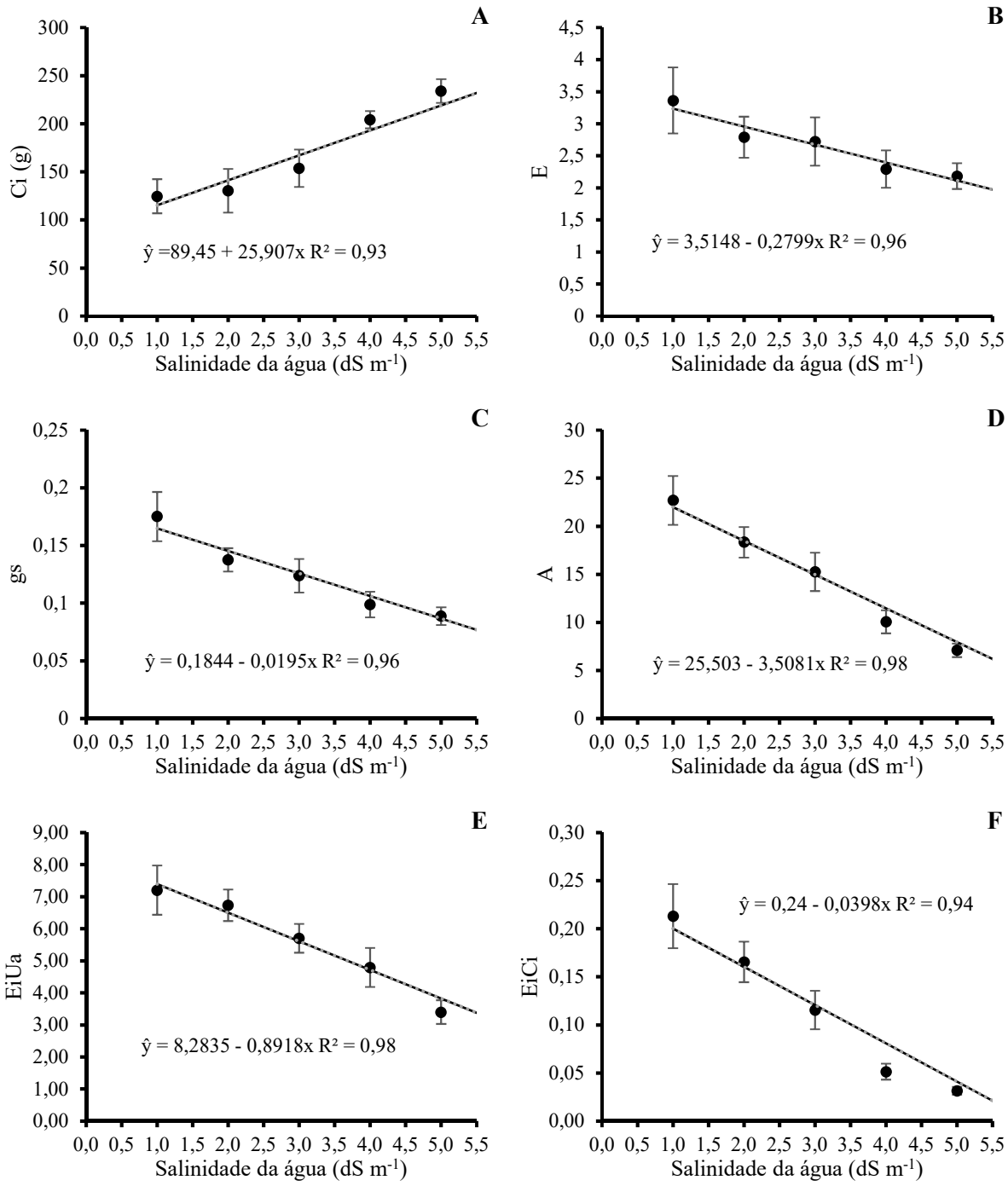
A figura 4 mostra o efeito significativo ($p<0,05$) da salinidade nas trocas gasosas das plantas estudadas. O aumento de 1,0 dS m^{-1} aumentou a Ci em 29,0%, mas reduziu em 8,0, 10,6, 13,8, 10,8 e 16,6% as variáveis E, gs, A, EiUa e EiCi, respectivamente. Entre o menor e o maior nível de salinidade ocorreu redução de 43,8, 58,2, 75,7, 59,2 e 91,2% nas variáveis E, gs, A, EiUa e EiCi, e aumento da Ci em 159,3% (Figuras 4A, B, C, D, E e F). A temperatura foliar não foi significativa para os tratamentos estudados.

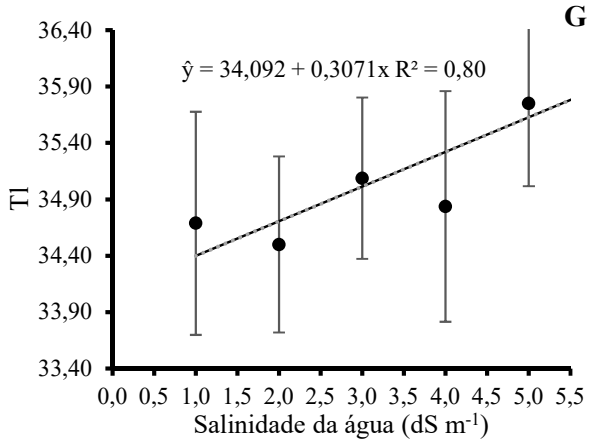
Tabela 7. Resumo da análise de variância ($p<0,05$) para as variáveis: concentração interna de CO_2 (*Ci*), transpiração (E), condutância estomática (gs), taxa de assimilação de CO_2 (A), eficiência instantânea do uso da água (EiUA) e eficiência instantânea da carboxilação (EiCi) e temperatura foliar (Tl) de mudas de umbu-cajazeira irrigadas com águas salinas.

	Teste F (p-valor)						
FV	**Ci**	**E**	**Gs**	**A**	**EiUa**	**EiCi**	**Tl**
Tratamento	0,0000*	0,0395*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	$0,7102^{ns}$
CV (%)	26,95	37,11	32,21	34,77	29,82	52,13	6,76

Nota: T1: CEa 0,5 dS m^{-1} (Testemunha); T2: CEa 1,5 dS m^{-1}; T3: CEa 2,5 dS m^{-1}; T4: CEa 3,5 dS m^{-1}, T5: CEa 4,5 dS m^{-1}, T6: CEa 5,5 dS m^{-1}. FV: Fonte de variação; CV: Coeficiente de variação; (*) significativo e (^{ns}) não significativo a 5% ($p \leq 0,05$) pelo teste F, respectivamente.

Figura 4. Análise de regressão para as variáveis: concentração interna de CO_2 (*Ci*) (A), transpiração (E) (B), condutância estomática (gs) (C), taxa de assimilação de CO_2 (A) (D), eficiência instantânea do uso da água (EiUA) (E) e eficiência instantânea da carboxilação (EiCi) (F) e temperatura foliar (Tl) (G) de mudas de umbu-cajazeira irrigadas com águas salinas.





Fluorescência da clorofila

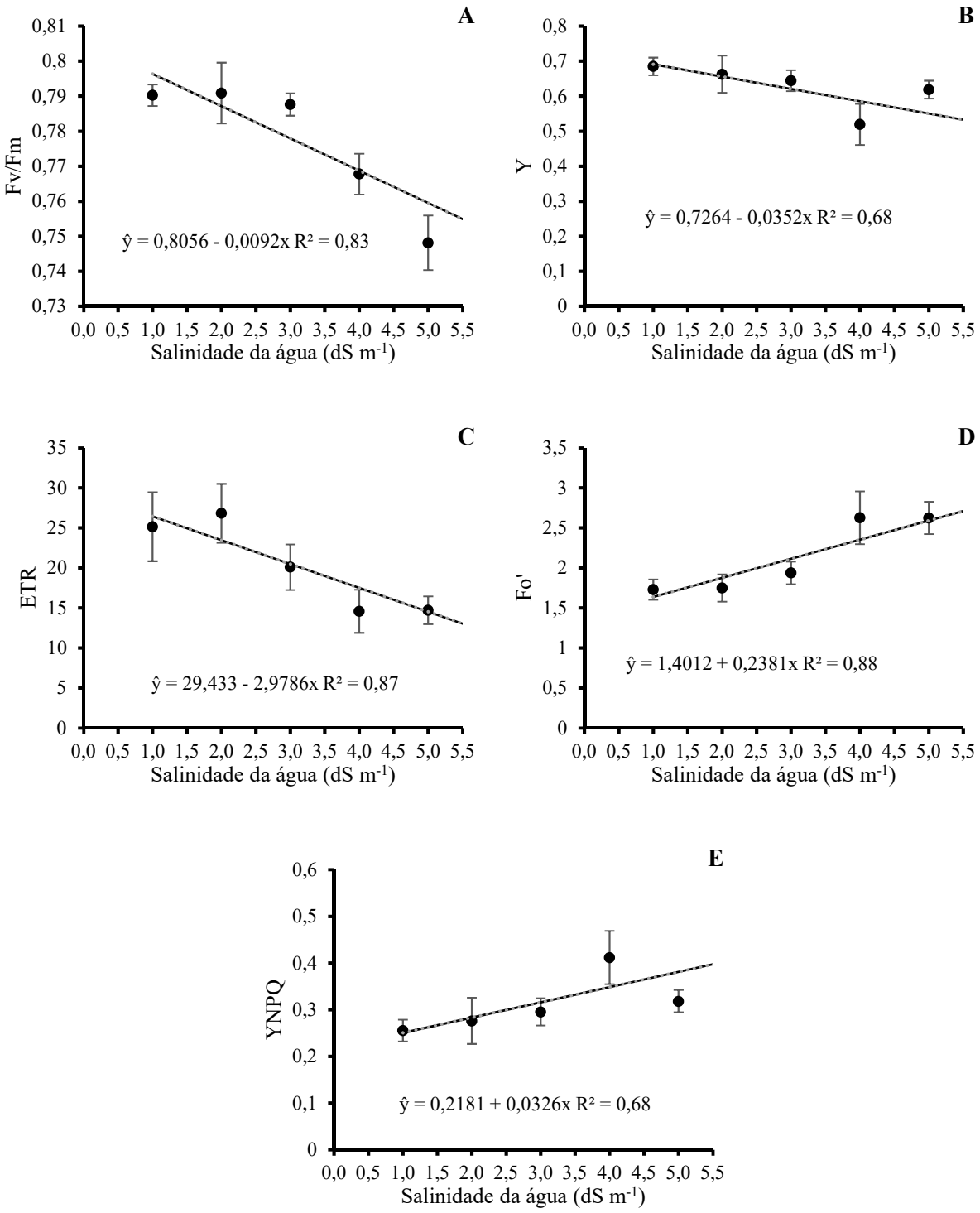
A figura 5 mostra o efeito da irrigação com água salina na eficiência fotoquímica das plantas no período experimental. O aumento de 1,0 dS m^{-1} diminuiu 1,1, 4,8, 10,1, 17,0 e 14,9 % nas variáveis Fv/Fm, Y, ETR, Fo' e YNPQ, respectivamente. Entre o menor e o maior nível de salinidade ocorreu redução de 6,3, 26,7, 55,7, 93,5 e 82,2% nas variáveis Fv/Fm, Y, ETR, Fo' e YNPQ (Figuras 5A, B, C, D, E e F). O qL e o YNO não foram significativos para os tratamentos estudados.

Tabela 8. Resumo da análise de variância (p<0,05) para as variáveis: máxima eficiência quântica do fotossistema II (PSII) (Fv/Fm), eficiência quântica efetiva de PSII (Y), taxa de transporte de elétrons (ETR), fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado (Fo'), coeficiente de extinção fotoquímica (qL), rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada (YNPQ) e rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada (YNO) de mudas de umbu-cajazeira irrigadas com águas salinas.

	Teste F (p-valor)						
FV	Fv/Fm	Y	ETR	Fo'	qL	YNPQ	YNO
Tratamento	0,0000*	0,0353*	0,0080*	0,0008*	$0,2718^{ns}$	0,0371*	$0,2314^{ns}$
CV (%)	2,07	22,97	46,56	26,36	33,31	38,95	22,47

Nota: T1: CEa 0,5 dS m^{-1} (Testemunha); T2: CEa 1,5 dS m^{-1}; T3: CEa 2,5 dS m^{-1}; T4: CEa 3,5 dS m^{-1}, T5: CEa 4,5 dS m^{-1}, T6: CEa 5,5 dS m^{-1}. FV: Fonte de variação; CV: Coeficiente de variação; (*) significativo e (^{ns}) não significativo a 5% ($p \leq 0,05$) pelo teste F, respectivamente.

Figura 5. Análise de regressão para as variáveis: máxima eficiência quântica do fotossistema II (PSII) (Fv/Fm) (A), eficiência quântica efetiva de PSII (Y) (B), taxa de transporte de elétrons (ETR) (C), fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado (Fo') (D) e rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada (YNPQ) (E) de mudas de umbu-cajazeira irrigadas com águas salinas.



4. DISCUSSÃO

O estresse salino, problema que se acentua em regiões áridas e semiáridas, representa um grande desafio para a produção agrícola mundial, uma vez que afeta o desenvolvimento das plantas. Estudos que avaliam a tolerância das culturas à salinidade subsidiam a seleção de culturas de acordo com os níveis de sais de uma área, além da busca por soluções e manejos que mitiguem as perdas de produção. Analisamos as respostas de mudas de umbu-cajazeira ao estresse salino observando os efeitos causados no crescimento e na fisiologia das plantas, determinando o nível de tolerância a salinidade da cultura.

Quanto a tolerância à salinidade, baseado na classificação exposta por Fageria (1985), as mudas de umbu-cajá toleram o estresse salino até o nível de 1,50 dS m^{-1}, a partir de onde há uma perda superior a 20% na produção da MST. A tolerância encontrada aproxima-se da tolerância de outras frutíferas como citros, cidra e macieira (1,6 dS m^{-1}), ameixeira e pessegueiro (1,4 dS m^{-1}), videira e goiabeira (1,7 dS m^{-1}), e amoreira (1,3 dS m^{-1}) (HOLANDA et al., 2016). Em comparação com outra spondia, o umbuzeiro, que tolera até o nível salino de 2,34 dS m^{-1} (NEVES, CARVALHO & RODRIGUES, 2004), o umbu-cajá apresentou maior sensibilidade.

Nas mudas estudadas todos os parâmetros de crescimento foram afetados significativamente ($p \leq 0,05$) pela salinidade (Tabela 5). A Figura 3A mostra que a diminuição acentuada na AP com o aumento do nível de salinidade. Seguindo a mesma tendência, a produção de MST apresentou redução de 20% já no primeiro tratamento salino estudado (1,50 dS m^{-1}) e manteve a tendência de queda forte ao longo dos tratamentos estudados (Figura 3F).

A queda acentuada do NF (Figura 3B) com o aumento da salinidade indica que os sais limitaram o aparecimento, desenvolvimento e a manutenção das folhas nas plantas. A redução da SF (Figura 3E) com o aumento do nível salino corrobora essa afirmação e indica que o estresse salino provocou a queda das folhas. A redução da quantidade de folhas presente na planta é um indicativo de estresse sofrido pela planta, afeta diretamente mecanismos essenciais da planta como a fotossíntese. A perda das folhas pode ser indicada como um mecanismo de sobrevivência das plantas uma vez que, como ressaltam Matos et al. (2019), reduz a perda de água por transpiração permitindo que a planta garanta uma sobrevivência imediata.

Níveis elevados de salinidade podem provocar estresse osmótico e iônico nas plantas. O estresse osmótico é a resposta mais rápida das plantas, efeito da alta pressão osmótica na interface raiz-solo que causa déficit hídrico, prejuízo na absorção de nutrientes e citotoxicidade. Os efeitos decorrentes desse estresse podem ser caracterizados pela desidratação celular, desaceleração da expansão foliar e consequente redução no crescimento da planta (MBARKI et al., 2018; TAIZ et al., 2017). Os efeitos prejudiciais ao crescimento na umbu-cajazeira, observada no período experimental sugerem susceptibilidade da planta ao estresse osmótico sofrido pela elevação da salinidade.

O prejuízo às variáveis de crescimento pela salinidade é um efeito que ocorrem também em outras culturas frutíferas como o umbuzeiro (NEVES, CARVALHO & RODRIGUES, 2004, MATOS et al.,2019; SILVA et al. 2008b), a goiabeira (SILVA et al., 2008a), o mamoeiro (SÁ et al., 2013) e a aceroleira (SÁ et al., 2019).

Quanto as trocas gasosas, as plantas analisadas foram afetadas significativamente ($p \leq 0,05$) em quase todas as variáveis de trocas gasosas estudadas, exceto a temperatura foliar (Tabela 7).

A redução da condutância estomática (gs) observada (Figura 4C) pode indicar uma reação da planta à perda de água, mas que afeta diretamente também as demais atividades de trocas gasosas da planta. Entre os efeitos do déficit hídrico, promovido pelo estresse salino, está o fechamento estomático, importante para evitar a perda de água das folhas e a desidratação e também acaba por reduzir as trocas gasosas e inibir a fotossíntese. (BUCHANAN, GRUISSEM & JONES, 2015).

Como apontam Sá et al. (2019), a redução da atividade estomática é apontada como um dos principais efeitos causados pelo estresse salino nas plantas, que atua limitando a perda de água por transpiração. O aumento ou redução da taxa de transpiração, por sua vez, pode atuar como um mecanismo de regulação do potencial hídrico celular e pode ser utilizado pela planta para suportar condições de estresse abiótico.

Como é possível observar na Figura 4B, a taxa de transpiração (E) sofreu decréscimo significativo ($p \leq 0,05$), como efeito da redução na gs. Estudando as respostas do umbuzeiro a salinidade, Matos et al. (2019) observaram que a redução na transpiração e no teor relativo de água indicaram que os níveis elevados de sais dificultaram a absorção da água pelas plantas. Os

autores ainda apontam que o custo da minimização da perda de água se dá pelo fechamento estomático e a consequente limitação do influxo de CO_2, da produção de assimilados e do acúmulo de biomassa.

Segundo Fernandes et al. (2016), nas plantas, em geral, a salinidade diminui a fixação de CO_2, afetando a abertura estomática e a eficiência fotoquímica do aparato fotossintético, decorrente da quebra da homeostase hídrica e iônica, em nível celular e em toda a planta; como consequência, há redução da expansão celular e a área foliar disponível para a fotossíntese.

Houve ainda redução significativa ($p \leq 0,05$) na EiUA (Figura 4E), mesmo com a redução da atividade estomática e da transpiração. Apesar da absorção suficiente de CO_2 para a fotossíntese indicado pela Ci (Figura 4A), a A foi reduzida. Resultados semelhantes foram apontados por Sá et al. (2019) em aceroleiras.

Destaca-se a elevação da Ci (Figura 4A), mesmo diante das reduções significativas da A (Figura 4D) e da EiCi (Figura 4F), evidenciando que o metabolismo de carbono das mudas foi afetado. Dias et al. (2018), estudando aceroleiras, apontaram que o incremento da Ci mesmo diante do aumento do fechamento estomático, sugere que o CO_2 não está sendo usado para a síntese de açúcar na fotossíntese indicando que a interferência nesse processo se dá por um fator não estomático como o mau funcionamento da atividade da enzima Ribulose 1,5 bisfosfato carboxilase oxigenase (RuBisCO).

Os autores ainda observaram que a redução na taxa de assimilação de CO_2 e na eficiência de carboxilação intrínseca coincidiram com o aumento da concentração de CO_2, indicando relação com restrições metabólicas no ciclo de Calvin e prejuízo ao metabolismo do mesófilo pela desidratação das células do mesófilo.

Observando a fluorescência da clorofila, foi detectado efeito significativo ($p \leq 0,05$) em quase todas as variáveis analisadas, exceto qL e YNO (Tabela 8). Tanto a Fv/Fm quanto Y foram afetados significativamente ($p \leq 0,05$) evidenciando uma redução da atividade fotoquímica e indica danos ao aparato fotossintético. De acordo com Dias et al. (2018), a relação Fv/Fm é considerada um indicador do desempenho fotossintético da planta, além de um indicador de distúrbios fotossintéticos causado por estresse, sendo a limitação da atividade fotoquímica indicada por sua redução. Sá et al. (2015) também mostram que a redução da

eficiência quântica do PSII sugere perturbações no sistema fotossintético promovido por estresses ambientais e bióticos.

Diante do exposto, o aumento da salinidade na água de irrigação causou o estresse osmótico e afetou o desenvolvimento das plantas estudadas. Os efeitos observados são caracterizados pela redução da disponibilidade de água, o aumento do fechamento e a perturbação no metabolismo de carbono e prejuízo ao aparato fotossintético das mudas. Como consequência da redução da fotossíntese consideram-se ainda os prejuízos ao crescimento das mudas, a redução do número e a queda das folhas. Deste modo, a limitação da disponibilidade hídrica e da fotossíntese resultaram em menor desenvolvimento dos órgãos vegetativos das mudas, sobretudo das folhas, levando menor tolerância ou estresse salino.

5. CONCLUSÃO

A salinidade afetou significativamente o crescimento, as trocas gasosas e a eficiência fotossintética das mudas de umbu-cajazeiras estudadas.

Quanto ao critério de avaliação de tolerância a salinidade, as mudas de umbu-cajazeiras foram tolerantes aos efeitos da salinidade da água até a CEa de 1,50 dS m^{-1}.

6. REFERÊNCIAS

ALVES, T.R.C.; TORRES, S.B.; DE PAIVA, E.P.; DE OLIVEIRA, R.R.; OLIVEIRA, R.R.T.; FREIRES, A.L.A.; PEREIRA, K.T.O.; DE BRITO, D.L.; ALVES, C.Z.; DUTRA, A.S.; et al. **Production and Physiological Quality of Seeds of Mini Watermelon Grown in Substrates with a Saline Nutrient Solution Prepared with Reject Brine**. Plants 2022, 11, 2534. https://doi.org/10.3390/plants11192534

BAKER, N. R.; ROSENQVST, E. **Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities.** Journal of Experimental Botany, v. 55, n. 403, p. 1607-1621, 2004. https://doi.org/10.1093/jxb/erh196

BRITO, M. E. B.; SÁ, F. V. S.; SOARES FILHO, W. S.; SILVA, L. A.; FERNANDES, P. D. **Gas exchange and chlorophyll fluorescence of citrus rootstock varieties under salt stress**. Revista Brasileira de Fruticultura, v. 38, p. 951, 2016. http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452016951

BUCHANAN, B. B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. L. **Biochemistry and molecular biology of plants**. 2Ed. John wiley & sons, cap.22, p. 1051-1100, 2015.

DIAS, A. S.; LIMA, G. S. D.; SÁ, F. V. D. S.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. D. A.; FERNANDES, P. D. **Gas exchanges and photochemical efficiency of West Indian cherry cultivated with saline water and potassium fertilization**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 22, p. 628-633, 2018. http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n9p628-633

DIAS, N. S.; LIRA, R. B.; BRITO, R. F.; SOUSA NETO, O. N.; FERREIRA NETO, M.; OLIVEIRA, A. M. **Melon yield in a hydroponic system with wastewater from desalination plant added in the nutrient solution**. R. Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, n.7, p.755–761, 2010. https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000700011

DIAS, N. DA S.; BLANCO, F. F.; SOUZA, E. R.; FERREIRA, J. F. DA S.; SOUSA NETO, O. N.; QUEIROZ, Í. S. R. **Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade**. In: GHEYI H. R. et al. (org.). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados.** Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 151-162.

FAGERIA, N. K. **Salt tolerance of rice cultivars**. Plant and Soil, Dordrecht, v. 88, p. 237-243, 1985. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/BF02182450. Acesso em: 31 jan. 2023.

FERNANDES, P. D.; BRITO, M. E. B.; GHEYI, H. R.; ANDRADE, A. P.; MEDEIROS, S. S. **Halofitismo e agricultura biossalina**. In: GHEYI H. R. et al. (org.). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados.** Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 209-242.

FERREIRA, D. F. **Análises estatísticas por meio do SISVAR (Sistema para Análise de Variância) para Windows 4.0.** In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos/SP. Anais. São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

HOLANDA, J. D.; AMORIM, J. D.; FERREIRA NETO, M.; HOLANDA, A. D.; SÁ, F. D. S. Qualidade da água para irrigação. In: GHEYI H. R. et al. (org.). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados.** Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 35-50.

MBARKI, S.; SYTAR, O.; CERDA, A.; ZIVCAK, M.; RASTOGI, A.; HE, X.; ZOGHLAMI, A.; ABDELLY, C.; BRESTIC, M. **Strategies to mitigate the salt stress effects on photosynthetic apparatus and productivity of crop plants**. In: Salinity Responses and Tolerance in Plants; Springer: Cham, Switzerland, v. 1, p. 85–136, 2018. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75671-4_4

MEDEIROS, J. F. **Qualidade da água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo "GAT" nos Estados do RN, PB e CE**. 1992. 173f. Dissertação - (Mestrado em Irrigação e Drenagem), Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1992. Disponível em: http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/2896. Acesso em: 31 jan. 2023.

MENDES, N. V. B; SOUZA, F. X.; CORRÊA, M. C. M.; ROSSETTI, A. G.; NATALE, W. **Techniques for formation of umbu-cajazeira seedlings by cuttings**. Research, Society and Development, v. 10, n. 13, 2021. DOI: http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i13.20665

MUNNS, R.; GILLIHAM, M. **Salinity tolerance of crops – what is the cost?** New phytologist, v. 208, n. 3, p. 668-673, 2015. https://doi.org/10.1111/nph.13519

MUNNS, R.; TESTER, M. **Mechanisms of salinity tolerance**. Annual Review of Plant Biology, v. 59, p. 651-681, jun. 2008. http://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911

NEVES, O. S. C.; CARVALHO, J. G.; RODRIGUES, C. R. **Growth and mineral nutrition of umbuzeiro seedlings (Spondias tuberosa Arr. Cam.) under salt stress in nutrient solution.** Ciênc. agrotec., Lavras, v. 28, n. 5, p. 997-1006, set.out., 2004. https://doi.org/10.1590/S1413-70542004000500005

NOVAIS, R. D.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. D. **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo: ensaio em ambiente controlado**. Brasília: Embrapa-SEA, 1991.

KUMAR, P; CHOUDHARY, M; HALDER, T.; PRAKASH, N. R.; SINGH, V.; VINEETH, T. V.; SHEORAN, S.; RAVIKIRAN, K. T.; LONGMEI, N.; RAKSHIT, S.; SIDDIQUE, K. H. M. **Salinity stress tolerance and omics approaches: revisiting the progress and achievements in major cereal crops.** Heredity (2022) 128: 497 – 518. https://doi.org/10.1038/s41437-022-00516-2

PATADE, V. Y.; BHARGAVA S.; SUPRASANNA, P. **Salt and drought tolerance of sugarcane under iso-osmotic salt and water stress: growth, osmolytes accumulation, and antioxidant defense.** Journal of Plant Interactions. v. 6, n. 4, p. 275-282, dez. 2011. http://dx.doi.org/10.1080/17429145.2011.557513

RHOADES, J. P.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. **The use saline waters for crop production.** Rome: FAO, 1992. 133p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 48).

SÁ, F. V. S.; BRITO, M. E. B.; MELO, A. S.; NETO, P. A.; FERNANDES, P. D.; FERREIRA, I. B. **Production of papaya seedlings irrigated with saline water.** R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v. 17, n. 10, p. 1047–1054, 2013. https://doi.org/10.1590/S1415-43662013001000004

SÁ, F. V. S.; BRITO, M. E. B.; SILVA, L. A.; MOREIRA, R. C. L.; FERNANDES, P. D.; FIGUEIREDO, L. C. **Physiology of perception of saline stress in 'Common Sunki' mandarin hybrids under saline hydroponic solution**. Comunicata Scientiae, v. 6, n. 4, p. 463- 470, 2015. https://doi.org/10.14295/cs.v6i4.1121

SÁ, F. D. S.; GHEYI, H. R.; LIMA, G. S.; DE PAIVA, E. P.; SILVA, L. D. A.; MOREIRA, R. C. L.; FERNANDES, P. D.; DIAS, A. S. **Ecophysiology of West Indian cherry irrigated with saline water under phosphorus and nitrogen doses.** Bioscience Journal, v. 35, n. 1, p. 211-221, 2019. http://dx.doi.org/10.14393/BJ-v35n1a2019-41742

SANTOS, R. A. R.; LEITE NETA, M. T. S.; SILVA, M. A. A. P.; CARNELOSSI, M. A. G.; NARAIN, N. **Process optimization for elaboration of caja-umbu (*Spondias spp.*) fruit jelly: The effect of pulp and pectin contents on sensory attributes and volatile constituents**. International Journal of Gastronomy and Food Science, 24, 2021. https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100315

SHARAVDORJ, K.; BYAMBADORJ, S.-O.; JANG, Y.; CHO, J.-W. **Application of Magnesium and Calcium Sulfate on Growth and Physiology of Forage Crops under Long-Term Salinity Stress.** Plants 2022, 11, 3576. https://doi.org/10.3390/plants11243576

SILVA, A. B. F.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; BLANCO, F. F. **Growth and yield of guava irrigated with saline water and addition of farmyard manure**. Rev. Bras. Ciênc. Agrár. Recife, v. 3, n. 4, p. 354-359, 2008a. https://doi.org/10.5039/agraria.v3i4a114

SILVA, E. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; ARAÚJO, F. P.; MELO, N. F.; AZEVEDO NETO, A. D. **Physiological responses to salt stress in young umbu plants.** Environmental and Experimental Botany. v. 63, n. 1–3, p. 147-157 mai, 2008b. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.11.010

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/330496. Acesso em: 31 jan. 2023.

SILVA, L. A.; BRITO, M. E. B.; SÁ, F. V. S.; MOREIRA, R. C. L.; SOARES FILHO, W. S.; FERNANDES, P. D. **Physiological mechanisms in citrus hybrids under saline stress in hydroponic system**. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v. 18, (Suppl), p. S1–S7, 2014. https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18nsuppS1-S7

SOUZA, F. X.; COSTA, J. T. A. **Produção de mudas das spondias cajazeira, cajaraneira, cirigueleira, umbu-cajazeira e umbuzeiro.** Documentos 133, Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, 2010.

PRAXEDES, S. S. C..; SÁ, F. V. S; FERREIRA NETO M.; LOIOLA, A. T.; REGES, L. B. L.; JALES, G. D.; MELO, A. S. **Tolerance of seedlings traditional varieties of cowpea (Vigna unguiculata) to salt stress**. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 41, n. 5, suplemento 1, p. 1963-1974, 2020. https://doi.org/10.5433/1679-0359.2020v41n5supl1p1963

TALAAT, N.B.; HANAFY, A.M.A. **Plant Growth Stimulators Improve Two Wheat Cultivars Salt-Tolerance: Insights into Their Physiological and Nutritional Responses**. Plants 2022, 11, 3198. https://doi.org/10.3390/plants11233198

KRAMER, D. M.; JOHNSON, G.; KIIRATS, O.; EDWADS, G. E. **New fluorecence parameters for the determination of QA redos state and excitation energy fluxes**. Photosynthesis Research, v. 79, p. 209-218, 2004. https://doi.org/10.1023/B:PRES.0000015391.99477.0d

OXBOROUGH, K.; BAKER, N. R. **An instrument capable of imaging chlorophyll a fluorescence from leaves at very low irradiance and at cellular and subcellular levels of organization**. Plant, Cell and Environment, v. 20, p. 1473-1483, 1997. https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.1997.d01-42.x

CAPÍTULO 2: PRODUÇÃO DE BIOMASSA E NUTRIÇÃO MINERAL DE MUDAS DE UMBU-CAJAZEIRA SUBMETIDA A SALINIDADE NA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO.

RESUMO

A baixa disponibilidade de recursos hídricos de boa qualidade constitui-se um grande desafio para a agricultura. Um grande limitador da produção agrícola no Nordeste brasileiro é o excesso de sais na água e no solo. A umbu-cajazeira, cultura presente no semiárido nordestino, possui elevado potencial produtivo mas carece de informações técnicas que elevem o nível tecnológico da sua produção. O presente estudo objetivou avaliar a produção de biomassa e nutrição mineral de mudas de umbu-cajazeira irrigadas com águas salinas. O experimento foi conduzido na Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró/RN, em casa de vegetação. Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado, com seis níveis de salinidade na água de irrigação (CEa: 0,5; 1,5; 2,5; 3,5; 4,5; 5,5 dS m^{-1}) e oito repetições. A coleta dos dados se deu aos 90 dias após o transplantio, analisando-se os parâmetros de produção de biomassa e nutrição mineral. Os dados foram submetidos à análise de variância, teste F ($p \leq 0,05$) no programa estatístico SISVAR. A salinidade reduziu a produção de biomassa em todas as partes da planta, com a parte aérea apresentando maior sensibilidade. Houve aumento significativo nos teores de P, K, Ca, Mg e Na presente nas folhas das mudas. As relações Na^+/K^+ e Na^+/Ca^{2+} não foram afetadas significativamente com o aumento da salinidade. Constatou-se que a maior redução da produção de biomassa se deu na parte aérea das mudas. A elevação dos níveis de Na+ nas folhas não inibiram a presença de K+ e Ca2+ nas folhas das mudas estudadas.

Palavras-chave: Estresse abiótico; produção de mudas; ajuste osmótico.

CHAPTER 2: BIOMASS PRODUCTION AND MINERAL NUTRITION OF UMBU-CAJAZEIRA SEEDLINGS SUBMITTED TO SALINITY IN IRRIGATION WATER.

ABSTRACT

The low availability of good quality water resources constitutes a great challenge for agriculture. A major limitation of agricultural production in the Brazilian Northeast is the excess of salts in water and soil. The umbu-cajazeira, a crop present in the northeastern semi-arid region, has high productive potential but lacks technical information to raise the technological level of its production. The present study aimed to evaluate the biomass production and mineral nutrition of umbu-cajazeira seedlings irrigated with saline water. The experiment was conducted at Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró/RN, in a greenhouse. A completely randomized design was adopted, with six levels of salinity in the irrigation water (ECa: 0.5; 1.5; 2.5; 3.5; 4.5; 5.5 dS m^{-1}) and eight repetitions. Data collection took place 90 days after transplanting, analyzing the parameters of biomass production and mineral nutrition. Data were submitted to analysis of variance, F test ($p \leq 0.05$) in the SISVAR statistical program. Salinity reduced biomass production in all parts of the plant, with the aerial part showing greater sensitivity. There was a significant increase in the levels of P, K, Ca, Mg and Na present in the leaves of the seedlings. The Na^+/K^+ and Na^+/Ca^{2+} ratios were not significantly affected by increasing salinity. It was found that the greatest reduction in biomass production occurred in the aerial part of the seedlings. Elevation of Na^+ levels in the leaves did not inhibit the presence of K^+ and Ca^{2+} in the leaves of the studied seedlings.

Keywords: Abiotic stress; seedling production; osmotic adjustment.

1. INTRODUÇÃO

As estimativas de terras agrícolas afetadas por sais no mundo todo são preocupantes. Até metade deste século 50% da área arável total deve ser afetada pela salinidade. Cerca de 23% das terras agrícolas e 33% das terras irrigadas já sofrem com o estresse salino e caminha para o aumento desses indicadores pelo uso de águas salinas, aplicação inadequada de fertilizantes e um manejo equivocado do sistema solo-água-planta. Esses dados mostram que atender as necessidades projetadas da necessidade de alimentos no mundo frente ao aumento da população torna-se a cada dia mais desafiador (SÁ et al., 2020; CHOURASIA et al., 2022; KUMAR et al., 2022; ZHANG et al.,2021)

A baixa disponibilidade de recursos hídricos de boa qualidade constitui-se um grande desafio para a agricultura, uma vez que tem levado a utilização de águas de fontes alternativas, sem a qualidade adequada, por vezes com elevadas concentrações de sais. No entanto, altas concentrações de sais no solo ou na água prejudicam a produção agrícola afetando a produtividade e a viabilidade econômica das culturas, notadamente em regiões de clima árido e semiárido (DIAS et al., 2016; MBARKI et al., 2018). O estresse salino afeta as características morfológicas das plantas, alterando o crescimento e desenvolvimento em todas as fases de crescimento, como germinação, fase vegetativa, reprodutiva e senescência (CHOURASIA et al., 2022).

Dentro das estimativas de áreas salinizadas em todo o mundo acredita-se que cerca de 4,5% destas estejam localizadas no Brasil e 25% dos perímetros irrigados brasileiros já são afetados pela salinidade (SILVA et al., 2008). Nas regiões semiáridas os problemas com salinidade são potencializados devido à baixa disponibilidade hídrica provocada pelos baixos índices de precipitação pluviométrica e das altas taxas de evapotranspiração. O resultado disso é a falta de água de qualidade para as atividades humanas como a agricultura, que depende da irrigação para suprir as necessidades hídricas das culturas (GONÇALO FILHO et al., 2020; SÁ et al., 2020).

Algumas culturas típicas do semiárido nordestino, como as Spondias, a cada dia são apontadas como uma alternativa econômica promissora devido a crescente comercialização de seus frutos, o que tem proporcionado renda extra para os agricultores (COSTA, ATAÍDE & BASTOS, 2021). A produção das spondias, que ocorrem geralmente de forma extrativista em

plantas nativas, ainda necessita de informações agronômicas básicas que devem incentivar e fortalecer plantios comerciais e aumentar sua rentabilidade (MATOS et al., 2019).

A umbu-cajazeira (*Spondias* sp.) é planta frutífera, xerófita, cujos frutos possuem diferentes nomes comuns: umbu-cajá, cajá-umbu, cajarana, cajá-redondo, cajá-do-sertão, cajá-amarelo, cajá-doce, cajazinha, umbugueleira e umbu. Está dispersa pelo semiárido do Nordeste brasileiro. Produz frutos valorizados pelas agroindústrias. Carece de informações técnicas que permitam o uso de insumos ou práticas agrícolas (MENDES et al., 2019; MENDES et al., 2021)

Diante das discussões sobre os desafios impostos pela salinidade, destaca-se a importância de conhecer as respostas das principais culturas a esse estresse. No entanto, estudos que tratam dos efeitos do uso de águas salinas na umbu-cajazeira ainda são raros e preliminares. Assim, a pesquisa teve por objetivo avaliar a produção de biomassa e nutrição mineral das mudas de umbu-cajá irrigadas com águas salinas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Local de realização do estudo e delineamento experimental

A condução da pesquisa ocorreu em casa de vegetação na Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), em Mossoró, RN, no período de abril a julho de 2022. Localizado no semiárido do Nordeste brasileiro, o município possui coordenadas geográficas 5º11’ S de latitude, 37º20’ W de longitude, e 18 m de altitude. De acordo com a classificação climática de Koppen, o clima local é do tipo BSwh’, seco, muito quente e com estação chuvosa no verão atrasando-se para o outono, com temperatura média anual de 27,4 ºC, precipitação pluviométrica anual bastante irregular, com média de 673,9 mm e umidade relativa de 68,9 % (DIAS, et al., 2010).

Durante toda a condução do experimento, os dados climáticos de temperatura e umidade relativa do ar foram aferidos com o auxílio de um termo-hidrômetro. Os dados coletados foram os valores máximo, mínimo e a média das leituras diárias. Os valores de temperatura correspondem a 42,58°C, 21,80°C e 35,70°C, respectivamente, e de umidade relativa do ar, 87,78 %, 29,51% e 47,32%, respectivamente.

As parcelas experimentais, compostas por um vaso com uma muda de umbu-cajazeira, seguiram o delineamento inteiramente casualizado, com seis níveis de salinidade na água de

irrigação (S1: 0,5; S2: 1,5; S3: 2,5; S4: 3,5; S5: 4,5; S6: 5,5 dS m^{-1}) e 8 repetições por tratamento, somando 48 parcelas experimentais.

Instalação e condução da pesquisa

As mudas de umbu-cajazeiras foram produzidas a partir de estacas lenhosas coletadas de plantas matrizes com bom desenvolvimento vegetativo, cultivadas no campus UFERSA em Mossoró. As estacas foram coletadas no período final do repouso vegetativo da planta, quando a planta se encontra desfolhada e com as gemas intumescidas. As estacas foram padronizadas com cerca de 15 cm de comprimento e 10 a 15 mm de diâmetro (SOUZA & COSTA, 2010).

O pegamento inicial das estacas foi realizado em tubetes de polipropileno com substrato comercial Tropstrato® (composto de superfosfato simples, nitrato de potássio, turfa, vermiculita e casca de pinus). Após 106 dias, as mudas enraizadas foram transplantadas para vasos de 8,0 dm^3, com substrato produzido com a mistura de areia e esterco bovino na proporção de 2:1. As características químicas do substrato foram analisadas no Laboratório de Nutrição de Plantas da UFERSA, conforme Silva (2009). As amostras para as análises químicas foram coletadas no início, com uma única amostra, e na conclusão do experimento, com uma amostra para cada tratamento estudado (Tabela 9).

Tabela 9. Caracterização química do substrato no início e ao final do experimento.

	Substrato antes do experimento												
	Ph	CE	M.O.	P	K+	Na+	Ca2+	Mg2+	SB	T	CTC	V	PST
	(H2O) 1:25	(dS/m)	(%)	.....(mg/dm3).....			.....cmolc/dm3.....					(%)	
	7,03	0,77	0,38	138,0	71,8	133,9	6,55	3,01	10,33	10,33	10,33	100	6,0
	Substrato ao final do experimento												
T1	6,8	0,32	0,06	138,8	271,7	321,0	3,60	3,82	9,51	9,51	9,51	100	14,7
T2	6,75	0,87	1,05	99,1	243,7	859,3	5,25	2,35	11,96	11,96	11,96	100	31,2
T3	6,49	1,31	0,51	138,0	297,3	1149,4	3,17	4,30	13,23	13,23	13,23	100	37,8
T4	6,56	1,74	0,22	117,9	349,1	1466,5	5,06	3,88	16,21	16,21	16,21	100	39,3
T5	6,34	2,26	1,02	87,6	322,3	2113,7	4,60	3,26	17,88	17,88	17,88	100	51,4
T6	6,07	3,66	0,83	156,1	363,9	2963,5	6,12	3,91	23,85	23,85	23,85	100	54,0

Al^{3+}, (H + Al) e m = 0, P, K^+, Na^+: extrator Mehlich 1; Al^{3+}, Ca^{2+}, Mg^{2+}: extrator KCl 1,0 mol L^{-1}; CE: Condutividade elétrica; SB: Soma de base; T: Capacidade de troca de cátions; M.O.: Digestão Úmida Walkley-Black; PST: Percentagem de sódio trocável. T1: CEa 0,5 dS m^{-1} (Testemunha); T2: CEa 1,5 dS m^{-1}; T3: CEa 2,5 dS m^{-1}; T4: CEa 3,5 dS m^{-1}; T5: CEa 4,5 dS m^{-1}; e T6: CEa 5,5 dS m^{-1}.

O espaçamento entre mudas na área experimental foi de 1,0 m entre linhas e 0,5 m entre plantas. Além das parcelas experimentais foram acrescidas duas mudas para cada tratamento, que foram submetidas às mesmas condições durante todas as etapas do experimento. No total, 12 mudas ficaram dispostas em duas fileiras centrais, utilizadas para o cálculo da lâmina da irrigação de cada tratamento.



Figura 6. Mudas transplantadas (A), manejo de irrigação dos tratamentos (B), disposição das mudas na casa de vegetação (C) e as mudas utilizadas para cálculo da irrigação (D).

Os teores salinos das águas de irrigação utilizadas no experimento foram obtidos a partir da água de abastecimento local e a adição de sais solúveis. A água com menor condutividade elétrica da água (CEa), T1, foi representada pela água de abastecimento local, com CEa=0,5 dS m^{-1}. A diferença dos níveis de salinidade dos demais tratamentos se deram com acréscimo de 1,0 dS m^{-1} na CEa de cada tratamento, T2=1,5, T3=2,5, T4=3,5, T5=4,5 e T6=5,5 dS m^{-1}. O preparo das águas salinas se deu com o incremento dos sais de cloreto de sódio (NaCl), cloreto de cálcio ($CaCl_2.2H_2O$) e cloreto de magnésio ($MgCl_2.6H_2O$), na proporção equivalente de

7:2:1 (MEDEIROS, 1992), seguindo a relação entre a CEa e concentração (mmolc L-1= CE x 10), extraída de Rhoades; Kandiah; Mashali (1992).

Para o preparo das águas salinas, os sais foram dissolvidos seguindo a quantidade calculada para atingir cada nível de condutividade dos tratamentos. Após dissolvidos os sais, o teor salino era aferido com o auxílio de um condutivímetro portátil, que tem sua condutividade ajustada à temperatura de 25ºC. Depois do preparo, as águas salinas foram condicionadas em recipientes plásticos de 60 L, identificados e protegidos de evaporação, entrada de água de chuva e de possíveis contaminações.

A aplicação dos tratamentos iniciou aos 57 dias após o transplantio das mudas (DAT). A irrigação observou um turno de rega de 48 h, com aplicações feitas manualmente (Figura 6) com o auxílio de uma proveta graduada (1.000 mL), seguindo o método da lisimetria de drenagem, conforme Equação 1. O manejo de irrigação ainda contava com a aplicação de uma fração de lixiviação de 20% a cada 15 dias.

$$\mathrm{Va} = \frac{(\mathrm{La} - \mathrm{D})}{n(1-FL)} \qquad \text{(Eq.1)}$$

Onde:

La - Lâmina anterior aplicada;

D - Média de drenagem;

n - Número de recipientes;

FL - Fração de lixiviação.

Ao aplicar a última fração de lixiviação nos tratamentos, foi realizada a coleta da água lixiviada para a aferição da condutividade elétrica em todos os tratamentos para a obter o valor médio de cada tratamento (Tabela 5).

O manejo nutricional com os macronutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio) adotado utilizou metade da recomendação para ensaios em vasos de Novais, Neves, Barros (1991), consistindo em 50% de 100 mg de N, 300 mg de P_2O_5 e 150 mg de K_2O por dm^{-3} de solo, aplicados semanalmente via fertirrigação e parcelada em onze aplicações. Ao fim do experimento foram aplicados em cada vaso 364 mg de ureia (45% de N), 178,82 mg de fosfato monoamônico (12% de N e 61% de P) e 91 mg de cloreto de potássio (60% de K).

Tabela 10. Médias da condutividade elétrica da última lâmina de lixiviação.

Tratamento	Média da CE na lâmina lixiviada (dS m^{-1})
T1 = 0,5 dS m^{-1}	1,87
T2 = 1,5 dS m^{-1}	5,34
T3 = 2,5 dS m^{-1}	7,47
T4 = 3,5 dS m^{-1}	8,26
T5= 4,5 dS m^{-1}	9,29
T6 = 5,5 dS m^{-1}	12,12

A adubação com micronutrientes foi realizada via aplicação foliar, com o produto comercial Liqui-Plex Fruit®, na proporção de 3 mL L^{-1}, seguindo a orientação do fabricante. Os nutrientes fornecidos pelo produto são: 73,5 g L^{-1} de nitrogênio, 14,7 g L^{-1} de cálcio, 78,63 g L^{-1} de enxofre, 14,17 g L^{-1} de boro, 0,74 g L^{-1} de manganês, 1,47 g L^{-1} de molibdênio, 73,5 g L^{-1} de zinco e 2,45% de carbono orgânico. O manejo fitossanitário e cultural foi realizado nas mudas sempre que necessário.

Variáveis analisadas

Ao 90º dia de experimento, procedeu-se com a coleta destrutiva e pesagem para obtenção da massa fresca das folhas, da estaca, da haste, das raízes e total. Em seguida os materiais foram colocados em sacos de papel do tipo Kraft e levados para secagem em estufa de circulação de ar forçada a 65ºC, até atingir peso constate. Após a secagem determinou-se a matéria seca das folhas (MSF), haste (MSH), estaca (MSE) e raiz (MSR). A matéria seca total (MST) representa o somatório das massas secas das folhas, haste, estaca e raiz. Todo o material foi pesado em balança analítica de precisão (0,0001g).

Após secagem o material foliar foi triturado em moinho de aço do tipo Willey e submetido a análises nutricionais de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e sódio (Na). A determinação dos nutrientes N, P, K e Ca se deu por digestão sulfúrica, seguindo metodologia proposta por Silva (2009). Os teores de Na foram obtidos no Laboratório de Análises de Solo e Planta (LASP), Petrolina-PE, de acordo com a metodologia de Malavolta; Vitti & Oliveira (1997). Com a obtenção dos teores determinou-se a relação desses íons com íons de sódio (Na/K, Na/Mg e Na/Ca).

Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste 'F' ao nível de 5% de significância e as médias das variáveis foram submetidas à análise de regressão, utilizando-se o software estatístico SISVAR® (FERREIRA, 2011).

3. RESULTADOS

Produção de biomassa

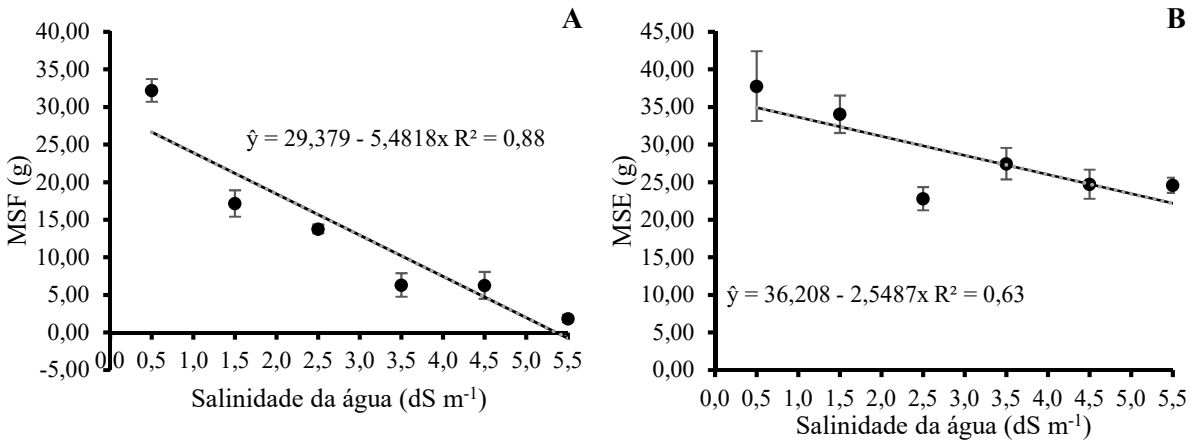
A Figura 7 mostra o efeito negativo da irrigação com água salina na produção de biomassa da umbu-cajazeira nas diferentes partes da planta. O acréscimo de 1,0 dS m^{-1} na salinidade reduziu em 18,7, 7,0, 15,8 e 14,7% as variáveis MSF, MSE, MSH e MSR, respectivamente. Entre o menor e o maior nível salino houve redução de 102,6, 38,7, 86,7 e 81,1% nas variáveis MSF, MSE, MSH e MSR (Figuras 7A, B, C e D).

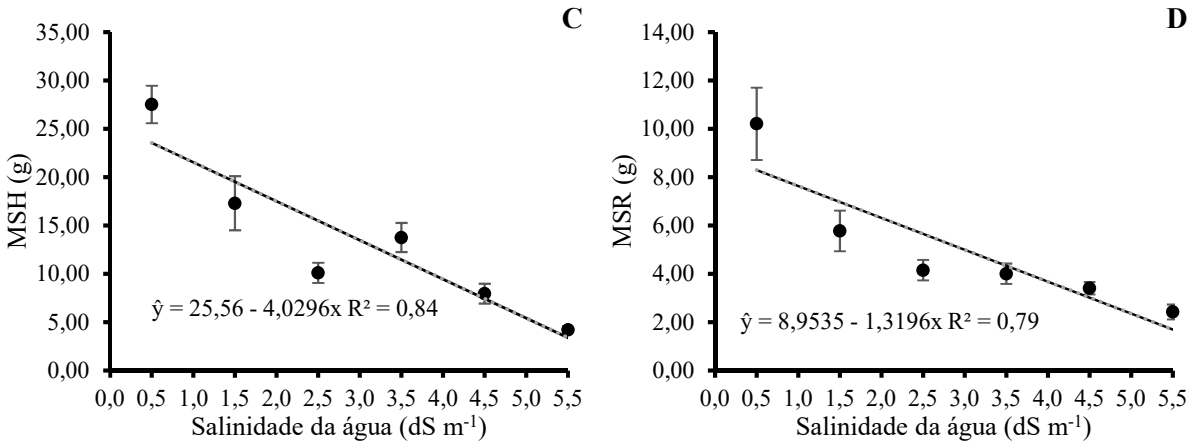
Tabela 11. Resumo da análise de variância para as variáveis: matéria seca das folhas (MSF), matéria seca da estaca (MSE), matéria seca da haste (MSH) e matéria seca da raiz (MSR).

	Teste F (p-valor)			
FV	**MSF (g)**	**MSE (g)**	**MSH (g)**	**MSR (g)**
Tratamento	0,0000*	0,0031*	0,0000*	0,0000*
CV (%)	21,48	17,92	24,33	30,44

Nota: T1: CEa 0,5 dS m^{-1} (Testemunha); T2: CEa 1,5 dS m^{-1}; T3: CEa 2,5 dS m^{-1}; T4: CEa 3,5 dS m^{-1}, T5: CEa 4,5 dS m^{-1}, T6: CEa 5,5 dS m^{-1}. FV: Fonte de variação; CV: Coeficiente de variação; (*) significativo e (^{ns}) não significativo a 5% ($p \leq 0,05$) pelo teste F, respectivamente.

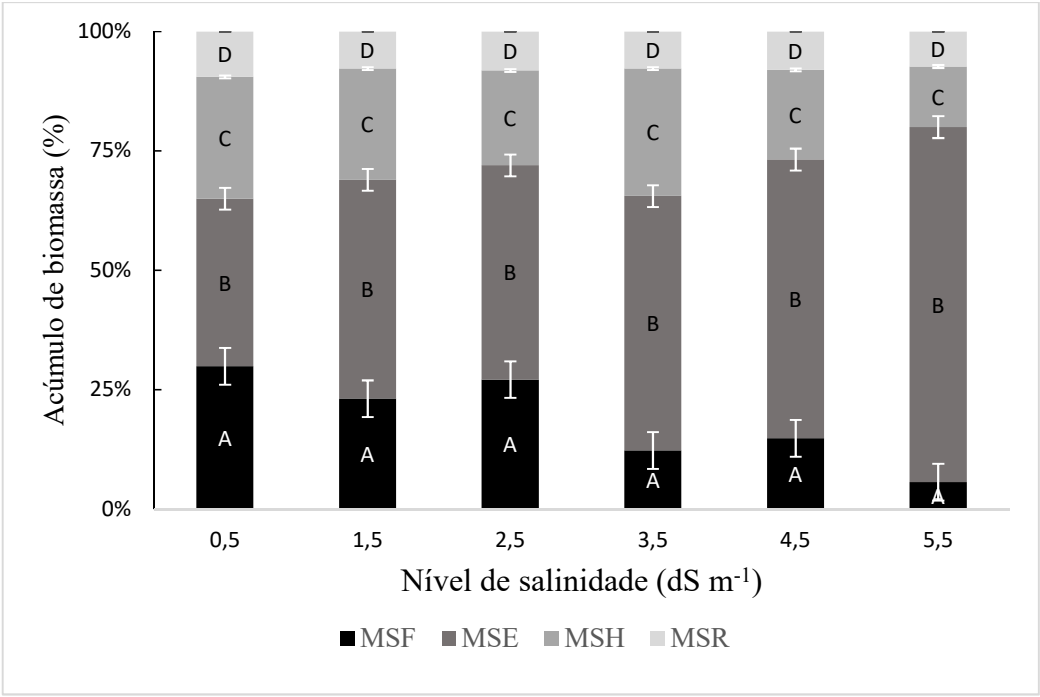
Figura 7. Análise de regressão para as variáveis matéria seca das folhas (MSF) (A), matéria seca da estaca (MSE) (B), matéria seca da haste (MSH) (C) e matéria seca da raiz (MSR) (D).





Como é possível observar na figura 8, o percentual de matéria seca das partes da planta em relação a sua matéria seca total apresentou diferença entre os tratamentos. Destaca-se a redução na porcentagem de MSF, MSR e de MSH e o aumento da MSE.

Figura 8. Composição em matéria seca por partes da planta de umbu-cajazeira submetida a diferentes níveis de salinidade na água de irrigação.



Nota: MSF (A), MSE (B), MSH (C) e MSR (D).

Análises nutricionais

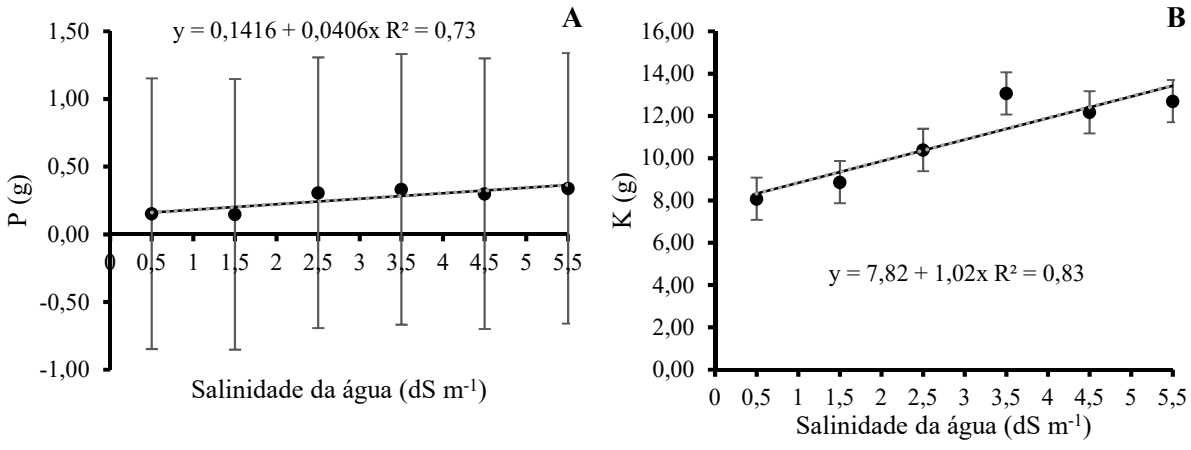
Conforme apresentado na tabela 12 os teores de P, K, Ca, Mg e Na diferiram significativamente entre os tratamentos, o que não aconteceu com o N e com as relações Na/K e Na/Ca. A elevação em 1,0 dS m^{-1} na salinidade promoveu aumento de 28,7, 13,0, 10,4, 4,3 e 6,5% as variáveis P, K, Ca, Mg e Na, respectivamente. Entre o menor e o maior nível salino houve aumento de 157,7, 71,7, 57,4, 23,6, e 35,7% nas variáveis P, K, Ca, Mg e Na (Figuras 9B, C, D, E e F).

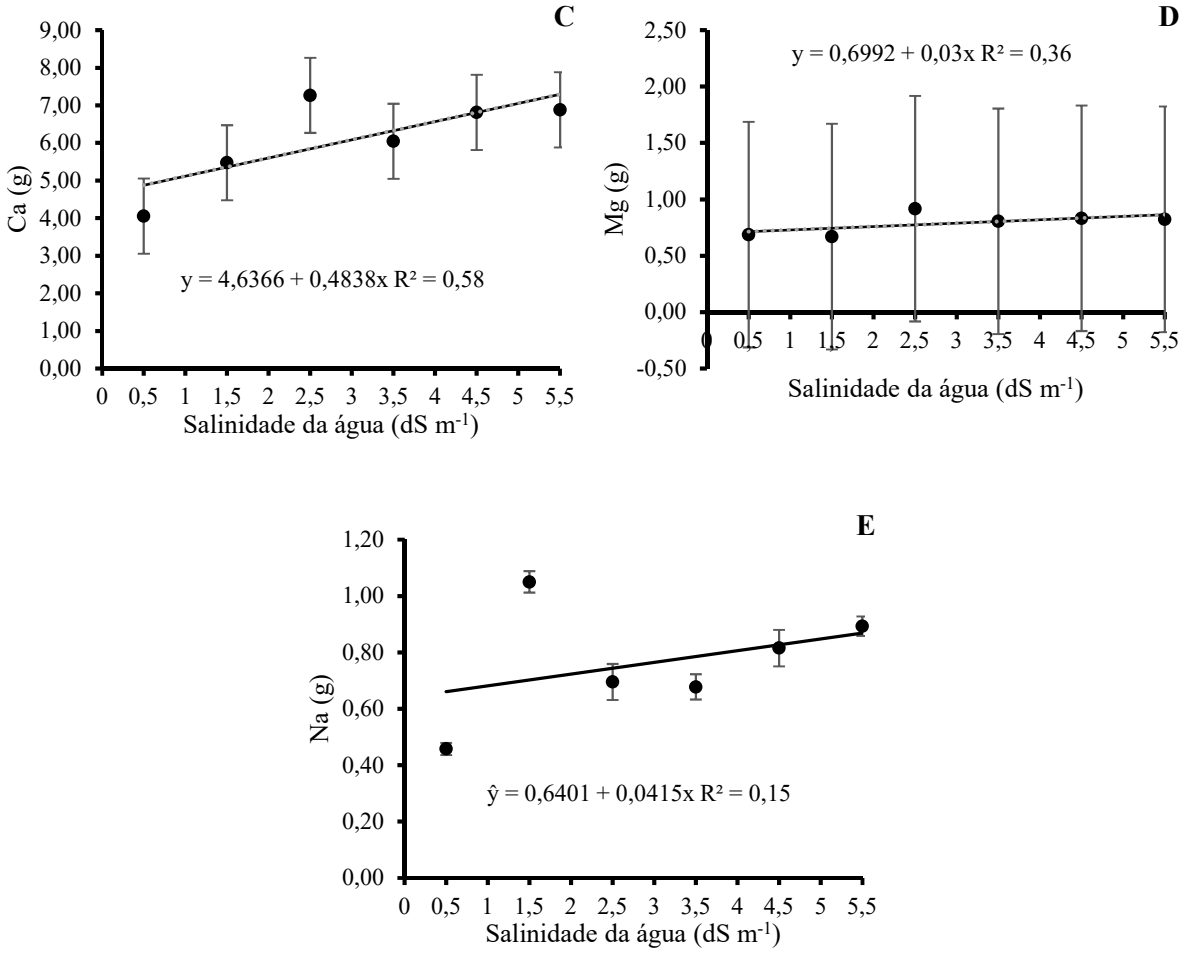
Tabela 12. Resumo da análise de variância para teores de nutrição mineral na folha de mudas de umbu-cajazeiras submetidas a salinidade para os nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), Sódio (Na) e as relações entre os nutrientes Na/K (G) e Na/Ca (H).

	Teste F (p-valor)							
FV	**N**	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**	**Na**	**Na/K**	**Na/Ca**
Tratamento	0,5966^{ns}	0,0000*	0,0042*	0,0001*	0,0000*	0,0237*	0,0516^{ns}	0,1338^{ns}
CV (%)	16,51	18,19	16,96	12,37	11,97	28,78	38,14	39,64

Nota: T1: CEa 0,5 dS m^{-1} (Testemunha); T2: CEa 1,5 dS m^{-1}; T3: CEa 2,5 dS m^{-1}; T4: CEa 3,5 dS m^{-1}, T5: CEa 4,5 dS m^{-1}, T6: CEa 5,5 dS m^{-1}. FV: Fonte de variação; CV: Coeficiente de variação; (*) significativo e (^{ns}) não significativo a 5% ($p \leq 0,05$) pelo teste F, respectivamente.

Figura 9. Análise de regressão para teores de nutrição mineral na folha de mudas de umbu-cajazeiras submetidas a salinidade para os nutrientes fósforo (P) (A), potássio (K) (B), cálcio (Ca) (C), magnésio (Mg) (D) e Sódio (Na) (E).





4. DISCUSSÃO

A resposta ao estresse salino pode variar entre espécies e cultivares de uma mesma espécie, além de depender das condições climáticas da região, do solo, do método de irrigação e também do estádio de desenvolvimento da planta (DIAS et al., 2016). Assim, destaca-se a importância de pesquisas que busquem conhecer os mecanismos de defesa das culturas, como a planta administra o acúmulo dos íons tóxicos e a produção de biomassa buscando a mitigação dos danos. Avaliamos a produção de biomassa nas diferentes partes da planta e a nutrição mineral das folhas de mudas de umbu-cajazeira submetidas a salinidade na água de irrigação.

A produção de biomassa nas plantas foi afetada de forma significativa ($p \leq 0,05$), seja na produção de MSF, MSE, MSH ou MSR (Tabela 11), apontando que tanto a parte aérea como as raízes das mudas foram sensíveis a salinidade. Matos et al. (2019) destaca que em condições de salinidade elevada é comum em várias espécies uma redução no acúmulo de biomassa e consequente redução do gasto energético, como um mecanismo de sobrevivência importante que preserva o metabolismo celular.

De acordo com MBARKI et al. (2018), soluções salinas impõem estresse iônico e osmótico nas plantas, e os efeitos desse estresse podem ser observados em diferentes níveis. Em plantas sensíveis, o crescimento das partes aéreas e, em menor grau, das raízes é rapidamente reduzido. Este fenômeno de redução parece ser independente da concentração de sódio no tecido, mas seria uma resposta à osmolaridade do meio.

O aumento da participação percentual de MSE (Figura 8), mesmo sofrendo redução significativa com o aumento da salinidade, é um indicativo do prejuízo à produção de biomassa na parte aérea da planta. A estaca usada na propagação não dispõe da gema apical para crescimento vertical, ficando limitada ao crescimento no seu diâmetro. O maior percentual de MSE indica o não desenvolvimento adequado das demais partes das mudas. As maiores reduções percentuais são da MSF e MSH, evidenciando maior impacto sofrido.

A redução da MSF mostra que o aumento do nível de salinidade afetou a produção de folhas, o que é corroborado pelo menor desenvolvimento da haste (MSH) onde as folhas são emitidas. A manutenção das folhas também foi prejudicada evidenciada pelo sintoma visual de queda das folhas. De acordo com Munns & Teser (2008), a redução do desenvolvimento das folhas pela salinidade ocorre devido ao efeito osmótico da salinidade que promove a perda de água pelas células foliares, que além de afetar o volume e o turgor, reduz as taxas de clonagem das células. Com o passar do tempo há também a reduções no alongamento e na divisão celular que provoca emissão mais lenta das folhas e um menor tamanho final delas, além da morte das folhas mais velhas.

A MSH também reduziu de forma significativa com o estresse salino. Almeida et al. (2019) apontam que a salinidade reduz o crescimento e o diâmetro do caule em diversas espécies frutíferas. Os autores ainda citam que estresse hídrico, induzido pela salinidade, reduz o crescimento não apenas pelos efeitos na assimilação de CO_2, mas também pela redução nas taxas de divisão e alongamento celular.

A produção de raízes, apesar de também ser afetada significativamente com o aumento do nível salino, não apresentou grandes reduções percentuais (Figura 8), indicando ser a parte aérea mais sensível ao estresse salino que o sistema radicular. Silva et al. (2008) também assinalaram comportamento semelhante no umbuzeiro.

Nas análises nutricionais das folhas, como indicado na Tabela 12, houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) para os teores de sódio (Na), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg). Nas relações Na/K e Na/Ca, no entanto, não houver diferença significativa com o aumento da salinidade.

Os níveis de sódio nas folhas apresentaram crescimento com maior nível de salinidade (Figura 9E). De acordo com Munns & Teser (2008) para equilibrar a pressão osmótica extra na solução do solo as plantas utilizam duas estratégias de ajuste osmótico em graus variados. Essas estratégias consistem basicamente da exclusão ou do acúmulo dos íons Na^+ e Cl^+. O aumento nos teores de Na^+ nas plantas estudadas podem indicar tentativa de ajuste osmótico através do acúmulo de Na^+. O mecanismo que controla esse Na^+ acumulado trata da sua exclusão do citoplasma e acumulo nos vacúolos que, como destacam Tang et al. (2015), e são os passos mais importantes para manter a homeostase iônica nas células. No umbuzeiro Matos et al. (2019) encontraram comportamento semelhante, indicando compartimentalização do sódio no vacúolo como forma de proteger a maquinaria fotossintética

Segundo Mbarki et al. (2018) a sensibilidade aos íons Na^+ é maior nas folhas, uma vez que esses íons se acumulam mais nas partes aéreas do que nas raízes. Os autores ainda destacam que a toxicidade metabólica do sódio está principalmente relacionada à sua competição com o potássio em locais essenciais para a função celular. Os íons Na^+ não podem substituir K^+ em todas suas funções. Dessa forma, uma alta concentração de Na^+ pode afetar o funcionamento ou a síntese de diversas enzimas e a interrupção da síntese proteica pela alta concentração de sódio representa o seu principal efeito tóxico.

Os teores de K^+ nas folhas também aumentaram frente o a elevação do nível salino. A manutenção desse nutriente é importante, segundo Taiz et al. (2017) o potássio é um nutriente mineral da planta requerido como cofator de mais de 40 enzimas, sendo o principal cátion no estabelecimento do turgor celular e na manutenção da eletroneutralidade celular. Além disso, de acordo com Tang et al. (2015), devido à similaridade nas propriedades físico-químicas entre o Na^+ e o K^+, eles competem para se ligar ao sítio ativo das enzimas, podendo causar inativação ou degeneração das enzimas e o distúrbio da síntese proteica e das funções dos ribossomos. Esse aumento pode indicar que a concentração de K^+ atuou para atenuar os efeitos do sódio.

Os níveis de Ca^{2+} nas folhas também sofreram acréscimo com o aumento da salinidade. Quanto aos teores de cálcio destaca-se, como explicam Taiz et al. (2017), que os íons Ca^{2+} têm

dois papéis distintos nas plantas: um papel estrutural/apoplástico e um papel sinalizador, no qual atua como mensageiro secundário que inicia as respostas vegetais aos estímulos ambientais. Desse modo, ele regula muitos processos celulares, desde o controle de transcrição e sobrevivência celular até a liberação de sinais químico. Nas plantas estudadas observou-se acréscimo dos teores de Ca^{2+} na folha (Figura 9D), indicando que o estresse salino não reduziu os teores de K^+ e Ca^{2+}, como acontece geralmente (DIAS et al., 2016).

Ainda de acordo com Taiz et al. (2017), o cálcio também atua na manutenção da permeabilidade da membrana, assim como o potássio, e ainda desempenhar papel importante nos processos de divisão e elongação celular, na indução de atividades de enzimas antioxidantes, na redução da peroxidação lipídica das membranas e ser mensageiro secundário para várias respostas de planta relacionadas com o ambiente.

As relações Na^+/K^+ e Na^+/Ca^{2+} não foram afetadas significativamente com o aumento da salinidade. Constata-se, a partir desses resultados, que a elevação dos níveis de sódio foi acompanhada pelos níveis de K^+ e Ca^{2+}. Desse modo, é possível inferir que isso ocorre devido a compartimentalização dos íons de Na+ no vacúolo, mitigando seus efeitos deletérios.

A relação Na^+/K^+ que possui ligação com a tolerância das culturas a salinidade foi inferior a 1,0 para todos os tratamentos, indicando que não houve acréscimos da absorção de sódio em detrimento da absorção de K.

Em suma, o aumento da salinidade provocou reduções na produção de biomassa em todas as partes da planta. Todavia, a alteração na participação percentual de cada parte da planta mostrou maior sensibilidade na parte aérea, visto que esses íons se acumulam mais nas partes aéreas do que nas raízes. O acúmulo de sódio nas folhas, e as relações Na^+/K^+ e Na^+/Ca^{2+}, sugerem que o mecanismo de ajuste osmótico nas mudas se deu excluindo o Na^+ do citoplasma e compartimentalizando nos vacúolos, mitigando os efeitos de toxicidade.

5. CONCLUSÃO

A produção de biomassa foi afetada significativamente pela salinidade, com a parte aérea das mudas apresentando maior sensibilidade a salinidade que as raízes.

A elevação dos níveis de Na+ nas folhas não inibiram a presença de K+ e Ca2+ nas folhas das mudas estudadas.

6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. P. N.; MENDONÇA, V.; ALVES, A. A.; CARDOSO NETO, R.; COSTA, L. P.; SILVA, F. S. O. **Morphometric responses and tolerance of pomegranate seedlings irrigated with saline water**. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v. 23, n. 5, p. 341-346, 2019. https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n5p341-346

CHOURASIA, K. N.; MORE, S. J.; KUMAR, A.; KUMAR, D.; SINGH, B.; BHARDWAJ, V.; KUMAR, A.; DAS, K. S.; SINGH, R. K.; ZINTA, G.; TIWARI, R. K.; LAL, M. K. **Salinity responses and tolerance mechanisms in underground vegetable crops: an integrative review**. Planta, v. 255, n. 3, p. 68, 2022. https://doi.org/10.1007/s00425-022-03845-y

COSTA, R. S.; ATAÍDE, E. M.; BASTOS, D. C. **Physical and chemical characterization of umbugueleira fruits (Spondias sp.) in the semi-arid state of Pernambuco.** Research, Society and Development, v. 10, n. 17, e236101724838, 2021. http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i17.24838

DIAS, N. S.; LIRA, R. B.; BRITO, R. F.; SOUSA NETO, O. N.; FERREIRA NETO, M.; OLIVEIRA, A. M. **Melon yield in a hydroponic system with wastewater from desalination plant added in the nutrient solution**. R. Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 14, n. 7, p. 755–761, 2010. https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000700011

DIAS, N. DA S.; BLANCO, F. F.; SOUZA, E. R.; FERREIRA, J. F. DA S.; SOUSA NETO, O. N.; QUEIROZ, Í. S. R. **Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade**. In: GHEYI H. R. et al. (org.). Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados. Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 151-162.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/330496. Acesso em: 31 jan. 2023.

FERREIRA, D. F. **Análises estatísticas por meio do SISVAR (Sistema para Análise de Variância) para Windows 4.0.** In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos/SP. Anais. São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

GONÇALO FILHO, F.; FERREIRA NETO, M.; FERNANDES, C. S.; SÁ, F. V. S.; DIAS, N. S.; MEDEIROS, J. F. **Nutrient support via fertigation with domestic effluent and growth of cotton**. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 41, n. 4, p. 1135-1150, jul./ago., 2020. . https://doi.org/10.5433/1679-0359.2020v41n4p1135

KUMAR, P; CHOUDHARY, M; HALDER, T.; PRAKASH, N. R.; SINGH, V.; VINEETH, T. V.; SHEORAN, S.; RAVIKIRAN, K. T.; LONGMEI, N.; RAKSHIT, S.; SIDDIQUE, K. H. M. **Salinity stress tolerance and omics approaches: revisiting the progress and achievements in major cereal crops.** Heredity v. 128, n. 6, p. 497-518, 2022. https://doi.org/10.1038/s41437-022-00516-2

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. Potafos, Piracicaba, Brasil. 1997.

MBARKI, S.; SYTAR, O.; CERDA, A.; ZIVCAK, M.; RASTOGI, A.; HE, X.; ZOGHLAMI, A.; ABDELLY, C.; BRESTIC, M. **Strategies to mitigate the salt stress effects on photosynthetic apparatus and productivity of crop plants**. In: Salinity Responses and Tolerance in Plants; Springer: Cham, Switzerland, 2018; v. 1, p. 85–136. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75671-4_4

MEDEIROS, J. F. **Qualidade da água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo "GAT" nos Estados do RN, PB e CE**. 1992. 173f. Dissertação - (Mestrado em Irrigação e Drenagem), Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1992. Disponível em: http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/2896. Acesso em: 31 jan. 2023.

MENDES, N. V. B.; SOUZA, F. X.; ROSSETTI, A. G.; NATALE, W. CORRÊA, M. C. M. **Agrochemicals and stem cutting types for plantlet production of *Spondias sp*.** Revista Caatinga, Mossoró, v. 32, n. 4, p. 1104–1110, out.–dez., 2019. http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252019v32n427rc

MENDES, N. V. B; SOUZA, F. X.; CORRÊA, M. C. M.; ROSSETTI, A. G.; NATALE, W. **Techniques for formation of umbu-cajazeira seedlings by cuttings**. Research, Society and Development, v. 10, n. 13, 2021. DOI: http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i13.20665