

ÁCIDO SALICÍLICO COMO ATENUANTE DO ESTRESSE SALINO NA MORFOFISIOLOGIA DO CAJUEIRO ANÃO PRECOCE

André Alisson Rodrigues da Silva¹, Geovani Soares de Lima², Carlos Alberto Vieira de Azevedo³, Thiago Filipe de Lima Arruda⁴, Vitória Dantas de Sousa⁵, Lauriane Almeida dos Anjos Soares⁶

RESUMO: Objetivou-se com este estudo, avaliar o efeito da aplicação foliar de ácido salicílico na redução dos efeitos do estresse salino sobre a morfofisiologia do cajueiro anão precoce. O experimento foi conduzido em casa de vegetação em Campina Grande - PB, utilizando-se o delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 5×4 , sendo cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação - CEa (0,4; 1,2; 2,0; 2,8 e 3,6 dS m⁻¹) e quatro concentrações de ácido salicílico (0; 1; 2 e 3 mM) com três repetições. O conteúdo relativo de água foliar do cajueiro anão precoce foi afetado negativamente pelo aumento da condutividade elétrica da água de irrigação acima de 0,8 dS m⁻¹. A aplicação foliar de ácido salicílico na concentração de 3,0 mM, intensificou os efeitos do estresse salino sobre o extravasamento de eletrólitos do cajueiro anão precoce, aos 150 dias após o transplante. No entanto, a aplicação foliar de ácido salicílico na concentração de 1,2 mM reduziu os efeitos deletérios da salinidade da água de irrigação até 3,6 dS m⁻¹, proporcionando aumento no crescimento em altura e diâmetro de copa do cajueiro anão precoce na fase pós-enxertia.

PALAVRAS-CHAVE: *Anacardium occidentale* L., estresse abiótico, fitormônio.

SALICYLIC ACID AS A SALT STRESS RELIEF IN THE MORPHOPHYSIOLOGY OF EARLY DWARF CASHEW

¹ Pesquisador, CNPq/UFCG/PPGEA, CEP: 58429-900, Campina Grande, PB. Fone: (83) 99840-8028, e-mail: andrealisson_cgpb@hotmail.com

² Prof. Doutor, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola - PPGEA, UFCG, Campina Grande, PB

³ Prof. Doutor, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola - PPGEA, UFCG, Campina Grande, PB

⁴ outorando em Irrigação e Drenagem, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola - PPGEA, UFCG, Campina Grande, PB

⁵ Graduanda em Engenharia Agrícola, Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande, PB

⁶ Profa. Doutora, Unidade Acadêmica de Ciências Agrárias - UAGRA/CCT, UFCG, Pombal, PB

ABSTRACT: The aim of this study was to evaluate the effect of foliar application of salicylic acid in reducing the effects of saline stress on the morphophysiology of early dwarf cashew trees. The experiment was carried out in a greenhouse in Campina Grande - PB, using a randomized block design, in a 5×4 factorial scheme, with five levels of electrical conductivity of irrigation water - EC_w (0.4, 1.2, 2.0, 2.8 and 3.6 dS m⁻¹) and four concentrations of salicylic acid (0, 1, 2 and 3 mM) with three repetitions. The relative leaf water content of early dwarf cashew trees was negatively affected by increasing the electrical conductivity of irrigation water above 0.8 dS m⁻¹. The foliar application of salicylic acid at a concentration of 3.0 mM intensified the effects of saline stress on electrolyte leakage in early dwarf cashew trees, 150 days after transplanting. However, the foliar application of salicylic acid at a concentration of 1.2 mM reduced the deleterious effects of irrigation water salinity up to 3.6 dS m⁻¹, providing an increase in growth in height and crown diameter of the precocious dwarf cashew tree post-grafting phase.

KEYWORDS: *Anacardium occidentale* L., abiotic stress, phytohormone.

INTRODUÇÃO

Pertencente à família Anacardiaceae, o cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) possui grande importância socioeconômica para região Nordeste do Brasil, gerando emprego e renda para as famílias (MUIANGA et al., 2016; LIMA et al., 2020). A produção do Brasil em 2021 foi 111.103 toneladas de castanha de caju, em uma área de 427,144 ha, obtendo rendimento médio de 260 kg ha⁻¹, sendo a região Nordeste responsável por 99,3% (110.285 toneladas) da produção nacional (IBGE, 2021).

Apesar da região semiárida do Nordeste brasileiro possuir condições favoráveis para o cultivo do cajueiro, as restrições hídricas em termos de qualidade e quantidade, faz com que seu cultivo seja dependente da irrigação, que muitas vezes é feita com águas que possuem teores elevados de sais (SILVA et al., 2022).

Desta forma, estudos que possibilitem a utilização de águas salinas na agricultura irrigada, são importantes para garantir o crescimento da cajucultura. Neste contexto, a utilização do ácido salicílico tem surgido como alternativa promissora capaz de minimizar os efeitos deletérios causados pelo estresse salino nas plantas (NAZAR et al., 2015).

Diante do exposto, objetivou-se com este estudo, avaliar o efeito da aplicação foliar de ácido salicílico na redução dos efeitos do estresse salino sobre a morfofisiologia do cajueiro anão precoce na fase pós-enxertia.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido entre os meses de fevereiro e julho de 2022 em casa de vegetação, pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola - UAEEA da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, em Campina Grande, Paraíba, nas coordenadas geográficas 7°15'18'' de latitude Sul, 35°52'28'' de longitude Oeste e altitude média de 550 m. Os dados de temperatura (máxima e mínima) e umidade relativa média do ar do local do experimento estão dispostos na Figura 1.

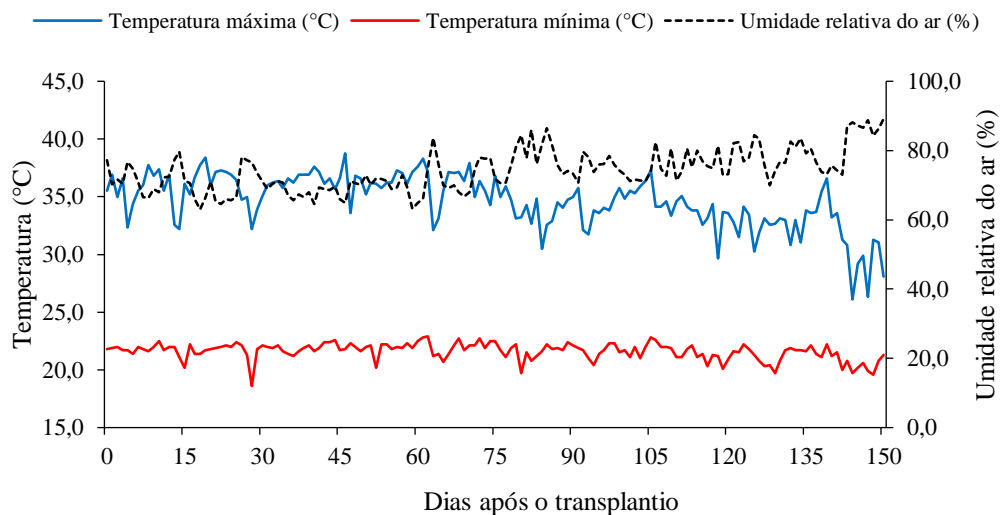


Figura 1. Temperatura máxima, média e mínima e, umidade relativa média do ar observada na área interna da casa de vegetação durante a condução do experimento.

Foi utilizado o delineamento experimental de blocos casualizados, em arranjo fatorial 5 × 4, sendo, cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação - CEa (0,4; 1,2; 2,0; 2,8 e 3,6 dS m⁻¹) e quatro concentrações de ácido salicílico – AS (0; 1; 2 e 3 mM), com três repetições e uma planta por parcela. As concentrações de ácido salicílico utilizadas nesta pesquisa foram adaptadas a partir do estudo realizado com grávieira ‘Morada Nova’ (SILVA et al., 2021), enquanto os níveis de condutividade elétrica da água foram baseados no estudo realizado por Lima et al. (2020) com a cultura do cajueiro anão precoce.

As águas salinas foram preparadas mediante adição de sais NaCl, CaCl₂.2H₂O e MgSO₄.7H₂O na água de abastecimento local, mantendo a proporção equivalente de 7:2:1 de Na, Ca e Mg respectivamente, que representa a composição média das águas do semiárido nordestino (MEDEIROS, 1992). No preparo das águas de irrigação, foi considerada a relação entre CEA e a concentração de sais (RICHARDS, 1954). As mudas foram adquiridas do viveiro Nacional de Sementes e Mudas, localizado no Município de Pacajus – CE, cultivadas em sacolas de polietileno com dimensões 10 × 20 cm e capacidade volumétrica de 0,5 L, enxertadas pelo tipo fenda cheia, usando porta-enxerto e enxerto dos clones CCP 76 e BRS 226, respectivamente.

Para condução do experimento foram usados vasos plásticos adaptados como lisímetros de drenagem, com capacidade de 200 L, preenchidos com uma camada de 1,0 kg de brita seguido de 250 kg de solo classificado como *Entisol* (UNITED STATES, 2014), coletado na profundidade de 0-30 cm, procedente do município de Lagoa Seca-PB, cujas as características físico-químicas (Tabela 1) foram determinadas conforme Teixeira et al. (2017).

Tabela 1. Atributos químicos e físicos do solo, na camada de 0-0,30 m, utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos.

Características químicas									
pH	MO	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺ + H ⁺	PST	CEes
(H ₂ O)	dag	(mg(cmol _c kg ⁻¹)					(%)	(dS
(1:2, 5	kg ⁻¹	kg ⁻¹)							m ⁻¹)
6,12	1,36	6,80	0,22	0,16	2,60	3,66	1,93	1,87	1,0
Características físico-hídricas									
Fração granulométrica (g			Classe	Umidade (kPa)		AD	Porosidade	DA	DP
Areia	Silte	Argila		textural	33,42*				
760,9	164,5	74,6	FA	13,07	5,26	7,81	41,79	1,56	2,68

MO – Matéria orgânica: Digestão Úmida Walkley-Black; Ca²⁺ e Mg²⁺ extraídos com KCl 1 M pH 7,0; Na⁺ e K⁺ extraídos utilizando-se NH₄OAc 1 M pH 7,0; Al³⁺ e H⁺ extraídos com CaOAc 0,5 M pH 7,0; PST - Percentagem de sódio trocável; CEes – Condutividade elétrica do extrato de saturação; FA – Franco arenoso; AD – Água disponível; DA - Densidade aparente; DP - Densidade de partículas; * - Capacidade do campo; ** - Ponto de murchamento.

A irrigação com água salina iniciou-se aos 45 dias após o transplantio (DAT), realizada a cada 2 dias de forma manual, mantendo a umidade do solo próxima à capacidade de campo. O volume de água aplicado foi determinado de acordo com a necessidade hídrica das plantas, estimado pelo balanço hídrico acrescido da fração de lixiviação de 10%, aplicada a cada 30 dias para evitar acúmulo excessivo de sais.

As adubações com nitrogênio, fósforo e potássio foram realizadas conforme recomendação de Oliveira (2002) para a cultura do cajueiro anão precoce. As concentrações de ácido salicílico foram obtidas mediante dissolução do produto em 30% de álcool etílico (95,5%), por se tratar de uma substância de baixa solubilidade em água à temperatura ambiente. Para diminuir a tensão superficial das gotas na superfície foliar foi utilizado na preparação da

solução o adjuvante Wil fix na concentração de 0,5 mL L⁻¹ de solução. As aplicações foliares iniciaram 30 (DAT), aplicadas nas faces abaxial e adaxial das folhas. Aplicações subsequentes foram realizadas em intervalos de 30 dias utilizando-se um pulverizador de bomba manual entre as 17:00 e 17:45 horas.

Aos 150 dias após o transplântio das mudas foram avaliados o conteúdo relativo de água foliar (CRA), o extravasamento de eletrólitos (% EE) e o crescimento do cajueiro anão precoce através da altura e diâmetro de copa. O CRA foi determinado de acordo com Lima et al. (2015), pela Eq. 1:

$$CRA = \frac{MF-MS}{MT-MS} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

CRA = conteúdo relativo de água (%);

MF = massa fresca de folha (g);

MT = massa túrgida (g);

MS = massa seca (g).

O extravasamento de eletrólitos (% EE) foi determinado utilizando-se um perfurador de cobre para obter, cinco discos foliares com área 1,54 cm² cada, por unidade experimental, os quais foram lavados e acondicionados em Erlenmeyer® contendo 50 mL de água destilada. Após fechadas com papel alumínio, os Erlenmeyers® foram acondicionados à temperatura de 25°C, por 24 horas sendo, em seguida, aferida a condutividade inicial do meio (Xi) usando condutivímetro de bancada (MB11, MS Techonopon®). Em seguida os Erlenmeyers® foram submetidos à temperatura de 90°C, por 120 minutos, em estufa de secagem (SL100/336, SOLAB®) e, após resfriamento do conteúdo das mesmas, aferiu-se a condutividade final (Xf). A porcentagem de extravasamento de eletrólitos do limbo foliar foi expressa como a porcentagem de condutividade elétrica inicial em relação à condutividade elétrica após o tratamento por 90 minutos a 90° C, conforme metodologia proposta por Scotti-Campos et al. (2013), considerando-se a Eq. 2:

$$\%EE = \frac{X_i}{X_f} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

% EE - porcentagem de extravasamento de eletrólitos;

Xi - condutividade elétrica inicial (dS m⁻¹);

Xf - condutividade elétrica final (dS m⁻¹).

Os dados coletados foram submetidos ao teste de normalidade da distribuição (teste de Shapiro-Wilk). Subsequente foi realizado análise de variância ao nível de 0,05 de

probabilidade, e nos casos de significância, feita uma análise de regressão, utilizando-se o software estatístico SISVAR-ESAL versão 5.7 (FERREIRA et al., 2019). A escolha do modelo foi baseado nos coeficientes de determinação. Em caso de significância da interação entre fatores, foi utilizado o software SigmaPlot v.12.5 para a elaboração das superfícies de resposta.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

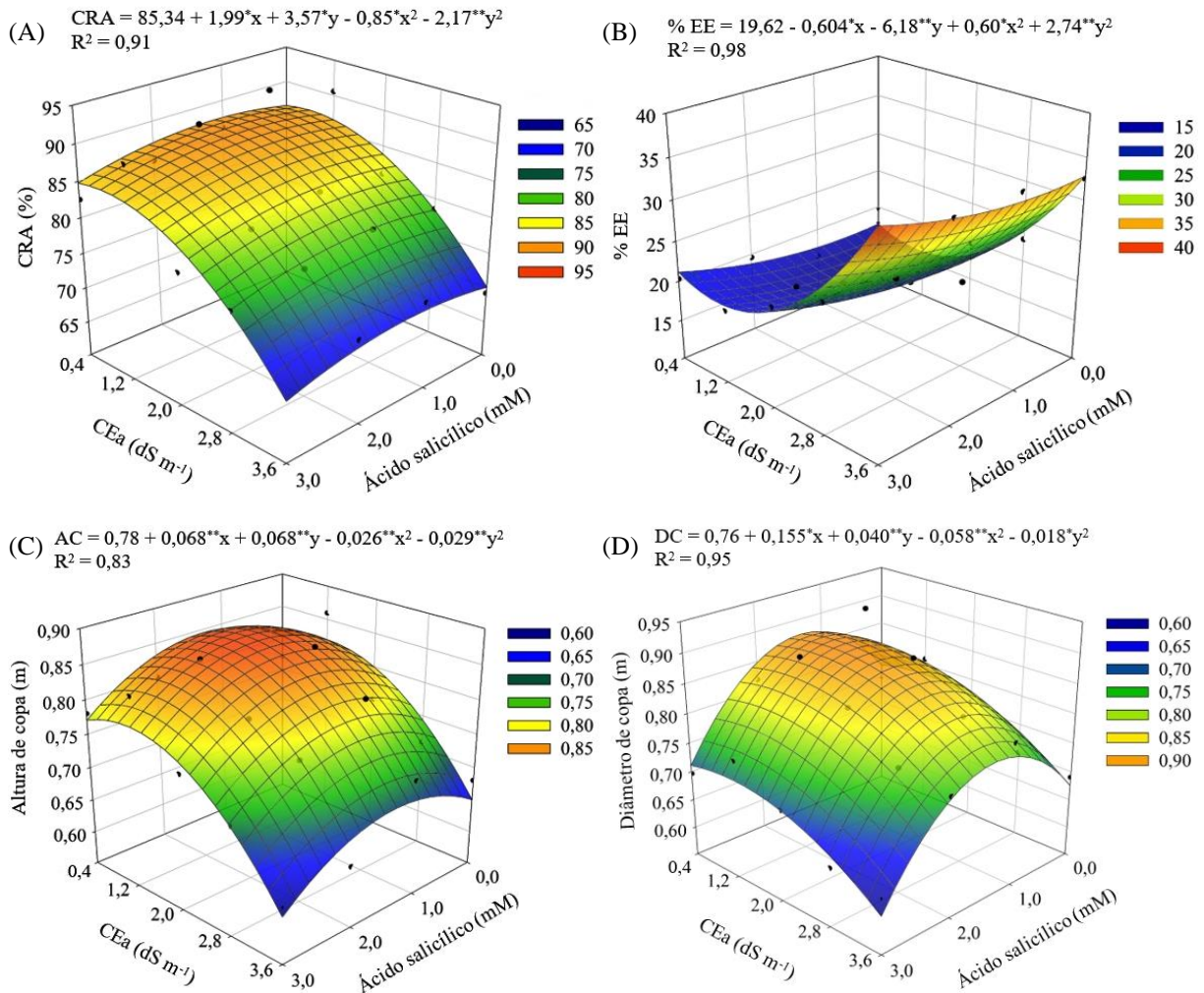
A interação entre a condutividade elétrica da água de irrigação e as concentrações de ácido salicílico (CEa × AS) influenciou de forma significativa ($p \leq 0,01$) o conteúdo relativo de água (CRA), extravasamento de eletrólitos (%EE), altura de copa (AC) e diâmetro de copa (DC) do cajueiro anão precoce (Tabela 2), aos 150 dias após o transplântio.

Tabela 2. Resumo da análise de variância referente ao conteúdo relativo de água (CRA), extravasamento de eletrólitos (% EE), altura de copa (AC) e o diâmetro de copa (DC) do cajueiro anão precoce irrigado com diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação e aplicação foliar de ácido salicílico, aos 150 dias após o transplântio.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		CRA	% EE	AC	DC
Condutividade elétrica da água de irrigação (CEa)	4	17,32**	22,48**	80,91**	0,087**
Regressão linear	1	61,02**	54,69**	299,16**	0,15**
Regressão quadrática	1	1,24 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,08 ^{ns}
Ácido salicílico (AS)	3	5,40**	82,11**	5,88 ^{ns}	0,068**
Regressão linear	1	3,54 ^{ns}	28,88 ^{ns}	2,67 ^{ns}	0,18 ^{ns}
Regressão quadrática	1	11,67**	209,14**	1,15 ^{ns}	0,02 ^{ns}
Interação (CEa × AS)	12	3,58**	23,84**	12,03**	0,021*
Blocos	2	14,58**	3,27 ^{ns}	14,13**	0,005 ^{ns}
Resíduo	38	1,25	6,35	2,11	0,008
CV (%)		17,32**	8,54	4,73	5,10

ns, *, ** respectivamente não significativo, significativo a $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$. CV: Coeficiente de variação, GL: Grau de liberdade.

O conteúdo relativo de água foliar do cajueiro anão precoce foi reduzido pelo aumento da condutividade elétrica da água de irrigação acima de $0,8 \text{ dS m}^{-1}$, independente da concentração de ácido salicílico (Figura 2A). Verifica-se ainda que a aplicação foliar de ácido salicílico em concentrações maiores que $1,0 \text{ mM}$ intensificam os efeitos do estresse salino, obtendo o menor valor de CRA (68,4%) nas plantas irrigadas com CEa de $3,6 \text{ dS m}^{-1}$ e pulverizadas com a concentração de $3,0 \text{ mM}$ de ácido salicílico. De acordo com Skider et al. (2020), a redução do conteúdo relativo de água nas folhas estar relacionada a perda de turgescência dos tecidos vegetais, devido ao estresse osmótico causado pela salinidade, que afeta negativamente a absorção e translocação de água do solo para a planta.



X e Y – Ácido salicílico e CEa, respectivamente; *, ** Significativo a $p \leq 0,05$ e $0,01$ pelo teste F.

Figura 2. Conteúdo relativo de água - CRA (A), porcentagem de extravasamento de eletrólitos - % EE (B), altura de copa - AC (C) e diâmetro de copa - DC (D) do cajueiro anão precoce, em função da interação entre os níveis de condutividade elétrica da água de irrigação e as concentrações de ácido salicílico, aos 150 dias após o transplantio.

O extravasamento de eletrólitos no limbo foliar do cajueiro anão precoce foi elevado pelo incremento da condutividade elétrica da água de irrigação acima de $1,2 \text{ dS m}^{-1}$ (Figura 2B), independente da concentração de ácido salicílico. A aplicação de ácido salicílico em concentrações maiores que $1,0 \text{ mM}$ intensificou os efeitos deletérios do estresse salino, obtendo o maior valor de % IEL ($36,47\%$) nas plantas irrigadas com CEa de $3,6 \text{ dS m}^{-1}$ e AS na concentração de $3,0 \text{ mM}$. Vale ressaltar, que o aumento observado no extravasamento de eletrólitos, não causou danos a membrana das plantas do cajueiro anão precoce, tendo em vista, que só é considerado danos quando o extravasamento de eletrólitos ultrapassa 50% (SULLIVAN, 1971).

A altura e o diâmetro de copa do cajueiro anão precoce foram beneficiados pela aplicação foliar com ácido salicílico até a concentração estimada de $1,2 \text{ mM}$, independentemente da condutividade elétrica da água de irrigação (Figura 2C e 2D). As plantas submetidas à

concentração de 1,2 mM e irrigadas com CEa de 1,2 dS m⁻¹ obtiveram os maiores valores de altura de copa (0,864 m) e diâmetro de copa (0,890 m). Ao comparar em termos relativos a altura e o diâmetro de copa das plantas irrigadas com CEa de 1,2 dS m⁻¹ e submetidas a concentração de ácido salicílico de 1,2 mM com a de plantas cultivadas com o mesmo nível de salinidade e sem aplicação de AS (0 mM), contata-se incrementos de 5,39% (0,044 m) e 14,10% (0,11 m), respectivamente.

O efeito benéfico do ácido salicílico sobre o crescimento do cajueiro anão precoce, pode estar relacionado ao aumento da atividade das enzimas antioxidantes e a concentração de açúcares solúveis, que atuam no ajuste osmótico (BATISTA et al., 2019). Além disso, o ácido salicílico pode reduzir a absorção do Na⁺ e aumentar a captação de N, P, K, Ca e Mg pelas plantas, favorecendo seu crescimento (FARHANGI-ABRIZ et al., 2018).

CONCLUSÕES

O conteúdo relativo de água foliar do cajueiro anão precoce é afetado negativamente pelo aumento da condutividade elétrica da água de irrigação acima de 0,8 dS m⁻¹. A aplicação foliar de ácido salicílico na concentração de 3,0 mM, intensifica os efeitos do estresse salino sobre o extravasamento de eletrólitos do cajueiro anão precoce, aos 150 dias após o transplante. No entanto, a aplicação foliar de ácido salicílico na concentração de 1,2 mM reduz os efeitos deletérios da salinidade da água de irrigação até 3,6 dS m⁻¹, proporcionando aumento no crescimento em altura e diâmetro de copa do cajueiro anão precoce na fase pós-enxertia.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba – FAPESQ pela concessão de auxílio financeiro (Edital No 09/2021 – Demanda Universal, Termo de Outorga No 3161/2021) para condução da pesquisa, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela concessão de bolsa de PDJ ao primeiro autor (Proc. 150927/2022-3) e de bolsa de produtividade em pesquisa ao terceiro autor (Proc. 309696/2021-6), e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande – PPGEA/UFPG.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BATISTA, V. C. V.; PEREIRA, I. M. C.; PAULO-MARINHO, S. DE O.; CANUTO, K. M.; PEREIRA, R. DE C. A.; RODRIGUES, T. H. S.; DALOSO, D. DE M.; GOMES FILHO, E.; CARVALHO, H. H. DE. Salicylic acid modulates primary and volatile metabolites to alleviate salt stress-induced photosynthesis impairment on medicinal plant *Egletes viscosa*. **Environmental and Experimental Botany**, v. 167, n. 1, e103870, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.103870>>.
- FARHANGI-ABRIZ, S.; GHASSEMI-GOLEZANI, K. How can salicylic acid and jasmonic acid mitigate salt toxicity in soybean plants?. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 147, n. 1, p. 1010-1016, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.09.070>>.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>>.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/maracuja/br> Acesso em: 10 abril de 2023.
- LIMA, G. S. DE; SILVA, J. B.; SOARES, L. A. A.; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; SOUZA, L. P. Physiological indices and phytomass partition in precocious dwarf cashew clones irrigated with saline waters. **Comunicata Scientiae**, v. 11, n. 1, e3196, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.14295/cs.v11i0.3196>>.
- MEDEIROS, J. F. DE. **Qualidade de água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo GAT nos Estados de RN, PB e CE.** (Dissertação Mestrado). Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande. 1992, 173p.
- MUIANGA, C. A.; MUNIZ, J. A.; NASCIMENTO, M. DA S.; FERNANDES, T. J.; SAVIAN, T. V. Descrição da curva de crescimento de frutos do cajueiro por modelos não lineares. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 38, n. 1, p. 22-32, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0100-2945-295/14>>.
- NAZAR, R.; UMAR, S.; KHAN, N. A.; SAREER, O. Salicylic acid supplementation improves photosynthesis and growth in mustard through changes in proline accumulation and ethylene formation under drought stress. **South African Journal of Botany**, v. 98, n. 1, p. 84-94, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.sajb.2015.02.005>>.

OLIVEIRA, V. H. **Cultivo do cajueiro anão precoce**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2002, 44p.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: U.S, Department of Agriculture. 1954. 160p. USDA Handbook 60.

SILVA, A. A. R. DA; LIMA, G. S. DE; AZEVEDO, C. A. V. DE; GHEYI, H. R., SOARES, L. A. DOS A.; VELOSO, L. L. S.A. Salicylic acid improves physiological indicators of soursoop irrigated with saline water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 6, p. 412-419, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n6p412-419>>.

SKIDER, R.K.; WANG, X.; ZHANG, H.; GUI, H.; DONG, Q.; JIN, D.; SONG, M. Nitrogen enhances salt tolerance by modulating the antioxidant defense system and osmoregulation substance content in *Gossypium hirsutum*. **Plants**, v. 9, n. 1, e450, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390%2Fplants9040450>>.

SULLIVAN, C. Y. Mechanisms of heat drought resistance in grain sorghum and methods of measurement. In: N. G. P. RAO, N. G. P.; L. R. HOUSE, L. R. (eds), **Sorghum in Sseventies**, p. 247. New Delhi: Oxford and IBH Publ. Co, New Delhi, 247p, 1971.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3rd ed.; Embrapa Solos: Brasília, Brasil, 2017, p. 573.

United States - Department of Agriculture. **Keys to soil taxonomy**. Washinton: Natural Resources Conservation Service. 2014. 372p.