

FLUORESCÊNCIA DO QUIABEIRO CULTIVADO SOB SOLUÇÕES NUTRITIVAS SALINAS E QUITOSANA EM HIDROPONIA COM SUBSTRATO

ROSANY DUARTE SALES¹, GEOVANI SOARES DE LIMA², HANS RAJ GHEYI³, ALLESSON RAMOS DE SOUZA⁴, THIAGO FILIPE DE LIMA ARRUDA⁵, LUCYELLY DÂMELA ARAÚJO BORBOREMA⁶

RESUMO: Na região semiárida é comum a ocorrência das fontes hídricas com altos teores de sais dissolvidos em sua composição que se destaca como um fator de estresse para as plantas. Assim, é fundamental o desenvolvimento de estratégias para o manejo da água e do solo. Dentre as alternativas destaca-se o cultivo hidropônico e a aplicação foliar de quitosana. Desse modo, objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos da aplicação foliar de quitosana sobre a eficiência fotoquímica do quiabeiro cv. Santa Cruz 47, cultivado sob soluções nutritivas salinas em hidroponia com substrato. O experimento foi conduzido em casa de vegetação em Campina Grande – PB. Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizados em esquema fatorial 5×4 , com cinco níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva – CE_{sn} (2,1; 2,9; 3,7; 4,5 e 5,3 dS m⁻¹) e quatro concentrações de quitosana (0; 0,25; 0,50 e 0,75 g L⁻¹), com quatro repetições. Aos 36 dias após a germinação (DAG), foi avaliado a eficiência fotoquímica através da fluorescência inicial (F₀), máxima (F_m), variável (F_v) e eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m), com o uso do fluorímetro de pulso modulado. Os dados foram submetidos aos testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade (Bartlett), e posteriormente submetidos à análise de variância pelo teste F ($p \leq 0,05$). Nos casos em que houve significância, aplicou-se regressão polinomial com o software SISVAR 5.6. A salinidade da solução nutritiva a partir de 2,1 dS m⁻¹ aumentou a fluorescência inicial do quiabeiro cv. Santa Cruz 47, aos 36 dias após a germinação. A aplicação de quitosana em concentração a partir de 0,5 g L⁻¹ aumenta a fluorescência variável do quiabeiro cv. Santa Cruz.

PALAVRAS-CHAVE: *Abelmoschus esculentus* L., escassez hídrica, indução de tolerância

¹ Mestranda, Eng. Agrícola PPGEA/UFCG, Campina Grande-PB, rdrosany@gmail.com;

² DSc. em Engenharia Agrícola, Prof. Adj. CCTA, UFCG, Pombal-PB, geovani.soares@professor.ufcg.edu.br

³ DSc. em Ciências Agrônomicas, Prof. Titular. CTRN, UFCG, Campina Grande-PB, hgheyi@gmail.com;

⁴ Doutorando, Eng. Agrícola PPGEA/UFCG, Campina Grande-PB, ramosallessom@gmail.com;

⁵ Doutorando, Eng. Agrícola PPGEA/UFCG, Campina Grande-PB, thiago.filipe.la@gmail.com;

⁶ Doutoranda, Eng. Agrícola PPGEA/UFCG, Campina Grande-PB, lucyellyd@gmail.com

FLUORESCENCE OF QUIABEIRO CULTIVATED UNDER SALINE NUTRIENT SOLUTIONS AND CHITOSAN IN HYDROPONIC SYSTEM WITH SUBSTRATE

ABSTRACT: In the semi-arid region, it is common to find water sources with high levels of dissolved salts in their composition, which is a significant stress factor for plants. Therefore, it is essential to develop strategies for water and soil management. Among the alternatives, hydroponic cultivation and foliar application of chitosan stand out. Thus, the objective of this study was to evaluate the effects of foliar application of chitosan on the photochemical efficiency of okra cv. Santa Cruz 47, grown under saline nutrient solutions in a hydroponic system with substrate. The experiment was conducted in a greenhouse in Campina Grande, Paraíba. A completely randomized design was used in a 5×4 factorial scheme, with five levels of electrical conductivity of the nutrient solution – ECns (2.1; 2.9; 3.7, 4.5, and 5.3 dS m^{-1}) and four concentrations of chitosan (0, 0.25, 0.50, and 0.75 g L^{-1}), with four replicates. At 36 days after germination (DAG), photochemical efficiency was evaluated through initial fluorescence (F_0), maximum fluorescence (F_m), variable fluorescence (F_v), and quantum efficiency of photosystem II (F_v/F_m), using a pulse-modulated fluorometer. The data were submitted to normality (Shapiro-Wilk) and homogeneity (Bartlett) tests and subsequently to analysis of variance by the F test ($p \leq 0.05$). In cases where significant effect was observed, polynomial regression was applied using SISVAR 5.6 software. The salinity of the nutrient solution from 2.1 dS m^{-1} increased the initial fluorescence of the okra cv. Santa Cruz 47, 36 days after germination. The application of chitosan in concentrations from 0.5 g L^{-1} increased the variable fluorescence of the okra cv. Santa Cruz.

KEYWORDS: *Abelmoschus esculentus* L., water scarcity, tolerance induction

INTRODUÇÃO

O quiabeiro (*Abelmoschus esculentus* L.) é uma olerícola de ciclo anual e pertencente a família Malvaceae, originária da África, especialmente nas regiões que correspondem à Etiópia, Eritreia e Sudão (Lopes & Reis, 2020).

Na safra de 2021 a produção de quiabo no Brasil foi de cerca de 111.967 toneladas (IBGE, 2025). O quiabeiro apresenta salinidade limiar no extrato de saturação do solo de 1,3 dS m^{-1} , sendo classificada como sensível a salinidade (Soares Filho et al., 2016). Contudo, a tolerância

das culturas ao estresse salino depende de vários fatores como cultivar, estágio de desenvolvimento, composição química da água e práticas culturais.

Neste contexto, várias estratégias têm sido empregadas para induzir a tolerância das plantas ao estresse salino, destacando-se a aplicação foliar de quitosana. A quitosana destaca-se como o único polímero catiônico hidrossolúvel amplamente disponível no mercado, propriedade decorrente da presença de cargas positivas em seus grupos amino (Hamed et al., 2016). Essa particularidade confere à quitosana uma notável versatilidade, permitindo sua aplicação em diversas áreas do conhecimento, além de torná-la relevante para o desenvolvimento científico, ambiental e econômico (Azevedo et al., 2007).

Além disso, a aplicação da quitosana pode ser realizada via pulverização foliar ou por incorporação ao solo, com o objetivo de induzir a tolerância ao estresse e otimizar o desempenho fisiológico das plantas. Esse efeito está relacionado à ativação de diversas enzimas envolvidas nas respostas ao estresse abiótico (Balusamy et al., 2022).

Adicionalmente, seu uso é favorecido por apresentar múltiplas propriedades benéficas, como atividade antioxidante (Jabeen & Ahmad, 2013; Safikhan et al., 2018) e solubilidade em meio aquoso (Golkar et al., 2019). Neste contexto, objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos da aplicação foliar de quitosana na eficiência fotoquímica do quiabeiro cv. Santa Cruz 47 cultivado com soluções nutritivas salinas em sistema hidropônico com substrato.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no período de março a maio de 2025, em casa de vegetação pertencente a Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, em Campina Grande–PB (7°15'18" S, 35°52'28" O, 550 m). O experimento foi conduzido no delineamento inteiramente casualizados em esquema fatorial 5×4 , com cinco níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva – CE_{sn} (2,1; 2,9; 3,7; 4,5 e 5,3 dS m⁻¹) e quatro concentrações de quitosana (0; 0,25; 0,50 e 0,75 g L⁻¹), com quatro repetições.

As concentrações de quitosana foram baseadas em estudo desenvolvido por Borborema (2024). Foi estudado o quiabeiro cv. Santa Cruz 47. Utilizaram-se vasos de 10 L adaptados como lisímetros de drenagem, preenchidos com areia lavada tratada com peróxido de hidrogênio a 70%. Para coleta e recirculação da solução nutritiva foram utilizadas garrafas plásticas de 2 L de capacidade.

A solução nutritiva foi preparada de acordo com recomendação de Hoagland e Arnon (1950), utilizando-se água de abastecimento local com condutividade elétrica - CE de 0,4 dS m⁻¹. No preparo das soluções salinas foram consideradas a proporção equivalentes de

7:2:1 entre Na:Ca:Mg, respectivamente, conforme Medeiros (1992). No preparo das soluções salinas foi considerada a relação entre a CE e as concentrações de sais (Richards, 1954).

A quitosana foi dissolvida em ácido acético 0,1 M (6 mL L⁻¹), no momento da aplicação, e visando a quebra da tensão da molécula de água foi aplicado um espalhante adesivo na proporção de 0,5 ml L⁻¹. Aos 36 dias após a germinação (DAG), foi avaliado a eficiência fotoquímica através da fluorescência inicial (F0), máxima (Fm), variável (Fv) e eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm), com o uso do fluorímetro de pulso modulado.

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade (Bartlett), e posteriormente submetidos à análise de variância pelo teste F, ($p \leq 0,05$). Nos casos em que houve significância, aplicou-se regressão polinomial com o software SISVAR 5.6 (Ferreira, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação significativa entre os níveis de salinidade da solução nutritiva e as concentrações de quitosana para a fluorescência máxima ($p \leq 0,01$) e variável ($p \leq 0,05$) do quiabeiro cv. Santa Cruz, aos 36 dias após a germinação (Tabela 1). Os níveis salinos da solução nutritiva influenciaram de forma significativa a fluorescência inicial ($p \leq 0,05$) e a eficiência quântica do fotossistema II ($p \leq 0,01$) do quiabeiro cv. Santa Cruz 47, aos 36 dias após a germinação. As concentrações de quitosana não afetaram de forma significativa nenhuma das variáveis mensuradas.

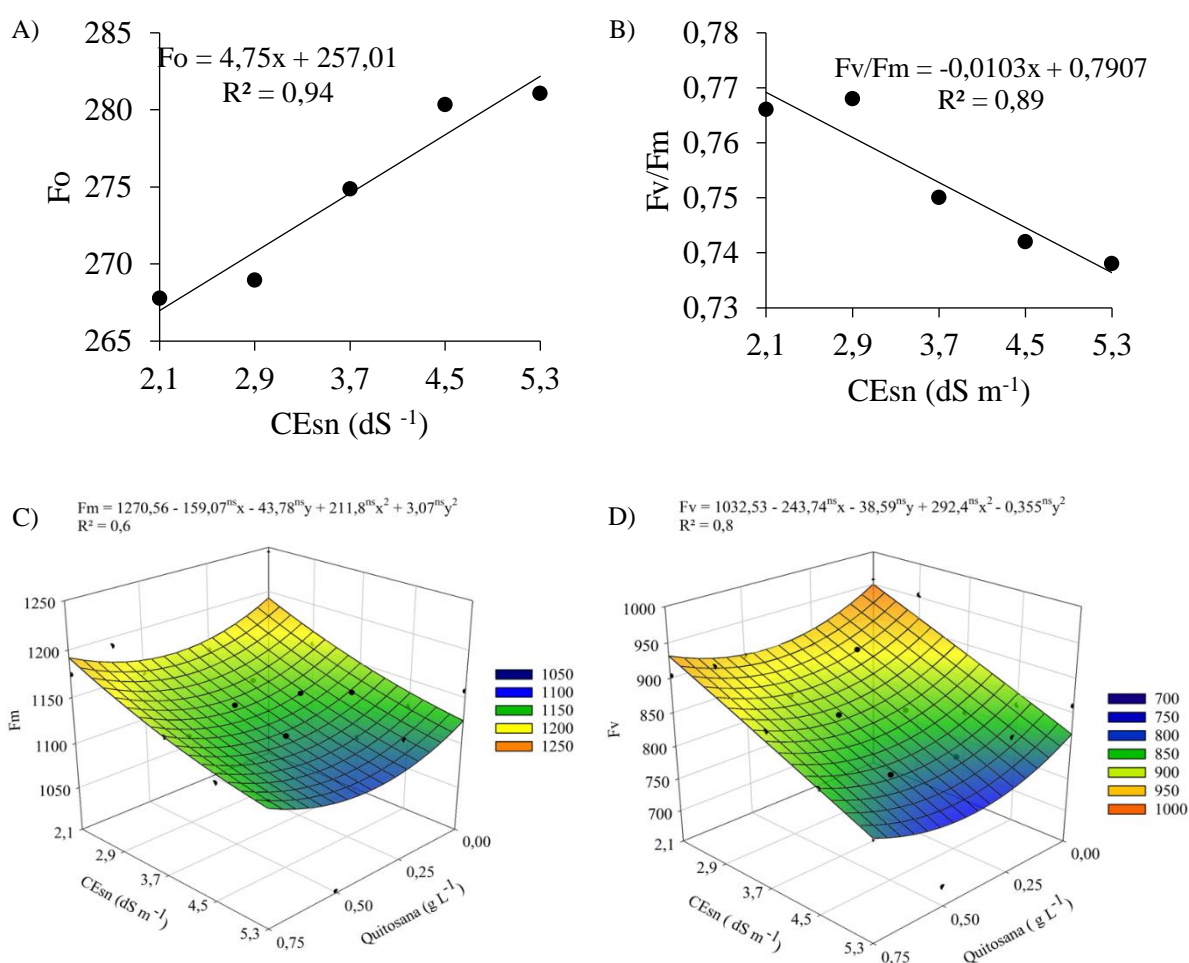
Tabela 1. Resumo da análise de variância para fluorescência inicial (F0), máxima (F_m), variável (F_v) e eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m), do quiabeiro cv. Santa Cruz 47 cultivado sob soluções nutritivas salinas com distintos níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva (CEsn) e aplicação foliar de quitosana, aos 36 dias após a germinação (DAG).

Fontes de variação	Quadrados médios				
	GL	F0	Fm	Fv	Fv/Fm
Solução nutritiva salina (Cesn)	4	613,83*	13093,70**	47591,89**	0,002**
Regressão linear	1	2310,40**	45259,25**	174042,05**	0,010**
Regressão quadrática	1	2,16 ^{ns}	868,21 ^{ns}	11,61 ^{ns}	0,000003 ^{ns}
Quitosana (Q)	3	656,00 ^{ns}	9169,87 ^{ns}	12194,05 ^{ns}	0,001 ^{ns}
Regressão linear	1	124,32 ^{ns}	0,30 ^{ns}	3733,21 ^{ns}	0,000143 ^{ns}
Regressão quadrática	1	1505,11 ^{ns}	14018,51 ^{ns}	26718,05 ^{ns}	0,002 ^{ns}
Interação (CEsn x Q)	12	684,49 ^{ns}	9309,63**	8338,18*	0,0001 ^{ns}
Resíduo	60	128,40	2621,77	3713,80	0,0001
CV (%)		4,13	4,49	7,11	2,97

ns, * e **, não significativo, significativo a $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$ pelo teste F, respectivamente. CV: coeficiente de variação. GL: graus de liberdade

O aumento da salinidade da solução nutritiva de 2,1 para 5,3 dS m^{-1} elevou a fluorescência inicial das plantas de quiabeiro (Figura 1A), sendo o acréscimo de 1,84% por incremento unitário da CEs_n. Comparando-se as plantas submetidas a CEs_n de 5,3 dS m^{-1} em relação as que receberam 2,1 dS m^{-1} , verifica-se aumento de 4,73%.

Segundo Melo (2017), sob estresse salino, a fluorescência inicial (F₀) tende a se elevar como resposta às condições adversas, indicando possíveis alterações estruturais e funcionais no aparato fotossintético. Além disso, esse aumento pode refletir uma redução na eficiência da transferência de elétrons, em decorrência da dissociação dos centros de reação do fotossistema II, conforme apontado por Cintra et al. (2020).



ns e * respectivamente, não significativo e significativo em $p \leq 0,05$ pelo teste F. X e Y representam concentrações de quitosana e os níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva – CEs_n.

Figura 1. Fluorescência inicial – F₀ (A), e eficiência quântica do fotossistema II (B) do quiabeiro cv. Santa Cruz em função dos níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva – CEs_n e fluorescência máxima – F_m (C) e variável (D) em função da interação entre os níveis de CEs_n e concentrações de quitosana, aos 36 dias após a germinação.

Estudos realizados por Rocha (2022), que avaliou as trocas gasosas, a fluorescência da clorofila a e os componentes de produção do quiabeiro sob diferentes níveis de salinidade da

água e doses de adubação potássica, apresentaram resultados semelhantes, com destaque para o aumento acentuado da fluorescência inicial (F0) a partir da condutividade elétrica da água (CEa) de 1,5 dS m⁻¹, em decorrência do incremento na salinidade.

Para a eficiência quântica do fotossistema II houve um efeito semelhante a Fv, onde os maiores valores também foram obtidos sob solução nutritiva de 2,9 e 2,1 dS m⁻¹ (0,768 e 0,766 elétrons quantum⁻¹), respectivamente, enquanto os menores valores foram observados em CEes estimada de 3,7, 4,3 e 5,3 dS m⁻¹ (Figura 1B). A eficiência quântica do fotossistema II, quando está entre 0,75 e 0,85 elétrons quantum⁻¹, indica que o aparato fotossintético permanece intacto, conforme relatado por Silva et al. (2021) e Larbi et al. (2020). Por outro lado, valores inferiores a 0,75 elétrons quantum⁻¹ sugerem comprometimento desse aparato. Na presente pesquisa, observou-se que as condutividades elétricas da solução nutritiva de 4,5 e 5,3 dS m⁻¹, causaram esse efeito, afetando o aparato fotossintético.

Para a fluorescência máxima, a condutividade elétrica da solução nutritiva (CEsn) de 2,1 dS m⁻¹, associada ao tratamento testemunha (0 g L⁻¹ de quitosana), proporcionou o maior valor estimado de 1192,16 elétrons quantum⁻¹ (Figura 1C).

Um comportamento semelhante foi observado na fluorescência variável, onde a condutividade elétrica da solução nutritiva (CEsn) de 2,1 dS m⁻¹, associada à 0 g L⁻¹ de quitosana, resultou no maior valor (949,92 elétrons quantum⁻¹) (Figura 1D). Por outro lado, o menor valor (767,23 elétrons quantum⁻¹) foi observado nas plantas submetida a CEsn de 5,3 dS m⁻¹ e concentração de 0,42 g L⁻¹ de quitosana. A partir desta concentração, a aplicação de quitosana diminuiu os efeitos deletérios do estresse salino no quiabeiro. Destaca-se que, na condição de 2,1 dS m⁻¹ e ausência de quitosana, a fluorescência variável foi 19,23% (182,69) superior em relação às demais concentrações testadas.

A redução na fluorescência variável (Fv), observada sob condições salinas mais elevadas, indica comprometimento funcional do aparato fotossintético, sobretudo no fotossistema II, prejudicando o fluxo de elétrons e, conseqüentemente, a eficiência do processo fotossintético (Silva et al., 2022). Como essa energia está diretamente relacionada ao potencial ativo do fotossistema, sua diminuição sugere uma limitação na ativação da cadeia transportadora de elétrons, essencial para a produção de ATP e NADPH, moléculas fundamentais para o ciclo de Calvin e para o desempenho fotossintético da planta (Silva et al., 2018; Lotfi et al., 2020).

CONCLUSÕES

O aumento da salinidade da solução nutritiva a partir de 2,1 dS m⁻¹ eleva a fluorescência inicial do quiabeiro cv. Santa Cruz, aos 36 dias após a germinação.

A aplicação de quitosana em concentração a partir de 0,5 g L⁻¹ aumenta a fluorescência variável e fluorescência máxima do quiabeiro cv. Santa Cruz.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO, V. V. C.; CHAVES, S. A.; BEZERRA, D. C.; FOOK, M. V. L.; COSTA, A. C. F. M. Quitina e quitosana: aplicações como biomateriais. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 2, p. 27-34, 2007.

BALUSAMY, S. R.; RAHIMI, S.; SUKWEENADHI, J.; SUNDERRAJ, S.; SHANMUGAM, R.; THANGAVELU, L.; MIJAKOVIC, I.; PERUMALSAMY, H. Chitosan, chitosan nanoparticles and modified chitosan biomaterials, a potential tool to combat salinity stress in plants. **Carbohydrate Polymers**, v. 284, e.119189, 2022.

BRESSANIN, L. A.; RABELO, V. M.; MAGALHAES, P. C.; CARVALHAIS, M. C.; GOMES JUNIOR, C. C.; SANTOS FILHO, P. R.; SOUZA, K. R. D.; SOUZA, T. C. Morfofisiologia de dois híbridos de milho tratados com derivados de quitosana e submetidos ao estresse salino. In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 32. 2018, Lavras. **Resumos [...]** XXXII Congresso Nacional de Milho e Sorgo, v. 32. p. 103. 2018.

CINTRA, P. H.; MELO, O.; MENEZES, J.; PADILHA, R.; GARCIA REZENDE, A.; MATOS, E. Análise de fluorescência da clorofila a em mudas de cafeeiro sob estresse hídrico. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, p. 27006-27014, 2020.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Food and agriculture database statistics** - okra production. 2023.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split-plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, p. 529-535, 2019.

GENTY, B.; BRIANTAIS, J. M.; BAKER, N. R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects**, v. 990, p. 87-92, 1989.

SOARES FILHO, W. S.; GHEYI, H. R.; BRITO, M. E. B.; NOBRE, R. G.; FERNANDES, P. D.; MIRANDA, R. S. Melhoramento genético e seleção de cultivares

tolerantes à salinidade. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. (orgs.). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. 2. ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. cap. 17.

HAMED, I.; OZOGUL, F.; REGENSTEIN, J. M. Industrial applications of crustacean by-products (chitin, chitosan, and chitooligosaccharides): A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 48, p. 40-50, 2016

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. **The water-culture method for growing plants without soil**. Circular. Berkeley: California Agricultural Experiment Station, v. 347, 1950. 32p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo agropecuário: quiabo**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2025. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/quiabo/br>. Acesso em: 02 jul. 2025.

JABEEN, N.; AHMAD, R. The activity of antioxidante enzymes in response to salt stress in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) and sunflower (*Helianthus annuus* L.) seedlings raised from seed treated with chitosan. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 93, p. 1699-705, 2013.

LARBI, A.; BACCAR, R.; BOULAL, H. Response of olive tree to ammonium nitrate fertilization under saline conditions. **Journal of Plant Nutrition**, v. 44, p. 1432-1445, 2020.

LOPES, C. A.; REIS, A. **Doenças do quiabeiro**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças. 2020. 15p. (Embrapa Hortaliças. Comunicado Técnico, 126).

LOTFI, R.; GHASSEMI-GOLEZANI, K.; PESSARAKLI, M. Salicylic acid regulates photosynthetic electron transfer and stomatal conductance of mung bean (*Vigna radiata* L.) under salinity stress. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 26, e101635, 2020.

MEDEIROS, J. F. **Qualidade de água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo GAT nos Estados de RN, PB e CE. 1992**. 196p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba - Campus II Campina Grande - Brasil, 1992.

MELO, H. F.; SOUZA, E. R. de; CUNHA, J. C. Fluorescence of chlorophyll a and photosynthetic pigments in *Atriplex nummularia* under abiotic stresses. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 4, p. 232–237, 2017.

MENDONÇA, A. J. T; SILVA, A. A. R. da; LIMA, G. S. de; SOARES, L. A. dos A.; NUNES OLIVEIRA, V. K.; GHEYI, H. R.; LACERDA, C. F. de; AZEVEDO, C. A. V. de;

LIMA, V. L. A. de; FERNANDES, P. D. O ácido salicílico modula a tolerância do quiabo ao estresse salino no sistema hidropônico. **Agricultura**, v. 12, n. 10, p. 1687, 2022.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Agricultural Handbook No. 60, 1954. 160p.

ROCHA, N. E. **Fisiologia e produção de quiabeiro sob salinidade da água de irrigação e adubação potássica**. 2022, 37p. Monografia (Bacharel em Agronomia) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal – PB.

SAFIKHAN, S.; KHOSHBAKHT, K.; CHAICHI, R. M.; AMINI, A.; MOTESHAREZADEH, B. Role of chitosan on the growth, physiological parameters and enzymatic activity of milk thistle (*Silybum marianum* (L.) Gaertn.) in a pot experiment. **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants**, v. 10, p. 49-58, 2018.

SILVA, A. A. D.; LIMA, G. S. D.; AZEVEDO, C. A. D.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. D. A.; VELOSO, L. L. D. S. Salicylic acid improves physiological indicators of soursop irrigated with saline water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 6, p. 412-419, 2022.

SILVA, A. A. R.; LIMA, G. S.; AZEVEDO, C. A. V.; GHEYI, H. R.; SOUZA, A. R.; FERNANDES, P.D. Salicylic acid relieves the effect of saline stress on soursop morphology. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 45, e007021, 2021.

SILVA, A. F.; SOUSA, F. DE O.; SANTOS, G. L. DOS; ARAÚJO JÚNIOR, E. S.; SILVA, S. L. F. da; MACEDO, C. E. C. de; MELO, A. S. de; MAIA, J. M. Antioxidant protection of photosynthesis in two cashew progenies under salt stress. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, p. 388-404, 2018.