

PIGMENTOS CLOROPLASTÍDICOS E DANO CELULAR DE MARACUJAZEIRO-AZEDO SOB DIFERENTES COMPOSIÇÕES DA ÁGUA E H₂O₂

José Joedson Lima Silva¹, Geovani Soares de Lima², Lauriane Almeida dos Anjos Soares³,
Iara Almeida Roque⁴, Maíla Vieira Dantas⁵, Luderlândio de Andrade Silva⁶

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo avaliar os pigmentos cloroplastídicos e o dano celular em plantas de maracujazeiro-azedo irrigadas com águas de diferentes composições catiônicas e aplicação exógena de peróxido de hidrogênio. O experimento foi conduzido sob condições de casa de vegetação, no município de Pombal-PB, utilizando-se o delineamento em blocos casualizados, com fatorial 6 x 4, sendo seis composições catiônicas da água de irrigação (S₁ - Testemunha; S₂ - Na⁺; S₃ - Ca²⁺; S₄ - Na⁺ + Ca²⁺; S₅ - Mg²⁺ e S₆ - Na⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺) e quatro concentrações de peróxido de hidrogênio – H₂O₂ (0, 20, 40 e 60 µM), com quatro repetições. As plantas do tratamento testemunha (S₁) foram irrigadas com água de condutividade elétrica (CEa) de 0,3 dS m⁻¹, enquanto as demais foram cultivadas com água de CEa de 3,6 dS m⁻¹, preparada a partir de diferentes cátions, em forma de cloreto. A síntese de clorofila *a* do maracujazeiro-azedo foi inibida pela irrigação com águas constituídas de Na⁺ (S₂), Ca²⁺ (S₃), Mg²⁺ (S₅) e Na⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺ (S₆). A concentração de 40 µM de H₂O₂ reduziu a percentagem de dano celular nas plantas de maracujazeiro-azedo BRS ‘GA1’, aos 60 dias após a semeadura.

PALAVRAS-CHAVE: *Passiflora edulis* Sims, Estresse salino, Peróxido de Hidrogênio

CHLOROPLAST PIGMENTS AND CELL DAMAGE OF PASSION FRUIT UNDER DIFFERENT CATIONIC COMPOSITIONS OF WATER AND H₂O₂

ABSTRACT: This study aimed to evaluate the growth and quality of passion fruit cv. BRS GA1 as a function of different cationic nature of the water and exogenous application of hydrogen peroxide. The experiment was carried out in greenhouse condition at the Center of

¹ Mestrando em Horticultura Tropical, UFCG, Campus Pombal, PB. Fone (88) 996531189. e-mail: joedsonbio@hotmail.com

² Prof. Doutor, Programa de Pós-Graduação em Horticultura Tropical, UFCG, Campus Pombal, PB.

³ Profa. Doutora, Programa de Pós-Graduação em Horticultura Tropical, UFCG, Campus Pombal, PB.

⁴ Mestranda em Horticultura Tropical, UFCG, Campus Pombal, PB.

⁵ Mestranda em Engenharia Agrícola, UFCG, Campus Pombal, PB.

⁶ Doutorando em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande PB.

Agrifood Science and Technology of the Federal University of Campina Grande, Pombal, Brazil, using a randomized block design, with a 6 x 4 factorial, corresponding to six combinations of water salinity (S₁ - Control; S₂ - Na⁺; S₃ - Ca²⁺; S₄ - Na⁺ + Ca²⁺; S₅ - Mg²⁺ and S₆ - Na⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺) and four concentrations of hydrogen peroxide - H₂O₂ (0, 20, 40 and 60 µM), with four repetitions. In the control (S₁), plants were irrigated with 0.3 dS m⁻¹ water, whereas the others were irrigated with 3.6 dS m⁻¹ water, obtained by the addition of different salts in the chloride form. The passion fruit chlorophyll *a* synthesis was inhibited by irrigation with waters consisting of Na⁺ (S₂), Ca²⁺ (S₃), Mg²⁺ (S₅) and Na⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺ (S₆). The 40 µM concentration of H₂O₂ reduced the percentage of cell damage in the passion fruit BRS 'GA1' plants, 60 days after sowing.

KEYWORDS: *Passiflora edulis* Sims, Salt stress, Hydrogen Peroxide

INTRODUÇÃO

O maracujazeiro (*Passiflora edulis*. Sims) é uma frutífera da família Passifloraceae que possui grande destaque no Brasil, produzindo cerca de 602.651 toneladas por ano e garantindo ao país o título de maior produtor da espécie no mundo (SANTOS et al., 2018). A importância econômica da cultura no Brasil deve-se, principalmente, às suas características nutricionais, que possibilitam o seu consumo na alimentação humana, tanto na forma *in natura* como no enriquecimento nutricional de outros alimentos (DINIZ et al., 2020).

Apesar de o Nordeste possuir as condições favoráveis para a expansão da produção de maracujazeiro-azedo no país, a região enfrenta problemas referentes à qualidade da água, tornando necessária a utilização de água de baixa qualidade na irrigação, com elevados teores de sais dissolvidos (WANDERLEY et al., 2020). Além disso, nos recursos hídricos do Nordeste, as concentrações de sais variam em função do material de origem, trajeto percorrido, zona climática e estação do ano e seus efeitos sobre as plantas dependem da concentração total de sais e da composição catiônica da água (LIMA et al., 2019).

De forma geral, as alterações causadas pelo estresse salino nas plantas decorrem de três componentes principais: o efeito osmótico, o efeito iônico e o desequilíbrio nutricional provocado pela absorção de íons tóxicos em detrimento de íons importantes na nutrição mineral (SILVA et al., 2018). Dentre outros fatores, o estresse salino pode prejudicar o aparato fotossintético da planta, especialmente por afetar a eficiência do fotossistema II, através da relação Fv/Fm, e causar danos aos pigmentos fotossintéticos (FREIRE et al., 2014). Desta forma, surge à necessidade de otimização do cultivo de maracujazeiro nas regiões

semiáridas, através de técnicas que permitam o manejo de águas salinas na agricultura (SILVA et al., 2019).

A aplicação exógena de peróxido de hidrogênio em baixas concentrações promove uma condição de estresse moderado, ativando uma série de sinais moleculares que resultam na aclimação da planta quando a mesma é exposta a uma condição de estresse mais severo (SAVVIDES et al., 2016). Conforme o exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os teores dos pigmentos cloroplásticos e o dano celular do maracujazeiro-azedo 'BRS GA1' em função da irrigação com águas de composições iônicas distintas e aplicação exógena de peróxido de hidrogênio.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido sob condições de casa de vegetação, nas dependências do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campus Pombal, Paraíba, Brasil, durante o período de janeiro a março de 2020. A cidade fica situada a 6°47'3" S e 37°49'15" W, a uma altitude de 193 m, e o clima da região, conforme a classificação climática de Koppen adaptada ao Brasil, é do tipo BSh, que representa clima semiárido quente e seco, com temperatura média anual de 25,8 °C e precipitação pluviométrica em torno de 431,8 mm por ano (SOUSA et al., 2018).

Os tratamentos foram constituídos de seis composições catiônicas da água de irrigação (S₁ – Testemunha; S₂ - Na⁺; S₃ - Ca²⁺; S₄ - Na⁺ + Ca²⁺; S₅ - Mg²⁺ e S₆ - Na⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺; com a proporção de 1:1 entre Na⁺ + Ca⁺ e de 7:2:1 entre Na⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺, respectivamente) e quatro concentrações de peróxido de hidrogênio – H₂O₂ (0, 20, 40 e 60 µM). As plantas referentes ao tratamento testemunha (S₁) foram irrigadas com água de condutividade elétrica (CEa) de 0,3 dS m⁻¹, enquanto os demais tratamentos foram irrigados com água de 3,6 dS m⁻¹, preparada com diferentes cátions, em forma de cloreto. Dessa forma, o experimento foi instalado sob delineamento experimental em blocos casualizados, em arranjo fatorial 6 x 4, com quatro repetições e duas plantas por parcela, totalizando 192 unidades experimentais.

Foram utilizadas sementes de maracujazeiro amarelo cv. BRS GA1 e a semeadura foi realizada em sacolas plásticas de polietileno, com dimensões de 25 x 30 cm, preenchidas com uma mistura de solo, areia e matéria orgânica (esterco bovino bem curtido), na proporção de 2:1:1, respectivamente. O solo utilizado como substrato foi caracterizado como Neossolo Regolítico (*Psamments*) de textura franco argilosa, proveniente da zona rural do município de

São Domingos, PB, coletado na profundidade de 0-20 cm. Os atributos físicos e químicos do solo, obtidos conforme metodologia de Teixeira et al. (2017), estão indicados na tabela 1.

Tabela 1. Características químicas e físicas do substrato utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos.

pH H ₂ O (1:2,5)	M.O. g kg ⁻¹	P (mg kg ⁻¹)	Características químicas					
			K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺
5,58	2,93	3,92	0,23	1,64	9,07	2,78	0,0	8,61
.....Características químicas.....		Características físicas.....					
CE _{es} (dS m ⁻¹)	CTC cmol _c kg ⁻¹	RAS (mmol L ⁻¹) ^{0,5}	PST %	Fração granulométrica (g kg ⁻¹)			Umidade (dag kg ⁻¹)	
2,15	22,33	0,67	7,34	Areia	Silte	Argila	33,42 kPa ¹	1519,5 kPa ²
				572,7	100,7	326,6	25,91	12,96

pH – Potencial hidrogeniônico, M.O – 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⁺+H⁺ extraídos utilizando-se CaOAc 0,5 M pH 7,0; CE_{es} - Condutividade elétrica do extrato de saturação; CTC - Capacidade de troca catiônica; RAS - Relação de adsorção de sódio do extrato de saturação; PST - Porcentagem de sódio trocável; ^{1,2} referindo a capacidade de campo e ponto de murchamento permanente.

As diferentes concentrações de H₂O₂ (0, 20, 40 e 60 µM), previamente estabelecidas conforme estudos desenvolvidos por Andrade et al. (2019), foram obtidas pela diluição de H₂O₂ em água deionizada e armazenadas em um recipiente em ambiente escuro. As aplicações foliares tiveram início aos 20 dias após a semeadura (DAS) e, posteriormente, foram realizadas quinzenalmente, a partir das 17h00, de forma manual, com o auxílio de um borrifador, visando obter o molhamento completo das folhas (faces abaxial e adaxial).

A água utilizada na irrigação do tratamento de menor salinidade (0,3 dS m⁻¹) foi proveniente do sistema público de abastecimento de Pombal – PB, enquanto o nível de CEA de 3,6 dS m⁻¹ foi preparado a partir da dissolução de cloreto de sódio (NaCl), de cálcio (CaCl₂.2H₂O), e de magnésio (MgCl₂.6H₂O) na água de abastecimento. As irrigações foram realizadas diariamente, às 17h00, aplicando-se em cada sacola a quantidade de água necessária para manter a umidade do solo próximo à capacidade de campo. No preparo da água de irrigação do maior nível de salinidade, foi considerada a relação entre CEA e concentração de sais, extraída de Richards (1954), conforme a Eq. 1:

$$Q \text{ (mmolc L}^{-1}\text{)} = 10 \times CEA \text{ (dS m}^{-1}\text{)} \tag{1}$$

Aos 60 DAS, os efeitos dos distintos tratamentos sobre a cultura do maracujazeiro foram mensurados através da determinação dos pigmentos fotossintéticos: teores de clorofila *a* (Cl *a*, mg g⁻¹ de Matéria fresca - MF), *b* (Cl *b*, mg g⁻¹ MF) e carotenoides (Car *b*, mg g⁻¹ MF); e o percentual de dano da membrana celular (%D, %).

Os dados obtidos foram avaliados mediante análise de variância pelo teste F. Nos casos de significância, foi realizado teste de agrupamento de médias por Scott-Knott (p<0,05) para a natureza catiônica da água de irrigação e análise de regressão polinomial (p<0,05) para as concentrações de peróxido de hidrogênio, utilizando-se do software estatístico SISVAR-ESAL versão 5.6 (FERREIRA, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

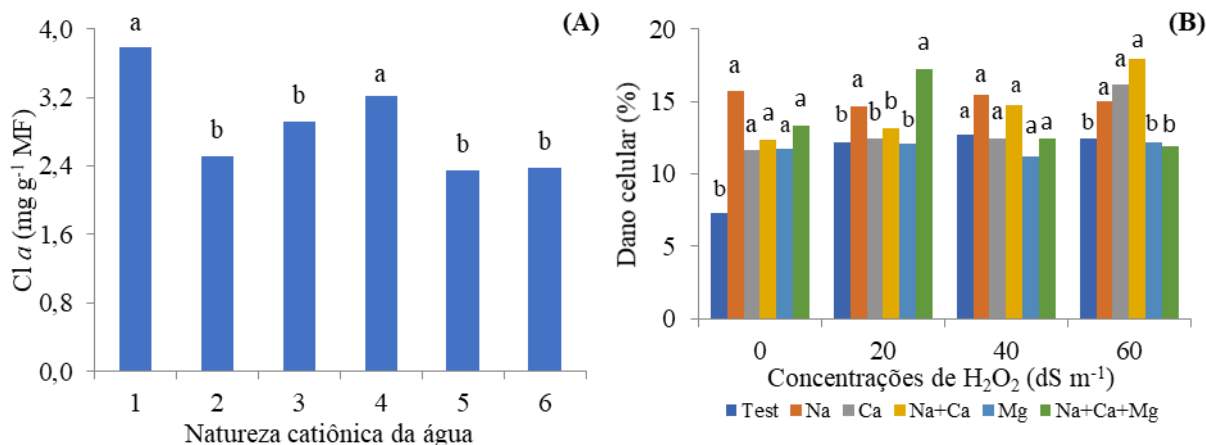
De acordo com o resumo da análise de variância (Tabela 2), verifica-se efeito significativo da interação entre os fatores (NCA x H₂O₂) apenas para o percentual de dano da membrana celular (%D). A natureza catiônica da água afetou significativamente o teor de clorofila *a* (Cl *a*) do maracujazeiro-azedo ‘BRS GA1’, aos 60 dias após a semeadura (DAS).

Tabela 2. Resumo da análise de variância para a concentração o teor de clorofila *a* (Cl *a*), *b* (Cl *b*), carotenoides (Car) e percentagem de dano da membrana (%D) do maracujazeiro-azedo ‘BRS GA1’ cultivado com águas de diferentes naturezas catiônicas (NCA) e aplicação exógena de peróxido de hidrogênio (H₂O₂), aos 60 dias após a semeadura.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios			
		Cl <i>a</i>	Cl <i>b</i> ¹	Car ¹	%D
Natureza catiônica da água (NCA)	5	5,17*	2,05 ^{ns}	0,67 ^{ns}	39,49**
Peróxido de hidrogênio (H ₂ O ₂)	3	0,39 ^{ns}	1,69 ^{ns}	0,48 ^{ns}	21,37*
Regressão linear	1	0,37 ^{ns}	2,96 ^{ns}	0,08 ^{ns}	46,88**
Regressão quadrática	1	0,48 ^{ns}	2,09 ^{ns}	1,23 ^{ns}	1,36 ^{ns}
Interação (NCA x H ₂ O ₂)	15	2,62 ^{ns}	0,86 ^{ns}	0,37 ^{ns}	13,89*
Blocos	3	3,12**	1,78 ^{ns}	0,11 ^{ns}	13,14 ^{ns}
Resíduo	69	1,94	0,91	0,49	6,97
CV (%)		24,74	16,55	18,75	9,47

*, ** = significante ao nível de 0,05 e 0,01 de probabilidade; ^{ns} = não significativo; GL = grau de liberdade; CV = coeficiente de variação; ¹Dados transformados em raiz de x.

Através do teste de comparação de médias (Figura 1A), verifica-se que os maiores teores de clorofila *a* (3,79 e 3,22 mg g⁻¹ MF) foram obtidos nas plantas irrigadas com água de baixa salinidade (S₁) e nos tratamentos com águas constituídas de Na⁺ + Ca²⁺ (S₄), respectivamente. Já os menores valores de Cl *a* (2,51; 2,91; 2,35; e 2,38 mg g⁻¹ MF) foram encontrados nas plantas submetidas à irrigação com águas constituídas de Na⁺ (S₂), Ca²⁺ (S₃), Mg²⁺ (S₅) e Na²⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺ (S₆), respectivamente. De acordo com Sousa et al. (2020), o acúmulo de sais na água e/ou no solo pode promover a degradação dos cloroplastos, organelas nas quais se encontram as clorofilas, diminuindo a síntese dos pigmentos fotossintéticos. No caso específico da clorofila *a*, o estresse salino estimula a síntese da enzima clorofilase, que atua na degradação das moléculas deste pigmento e induz a destruição estrutural dos cloroplastos (FREIRE et al., 2013). Além disso, o efeito da salinidade sobre o teor da clorofila das plantas depende também de outros fatores, como a espécie vegetal, a concentração e o tipo de cátion (LIMA et al., 2017).



1 – Testemunha; 2 - Na⁺; 3 - Ca²⁺; 4 - Na⁺ + Ca²⁺; 5 - Mg²⁺ e 6 - Na⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺. Médias seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste Scott-Knott (p < 0,05).

Figura 1. Teor de clorofila *a* (A) e dano celular - %D (B) de plantas de maracujazeiro BRS GA1, em função da interação entre a natureza catiônica da água de irrigação e as concentrações de peróxido de hidrogênio, aos 60 dias após a semeadura.

De acordo com Sousa et al. (2020), o acúmulo de sais na água e/ou no solo pode promover a degradação dos cloroplastos, organelas nas quais se encontram as clorofilas, diminuindo a síntese dos pigmentos fotossintéticos. No caso específico da clorofila *a*, o estresse salino estimula a síntese da enzima clorofilase, que atua na degradação das moléculas deste pigmento e induz a destruição estrutural dos cloroplastos (FREIRE et al., 2013). Além disso, o efeito da salinidade sobre o teor da clorofila das plantas depende também de outros fatores, como a espécie vegetal, a concentração e o tipo de cátion (LIMA et al., 2017).

Através do desdobramento da interação entre os fatores (NCA x H₂O₂), verifica-se que a concentração de 40 μM de H₂O₂ não influenciou de forma significativa a percentagem de dano na membrana celular (%D) das plantas de maracujazeiro ‘BRS GA1’, independentemente da natureza catiônica da água (Figura 1B). Contudo, na ausência de peróxido de hidrogênio (0 μM), a percentagem de dano celular nos tecidos foliares das plantas submetidas às diferentes composições catiônicas (S₂, S₃, S₄, S₅ e S₆) foi estatisticamente superior ao das plantas cultivadas com água de baixa salinidade (S₁). Ao utilizar a concentração de 20 μM de H₂O₂, verifica-se que as plantas cultivadas com águas preparadas com Na⁺ (S₂) e Na⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺ (S₆) obtiveram a maior %D, diferindo-se de forma significativa das que estavam sob irrigação com água de baixo nível de CEa (S₁), de composição Ca²⁺ (S₃), Na⁺ + Ca²⁺ (S₄) e Mg²⁺ (S₅). Já na concentração de 60 μM de H₂O₂, a maior %D foi verificada nas plantas irrigadas com água constituída com Na⁺ (S₂), Ca²⁺ (S₃) e Na⁺ + Ca²⁺ (S₄).

A percentagem de dano celular (%D) indica a resistência da membrana celular aos danos que podem ser ocasionados por estresses, como o salino, e, portanto, quanto menor os

valores obtidos no extravasamento, mais estável é a membrana celular (SOUSA et al., 2020). A superioridade na percentagem de danos da membrana celular nas plantas irrigadas com água contendo Na^+ (S_2) em todas as concentrações de peróxido de H_2O_2 utilizadas (0, 20, 40 e 60 μM) pode evidenciar um mecanismo de proteção que evita a dessecação dos tecidos decorrente redução do potencial osmótico e do potencial hídrico nas folhas (FIOREZE et al., 2013).

A concentração de 60 μM de H_2O_2 elevou a %D das plantas irrigadas com água de constituição cálcica (S_3) e das plantas irrigadas com água constituída de $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+}$ (S_4). Este efeito pode estar relacionado ao estresse oxidativo ocasionado pelo aumento na concentração de H_2O_2 , que promove a oxidação de ácidos da bicamada lipídica e, conseqüentemente, o aumento os níveis de radicais livres de oxigênio (CARRASCO-RÍOS & PINTO, 2014). A concentração de 40 μM de H_2O_2 resultou em maior estabilização da membrana celular, promovendo um equilíbrio entre a concentração de 20 e a de 60 μM , uma vez que a as distintas composições catiônicas não apresentaram diferença entre si.

CONCLUSÕES

A síntese de clorofila *a* do maracujazeiro-azedo é inibida pela irrigação com águas constituídas de Na^+ (S_2), Ca^{2+} (S_3), Mg^{2+} (S_5) e $\text{Na}^{2+} + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ (S_6).

A concentração de 40 μM de H_2O_2 reduz a percentagem de dano celular nas plantas de maracujazeiro-azedo BRS 'GA1', aos 60 dias após a sementeira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARRASCO-RÍOS, L.; PINTO, M. Effect of salt stress on antioxidant enzymes and lipid peroxidation in leaves in two contrasting corn, 'Lluteño' and 'Jubilee'. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 74, n. 1, p. 89-95, 2014.

DINIZ, G. L.; NOBRE, R. G.; LIMA, G. S.; SOUZA, L. P.; SOARES, L. A. A.; GHEYI, H. R. Phytomass and quality of yellow passion fruit seedlings under salt stress and silicon fertilization. **Comunicata Scientiae**, v. 11, p. e3400-e3400, 2020.

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.

FIGUEIREDO, S. L.; RODRIGUES, J. D.; CARNEIRO, J. P. C.; SILVA, A. A.; LIMA, M. B. Fisiologia e produção da soja tratada com cinetina e cálcio sob déficit hídrico e sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 11, p. 1432-1439, 2013.

FREIRE, J. L. O.; CAVALCANTE, L. F.; NASCIMENTO, R.; REBEQUI, A. M. Teores de clorofila e composição mineral foliar do maracujazeiro irrigado com águas salinas e biofertilizante. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 36, n. 1, p. 57-70, 2013.

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

LIMA, G. S.; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; SOARES, L. A. A.; FERNANDES, P. D.; FURTADO, G. F. Trocas gasosas, pigmentos cloroplastídicos e dano celular na mamoneira sob diferentes composições catiônica da água. **Irriga**, v. 22, n. 4, p. 757-774, 2017.

LIMA, G. S.; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; SOARES, L. A. A.; SANTOS, J. B. Cell damage, water status and gas exchanges in castor bean as affected by cationic composition of water. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 2, p. 482-492, 2019.

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

SANTOS, A. S.; ARAÚJO, R. H. C. R.; NOBRE, R. G.; SOUSA, V. F. O.; RODRIGUES, M. H. B. S.; FORMIGA, J. A.; GOMES, F. A. L.; SANTOS, G. L.; ONIAS, E. A. Effect of Hydrogen Peroxide in the Growth of Yellow Passion Fruit Seedlings Under Salinity Stress. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 10, p. 151-162, 2018.

SAVVIDES, A.; ALI, S. TESTER, M.; FOTOPOULOS, V. Chemical priming of plants against multiple abiotic stresses: mission possible? **Trends in plant science**, v. 21, n. 4, p. 329-340, 2016.

SILVA, J. J. L.; LEITE, M. E.; RODRIGUES, L. C.; GOUVEIA, L. F. P. Physiological quality of *Malpighia emarginata* D. C seeds submitted to salt stress. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 28, n. 3, p. 1-10, 2018.

WANDERLEY, J. A. C.; BRITO, M. E. B.; AZEVEDO, C. A. V.; SILVA, F. C.; FERREIRA, F. N.; LIMA, R. F. Cell damage and biomass of yellow passion fruit under water salinity and nitrogen fertilization. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 3, p. 757-765, 2020.