



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM HORTICULTURA
TROPICAL**

JOSÉ JOEDSON LIMA SILVA

**COMPOSIÇÕES CATIÔNICAS DA ÁGUA E PERÓXIDO DE
HIDROGÊNIO NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE MARACUJAZEIRO
AMARELO**

POMBAL – PB

2021

JOSÉ JOEDSON LIMA SILVA

**COMPOSIÇÕES CATIÔNICAS DA ÁGUA E PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO NA
PRODUÇÃO DE MUDAS DE MARACUJAZEIRO AMARELO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Campina Grande, como parte das exigências do
programa de Pós-Graduação em Horticultura
Tropical, para obtenção do título de mestre.

Orientadores: Prof. Dr. Geovani Soares de Lima
Profa. Dra. Lauriane Almeida dos Anjos Soares

POMBAL – PB

2021

S586c

Silva, José Joedson Lima.

Composições catiônicas da água e peróxido de hidrogênio na produção de mudas de maracujazeiro amarelo / José Joedson Lima Silva. - Pombal, 2021.

78 f. : il. Color

Dissertação (Mestrado em Horticultura Tropical) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2021.

"Orientação: Prof. Dr. Geovani Soares de Lima, Profa. Dra. Lauriane Almeida dos Anjos Soares".

Referências.

1. Maracujazeiro Azedo. 2. Salinidade das Águas. 3. Salinidade do Solo. 4. H₂O₂. 5. Estresse Abiótico. I. Lima, Geovani Soares de. II. Soares, Lauriane Almeida dos Anjos. II. Título.

CDU 634.776.3(043)

JOSÉ JOEDSON LIMA SILVA

**COMPOSIÇÕES CATIÔNICAS DA ÁGUA E PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO NA
PRODUÇÃO DE MUDAS DE MARACUJAZEIRO AMARELO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Campina Grande, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Horticultura Tropical, para obtenção do título de mestre.

Aprovada em: 29/01/2021.

Geovani Soares de Lima

Prof. Dr. Geovani Soares de Lima
CCTA/ UAGRA/ UFCG, Campus Pombal
Orientador

Lauriane Almeida dos Anjos Soares

Profa. Dra. Lauriane Almeida dos Anjos Soares
CCTA/ UAGRA/ UFCG, Campus Pombal
Orientador

Reginaldo Gomes Nobre

Prof. Dr. Reginaldo Gomes Nobre
DCT/UFERSA
Examinador

Leandro de Pádua Souza

Dr. Leandro de Pádua Souza
PDJ/CNPq/PPGEA-UFCG
Examinador

À minha avó Regina Fernandes de Brito (In memoriam)

AGRADECIMENTOS

À minha avó, Regina Fernandes de Brito, a maior mestra da minha vida.

Aos meus pais, Maria Valdiniza de Lima Campos e Francisco de Brito Silva, pelo amparo.

Aos meus orientadores, o Prof. Dr. Geovani Soares de Lima e a Profa. Dra. Lauriane Almeida dos Anjos Soares, por todo o acolhimento, paciência e sabedoria. Obrigado por terem feito eu me sentir menos longe de casa.

Agradeço, ainda, aos demais examinadores da banca, por terem aceitado o convite e por dividirem comigo este momento tão importante: ao Prof. Dr. Reginaldo Gomes Nobre e ao Prof. Dr. Leandro de Pádua Souza.

Ao Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande pela disponibilidade dos laboratórios e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico (CNPq) pela concessão do auxílio financeiro.

A todos, os meus mais sinceros agradecimentos.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I. Alterações fisiológicas em mudas de maracujazeiro-azedo sob diferentes composições catiônicas da água e H₂O₂

Figura 1. Conteúdo relativo de água – CRA (A) e potencial hídrico (Ψ_w) de plantas de maracujazeiro-azedo ‘BRS GA1’ em função de diferentes naturezas catiônicas da água, aos 60 dias após a semeadura.....40

Figura 2. Dano celular (%D) de plantas de maracujazeiro-azedo ‘BRS GA1’ em função de diferentes naturezas catiônicas da água e aplicação exógena de peróxido de hidrogênio, aos 60 dias após a semeadura.....41

Figura 3. Teores de clorofila *a* (A) e *b* (B) de plantas de maracujazeiro azedo ‘BRS GA1’ em função de diferentes naturezas catiônicas da água, aos 60 dias após a semeadura.....43

Figura 4. Fluorescência inicial – Fo (A) e variável - Fv (B) do maracujazeiro-azedo ‘BRS GA1’, em função de diferentes naturezas catiônicas da água, aos 60 dias após a semeadura.....45

Figura 5. Eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm) do maracujazeiro-azedo ‘BRS GA1’, em função de diferentes naturezas catiônicas (NCA) e aplicação exógena de peróxido de hidrogênio, aos 60 dias após a semeadura.....46

Figura 6. Taxa de assimilação de CO₂ - A (A), transpiração - E (B), eficiência instantânea do uso da água - *EiUA* (C) e eficiência instantânea de carboxilação - *EiCi* (D) de plantas de maracujazeiro-azedo ‘BRS GA1’, em função de diferentes naturezas catiônicas da água e aplicação exógena de peróxido de hidrogênio, aos 60 dias após a semeadura.....48

Figura 7. Concentração interna de CO₂ (*Ci*) de plantas de maracujazeiro-azedo ‘BRS GA1’, em função de diferentes naturezas catiônicas da água, aos 60 dias após a semeadura.....50

CAPÍTULO II. Morfofisiologia e qualidade de mudas de maracujazeiro-azedo sob diferentes composições catiônicas da água e H₂O₂

Figura 1. Fitomassa fresca de folhas (FFF) de plantas de maracujazeiro-azedo ‘BRS GA1’ em função de diferentes naturezas catiônicas da água (A) e concentrações de peróxido de hidrogênio (B), aos 60 dias após a semeadura.....65

Figura 2. Fitomassa seca de raiz – FSR (A) e total – FST (B) de plantas de maracujazeiro-azedo ‘BRS GA1’ em função de diferentes naturezas catiônicas da água, aos 60 dias após a semeadura.....67

Figura 3. Altura de plantas – AP (A) e diâmetro do caule – DC (B) de plantas de maracujazeiro-azedo ‘BRS GA1’ em função de diferentes naturezas catiônicas da água, aos 60 dias após a semeadura.....69

Figura 4. Área foliar – AF (A), razão de área foliar – RAF (B), área foliar específica – AFE (C) e relação raiz/parte aérea – R/PA (D) de plantas de maracujazeiro-azedo ‘BRS GA1’, em

função de diferentes naturezas catiônicas da água e concentrações de peróxido de hidrogênio, aos 60 dias após a semeadura.....71

Figura 5. Teor de água na parte aérea – TAPA (A) e índice de qualidade de Dickson – IQD (B) de plantas de maracujazeiro-azedo ‘BRS GA1’ em função de diferentes naturezas catiônicas da água e concentrações de peróxido de hidrogênio, aos 60 dias após a semeadura.....74

LISTA DE TABELAS

REFERENCIAL TEÓRICO

Tabela 1. Composição química da água de alguns mananciais da região Nordeste.....18

CAPÍTULO I. Alterações fisiológicas em mudas de maracujazeiro-azedo sob diferentes composições catiônicas da água e H₂O₂

Tabela 1. Características químicas e físicas do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos. Pombal, CCTA/UFCG, 2021.....35

Tabela 2. Resumo da análise de variância referente ao conteúdo relativo de água (CRA%), ao potencial hídrico foliar (Ψ_w) e à percentagem de dano celular (%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.....39

Tabela 3. Resumo da análise de variância referente aos teores de clorofila *a* (Chl *a*), *b* (Chl *b*), carotenoides (Car) 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.....42

Tabela 4. Resumo da análise de variância referente às variáveis de fluorescência da clorofila *a*: fluorescência inicial (Fo), máxima (Fm), variável (Fv) e eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm), 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.....44

Tabela 5. Resumo da análise de variância referente à taxa de assimilação de CO₂ (A), transpiração (E), condutância estomática (*gs*), concentração interna de CO₂ (Ci), eficiência instantânea do uso da água (EiUA) e eficiência instantânea de carboxilação (EiCi) das plantas de 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.....47

CAPÍTULO II. Morfofisiologia e qualidade de mudas de maracujazeiro-azedo sob diferentes composições catiônicas da água e H₂O₂

Tabela 1. Características químicas e físicas do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos. Pombal, CCTA/UFCG, 2021..... 60

Tabela 2. Resumo da análise de variância referente à fitomassa fresca (FFF) e seca (FSC) de folhas, fitomassa seca do caule (FSC), fitomassa seca da raiz (FSR) e fitomassa seca total (FST) 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.....64

Tabela 3. Resumo da análise de variância referente à altura de plantas (AP), diâmetro do caule (DC), área foliar (AF), razão de área foliar (RAF), área foliar específica (AFE) e razão raiz/parte aérea (R/PA) 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.....68

Tabela 4. Resumo da análise de variância referente ao teor de água na parte aérea (TAPA) e ao índice de qualidade de Dickson (IQD) 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.....72

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	11
GENERAL ABSTRACT.....	12
1 INTRODUÇÃO GERAL	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 Aspectos gerais da cultura do maracujazeiro-azedo.....	14
2.2 Uso de águas salinas como alternativa de cultivo do semiárido	16
2.3 O estresse salino e seus efeitos sobre a planta.....	17
2.4 Tolerância das plantas à salinidade	20
2.5 Peróxido de hidrogênio como alternativa para redução do estresse salino	22
REFERÊNCIAS	24
CAPÍTULO I	30
1 INTRODUÇÃO	33
2 MATERIAL E MÉTODOS	34
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4 CONCLUSÕES.....	50
5 REFERÊNCIAS	50
CAPÍTULO II.....	54
1 INTRODUÇÃO	57
2 MATERIAL E MÉTODOS	58
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
4 CONCLUSÕES.....	74
5 REFERÊNCIAS	74

RESUMO GERAL

SILVA, José Joedson Lima. **Composições catiônicas da água e peróxido de hidrogênio na produção de mudas de maracujazeiro amarelo**. 2021, 79f. Dissertação (Mestrado em Horticultura Tropical) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal – PB¹.

Devido a sua importância econômica, o maracujazeiro disseminou-se rapidamente por todas as regiões brasileiras, com destaque para o Nordeste, que tem liderado sua produção nos últimos anos. No entanto, o semiárido do nordeste brasileiro, devido apresentar escassez hídrica na maior parte do ano e elevada taxa de evapotranspiração, é a região mais afetada pela salinidade das águas e do solo, evidenciando a necessidade de novas estratégias que possibilitem uma produção satisfatória das culturas sob essas condições de cultivo. A aplicação de H₂O₂, em baixas concentrações, tem provocado resultados positivos na ativação de diversas respostas fisiológicas que aumentam ou permitem a tolerância das plantas à salinidade. Neste sentido, este trabalho teve como objetivo avaliar o crescimento, o desenvolvimento e os índices fisiológicos de maracujazeiro amarelo sob diferentes composições catiônicas da água de irrigação e aplicação exógena de peróxido de hidrogênio. O experimento foi instalado em sacolas plásticas de polietileno e conduzido sob condições de casa-de-vegetação do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA), em Pombal-PB. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 6 x 4, com quatro repetições, cujos tratamentos resultaram da combinação entre seis composições catiônicas da água [S₁ – Testemunha (0,3 dS m⁻¹); 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), com quatro repetições. Com exceção do S₁, os demais tratamentos foram irrigados com água de 3,6 dS m⁻¹, preparadas a partir de diferentes cátions na forma de cloreto. As aplicações foliares tiveram início aos 20 DAS, a irrigação com as águas de respectivas naturezas catiônicas aos 25 DAS e as avaliações foram feitas aos 60 DAS. 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. A síntese de clorofila *a* do maracujazeiro-azedo foi inibida pela irrigação com águas constituídas de Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e Na²⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺. A concentração de 60 µM de H₂O₂ aumentou a eficiência quântica do fotossistema II nas plantas irrigadas com água de baixa salinidade (0,3 dS m⁻¹). A irrigação com água de condutividade elétrica de 3,6 dS m⁻¹ afetou negativamente a fitomassa seca da raiz e o diâmetro do caule de plantas de maracujazeiro-azedo ‘BRS GA1’, independente da composição catiônica da água. A concentração de 40 µM de H₂O₂ reduziu o efeito do estresse salino na área foliar das plantas irrigadas com águas constituídas de Na⁺, Na⁺ + Ca²⁺ e Na⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺. As concentrações de 20 e 40 µM de H₂O₂ promoveram a formação de mudas mais vigorosas quando irrigadas com água constituída de Na⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺, tornando-as aceitáveis para o transplantio em campo.

Palavras-chave: Salinidade. Estresse abiótico. H₂O₂.

¹Orientadores: Prof. Dr. Geovani Soares de Lima, CCTA/UFCG
Profª. Dra. Lauriane Almeida dos Anjos Soares, CCTA/UFCG

GENERAL ABSTRACT

SILVA, José Joedson Lima. **Hydrogen peroxide in the acclimation of yellow passion fruit cultivated under different water cationic compositions.** 2021, 79p. Dissertation (Master Degree in Tropical Horticulture) – Federal University of Campina Grande, Pombal – PB¹.

Due to its economic importance, the passion fruit quickly spread throughout all Brazilian regions, especially in the Northeast, which has led its production in recent years. However, the semi-arid region of northeastern Brazil, due to water scarcity for most of the year and a high evapotranspiration rate, is the region most affected by the water and soil salinity, highlighting the need for new strategies that enable satisfactory crop production under these growing conditions. The hydrogen peroxide (H₂O₂) application, in low concentrations, has caused positive results in the activation of several physiological responses that increase or allow the tolerance of plants to salinity. This work aimed to evaluate the growth, development and physiological indices of yellow passion fruit under different cationic compositions of irrigation water and exogenous application of H₂O₂. The experiment was installed in polyethylene plastic bags and conducted under greenhouse conditions at the Center of Agrifood Science and Technology of the Federal University of Campina Grande, Pombal, Brazil. The experimental design was in randomized blocks, in a 6 x 4 factorial scheme, with four replications, whose treatments resulted from the combination of six cationic water compositions [S₁ – Control (0.3 dS m⁻¹); S₂ - Na⁺; S₃ - Ca²⁺; S₄ - Na⁺ + Ca²⁺; S₅ - Mg²⁺ and S₆ - Na⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺, with a 1:1 ratio between Na⁺ + Ca⁺ and 7:2:1 between Na⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺, respectively] and four concentrations of H₂O₂ (0, 20, 40 and 60 μM). With the exception of S₁, the other treatments were irrigated with 3.6 dS m⁻¹ water, prepared from different cations in the form of chloride. Foliar applications began at 20 DAS, irrigation with water of the respective cationic nature at 25 DAS and evaluations were made at 60 DAS. The 40 μM concentration of H₂O₂ reduced the percentage of cell damage in the passion fruit BRS 'GA1' plants, 60 days after sowing. The 40 μM concentration of H₂O₂ reduces the percentage of cell damage in passion fruit BRS 'GA1' plants, 60 days after sowing. The chlorophyll *a* synthesis from passion fruit is inhibited by irrigation with waters consisting of Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ and Na⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺. Irrigation with water with electrical conductivity of 3.6 dS m⁻¹ negatively affected root dry mass and stem diameter of 'BRS GA1' passion fruit plants, regardless of the cationic water composition. The 40 μM concentration of H₂O₂ reduces the salt stress effect on leaf area of plants irrigated with water consisting of Na⁺, Na⁺ + Ca²⁺ and Na⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺. The 20 and 40 μM concentrations of H₂O₂ increases Dickson's quality index of plants irrigated with water consisting of Na⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺, making them able for the field.

Palavras-chave: Salinity. Abiotic stress. H₂O₂.

¹Orientadores: Prof. Dr. Geovani Soares de Lima, CCTA/UFCG
Profª. Dra. Lauriane Almeida dos Anjos Soares, CCTA/UFCG

1 INTRODUÇÃO GERAL

Nos últimos anos, o Brasil ficou amplamente conhecido como o maior produtor e consumidor mundial de maracujazeiro-azedo (*Passiflora edulis Sims f. flavicarpa Degener*), produzindo aproximadamente 700 mil toneladas em uma área superior a 40 mil hectares, com a espécie ocupando uma posição de destaque entre as frutíferas do país (IBGE, 2019). Devido a sua importância econômica, o maracujazeiro-azedo difundiu-se rapidamente por todas as regiões, tendo o Nordeste liderado sua produção, detendo aproximadamente 70% de toda a produtividade brasileira (MELLETTI *et al.*, 2011).

Apesar do sucesso no cultivo de maracujá nesta região, o semiárido do nordeste brasileiro apresenta limitações que impedem uma produção ainda maior, como os altos níveis de sais presentes em grande parte da água disponível para irrigação, o que reduz a expansão das culturas por induzir modificações fisiológicas que comprometem o seu crescimento e desenvolvimento (CAVALCANTE *et al.*, 2016). No que se refere aos principais sais presentes nas águas de irrigação, os recursos hídricos do Nordeste possuem altos teores de cloreto (Cl^-) e sódio (Na^+), baixos teores de sulfato (SO_4^{2-}), e concentrações variáveis de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) (HUSSAIN *et al.*, 2017).

De forma geral, as modificações causadas nas plantas pela salinidade são decorrentes de três componentes principais do estresse salino: o efeito osmótico, que promove a inibição do crescimento em virtude da redução da absorção de água; o efeito iônico, resultante do acúmulo de grandes quantidades de íons nos tecidos vegetais, promovendo toxicidade; e o desequilíbrio nutricional, ocasionado pela absorção de íons tóxicos em detrimento de nutrientes importantes para a nutrição mineral (SOUSA *et al.*, 2010).

Neste sentido, a utilização de águas salinas na irrigação constitui um sério problema para a agricultura, evidenciando a necessidade de adoção de estratégias que possibilitem uma produção satisfatória das culturas sob altas concentrações de sais e diferentes composições catiônicas da água (LIMA *et al.*, 2015). Uma alternativa que vem sendo bastante difundida na mitigação dos efeitos do estresse salino é a aplicação exógena de compostos que induzam a aclimatação das plantas, como o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) (GONDIM *et al.*, 2012).

O peróxido de hidrogênio (H_2O_2) é uma espécie reativa de oxigênio (ERRO) que, em baixas concentrações, atua como uma molécula sinalizadora que promove a ativação do sistema de defesa do vegetal, induzindo diversas respostas fisiológicas que aumentam a tolerância das plantas à salinidade (LI *et al.*, 2010). A aclimatação com H_2O_2 ocorre quando a planta é

previamente exposta ao composto e este induz mudanças metabólicas que são responsáveis por aumentar a tolerância do vegetal ao estresse, através da produção de enzimas que protegem a cultura dos efeitos negativos da irrigação com água salina (KAO, 2014).

São escassos os relatos na literatura sobre a atuação deste composto na aclimação de plantas de maracujazeiro, especialmente em distintas composições catiônicas da água de irrigação. Considerando a importância socioeconômica que o maracujazeiro exerce na região Nordeste e a sua sensibilidade às condições de salinidade, torna-se fundamental o desenvolvimento de pesquisas que busquem soluções para minimizar os efeitos do estresse salino sobre a cultura.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aspectos gerais da cultura do maracujazeiro-azedo

O maracujazeiro-azedo (*Passiflora edulis Sims f. flavicarpa Degener*) é uma frutífera pertencente à família Passifloraceae, nativa da América Tropical (RIBEIRO *et al.*, 2019) e que apresenta grande adaptabilidade, sendo cultivada em vários países, como Brasil, Colômbia, Equador e Peru (SANTOS *et al.*, 2017). *Passiflora* é o maior gênero da família Passifloraceae, compreendendo cerca de 500 espécies, das quais aproximadamente 150 são de ocorrência brasileira (FALEIRO *et al.*, 2008).

As espécies mais exploradas comercialmente do gênero *Passiflora* são o maracujazeiro-azedo (*Passiflora edulis Sims f. flavicarpa Degener*), o maracujazeiro-roxo (*Passiflora edulis*) e o maracujazeiro-doce (*Passiflora alata*) (PIRES *et al.*, 2011), cuja a produção de frutos tem obtido grande destaque na indústria de sucos e no consumo *in natura* (FALEIRO *et al.*, 2011). A maioria das plantas deste gênero são herbáceas e apresentam crescimento trepadeiro, podendo atingir de 5 a 10 m de comprimento (TOSTA, 2009).

Por se tratar uma planta perene, o maracujazeiro possui floração durante o ano todo, com flores hermafroditas protegidas na base por brácteas foliares e que apresentam uma grande diversidade de cores, formas e tamanhos (FALEIRO; JUNQUEIRA, 2016). Os frutos são do tipo baga e indeiscentes, cuja forma pode variar entre globosa, ovoide ou elipsoide, enquanto as sementes apresentam apenas a forma ovoide, com testa endurecida, faveolada ou estriada (CUNHA; BARBOSA; FARIA, 2004).

O maracujazeiro também é conhecido por suas propriedades terapêuticas e farmacêuticas, uma vez que suas estruturas possuem compostos funcionais que atuam em diversas respostas fisiológicas específicas (ZERAİK *et al.*, 2010). As folhas, por exemplo, são utilizadas no tratamento de alguns transtornos mentais, como a ansiedade e a insônia (BARBOSA *et al.*, 2008).

O fruto é rico em fibra dietética e tem garantido importantes melhorias metabólicas em estudos baseados em suplementação (SOUZA *et al.*, 2018). A maior parte dessas fibras se encontra na casca, que representa 60% do fruto, e contém grandes quantidades de compostos bioativos e polissacarídeos, como a pectina (LÓPEZ-VARGAS *et al.*, 2013). A pectina é uma fibra solúvel com reconhecida ação na cicatrização de feridas, na indução de apoptose em células cancerígenas, na inibição de lipases e na diminuição do colesterol, além de possuir efeitos imunoestimulantes (ESPINAL-RUIZ *et al.*, 2015).

Tais efeitos benéficos na saúde vêm impulsionando a utilização do maracujá na indústria alimentícia, tanto na forma de suplemento quanto na forma de aditivo para aumentar o valor nutricional de outros produtos (MIRANDA *et al.*, 2013). Assim, a espécie começou a receber atenção de diversos países, dentre eles, o Brasil, que se tornou amplamente conhecido como o maior produtor e consumidor mundial da fruta (COELHO; AZEVÊDO; UMSZA-GUEZ, 2016), produzindo cerca de 700 mil toneladas por ano (IBGE, 2019).

Devido a sua importância econômica, o maracujá espalhou-se rapidamente por todas as regiões brasileiras, com destaque para o Nordeste, que tem liderado sua produção nos últimos anos, produzindo cerca de 350 mil toneladas (IBGE, 2019). Tal feito deve-se às condições de solo e de clima desta região, que são favoráveis ao cultivo da espécie (BEZERRA *et al.*, 2019), conforme tem sido evidenciado em plantios comerciais nos estados de Pernambuco, Sergipe e Paraíba (NASCIMENTO *et al.*, 2004).

Além do clima, o nordeste brasileiro apresenta muitas condições favoráveis ao cultivo, como a disponibilidade de mão de obra, que gera aproximadamente de 3 a 4 empregos por hectare, fomentando os mercados e as indústrias locais (ANDRADE JÚNIOR *et al.*, 2003). Além disso, por ser uma cultura de ciclo curto e colheita continuada, o maracujá pode se desenvolver facilmente em pequenas propriedades, representando uma alternativa de fonte de renda para pequenos produtores que dependem da agricultura familiar (ALMEIDA, 2018).

Apesar de condições adequadas para o cultivo do maracujá, o nordeste brasileiro é a região mais afetada do país no que se refere à salinidade das águas e do solo, problema que tem afetado aproximadamente 60 milhões de hectares de área irrigada no mundo e que tem proporcionado danos severos para a produção agrícola (OLIVEIRA *et al.*, 2016).

2.2 Uso de águas salinas como alternativa de cultivo do semiárido

Historicamente, dados revelam que a implantação da irrigação ocorreu há mais de 5000 anos, pelos egípcios, através da construção de reservatórios e canais às margens do rio Nilo, a fim de ampliar a distribuição de água nas redondezas (SILVA, 2015). Esta técnica foi difundida e utilizada no mundo inteiro como uma forma de maximizar a produtividade de cultivares em regiões que apresentam déficit hídrico, onde a irrigação representa a única forma de disponibilização de água para as plantas nos períodos de seca (CUNHA, 2018).

De acordo com Reis Filho (2012), a utilização de sistemas de irrigação demorou para ser difundida no Brasil, começando a tomar grandes proporções apenas a partir dos anos 2000. Atualmente, o país possui os maiores reservatórios naturais de água do mundo, detendo aproximadamente 12% das águas doces disponíveis em todo o planeta, das quais 80% estão distribuídas da região Norte e apenas 5% estão concentradas na região Nordeste (GETIRANA, 2016).

Além dessa desigualdade na distribuição dos recursos hídricos no Brasil, as águas de boa qualidade para a irrigação encontram-se cada vez mais escassas, em decorrência, principalmente, do crescente aumento populacional associado à pressão econômica pela produção de alimentos (RIBEIRO; RIBEIRO FILHO; JACOMINE, 2016). Neste sentido, em meio à grande demanda hídrica exigida para a prática de irrigação, a utilização de água com qualidade não convencional tem se tornado uma alternativa viável em regiões semiáridas, onde este recurso é mais escasso que em outras regiões do Brasil (ASSIS JÚNIR, 2012).

No Nordeste, por exemplo, as taxas de evapotranspiração são superiores aos índices de precipitação, favorecendo o acúmulo de sais na superfície do solo e limitando a disponibilidade de água de boa qualidade (LACERDA *et al.*, 2016). Nesta região, os baixos índices pluviométricos são ainda distribuídos de forma irregular ao longo do ano, tornando a prática de irrigação a única forma de garantir o cultivo com segurança (DIAS *et al.*, 2016).

Devido a estes fatores, nos últimos anos, tem-se aumentado a pressão para a utilização de águas salinas na irrigação das culturas, sendo boa parte dessa água retirada de poços profundos ou de açudes de pequeno e médio portes, onde a água atinge altos níveis de condutividade (MEDEIROS *et al.*, 2003). A irrigação com este tipo de água promove o acúmulo de sais solúveis na solução do solo, o que, além de causar efeitos adversos nas relações solo-

água-planta, resulta em perdas de extensas áreas produtivas e restrições severas nas atividades fisiológicas das plantas cultivadas (CAVALCANTE *et al.*, 2016).

De acordo com Sousa *et al.* (2010), os principais danos causados nas plantas pela salinidade são a inibição do crescimento, em virtude da redução na absorção de água causada pela diminuição do potencial osmótico da solução do solo, e o acúmulo de grandes quantidades de íons nos tecidos vegetais, promovendo a toxicidade iônica e o desequilíbrio nutricional. Desta forma, a utilização de águas salinas constitui um sério problema para a produção agrícola, reduzindo a produtividade das culturas a níveis economicamente desfavoráveis (DIAS *et al.*, 2016).

Apesar das águas naturalmente apresentarem sais em sua composição, a concentração desses sais varia de acordo com diversos fatores, como a origem da água, a presença de matéria orgânica, as condições climáticas da região e até a estratégia de manejo que está sendo utilizada (FERREIRA; SILVA; RUIZ, 2010). A variabilidade catiônica nesta região ocorre, principalmente, devido à variação sazonal entre o período de estiagem e de chuvas (), com as mudanças edafoclimáticas contribuindo para as mudanças nas atividades iônicas das águas e provocando mudanças na força dos íons (coeficiente de atividade), bem como em sua precipitação (OLIVEIRA *et al.*, 2015).

Onde os poços são rasos e com vazões inferiores a $3,0 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, devido à supremacia das rochas cristalinas, ocorre a predominância de sólidos dissolvidos totais (aproximadamente $3,0 \text{ g L}^{-1}$) na forma de cloreto (LORA, 2000). Além do cloreto, outros íons são predominantes nos recursos hídricos do semiárido nordestino, como os cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+ , e os ânions HCO_3^- e SO_4^{2-} (SANTOS, 2008). Os teores médios de cátions estão dispostos em uma ordem decrescente, onde $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$, enquanto os teores médios de ânions seguem a ordem de $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{CO}_3^-$. No entanto, a quantidade dos íons sofre variação de acordo com cada região, conforme Tabela 1, adaptada de Holanda (2016).

2.3 O estresse salino e seus efeitos sobre a planta

A região semiárida do Nordeste brasileiro caracteriza-se por apresentar altas temperaturas, insuficiência hídrica e baixa precipitação, sendo estes fatores limitantes ao desenvolvimento de inúmeras espécies vegetais, especialmente por proporcionar o acúmulo de sais no solo e limitar a disponibilidade de água de boa qualidade (ALVES *et al.*, 2015). O excesso de sais, por sua vez, caracteriza o estresse salino, agravado em regiões semiáridas

devido às características físicas e químicas do solo, tais como altos teores de argila, condutividade hídrica reduzida, condições topográficas desfavoráveis e elevados teores de sódio (VELMURUGAN *et al.*, 2016).

Tabela 1. Composição química da água de alguns mananciais da região Nordeste.

Manancial	Município	Íons (mmol L ⁻¹)						
		Ca ⁺	Mg ⁺	K ⁺	Na ⁺	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻
S. Francisco	Petrolina – PE	0,40	0,25	0,00	0,25	0,00	0,63	0,03
São Gonçalo	Sousa – PB	1,05	0,80	0,20	0,61	0,00	1,69	0,65
Aç. Boqueirão	Boqueirão – RN	2,33	2,68	-	6,59	-	2,17	8,89
Açude Itans	Caicó – RN	0,93	2,67	0,17	3,20	0,92	1,31	3,70
Açude	Cruzeta – RN	1,37	1,88	0,12	3,70	0,30	1,80	4,50
Gargalheiras	Acari – RN	2,92	0,65	0,14	8,08	0,15	1,75	3,50
Rio Piranhas	J. Piranhas – RN	1,37	0,70	0,08	2,10	0,90	1,40	2,25
Rio	P. Ferros – RN	1,47	1,08	-	3,60	-	2,63	3,54
Arm. Ribeiro	Assu - RN	0,88	0,82	0,14	1,22	0,00	1,55	1,63
Serra Mossoró	Mossoró – RN	7,20	7,70	-	7,50	-	5,00	7,40
Poço Perm.	Tauá – CE	2,12	2,64	-	5,11	-	4,10	5,11
Quixeré	Quixeré – CE	8,90	4,30	-	4,50	-	5,20	10,6
Rio Capiá	Alagoas	5,90	13,1	0,65	38,3	0,20	2,80	51,5
Rio Mossoró	Mossoró – RN	3,10	2,75	0,10	3,15	0,36	2,81	5,63
Poço Tubular	Baraúnas – RN	8,50	3,60	0,10	4,69	0,00	9,60	6,10
Açude	Pombal – PB	0,87	0,52	0,10	1,23	0,00	1,78	0,99
Poço Amaz.	Condado – PB	1,88	1,04	0,07	3,07	0,15	2,25	3,17
Poço Amaz.	Angicos – RN	8,97	12,0	0,30	28,0	0,32	3,12	43,7
Poço P. Irig.	S. Talhada – PE	2,67	2,80	0,29	14,6	0,00	0,00	16,7
Rio P. Irig.	S. Talhada – PE	1,87	1,32	0,32	5,02	0,00	0,00	7,18
S. Rosa	Acaraú – CE	0,54	0,60	0,16	1,44	-	-	1,38

Fonte: Adaptado de Holanda *et al.* (2016).

No decorrer dos anos, o estresse salino se tornou um dos principais obstáculos do setor agrícola, atingindo a economia do entorno, a sociedade e o ambiente (SINGH, 2015). Este estresse possui dois componentes: o efeito osmótico, que promove déficits hídricos; e o efeito iônico, proveniente do acúmulo de íons tóxicos, os quais dificultam a obtenção de nutrientes e resultam no aumento da citotoxicidade (SILVA *et al.*, 2018).

O efeito osmótico é caracterizado pela inibição da assimilação de água em decorrência do baixo potencial hídrico na região radicular (FRICKE; PETERS, 2002). De acordo com Dias e Blanco (2010), as plantas geralmente absorvem água em condições em que as forças de embebição dos tecidos das raízes são superiores as forças de retenção da água no solo. Ainda conforme os referidos autores, no caso de solos salinos, as forças de retenção do solo são maiores devido ao potencial osmótico, o que dificulta a absorção de água e promove a seca fisiológica.

Castillo *et al.* (2007) afirmaram que o efeito tóxico ocorre quando os íons presentes no solo ou na água são absorvidos pelas plantas e rapidamente são acumulados nos tecidos em concentrações suficientemente altas para provocar danos e afetar seu funcionamento. Para Alves *et al.* (2013), um exemplo difundido desse efeito é a acumulação citotóxica de íons Na^+ e Cl^- , que pode afetar processos como a divisão e o alongamento celular, e ainda restringir a mobilização de fitomassa para os órgãos das plântulas em desenvolvimento.

Quanto aos efeitos indiretos provocados pela salinidade, os mais relevantes estão relacionados ao estado nutricional das plantas, ocorrendo quando elevadas concentrações de Na^+ , Cl^- ou outros íons interferem na disponibilidade de outros elementos, afetando processos importantes no desenvolvimento das culturas (DIAS; BLANCO, 2010). Dentre as consequências observadas a partir do acúmulo dos íons Na^+ e Cl^- , pode-se citar necrose nos tecidos foliares e a aceleração da senescência de folhas maduras, reduzindo a área destinada à fotossíntese (MUNNS, 2002).

Neste sentido, a fotossíntese pode ser citada como um dos principais mecanismos afetados indiretamente pela salinidade, uma vez que suas rotas bioquímicas e fotoquímicas também são inibidas pelo acúmulo de íons Na^+ e/ou Cl^- nos cloroplastos (TAIZ; ZEIGER, 2013). Indiretamente, a salinidade também limita a atividade fotossintética através do fechamento estomático, reduzindo a transpiração e, conseqüentemente, reduzindo a absorção de energia luminosa (SILVA *et al.*, 2018).

O estresse salino pode, ainda, provocar o surgimento de estresses secundários, como o estresse oxidativo, que causa alterações nos processos fisiológicos e bioquímicos das plantas por induzir uma produção excessiva de espécies reativas de oxigênio (EROs) (KAUSHAL; WANI, 2016), tais como o ânion superóxido, o radical hidroxilo, o oxigênio singleto e o peróxido de hidrogênio (FANG; XIONG, 2015). No entanto, as EROs não possuem apenas ações deletérias e podem atuar, também, como moléculas de sinalização, induzindo a ativação de um sistema de defesa que previne às plantas de diversos outros estresses (SEWELAM; KAZAN; SCHENK, *et al.*, 2016).

Conforme Taiz e Zeiger (2013), a germinação também pode ser afetada drasticamente pelo estresse salino, uma vez que a semente precisa absorver água em quantidades satisfatórias para reativar as enzimas e promover a degradação das reservas do endosperma, sendo o processo germinativo diretamente dependente do movimento de água nos tecidos da semente. O efeito mais expressivo da salinidade na germinação é decorrente do estresse osmótico, entretanto, a semente também pode sofrer danos resultantes do efeito tóxico causado pelo acúmulo de íons no protoplasma (GORDIN *et al.*, 2010).

2.4 Tolerância das plantas à salinidade

As plantas possuem diversos mecanismos que lhes permitem sobreviver e se adaptar aos ambientes a que estão submetidas, promovendo respostas com alterações diretas em seus processos fisiológicos e morfológicos (TAIZ; ZEIGER, 2013). Esses mecanismos definem a tolerância do vegetal, os quais são ativados como resposta aos obstáculos que afetem, direta ou indiretamente, o seu crescimento (MARIJUAN; BOSCH, 2013).

De acordo com o grau de tolerância aos sais, as plantas podem ser classificadas em dois grandes grupos: halófitas e glicófitas (OLIVEIRA, 2017). As halófitas são aquelas capazes de se desenvolverem em ambientes com elevada concentração de sais, enquanto as glicófitas são sensíveis e tem o crescimento inibido mesmo em baixas concentrações salinas (TUTEJA *et al.*, 2011).

A tolerância das plantas à salinidade depende, principalmente, de mecanismos de controle específicos do transporte dos sais, tais como: seletividade no processo de absorção pelas células das raízes; carregamento do xilema com K^+ em detrimento do Na^+ ; minimização da translocação dos íons Na^+ e Cl^- para a parte aérea em crescimento; compartimentação de sais em excesso no vacúolo; e excreção de sais por estruturas especializadas (MUNNS *et al.*, 2002).

Um exemplo de mecanismo de tolerância relacionado ao transporte de íons é a resposta à salinidade de plantas glicofíticas, ou seja, plantas sensíveis a elevados teores de sais. Embora não sejam geneticamente adaptadas para se desenvolver em ambientes salinos, estas plantas possuem uma rota de sinalização baseada em uma serina/treonina proteína-cinase (rota SOS), que promove a saída do Na^+ das células e reduz a toxicidade induzida pelo acúmulo de íons (ZHU, 2002).

Muitas espécies, quando submetidas ao estresse salino, realizam um ajustamento osmótico, ou seja, acumulam íons ou solutos orgânicos no citosol, reduzindo o potencial

osmótico e, conseqüentemente, mantendo o potencial hídrico inferior ao do solo para possibilitar a absorção de água (SILVA *et al.*, 2018). A importância do ajustamento osmótico deve-se ao fato de que, além de manter o gradiente de potencial hídrico favorável, ele proporciona a manutenção da turgescência e de processos relacionados, como o alongamento celular, o crescimento e a abertura estomática (ALVARENGA, 2019).

Outra ferramenta de tolerância é a redução da área foliar a fim de diminuir a superfície transpirante, tendo em vista que as folhas são os órgãos responsáveis pela maior taxa de transpiração e que a redução da área foliar consiste em um recurso que viabiliza a redução da perda de água (OLIVEIRA *et al.*, 2013). No entanto, o processo fotossintético depende inteiramente da interceptação da energia luminosa pela folha, resultando na conversão da luz em energia química e formação de carboidratos para serem alocados para os demais órgãos da planta (GOMES *et al.*, 2011).

De acordo com Taiz *et al.* (2017), plantas sob estresse salino também promovem o fechamento de seus estômatos precocemente em resposta a redução da permeabilidade das raízes à água, diminuindo a transpiração e mantendo o status hídrico da planta. No entanto, essa resposta ocorre antes da inibição da fotossíntese e restringe também a disponibilidade de CO₂ nos sítios de assimilação no cloroplasto, o que torna esse mecanismo de defesa um dos mais importantes no controle da fixação do carbono (SILVA JÚNIOR *et al.*, 2012).

De forma geral, a adaptação dos vegetais ao estresse salino consiste na habilidade que eles desenvolveram para evitar, por meio de respostas reguladoras, que excessivas quantidades de sais provenientes do substrato alcancem o protoplasma, e também de tolerar os efeitos tóxicos e osmóticos associados ao aumento da concentração de sais (LARCHER, 2000). Além disso, as respostas à salinidade podem variar em função de diversos fatores, como o genótipo, estágio de desenvolvimento, composição salina do meio, intensidade e duração do estresse e condições climáticas da região (BRAY; BAILEY-SERRES; WERETILNYK, 2000).

Diversos trabalhos têm estudado os efeitos da salinidade em plantas de maracujazeiro, no entanto, estes estudos se limitam a avaliar apenas o uso de águas com diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação sobre a cultura. Neste sentido, surge a necessidade de novas pesquisas que abordem o comportamento da espécie diante da utilização de diferentes composições catiônicas da água de irrigação, especialmente em regiões semiáridas, onde diversos fatores contribuem para a variação na composição iônica dos recursos hídricos.

2.5 Peróxido de hidrogênio como alternativa para redução do estresse salino

A aclimação é um processo em que as plantas, quando previamente expostas a uma situação de estresse, desenvolvem mudanças fisiológicas que aumentam sua tolerância a futuras exposições do mesmo estresse (TAIZ; ZEIGER, 2013). Tais mudanças fisiológicas são temporárias e não são transmitidas de uma geração para a outra, atuando unicamente no indivíduo que foi exposto à condição estressante (GONDIM et al, 2012).

Uma das estratégias que tem se mostrado eficiente e promissora no desenvolvimento de aclimação em plantas é o tratamento com espécies reativas de oxigênio (EROs) (CARMODY *et al.*, 2016). As EROs são formas reduzidas de oxigênio molecular que são produzidas de forma excessiva quando as plantas estão submetidas a condições adversas, caracterizando o estresse oxidativo (LACERDA *et al.*, 2016). As principais EROs produzidas são o ânion superóxido, o radical hidroxil, o oxigênio singlete e o peróxido de hidrogênio (FANG; XIONG, 2015).

De modo geral, as plantas possuem adaptações que as permitem conviver com determinados níveis de espécies reativas de oxigênio, porém, quando em concentrações elevadas, as EROs podem causar toxicidade nos tecidos celulares e provocar a morte celular (FORMAN; MAIORINO; URSINI, 2010). Apesar disso, os efeitos das EROs não são estritamente deletérios, uma vez que, em estudos recentes, foi observado que essas espécies também agem como moléculas sinalizadoras para controlar diferentes processos celulares.

Dentre as EROs, o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) tem sido apontado como um dos mais importantes sinalizadores, especialmente por se tratar de uma molécula gerada de forma rápida pelos estímulos ambientais, além de ser pequena e relativamente estável, o que a permite uma passagem facilitada pelas membranas (ANDRADE *et al.*, 2018). O que difere o H_2O_2 quanto ao seu efeito sinalizador ou causador de danos depende unicamente de sua quantidade no meio intracelular, uma vez que atua como molécula tóxica em grandes quantidades e possui função sinalizadora quando se encontra em baixas concentrações (SIES, 2017).

A aplicação de H_2O_2 , em baixas concentrações, tem provocado resultados positivos na ativação de diversas respostas fisiológicas que aumentam ou permitem a tolerância das plantas à salinidade (LI *et al.*, 2010). Dentre as respostas mais importantes em que o H_2O_2 atua, a sua sinalização está diretamente relacionada a processos como: condutância estomática, senescência foliar, controle do ciclo celular e fotossíntese, além de induzir uma tolerância à deficiência do oxigênio (PETROV; VAN BREUSEGEM, 2012).

De forma geral, o tratamento com H_2O_2 , em quantidades adequadas, é capaz de ativar o sistema antioxidante das plantas, sendo este o principal mecanismo de defesa que atua

diretamente sobre as EROs, prevenindo a sua produção ou neutralizando a ação das já existentes no metabolismo celular (LI et al, 2010). Menores concentrações de EROS causam menos danos à célula e aumentam as chances de sobrevivência das plantas em condições de estresse salino (FORMAN; MAIORINO; URSINI, 2010), conforme pode ser observado em diversos trabalhos de aclimatação com o H₂O₂.

Para o produtor, a aplicação do peróxido de hidrogênio através do método via foliar apresenta a vantagem de ser menos invasivo com relação a outras abordagens, como o pré-tratamento via embebição da semente. Tendo em vista que o objetivo do produtor é a produção de mudas de qualidade, a aplicação via foliar se torna mais viável por se tratar um processo que pode ser mensurado periodicamente, ou seja, o produtor pode gerenciar a aplicação de acordo com os resultados que for obtendo durante o processo (VELOSO *et al.* 2021).

Testando quatro concentrações de peróxido de hidrogênio (0, 20, 40 e 60 µM) em maracujazeiro-azedo, Andrade *et al.* (2018) obtiveram êxito na atenuação do estresse salino, evidenciando importantes efeitos benéficos deste composto tanto em aspectos relacionados à fotossíntese, como o número de folhas, fluorescência e conteúdo de carotenoides; quanto em aspectos relacionados ao fruto (como diâmetro, acidez titulável e quantidade de vitamina C). Conforme o autor, a aplicação de peróxido de hidrogênio na concentração de 20 µM promoveu os melhores resultados.

Em outras espécies, como o milho (*Zea mays* L.), a aplicação de H₂O₂ na semeadura e, posteriormente, na pulverização foliar, também promoveu a aclimatação ao estresse salino, com os melhores resultados ocorrendo na fase de crescimento inicial (SILVA *et al.*, 2016). Carvalho *et al.* (2011) obtiveram resultados semelhantes em arroz (*Oryza sativa* L.), onde o pré-tratamento com baixas doses de H₂O₂ foi capaz de minimizar os efeitos deletérios da salinidade ao induzir a ativação dos sistemas de defesa antioxidante.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L. E. S. **Caracterização citogenética e molecular de acessos de maracujá da caatinga (*Passiflora cincinnata* mast.)**. 2018. 59 f. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Recursos Genéticos Vegetais) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2018.
- ALVARENGA, C. F. *et al.* Morfofisiologia de aceroleira irrigada com águas salinas sob combinações de doses de nitrogênio e potássio. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 1, p. 191-200, 2019.
- ALVES, F. A. L. *et al.* Germinação e estabelecimento de plântulas de cajueiro-anão precoce (*Anacardium occidentale* L.) em função da salinidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 2, p. 197-204, 2013.
- ALVES, L. S. *et al.* Teor, rendimento e composição química do óleo essencial de plantas de manjeriço submetidas ao estresse salino com NaCl. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 17, n. A00101s1, p. 807-813, 2015.
- ANDRADE JÚNIOR, V. C. *et al.* Produção de maracujazeiro-amarelo sob diferentes densidades de plantio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 12, p. 1381-1386, 2003.
- ANDRADE, C. A. *et al.* Hydrogen peroxide promotes the tolerance of soybeans to waterlogging. **Scientia Horticulturae**, v. 232, s/n., p. 40-45, 2018.
- ASSIS JUNIOR, R. N.; SILVA, E. F. Efeito da qualidade da água de irrigação sobre os atributos físicos de um neossolo flúvico do Município de Quixeré, CE-Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1778-1786, 2012.
- BARBOSA, P. R. *et al.* The aqueous extracts of *Passiflora alata* and *Passiflora edulis* reduce anxiety-related behaviors without affecting memory process in rats. **Journal of medicinal food**, v. 11, n. 2, p. 282-288, 2008.
- BEZERRA, M. A. F. *et al.* Saline water, pit coating and calcium fertilization on chlorophyll, fluorescence, gas exchange and production in passion fruit. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 2, p. 319-329, 2019.
- BRAY, E. A.; BAILEY-SERRES, J.; WERETILNYK, E. Responses to abiotic stresses. In: BUCHANAN, B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. L. (Eds.). **Biochemistry and molecular biology of plants**. Rockville: ASPP, 2000. p. 1158-1203.
- CARMODY, M. *et al.* ROS signalling in a destabilised world: a molecular understanding of climate change. **Journal of plant physiology**, v. 203, s/n., p. 69-83, 2016.
- CARVALHO, F. E. L. *et al.* Aclimação ao estresse salino em plantas de arroz induzida pelo pré-tratamento com H₂O₂. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 4, p. 416-423, 2011.

CASTILLO, E. G. *et al.* Response to salinity in rice: Comparative effects of osmotic and ionic stresses. **Plant Production Science**, v. 10, n. 2, p. 159-170, 2007.

CAVALCANTE, L. F. *et al.* Recuperação de solos afetados por sais. In: GHEY, H. R. *et al.* (Eds.). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCT Sal, 2016. p. 11-19.

COELHO, E. M.; AZEVÊDO, L. C.; UMZA-GUEZ, M. A. Fruto do maracujá: importância econômica e industrial, produção, subprodutos e prospecção tecnológica. **Cadernos de Prospecção**, v. 9, n. 3, p. 347-361, 2016.

CUNHA, M. A. P.; BARBOSA, L. V.; FARIA, G. A. Botânica. In: LIMA, A. A.; CUNHA, M. A. P. (Org.) **Maracujá: produção e qualidade na passicultura**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004. p. 14-35.

CUNHA, R. R. **Avaliação das características do solo em cultivo de palma forrageira irrigada com águas salinas**. 2018. 104 f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água), Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2018.

DIAS, N. S. *et al.* Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. In: GHEY, H. R. *et al.* (Eds.). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCT Sal, 2016. p. 11-19.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (Eds.). **Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados**. Fortaleza: INCT Sal, 2010. p.129-141.

ESPINAL-RUIZ, M. *et al.* Impact of pectin properties on lipid digestion under simulated gastrointestinal conditions: Comparison of citrus and banana passion fruit (*Passiflora tripartita* var. *mollissima*) pectins. **Food Hydrocolloids**, v. 52, s/n., p. 329-342, 2016.

FALEIRO, F. G. *et al.* Caracterização de germoplasma e melhoramento genético do maracujazeiro assistidos por marcadores moleculares: resultados da pesquisa 2005-2008. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008.

FALEIRO, F. G. *et al.* Pré-melhoramento do maracujá. In: LOPES, M. A. *et al.* (Eds.). **Pré-melhoramento de plantas: estado da arte e experiências de sucesso**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. p. 550-570.

FALEIRO, F. G.; JUNQUEIRA, N. T. V. **O produtor pergunta, a Embrapa responde**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2016.

FANG, Y.; XIONG, L. General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. **Cellular and molecular life sciences**, v. 72, n. 4, p. 673-689, 2015.

FERREIRA, P. A.; SILVA, J. B. L.; RUIZ, H. A. Aspectos físicos e químicos de solos em regiões áridas e semiáridas. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCT Sal, 2010. p. 130-141.

FORMAN, H. J.; MAIORINO, M.; URSINI, F. Signaling functions of reactive oxygen species. **Biochemistry**, v. 49, n. 5, p. 835-842, 2010.

FRICKE, W.; PETERS, W. S. The biophysics of leaf growth in salt-stressed barley. A study at the cell level. **Plant Physiology**, v. 129, n. 1, p. 374-388, 2002.

GETIRANA, Augusto. Extreme water deficit in Brazil detected from space. **Journal of Hydrometeorology**, v. 17, n. 2, p. 591-599, 2016.

GOMES, K. R. *et al.* Respostas de crescimento e fisiologia do milho submetido a estresse salino com diferentes espaçamentos de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental - Agriambi**, v. 15, n. 4, p. 365-370, 2011.

GORDIN, C. R. B. *et al.* Estresse salino na germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de niger (*Guizotia abyssinica* (Lf) Cass.). **Acta Botânica Brasílica**, v. 26, n. 4, p. 966-972, 2012.

HOLANDA, J. S. *et al.* Qualidade da água para irrigação. In: GHEYI, H. R. *et al.* (ed.). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. 2.ed. Fortaleza, INCTSal, 2016. Cap.4, p. 35-47.

HUSSAIN, S. *et al.* Effects of salt stress on rice growth, development characteristics, and the regulating ways: A review. **Journal of integrative agriculture**, v. 16, n. 11, p. 2357-2374, 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção agrícola municipal: Lavouras permanentes**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613>>. Acesso em: 18 de maio de 2019.

KAO, C. H. *et al.* Role of hydrogen peroxide in rice plants. **Crop Environ Bioinform**, v. 11, n. s/n, p. 1-10, 2014.

KAUSHAL, M.; WANI, S. P. Rhizobacterial-plant interactions: strategies ensuring plant growth promotion under drought and salinity stress. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 231, s/n., p. 68-78, 2016.

LACERDA, C. F. *et al.* Estratégias de manejo para uso de água salina na agricultura. In: GHRYI, H. R. *et al.* (eds.). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCT Sal, 2016. Cap. 21, p. 337-352.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMA, Artes e textos, 2000.

LI, J. T. Exogenous hydrogen peroxide can enhance tolerance of wheat seedlings to salt stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, Heidelberg, v. 33, n. 3, p. 835-842, 2010.

LIMA, G. S. *et al.* Produção da mamoneira cultivada com águas salinas e doses de nitrogênio. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 1, p. 1-10, 2015.

LÓPEZ-VARGAS, J. H. *et al.* Chemical, physico-chemical, technological, antibacterial and antioxidant properties of dietary fiber powder obtained from yellow passion fruit (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*) co-products. **Food Research International**, v. 51, n. 2, p. 756-763, 2013.

LORA, E. E. S. **Prevenção e controle da poluição nos setores energético, industrial e de transporte**. Brasília, ANEEL, 2000.

MARIJUAN, M. P; BOSCH, S. M. Ecophysiology of invasive plants: osmotic adjustment and antioxidants. **Trends in plant science**, v. 18, n. 12, p. 660-666, 2013.

MEDEIROS, J. F. *et al.* Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.3, p. 469-472, 2003.

MELETTI, L. M. M. Avanços na cultura do maracujá no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal, v. 33, s/n., p. 83-91, 2011.

MIRANDA, A. A. *et al.* Desenvolvimento e análise de bolos enriquecidos com farinha da casca do maracujá (*Passiflora edulis*) como fonte de fibras. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 24, n. 2, p. 1-8, 2013.

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, cell & environment**, v. 25, n. 2, p. 239-250, 2002.

NASCIMENTO, A. V. S. *et al.* Análise filogenética de potyvírus causando endurecimento dos frutos do maracujazeiro no Nordeste do Brasil. **Fitopatologia Brasileira**, v. 29, n. 4, p. 378-383, 2004.

OLIVEIRA, D. A. *et al.* Valorization of passion fruit (*Passiflora edulis* sp.) by-products: sustainable recovery and biological activities. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 111, s/n., p. 55-62, 2016.

OLIVEIRA, F. A. *et al.* Crescimento de mudas de moringa em função da salinidade da água e da posição das sementes nos frutos. **Revista Árvore**, v.37, n.1, p. 79-87, 2013.

OLIVEIRA, F. A. *et al.* Interação entre salinidade e bioestimulante no crescimento inicial de pinhão-mansão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 204-210, 2015.

OLIVEIRA, F. D. B. **Análise fisiológica e proteômica de plantas de sorgo sob estresse salino e nutridas com diferentes fontes de nitrogênio**. 2017. 104 f. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

PETROV, V.D. & VAN BREUSEGEM, F. Hydrogen peroxide: a central hub for information flow in plant cells. **AoB Plants**, v. 2012, s/n., p. 1-13, 2012.

PIRES, M. M. *et al.* Caracterização do mercado de maracujá. In: PIRES, M. M.; SÃO JOSÉ, A. R.; CONCEIÇÃO, A. O. (Eds.). **Maracujá: avanços tecnológicos e sustentabilidade**. Ilhéus: Editus, 2011. p. 21– 67.

REIS FILHO, R. J. C. **Anuário Leite em números – Ceará 2012**. Fortaleza: Leite e Negócios Consultoria, 2012.

RIBEIRO, M. R; RIBEIRO FILHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T. Origem e classificação dos solos afetados por sais. In: GHEY, H. R. *et al.* **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCT Sal, 2016. p. 11-19.

RIBEIRO, R. M. *et al.* Breeding Passion Fruit populations: review and perspectives. **Functional Plant Breeding Journal**, v. 1, n. 1, p. 1-14, 2019.

SANTOS, R. T. **Identificação e caracterização de corpos de água salinas no semiárido paraibano**. 2008. 76f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

SANTOS, V. A. *et al.* Produção e qualidade de frutos de maracujazeiro-amarelo provenientes do cultivo com mudas em diferentes idades. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 16, n. 1, p. 33-40, 2017.

SEWELAM, N.; KAZAN, K.; SCHENK, P. M. Global plant stress signaling: reactive oxygen species at the cross-road. **Frontiers in plant science**, v. 7, s/n., p. 187, 2016.

SIES, H. Hydrogen peroxide as a central redox signaling molecule in physiological oxidative stress: oxidative eustress. **Redox biology**, v. 11, s/n., p. 613-619, 2017.

SILVA JÚNIOR, G. S. *et al.* Comportamento estomático em genótipos diploides de bananeira submetidos ao estresse salino. **Revista CIENTEC**, v. 4, n. 2, p. 33-43, 2012.

SILVA JÚNIOR, L. G. A.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F. Composição química de águas do cristalino do Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 1, p. 11-17, 1999.

SILVA, E. M. *et al.* Métodos de aplicação de diferentes concentrações de H₂O₂ em milho sob estresse salino. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 3, p. 1-7, 2016.

SILVA, I. *et al.* Estresse salino como desafio para produção de plantas forrageiras. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 11, n. 3, p. 127-139, 2018.

SILVA, L. P. **Hidrologia engenharia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

SINGH, A. Soil salinization and waterlogging: A threat to environment and agricultural sustainability. **Ecological indicators**, v. 57, s/n., p. 128-130, 2015.

SOUSA, G. G. *et al.* Nutrição mineral e extração de nutrientes de planta de milho irrigada com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 11, p.1143-1151, 2010.

SOUSA, V. F. O. *et al.* Percepção sobre qualidade da arborização urbana da cidade de Pombal, Paraíba. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 13, n. 3, p. 343-347, 2018.

SOUZA, C. B. *et al.* Characterization and in vitro digestibility of by-products from Brazilian food industry: Cassava bagasse, orange bagasse and passion fruit peel. **Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre**, v. 16, s/n., p. 90-99, 2018.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5 ed. Porto Alegre: Editora Artmed, 2013.

TOSTA, M. S. **Adubação nitrogenada na produção e na qualidade de frutos de maracujazeiro amarelo**. 2009. 51 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2009.

TUTEJA, N.; GILL, S. S.; TUTEJA, R. **Omics and Plant Stress Tolerance**. Bentham Science, p. 39-64, 2011.

VELMURUGAN, A. *et al.* Managing waterlogging and soil salinity with a permanent raised bed and furrow system in coastal lowlands of humid tropics. **Agricultural Water Management**, v. 168, s/n., p. 56-67, 2016.

VELOSO, L. L. S. A. *et al.* Application methods of hydrogen peroxide in soursop seedlings irrigated with saline water. **Comunicata Scientiae**, v. 12, n. 1, p. 1-8, 2021.

ZERAIK, M. L. *et al.* Maracujá: um alimento funcional. **Revista Brasileira de farmacognosia**, v. 20, n. 3, p. 459-471, 2010.

ZHU, J. K. Salt and drought stress signal transduction in plants. **Annual review of plant biology**, v. 53, n. 1, p. 247-273, 2002.

CAPÍTULO I

ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS EM MUDAS DE MARACUJAZEIRO AMARELO 'BRS GA1' SOB DIFERENTES NATUREZAS CATIÔNICAS DA ÁGUA E H₂O₂

RESUMO

O Brasil tem se destacado mundialmente na produção de maracujá, sobretudo na região Nordeste. No entanto, as concentrações de sais presentes na água nessa região afeta o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Este trabalho teve como objetivo avaliar as alterações fisiológicas em mudas de maracujazeiro-azedo 'BRS GA1' em função da irrigação com águas de diferentes salinidades a partir de composições iônicas distintas e aplicação exógena de peróxido de hidrogênio. O experimento foi conduzido sob condições de casa de vegetação da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), 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 e duas plantas por parcela. 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⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e Na⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺. 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. A concentração de 60 µM de H₂O₂ aumentou a eficiência quântica do fotossistema II nas plantas irrigadas com água de baixa salinidade (0,3 dS m⁻¹).

Palavras-chave: *Passiflora edulis Sims f. flavicarpa Degener*. Estresse salino. Peróxido de hidrogênio.

ABSTRACT

Brazil has stood out worldwide in the production of passion fruit, especially in the Northeast region. However, the high concentrations of salts present in the water in this region affect plant growth and development. The objective of this work was to evaluate the physiological changes in 'BRS GA1' passion fruit seedlings as a function of irrigation with water of different salinities from different ionic compositions and exogenous application of hydrogen peroxide. The experiment was carried out in greenhouse condition at the Center of 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 replications and two plants per plot. 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⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ and Na⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺. The 40 μM concentration of H₂O₂ reduced the percentage of cell damage in the passion fruit BRS 'GA1' plants, 60 days after sowing. The 60 μM concentration of H₂O₂ increases the quantum efficiency of photosystem II in plants irrigated with low salinity water.

Palavras-chave: *Passiflora edulis Sims f. flavicarpa Degener*. Salt stress. Hydrogen peroxide.

1 INTRODUÇÃO

O maracujazeiro-azedo (*Passiflora edulis*. Sims) é uma frutífera da família Passifloraceae que possui grande destaque no Brasil, produzindo cerca de 700 mil 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 climáticas 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). Sendo a qualidade da água tradicionalmente definida pela quantidade de sais dissolvidos e pela sua composição iônica, reconhece-se que a sua avaliação para uso na agricultura é imprescindível, sobretudo em regiões áridas e semiáridas, caracterizadas por baixos índices pluviométricos, distribuição irregular das chuvas ao longo do ano e intensa evapotranspiração (LIMA *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).

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 posterior (SAVVIDES *et al.*, 2016).

Recentes trabalhos têm estudado a ação do H₂O₂ como atenuante do estresse salino na cultura do maracujazeiro (SANTOS *et al.*, 2018; ANDRADE *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2019), no entanto, a maioria se limita a avaliar apenas o efeito dos diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação sobre a cultura.

Considerando a importância do estresse salino como fator limitante para a produção de maracujazeiro e à escassez de informações relacionadas aos mecanismos de tolerância que determinam o comportamento da espécie diante de diferentes naturezas catiônicas da água, o presente trabalho teve como objetivo avaliar as alterações fisiológicas em mudas de maracujazeiro-azedo 'BRS GA1' em função da irrigação com águas de composições iônicas distintas e aplicação exógena de peróxido de hidrogênio.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de janeiro a março de 2020, sob condições de casa de vegetação do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande (CCTA/UFCG), Pombal, PB, situada a 6°47'3" S e 37°49'15" W, a uma altitude de 193 m. 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).

Adotou-se o delineamento estatístico em blocos casualizados arranjos em esquema fatorial 6 x 4, com quatro repetições e duas plantas por parcela, totalizando 96 unidades experimentais. Os tratamentos consistiram na combinação de seis combinações catiônicas da água de irrigação - CEa (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 (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 as plantas dos demais tratamentos foram irrigadas com água de CEa de 3,6 dS m⁻¹.

Foram utilizadas sementes de maracujazeiro-azedo 'BRS GA1'. Esta cultivar destaca-se por produzir frutos homogêneos, de formato oblongo, com a base e o ápice ligeiramente achatados, pesando de 120 a 350 g, com coloração amarela brilhante e de grande resistência ao transporte. A polpa apresenta um bom rendimento (em torno de 40%), com teor de sólidos solúveis de 13° a 15° Brix, além de possuir uma coloração amarelo forte em decorrência de seu alto teor de vitamina C (EMBRAPA CERRADOS, 2019).

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, e dispostas a um espaçamento de 10cm. 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 solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos. Pombal, CCTA/UFCG, 2021.

			Características químicas					
pH H ₂ O) (1:2,5)	M.O. g kg ⁻¹	P (mg kg ⁻¹)	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺
		cmol _c kg ⁻¹					
5,58	2,93	39,2	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)	
				Areia	Silte	Argila	33,42 kPa ¹	1519,5 kPa ²
2,15	22,33	0,67	7,34	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 - Percentagem de sódio trocável; ^{1,2}referindo a capacidade de campo e ponto de murchamento permanente

Antes da semeadura, elevou-se o teor de umidade do solo, com água de abastecimento local (0,3 dS m⁻¹), ao nível correspondente a capacidade máxima de retenção de água e, em seguida, foi realizado o semeio, utilizando-se duas sementes de maracujazeiro por sacola, a dois centímetros de profundidade, distribuídas de forma equidistante. Aos 15 dias após a semeadura (DAS), foi realizado um desbaste, deixando-se uma planta por sacola, aquela que apresentava visualmente maior vigor morfofisiológico.

As diferentes concentrações de H₂O₂, 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, sob refrigeração. As aplicações foliares tiveram início aos 20 DAS e, posteriormente, foram realizadas quinzenalmente, a partir das 17 h, de forma manual, com o auxílio de um borrifador, visando obter o molhamento completo das folhas (faces abaxial e adaxial) e aplicando um volume médio de 2,08 mL por planta.

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 CE_a 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, considerando a relação entre CEa e concentração de sais, extraída de Richards (1954), conforme a Eq. 1:

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

Em que:

Q = Quantidade de sais a ser aplicado (mmolc L⁻¹); e

CEa = Condutividade elétrica da água (dS m⁻¹).

As irrigações com os distintos tratamentos tiveram início aos 25 DAS e foram realizadas diariamente, às 17:00 h, aplicando-se em cada sacola a quantidade de água necessária para manter a umidade do solo próximo à capacidade de campo. O volume aplicado foi determinado de acordo com a necessidade hídrica das plantas, estimada pelo balanço hídrico, conforme a Eq. 2:

$$VI = \frac{(Va - Vd)}{(1 - FL)} \quad (2)$$

Em que:

VI = Volume de água a ser usado no próximo evento de irrigação (mL);

Va = volume aplicado no evento de irrigação anterior (mL);

Volume de Vd drenado (mL); e

FL = fração de lixiviação (0,15).

Realizou-se adubação com nitrogênio, potássio e fósforo, nas concentrações de 100, 150 e 300 mg kg⁻¹ de N, K₂O e P₂O₅ por kg de solo, na forma de ureia, cloreto de potássio e fosfato monoamônio (MAP), respectivamente, conforme recomendação de Novais *et al.* (1991). A adubação com nitrogênio e fósforo foi parcelada em duas vezes, sendo aplicada aos 15 e 30 DAS, enquanto a adubação potássica foi dividida em três parcelas, aplicada aos 15, 30 e 45 DAS, via fertirrigação. Com o propósito de suprir a necessidade de micronutrientes, as folhas do maracujazeiro foram pulverizadas com 2,5 g L⁻¹ de fertilizante foliar Ubyfol [(N (15%); P₂O₅ (15%); K₂O (15%); Ca (1%); Mg (1,4%); S (2,7%); Zn (0,5%); B (0,05%); Fe (0,5%); Mn (0,05%); Cu (0,5%); Mo (0,02%)], aos 30 e 45 DAS.

Os efeitos dos distintos tratamentos sobre a cultura do maracujazeiro-azedo cv. 'BRS GA1' foram mensurados aos 60 DAS, através da determinação das seguintes variáveis: percentual de dano celular (%D), conteúdo relativo de água (CRA, %), potencial hídrico foliar

(Ψ_w), teores de clorofila *a* (Chl *a*), clorofila *b* (Chl *b*), clorofila total (Chl T) e carotenoides (Car). Também foram determinadas as variáveis de fluorescência da clorofila *a*, como a fluorescência inicial (F_o), a fluorescência máxima (F_m), a fluorescência variável (F_v) e eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m). Além disso, as trocas gasosas foram avaliadas através dos seguintes parâmetros: taxa de assimilação de CO_2 (A), transpiração (E), condutância estomática (g_s), concentração interna de CO_2 (C_i), eficiência instantânea do uso da água ($EiUA$) e eficiência instantânea de carboxilação ($EiUA$).

Para a determinação da porcentagem de danos da membrana celular (%D), foram coletados 10 discos da terceira folha do ápice caulinar, lavados em água destilada e armazenados em Beckers hermeticamente fechados, contendo 50 mL de água destilada. Os frascos foram mantidos a uma temperatura de 25° C por 90 minutos para a determinação da condutividade elétrica inicial (CEi) e, posteriormente, levados à uma estufa de circulação forçada de ar a 80° C por mais 90 minutos, quando a condutividade elétrica final (CEf) foi mensurada. A porcentagem de dano da membrana celular foi obtida de acordo com a equação 3, proposta por Scotti-Campos (2013):

$$\%D = \frac{C_i}{C_f} \times 100 \quad (3)$$

Em que:

%D = percentual de danos na membrana celular;

C_i = condutividade elétrica inicial ($dS\ m^{-1}$); e

C_f = condutividade elétrica final ($dS\ m^{-1}$).

O conteúdo relativo de água (CRA) das folhas de maracujazeiro foi determinado a partir da coleta de seis discos de folhas referentes a cada tratamento e pesados em balança com precisão de 0,001g para a determinação do peso fresco (P1). Posteriormente, os discos foram armazenados em sacos plásticos contendo 200 mL de água destilada para hidratação por 24 horas e, então, pesados novamente para a obtenção do peso túrgido (P2). Em seguida, os discos foram postos em estufa de ventilação forçada de ar a 65°C por 48 horas para a obtenção do peso da matéria seca (P3). O CRA foi calculado utilizando-se a metodologia de Weatherley (1950), conforme a equação 4:

$$CRA = \frac{P1 - P3}{P2 - P3} \times 100 \quad (4)$$

Em que:

CRA = conteúdo relativo de água;

P1 = peso fresco; P2 = peso túrgido; e P3 = peso da matéria seca.

Os teores de clorofila *a*, clorofila *b* e carotenoides (mg g^{-1} MF) foram determinados através de amostras de 5 discos do limbo da terceira folha madura a partir do ápice, conforme metodologia proposta por Arnon (1949). A partir dos extratos, as concentrações destes pigmentos nas soluções foram mensuradas por meio de um espectrofotômetro no comprimento de onda de absorbância (ABS) (470, 646 e 663 nm), de acordo com as seguintes equações:

$$\text{Chl } a = 12.21 \text{ ABS}_{663} - 2.81 \text{ ABS}_{646} \quad (5)$$

$$\text{Chl } b = 20.13 \text{ ABS}_{646} - 5.03 \text{ ABS}_{663} \quad (6)$$

$$\text{Car} = (100 \text{ ABS}_{470} - 1.82 \text{ Chl } a - 85.02 \text{ Chl } b) / 198 \quad (7)$$

Em que:

Chl *a* = clorofila *a*;

Chl *b* = clorofila *b*; e

Car = carotenoides totais.

Os valores obtidos para clorofila *a*, clorofila *b* e carotenoides nas folhas foram expressos em mg g^{-1} de matéria fresca – MF (mg g^{-1} MF).

Para a determinação da fluorescência da clorofila *a*, pinças foliares foram aplicadas nas folhas completamente expandidas do maracujazeiro e, após um período de 30 minutos de adaptação ao escuro (KONRAD *et al.*, 2005), foram mensuradas a fluorescência inicial (F_o), a máxima (F_m), a variável (F_v) e a eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m) (MAXWELL; JOHNSON, 2000). Para estas avaliações, utilizou-se um fluorômetro portátil Plant Efficiency Analyser – PEA (Hansatech Instruments Co., UK).

A taxa de assimilação de CO_2 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), a transpiração ($\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), a condutância estomática ($\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e a concentração interna de CO_2 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) foram avaliadas na terceira folha a partir do ápice caulinar, através do equipamento portátil de medição de fotossíntese “LCPro+” da ADC BioScientific Ltda. A partir destes dados, foram determinadas a eficiência instantânea no uso da água ($EiUA$) (A/E) [$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$] ($\text{mol H}_2\text{O}$

$\text{m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$] e a eficiência instantânea da carboxilação ($EiCi$) (A/Ci) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$] (KONRAD *et al.*, 2005; JAIMEZ *et al.*, 2005).

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).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o resumo da análise de variância (Tabela 2), verifica-se efeito significativo da interação entre os fatores natureza catiônica da água (NCA) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2) sobre o dano celular (%D) das folhas do maracujazeiro-azedo. A natureza catiônica da água afetou significativamente o conteúdo relativo de água (CRA) e o potencial hídrico (Ψ_w) do maracujazeiro-azedo, enquanto as concentrações de H_2O_2 influenciaram significativamente apenas a percentagem de dano celular (%D) do maracujazeiro azedo BRS ‘GA1’, aos 60 DAS.

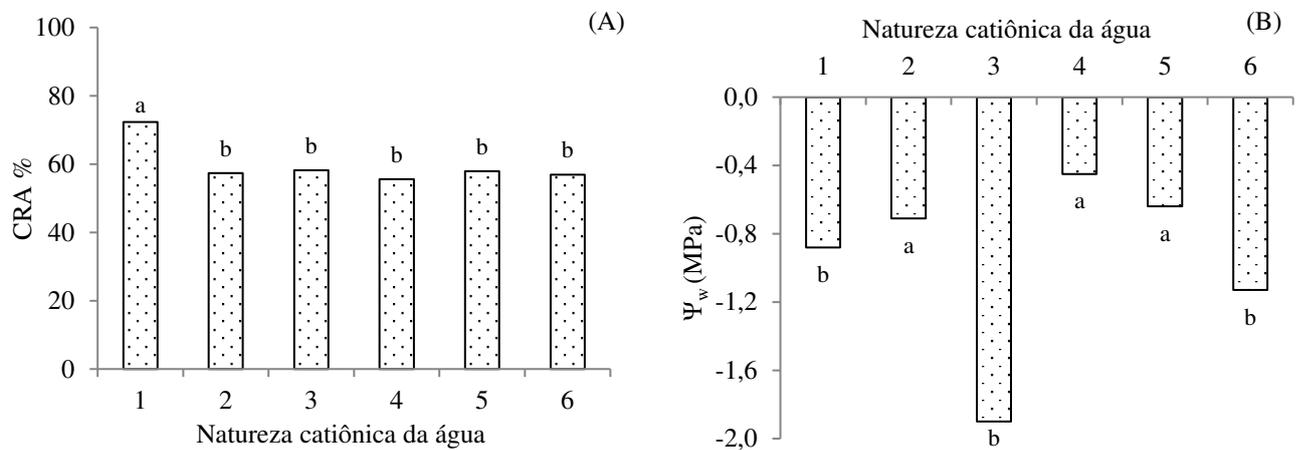
Tabela 2. Resumo da análise de variância referente ao conteúdo relativo de água (CRA%), ao potencial hídrico foliar (Ψ_w) e à percentagem de dano celular (%D) do maracujazeiro-azedo ‘BRS GA1’ cultivado com águas de diferentes naturezas catiônicas (NCA) e aplicação exógena de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), aos 60 dias após a semeadura.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios		
		CRA	Ψ_w	%D
Natureza catiônica da água (NCA)	5	620,33**	0,89**	39,49**
Peróxido de hidrogênio (H_2O_2)	3	60,02 ^{ns}	0,27 ^{ns}	21,37*
Regressão linear	1	178,94 ^{ns}	0,02 ^{ns}	46,88**
Regressão quadrática	1	0,03 ^{ns}	0,65 ^{ns}	1,36 ^{ns}
Interação (NCA x H_2O_2)	15	52,87 ^{ns}	0,19 ^{ns}	13,89*
Blocos	3	70,42 ^{ns}	1,62**	13,14 ^{ns}
Resíduo	69	43,35	0,17	6,97
CV (%)		5,48	27,53	9,47

GL = grau de liberdade; CV (%) = coeficiente de variação; ** significativo em nível de 0,01 de probabilidade; * significativo em nível de 0,05 de probabilidade; ^{ns} não significativo.

Conforme a Figura 1A, o conteúdo relativo de água (CRA) das plantas de maracujazeiro-azedo irrigadas com água de baixa salinidade (S_1) foi estatisticamente superior

(72,3 %) ao das plantas que estavam sob irrigação com águas de diferentes composições catiônicas (57,3; 58,2; 55,6; 57,9; e 56,9%, respectivamente). Ao comparar as distintas composições catiônicas (S₂, S₃, S₄, S₅ e S₆), observa-se que não houve diferença significativa entre si. O elevado teor de sais (3,6 dS m⁻¹) na solução exerce efeito sobre o potencial osmótico do solo, reduzindo a disponibilidade de água livre e levando a planta a desprender mais energia para absorver água e manter sua turgescência, fato que pode ser confirmado pela redução no conteúdo relativo de água nas folhas (SOUSA *et al.*, 2017). Desta forma, a diminuição no CRA do maracujazeiro-azedo pode estar mais relacionada às consequências do efeito osmótico, que reduz a disponibilidade de água e restringe a eficiência hídrica, do que às distintas naturezas catiônicas da água de irrigação (DIAS; BLANCO, 2010).



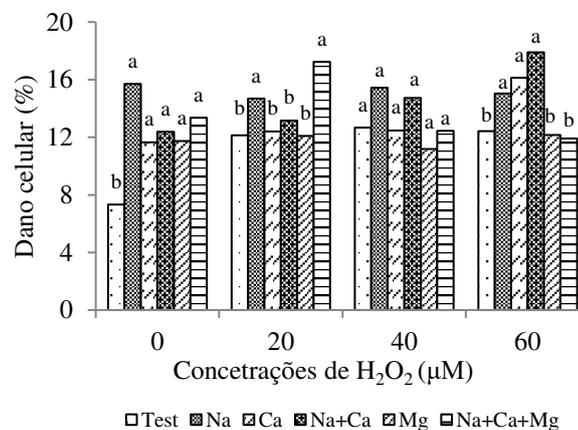
1 – Testemunha; 2 - Na⁺; 3 - Ca²⁺; 4 - Na⁺ + Ca²⁺; 5 - Mg²⁺ e 6 - Na⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺; Médias seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste Scott.

Figura 1. Conteúdo relativo de água – CRA (A) e potencial hídrico (Ψ_w) de plantas de maracujazeiro-azedo ‘BRS GA1’ em função de diferentes naturezas catiônicas da água, aos 60 dias após a semeadura.

No que diz respeito ao potencial hídrico foliar – Ψ_w (Figura 1B), é possível observar superioridade nas plantas que foram cultivadas com águas constituídas por Na⁺ (S₂), Na⁺ + Ca (S₄) e Mg²⁺ (S₅), cujos valores foram -0,71; -0,45; e -0,64 MPa, respectivamente. Os valores inferiores no Ψ_w foliar das plantas cultivadas com os demais tratamentos, incluindo as águas constituídas por Ca²⁺ (S₃) e Na⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺ (S₆) podem ser associados à estratégia de acúmulo de íons no vacúolo e à síntese de solutos compatíveis no citosol. A redução no Ψ_w também promove diminuição na condução estomática, o que impede o transporte de vapor de

água e CO_2 e, conseqüentemente, inibe a fotossíntese e a transpiração (NISHIDA; KHAN; SHIOZAWA, 2009).

Através do desdobramento da interação entre os fatores (NCA x H_2O_2), verifica-se que a concentração de $40 \mu\text{M}$ de H_2O_2 não influenciou de forma significativa a percentagem de dano celular (%D) das plantas de maracujazeiro-azedo ‘BRS GA1’, independentemente da natureza catiônica da água (Figura 2). Contudo, na ausência de peróxido de hidrogênio ($0 \mu\text{M}$), a percentagem de dano celular nos tecidos foliares das plantas submetidas às diferentes composições catiônicas (S_2 , S_3 , S_4 , S_5 e S_6) foi estatisticamente superior à das plantas cultivadas com água de baixa salinidade (S_1). Ao utilizar a concentração de $20 \mu\text{M}$ de H_2O_2 , verifica-se que as plantas cultivadas com águas preparadas com Na^+ (S_2) e $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ (S_6) obtiveram a maior %D, diferindo-se de forma significativa das que estavam sob irrigação com água de baixo nível de CEa (S_1), de composição Ca^{2+} (S_3), $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+}$ (S_4) e Mg^{2+} (S_5). 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 $60 \mu\text{M}$) 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).



Médias seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Scott-Knott.

Figura 2. Dano celular (%D) de plantas de maracujazeiro-azedo ‘BRS GA1’ em função de diferentes naturezas catiônicas da água e aplicação exógena de peróxido de hidrogênio, aos 60 dias após a semeadura.

A concentração de $60 \mu\text{M}$ 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 H₂O₂, 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 H₂O₂ resultou em maior estabilização da membrana celular, promovendo equilíbrio entre a concentração de 20 e a de 60 µM, uma vez que a as distintas composições catiônicas não apresentaram diferença estatística entre si.

Conforme Sousa *et al.* (2017), é na membrana plasmática que os efeitos dos sais provocam maior instabilidade, e, portanto, a percentagem de dano celular, determinada pelo extravasamento de eletrólitos, é uma variável importante no estudo dos efeitos do estresse salino nas plantas, estando diretamente relacionada com o estudo sobre os teores de clorofila, tendo em vista que o acúmulo de íons tóxicos também inibe a produção de pigmentos fotossintéticos.

Verifica-se, através do resumo da análise de variância (Tabela 3), que não houve efeito significativo da interação entre os fatores (NCA x H₂O₂) e do fator isolado concentrações de peróxido de hidrogênio sobre os teores de clorofila *a* (Chl *a*), *b* (Chl *b*), carotenoides (Car) e teor de clorofila total (Chl T) das plantas de maracujazeiro-azedo. A natureza catiônica da água afetou significativamente o teor de clorofila *a* (Chl *a*) e de clorofila total (Chl T) do maracujazeiro-azedo ‘BRS GA1’, aos 60 DAS.

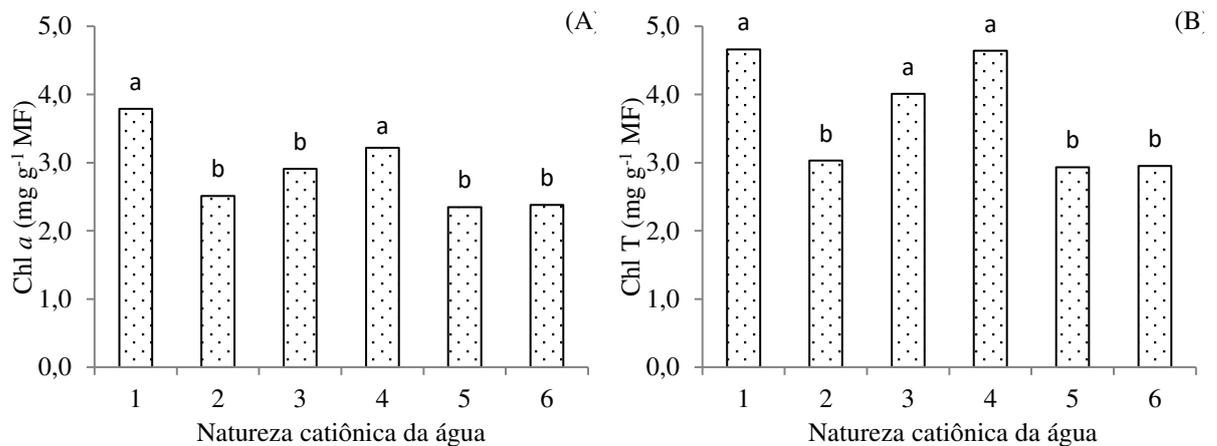
Tabela 3. Resumo da análise de variância referente aos teores de clorofila *a* (Chl *a*), *b* (Chl *b*), carotenoides (Car) e clorofila total (Chl T) do maracujazeiro-azedo ‘BRS GA1’ cultivado com águas de diferentes naturezas catiônicas (NCA) e aplicação exógena de peróxido de hidrogênio (H₂O₂), aos 60 dias após a semeadura.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios			
		Chl <i>a</i>	Chl <i>b</i> ¹	Car ¹	Chl T
Natureza catiônica da água (NCA)	5	5,17*	2,05 ^{ns}	0,67 ^{ns}	11,19**
Peróxido de hidrogênio (H ₂ O ₂)	3	0,39 ^{ns}	1,69 ^{ns}	0,48 ^{ns}	2,07 ^{ns}
Regressão linear	1	0,37 ^{ns}	2,96 ^{ns}	0,08 ^{ns}	5,43 ^{ns}
Regressão quadrática	1	0,48 ^{ns}	2,09 ^{ns}	1,23 ^{ns}	0,56 ^{ns}
Interação (NCA x H ₂ O ₂)	15	2,62 ^{ns}	0,86 ^{ns}	0,37 ^{ns}	4,91 ^{ns}
Blocos	3	3,12**	1,78 ^{ns}	0,11 ^{ns}	8,42 ^{ns}
Resíduo	69	1,94	0,91	0,49	3,28
CV (%)		24,74	14,25	20,16	24,67

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

Conforme a Figura 3A, os maiores teores de clorofila *a* (3,79 e 3,25 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 obtidos nas plantas submetidas à 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), respectivamente. Quando se considera o somatório das clorofilas, indicado pelo teor de clorofila total (Chl T) das mudas de maracujazeiro-azedo (Figura 3B), nota-se superioridade nas plantas que receberam água de baixa salinidade (S_1), água constituída de Ca^{2+} (S_3) e de $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+}$ (S_4), cujo os valores foram 4,66; 4,01; e 4,64 mg g^{-1} MF, respectivamente. Os menores valores (3,03; 2,93; e 2,95 mg g^{-1} MF), portanto, foram encontrados nas plantas submetidas à irrigação com águas constituídas de Na^+ (S_2), Mg^{2+} (S_5) e $\text{Na}^{2+} + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ (S_6), respectivamente.



1 – Testemunha; 2 - Na^+ ; 3 - Ca^{2+} ; 4 - $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+}$; 5 - Mg^{2+} e 6 - $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$; Médias seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste Scott.

Figura 3. Teores de clorofila *a* (A) e T (B) de plantas de maracujazeiro-azedo ‘BRS GA1’ em função de diferentes naturezas catiônicas da água, aos 60 dias após a semeadura.

De forma geral, a irrigação com água de baixa salinidade e de natureza sódica + cálcica resultou em maiores teores de clorofila, fato que pode estar associado à presença do Ca^{2+} , um macronutriente que exerce efeito sinérgico com o nitrogênio e que contribui para o aumento na síntese destes pigmentos (ORTEGA; MALAVOLTA, 2012). Os menores valores (3,03; 2,93; e 2,95 g m^{-2} MF), contudo, foram observados nas plantas irrigadas com água constituída de Na^+ (S_2), Mg^{2+} (S_5) e $\text{Na}^{2+} + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ (S_6), respectivamente (Figuras 3A e 3B). Essas reduções na produção de clorofila podem estar relacionadas à competição com o magnésio, uma vez que este é um nutriente estrutural das moléculas de clorofilas (BLANKENSHIP, 2014).

Conforme Lima *et al.* (2017), diversos fatores referentes à salinidade podem estar relacionados à redução e degradação dos pigmentos fotossintetizantes, como a concentração e o tipo de cátion, bem como a espécie vegetal. No maracujazeiro-azedo, a diminuição no conteúdo de clorofila *a* pode ocorrer em decorrência do estresse oxidativo promovido pelas espécies reativas de oxigênio (ERO) no metabolismo (SILVA *et al.*, 2016), estimulando a

atividade da enzima clorofilase, que degrada moléculas de pigmentos fotossintetizantes e induz a destruição estrutural dos cloroplastos, moléculas onde são encontradas as clorofilas (FREIRE *et al.*, 2013). Cavalcante *et al.* (2011), em um estudo que objetivou determinar os efeitos de diferentes condutividades elétricas da água de irrigação (de 0,5 a 4,5 dS m⁻¹) nos pigmentos fotossintéticos de maracujazeiro, perceberam que o aumento na concentração de sais reduziu a síntese de clorofila *a*.

Houve efeito significativo (Tabela 4) da interação entre os fatores (NCA x H₂O₂) apenas para a eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm) do maracujazeiro-azedo. No entanto, a natureza catiônica da água afetou significativamente a fluorescência inicial (Fo) e a variável (Fv) das plantas de maracujazeiro-azedo ‘BRS GA1’, aos 60 dias após a semeadura.

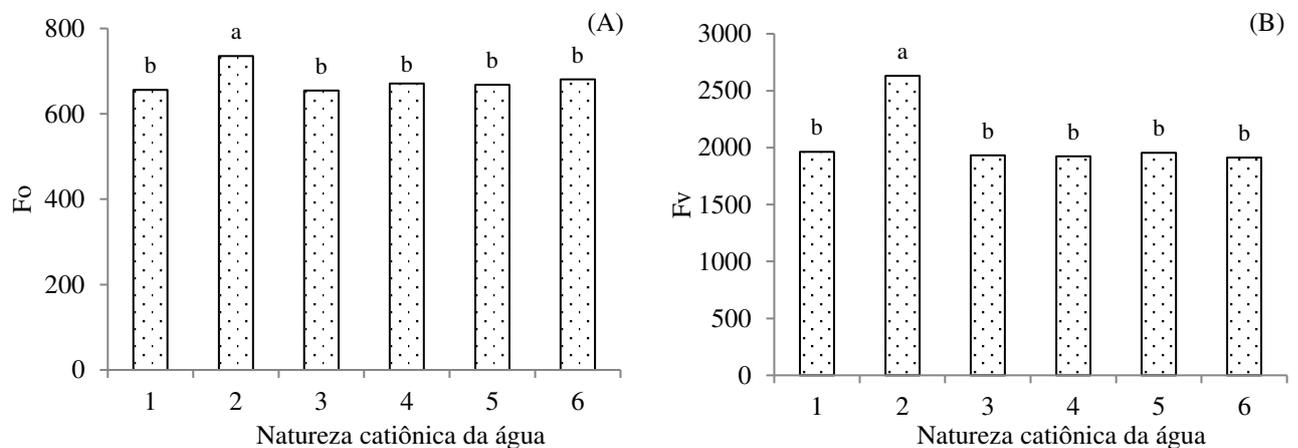
Tabela 4. Resumo da análise de variância referente às variáveis de fluorescência da clorofila *a*: fluorescência inicial (Fo), máxima (Fm), variável (Fv) e eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm), do maracujazeiro-azedo ‘BRS GA1’ cultivado com águas de diferentes naturezas catiônicas (NCA) e aplicação exógena de peróxido de hidrogênio (H₂O₂), aos 60 dias após a semeadura.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios			
		Fo	Fv	Fm	Fv/Fm
Natureza catiônica da água (NCA)	5	14400,74**	1290200,81**	39816,86 ^{ns}	0,0131**
Peróxido de hidrogênio (H ₂ O ₂)	3	5548,37 ^{ns}	435429,59 ^{ns}	26790,95 ^{ns}	0,0013 ^{ns}
Regressão linear	1	8721,07 ^{ns}	571113,01 ^{ns}	24040,85 ^{ns}	0,0051 ^{ns}
Regressão quadrática	1	7884,37 ^{ns}	735175,01 ^{ns}	53723,34 ^{ns}	0,0020 ^{ns}
Interação (NCA x H ₂ O ₂)	15	53404,12 ^{ns}	556583,92 ^{ns}	22639,09 ^{ns}	0,0010**
Blocos	3	6672,70 ^{ns}	699965,45 ^{ns}	234416,84**	0,0013 ^{ns}
Resíduo	69	2916,16	333843,23	27219,93	0,0020
CV (%)		3,86	9,94	3,17	3,26

GL = grau de liberdade; CV (%) = coeficiente de variação; ** significativo em nível de 0,01 de probabilidade; * significativo em nível de 0,05 de probabilidade; ^{ns} não significativo.

No que diz respeito à fluorescência inicial – Fo (Figura 4A) e à fluorescência variável – Fv (Figura 4B) das plantas de maracujazeiro-azedo, observa-se que os maiores valores (735,56 e 2631,81) foram obtidos nas plantas irrigadas com água de composição sódica (S₂) em ambos os casos, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos (S₁, S₃, S₄, S₅ e S₆). Alterações na Fo indicam danos no centro de reação do fotossistema II ou podem indicar uma redução na transferência de energia de excitação do sistema coletor de luz para o centro de reação (BAKER; ROSENQVIST, 2004), enquanto a variável Fv reflete a capacidade da planta de transferir energia dos pigmentos fotossintéticos para a formação de moléculas de NADPH, ATP e ferredoxina reduzida (Fdr), resultando em maior capacidade de assimilação de CO₂ na fase

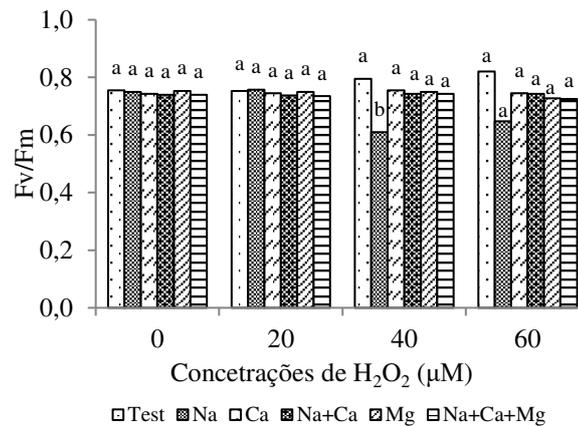
bioquímica da fotossíntese (BAKER, 2008). Nesse sentido, é possível inferir que o elevado teor de Na^+ presente na água de irrigação do tratamento S_2 refletiu em danos ao aparato fotossintético e no comprometimento do fotossistema II. Uma espécie com tolerância a salinidade controla seu movimento iônico através da membrana plasmática e do tonoplasto, mantendo uma baixa concentração de Na^+ e Cl^- no citoplasma. Dias *et al.* (2019), ao avaliarem o rendimento quântico de aceroleira sob dois níveis de condutividade elétrica da água (0,8 e 3,8 dS m^{-1}), preparada a partir da dissolução dos sais NaCl , $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, também observaram que o aparato fotossintético das plantas foi comprometido negativamente pela irrigação com água de CEa de 3,8 dS^{-1} .



1 - Testemunha; 2 - Na^+ ; 3 - Ca^{2+} ; 4 - $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+}$; 5 - Mg^{2+} e 6 - $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$; Médias seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste Scott.

Figura 4. Fluorescência inicial – F_o (A) e variável - F_v (B) do maracujazeiro-azedo ‘BRS GA1’ em função de diferentes naturezas catiônicas da água, aos 60 dias após a semeadura.

Quanto à eficiência quântica do fotossistema II (F_m/F_v), as concentrações de 0, 20 e 60 μM de H_2O_2 não influenciaram de forma significativa a F_m/F_v das plantas de maracujazeiro-azedo ‘BRS GA1’, independentemente da natureza catiônica da água (Figura 5). Contudo, a concentração de 40 μM de H_2O_2 promoveu um decréscimo desta variável nas plantas irrigadas com água de composição sódica (S_2), obtendo o valor de 0,61. A razão F_v/F_m indica a máxima eficiência quântica do PSII e é uma variável utilizada para identificar danos decorrentes do estresse salino no sistema fotossintético das plantas (FREIRE *et al.*, 2014). Conforme Reis e Campostrini (2011), valores entre 0,75 e 0,85 para a F_v/F_m , podem ser utilizados para caracterizar a ausência de estresse em plantas, o que indica que, no presente estudo, a concentração de 40 μM de H_2O_2 comprometeu a F_v/F_m das plantas irrigadas com água de constituição sódica (S_2).



Médias seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste Scott.

Figura 5. Eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm), do maracujazeiro-azedo 'BRS GA1' em função de diferentes naturezas catiônicas da água e aplicação exógena de peróxido de hidrogênio, aos 60 dias após a semeadura.

É importante salientar que decréscimos em Fv/Fm podem indicar um mecanismo de defesa que procura balancear o transporte de elétrons entre os fotossistemas através de mudanças na captação de luz, transferindo a capacidade de captação do PSII ao PSI e permitindo um funcionamento mais harmônico da cadeia transportadora de elétrons (ALLEN, 1995). Freire *et al.* (2014) encontraram resultados similares ao avaliar a atividade fotoquímica do fotossistema II e a fotossíntese líquida de maracujazeiro utilizando águas de com CEa de 0,50 a 4,50 dS⁻¹.

Conforme a Tabela 5, houve efeito significativo da interação entre os fatores (NCA x H₂O₂) sobre à taxa de assimilação de CO₂ (A), transpiração (E), eficiência instantânea do uso da água (EiUA) e eficiência instantânea de carboxilação (EiCi) das plantas de maracujazeiro-azedo. A natureza catiônica da água afetou significativamente a taxa de assimilação de CO₂, a transpiração e a concentração interna de CO₂, enquanto as concentrações de H₂O₂ proporcionaram diferença significativa para a taxa de assimilação de CO₂, transpiração e eficiência instantânea do uso da água do maracujazeiro-azedo 'BRS GA1', aos 60 dias após a semeadura.

Verifica-se, com base no desdobramento da interação entre os fatores (NCA x H₂O₂), que as concentrações de 40 e 60 µM de H₂O₂ não influenciaram de forma significativa a taxa de assimilação de CO₂ (A) das plantas de maracujazeiro-azedo, independentemente da natureza catiônica da água (Figura 6A). Contudo, ao comparar a A das plantas que não receberam à

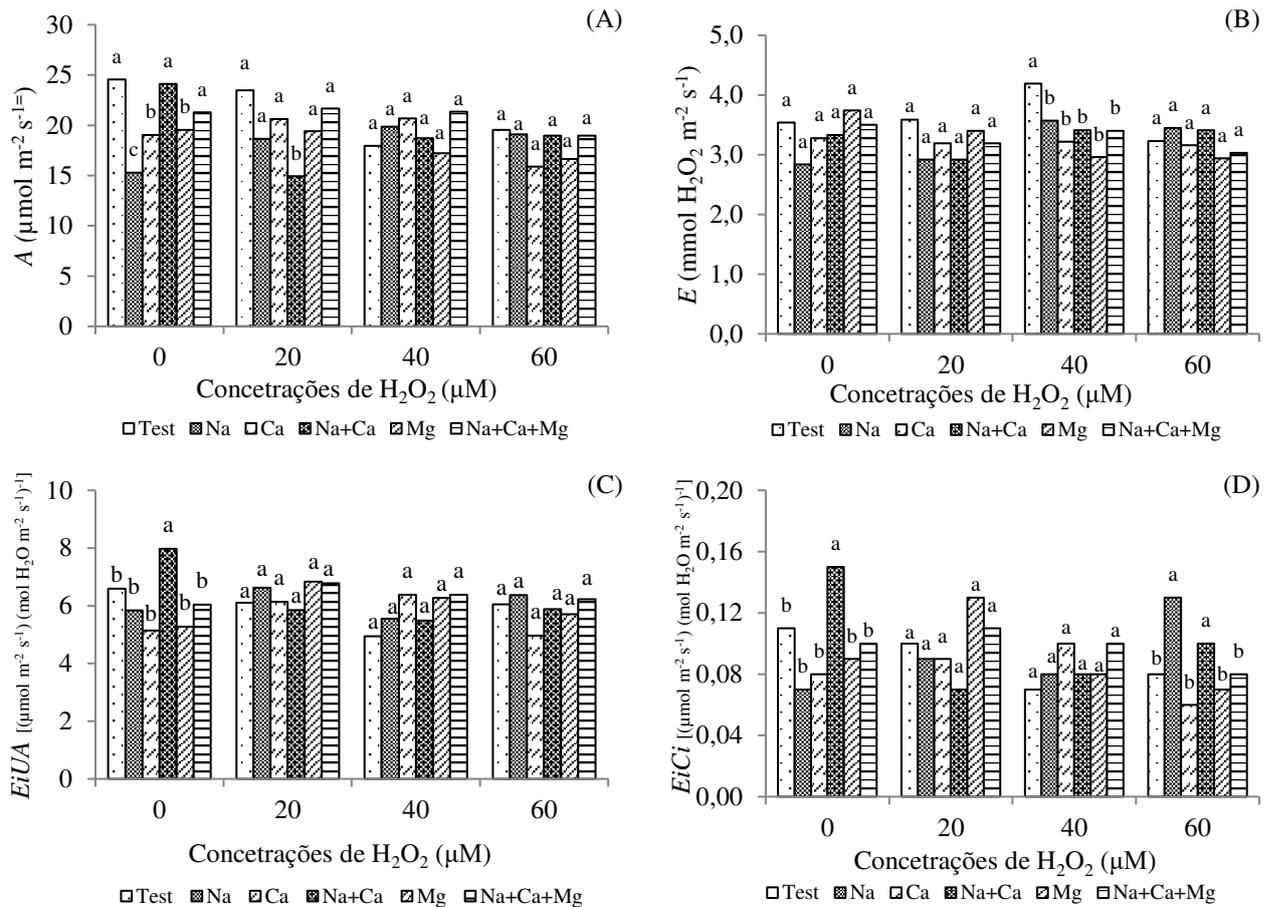
aplicação exógena de H_2O_2 (0 μM), nota-se superioridade nas que receberam água de baixa CEa (Test), água preparada com $Na^+ + Ca^{2+}$ (S_4) e com $Na^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+}$ (S_6), enquanto as águas constituídas apenas com Ca^{2+} (S_3) e Mg^{2+} obtiveram resultados inferiores (19,02 e 19,54 $\mu mol m^{-2} s^{-1}$). O menor valor para A (15,29 $\mu mol m^{-2} s^{-1}$), no entanto, foi obtido nas plantas irrigadas com água de constituição sódica (S_2). As plantas que receberam a concentração de 20 μM de H_2O_2 obtiveram os menores valores para a A (14,93 $\mu mol m^{-2} s^{-1}$) quando foram cultivadas com água constituída de $Na^{2+} + Ca^{2+}$ (S_4).

Tabela 5. Resumo da análise de variância referente à taxa de assimilação de CO_2 (A), transpiração (E), condutância estomática (gs), concentração interna de CO_2 (Ci), eficiência instantânea do uso da água ($EiUA$) e eficiência instantânea de carboxilação ($EiCi$) das plantas de maracujazeiro-azedo ‘BRS GA1’ cultivado com águas de diferentes naturezas catiônicas (NCA) e aplicação exógena de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), aos 60 dias após a semeadura.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios					
		A	E	gs^1	Ci	$EiUA$	$EiCi$
Natureza catiônica da água (NCA)	5	28,44**	0,41*	0,82 ^{ns}	4957,01**	1,06 ^{ns}	0,0005 ^{ns}
Peróxido de hidrogênio (H_2O_2)	3	25,04*	0,34 ^{ns}	0,87 ^{ns}	1322,67 ^{ns}	1,62 ^{ns}	0,0009 ^{ns}
Regressão linear	1	73,60**	0,08 ^{ns}	0,16 ^{ns}	2836,26*	2,27 ^{ns}	0,0002 ^{ns}
Regressão quadrática	1	0,44 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,97 ^{ns}	1100,26 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,0000 ^{ns}
Interação (NCA x H_2O_2)	15	24,52**	0,37**	0,85 ^{ns}	1194,20 ^{ns}	2,12**	0,0024**
Blocos	3	25,25*	0,31 ^{ns}	0,76 ^{ns}	9979,59**	1,74 ^{ns}	0,0009**
Resíduo	69	7,68	0,1	0,83	707,10	0,75	0,0008
CV (%)		14,23	12,13	25,63	11,46	14,30	29,73

GL = grau de liberdade; CV (%) = coeficiente de variação; ** significativo em nível de 0,01 de probabilidade; * significativo em nível de 0,05 de probabilidade; ^{ns} não significativo. ¹ Dados transformados em raiz de $x+1$.

No presente estudo, uma vez que não houve efeito da salinidade sobre a condutância estomática (gs) do maracujazeiro-azedo ‘BRS GA1’, o efeito do estresse salino pode estar relacionado à taxa de assimilação de CO_2 , interferindo negativamente nas reações bioquímicas que ocorrem no estroma dos cloroplastos (CRUZ *et al.*, 2017), como no aumento da atividade da enzima oxigenase em detrimento da atividade da carboxilase da Rubisco (SIVAKUMAR *et al.*, 2000). Essa situação é um indicativo de que houve deterioração do aparato fotossintético, já evidenciado no presente estudo (Figura 4 e 5), tendo em vista que os danos causados às estruturas responsáveis pela fixação do CO_2 não ocorreram apenas em decorrência de fatores estomáticos, mas também da acumulação de íons tóxicos nas folhas (HUSSAIN *et al.*, 2012).



Médias seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste Scott.

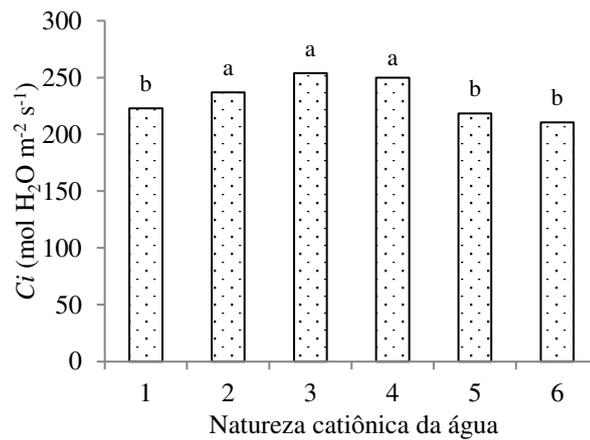
Figura 6. Taxa de assimilação de CO₂ - *A* (A), transpiração - *E* (B), eficiência instantânea do uso da água - *EiUA* (C) e eficiência instantânea de carboxilação - *EiCi* (D) de plantas de maracujazeiro-azedo 'BRS GA1' em função de diferentes naturezas catiônicas da água e aplicação exógena de peróxido de hidrogênio, aos 60 dias após a semeadura.

A ausência de peróxido de hidrogênio (0 μM) e as concentrações de 20 e 60 μM não influenciaram de forma significativa na transpiração (*E*) das plantas de maracujazeiro-azedo, independentemente da composição da água (Figura 6B). Sob aplicação de 40 μM de H₂O₂, as plantas submetidas à irrigação com água de baixa CEa se destacaram com maior *E* (4,19 mmol de H₂O m⁻² s⁻¹), diferindo-se de forma significativa em relação as que receberam as demais composições catiônicas da água (S₂, S₃, S₄, S₅ e S₆). De acordo com El-Bassiouny e Sadak (2015), por se tratar de uma espécie reativa de oxigênio capaz de oxidar membranas, em concentrações pequenas, o peróxido de hidrogênio é capaz de ativar funções metabólicas que favoreçam diversos mecanismos fisiológicos da planta, como a produção das enzimas antioxidantes catalase e superóxido dismutase.

Quanto à eficiência instantânea do uso da água (*EiUA*), nota-se que as concentrações de 20, 40 e 60 μM de H_2O_2 não influenciaram de forma significativa a *EiUA* das plantas de maracujazeiro-azedo (Figura 6C). No entanto, na ausência de aplicação exógena de H_2O_2 (0 μM), verifica-se superioridade na *EiUA* das plantas que foram irrigadas com águas constituídas por $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+}$ [$7,97 (\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$] em relação às demais composições catiônicas da água. De acordo com Flowers e Flowers (2005), plantas que não possuem a capacidade de manter ou aumentar a eficiência no uso da água sob condições de estresse, possivelmente não possuem capacidade de tolerância ao estresse, tendo em vista que a redução na absorção de água indica também ausência de mecanismo de proteção.

Com base no desdobramento da interação entre os fatores (NCA x H_2O_2) para a eficiência instantânea de carboxilação (*EiCi*), não observa-se influência significativa das concentrações de 20 e 40 μM de H_2O_2 , independente da natureza catiônica da água (Figura 6D). No entanto, na ausência de peróxido de hidrogênio (0 μM), as plantas irrigadas com águas constituídas de $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+}$ (S_4) obtiveram os maiores valores de *EiCi* [$0,15 (\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$]. Já as plantas que receberam a concentração de 60 μM de H_2O_2 elevaram a *EiCi* quando foram irrigadas com águas constituídas de Na^+ (S_2) e constituídas de $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+}$ (S_4), cujo os valores obtidos foram 0,13 e 0,10 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$, respectivamente. A eficiência instantânea de carboxilação (*EiCi*) é uma variável que possui íntima relação com a taxa de assimilação de CO_2 (*A*) e com a concentração intracelular de CO_2 (*Ci*) (MACHADO *et al.*, 2009). Desse modo, as reduções observadas em *A*, *E*, *EiUA* e *EiCi* mesmo na ausência de peróxido de hidrogênio (0 μM) podem ser consequências do efeito osmótico ocasionado pelo excesso de sais na água de irrigação, comprometendo a absorção de água pelas raízes e, consequentemente, reduzindo a eficiência fotossintética (ANDRADE *et al.*, 2019).

Para a concentração interna de CO_2 (Figura 7), as plantas de maracujazeiro-azedo irrigadas com água contendo Na^+ (S_2), Ca^{2+} (S_3) e $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+}$ (S_4) obtiveram os maiores valores de *Ci* (236,9; 253,8; e 249,7 mol de $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente), diferindo significativamente das plantas submetidas a irrigação com água de baixa salinidade (S_1) e das plantas submetidas à irrigação com águas constituídas de Mg^{2+} (S_5) e $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ (S_6), cujos valores obtidos foram, respectivamente, 222,8; 218,3; e 210,4 mol $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Avaliando as trocas gasosas de plantas de mamoneira cv. BRS Energia sob diferentes naturezas catiônicas da água de irrigação (S_1 - Testemunha; S_2 - Na^+ ; S_3 - Ca^{2+} ; S_4 - $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+}$; S_5 - K^+ e S_6 - $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$), Lima *et al.* (2019) obtiveram resultados similares, com os maiores valores da *Ci* obtidos nas plantas irrigadas com água contendo Na^+ (S_2), Ca^{2+} (S_3) e $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+}$ (S_4).



1 – Testemunha; 2 - Na^+ ; 3 - Ca^{2+} ; 4 - $Na^+ + Ca^{2+}$; 5 - Mg^{2+} e 6 - $Na^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+}$; Médias seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste Scott.

Figura 7. Concentração interna de CO_2 (C_i) de plantas de maracujazeiro-azedo ‘BRS GA1’, em função de diferentes naturezas catiônicas da água, aos 60 dias após a semeadura.

4 CONCLUSÕES

A salinidade da água constituída de Na^+ (S_2), $Na^+ + Ca^{2+}$ (S_4) e Mg^{2+} (S_5) resulta em maior potencial hídrico foliar nas plantas de maracujazeiro-azedo.

A concentração de $40 \mu M$ de H_2O_2 reduz a percentagem de dano celular nas plantas de maracujazeiro-azedo ‘BRS GA1’, aos 60 dias após a semeadura.

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 $Na^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+}$ (S_6).

A irrigação com água constituída de Na^+ reflete em danos à fluorescência inicial e à fluorescência variável da clorofila a .

A concentração de $60 \mu M$ de H_2O_2 aumenta a eficiência quântica do fotossistema II nas plantas de maracujazeiro-azedo ‘BRS GA1’ irrigadas com água de baixa salinidade (S_1).

5 REFERÊNCIAS

ANDRADE, E. M. G. *et al.* Gas exchanges and growth of passion fruit under saline water irrigation and H_2O_2 application. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 12, p. 945-951, 2019.

ARNON, D. I. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant physiology**, v. 24, n. 1, p. 1-15, 1949.

BAKER, N. R. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, s/n., p. 89-113, 2008.

BAKER, N. R.; ROSENQVIST, 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.

BLANKENSHIP, R. E. **Molecular mechanisms of photosynthesis**. 2. Ed. Oxford: John Wiley & Sons, 2014.

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.

CAVALCANTE, L. F. *et al.* Clorofila e carotenoides em maracujazeiro-amarelo irrigado com águas salinas no solo com biofertilizante bovino. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. SPE1, p. 699-705, 2011.

CRUZ, J. L. *et al.* Salinity reduces carbon assimilation and the harvest index of cassava plants (*Manihot esculenta* Crantz). **Acta Scientiarum**, v. 39, n. 4, p.545-555, 2017.

DIAS, A. S. *et al.* Trocas gasosas, rendimento quântico e pigmentos fotossintéticos da aceroleira sob estresse salino e adubação potássica. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 2, p. 429-439, 2019.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (Eds.). **Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados**. Fortaleza: INCT Sal, 2010. p. 129-141.

DINIZ, G. L. *et al.* Phytomass and quality of yellow passion fruit seedlings under salt stress and silicon fertilization. **Comunicata Scientiae**, v. 11, s/n. p. e3400-e3400, 2020.

EL-BASSIOUNY, H.; SADAK, M. S. Impact of foliar application of ascorbic acid and tocopherol on antioxidant activity and some biochemical aspects of flax cultivars under salinity stress. **Acta Biológica Colombiana**, v. 20, n. 2, p. 209-222, 2015.

EMBRAPA CERRADOS. **Memória do lançamento dos Híbridos de Maracujazeiro Azedo**. 2019. Disponível em: <www.cpac.embrapa.br/lancamentoazedo>. Acesso em: 20 de set. 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. *et al.* 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.

FLOWERS, T. J.; FLOWERS, S. A. Why does salinity pose such a difficult problem for plant breeders? **Agricultural water management**, v. 78, n. 1, p. 15-24, 2005.

- FREIRE, J. L. O. *et al.* 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.
- FREIRE, J. L. O. *et al.* 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.
- HUSSAIN, S. *et al.* Physiological analysis of salt stress behavior of citrus species and genera: low chloride accumulation as an indicator of salt tolerance. **South African Journal of Botany**, v. 81, s/n., p. 103-112, 2012.
- JAIMEZ, R. E. *et al.* Seasonal variations in leaf gas exchange of plantain cv. Hartón (Musa AAB) under different soil water conditions in a humid tropical region. **Scientia Horticulturae**, v. 104, n. 1, p. 79-89, 2005.
- KONRAD, M. L.F. *et al.* Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. **Bragantia**, v. 64, n. 3, p. 339-347, 2005.
- LIMA, G. S. *et al.* 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.
- LIMA, G. S. *et al.* 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, L. K. S. *et al.* Growth, physiological, anatomical and nutritional responses of two phenotypically distinct passion fruit species (*Passiflora* L.) and their hybrid under saline conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 263, s/n., p. 1-15, 2020.
- MACHADO, R. S. *et al.* Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 12, p. 1575-1582, 2009.
- MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence: a practical guide. **Journal of experimental botany**, v. 51, n. 345, p. 659-668, 2000.
- NISHIDA, K.; KHAN, N. M.; SHIOZAWA, S. Effects of salt accumulation on the leaf water potential and transpiration rate of pot-grown wheat with a controlled saline groundwater table. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 55, n. 3, p. 375-384, 2009.
- NOVAIS, R. F., NEVES, J. C. L., BARROS, N. F. **Ensaio em ambiente controlado**. In: OLIVEIRA, A. J. (ed.) Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. Brasília: Embrapa - SEA, 1991. Cap. 12, p. 189-253.
- ORTEGA, A. E.; MALAVOLTA, E. Los más recientes micronutrientes vegetales. **Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica**, v. 7, n. 1, p. 16-25, 2012.
- REIS, F. O.; CAMPOSTRINI, E. Microaspersão de água sobre a copa: um estudo relacionado às trocas gasosas e à eficiência fotoquímica em plantas de mamoeiro. **Revista brasileira de agrociência**, v. 17, n. 3, p. 284-295, 2011.

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. *et al.* 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, Andreas *et al.* Chemical priming of plants against multiple abiotic stresses: mission possible? **Trends in plant science**, v. 21, n. 4, p. 329-340, 2016.

SCOTTI-CAMPOS, P. *et al.* Physiological responses and membrane integrity in three Vigna genotypes with contrasting drought tolerance. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 25, n. 12, p. 1002-1013, 2013.

SILVA, A. A. R. *et al.* Gas exchanges and growth of passion fruit seedlings under salt stress and hydrogen peroxide. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 49, n. e55671, p. 1-10, 2019.

SILVA, E. M. *et al.* Métodos de aplicação de diferentes concentrações de H₂O₂ em milho sob estresse salino. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 3, p. 1-7, 2016.

SILVA, J. J. L. *et al.* 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.

SIVAKUMAR, P.; SHARMILA, P.; SARADHI, P. P. Proline alleviates salt-stress-induced enhancement in Ribulose-1,5-bisphosphate oxygenase activity. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v. 279, n. 2, p. 512-515, 2000.

SOUSA, J. R. M. *et al.* Dano na membrana celular e pigmentos clorofilianos de citros sob águas salinas e adubação nitrogenada. **Irriga**, v. 22, n. 2, p. 353-368, 2017.

SOUSA, V. F. O. *et al.* Percepção sobre qualidade da arborização urbana da cidade de Pombal, Paraíba. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 13, n. 3, p. 343-347, 2018.

TEIXEIRA, P. C. *et al.* **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

WANDERLEY, J. A. C. *et al.* Cell damage and biomass of yellow passion fruit under water salinity and nitrogen fertilization. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 3, p. 757-765, 2020.

WEATHERLEY, P. E. Studies in the water relations of the cotton plant. I. The field measurement of water deficits in leaves. **New Phytologist**, v. 49, n. 1, p. 81-97, 1950.

CAPÍTULO II

MORFOFISIOLOGIA E QUALIDADE DE MUDAS DE MARACUJAZEIRO-AZEDO 'BRS GA1' SOB DIFERENTES NATUREZAS CATIÔNICAS DA ÁGUA E H₂O₂

RESUMO

No decorrer dos anos, a salinidade das águas se tornou um dos principais obstáculos do setor agrícola. Este trabalho objetivou avaliar o crescimento, as relações hídricas e a qualidade de mudas de maracujazeiro irrigadas com águas de diferentes composições catiônicas e peróxido de hidrogênio. O experimento foi conduzido em condição 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 (0,3 dS m⁻¹); 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. Com exceção do S₁, os demais tratamentos foram irrigados com água de 3,6 dS m⁻¹. A concentração de 40 µM de H₂O₂ reduziu o efeito do estresse salino na área foliar das plantas irrigadas com águas constituídas de Na⁺, Na⁺ + Ca²⁺ e Na⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺. As concentrações de 20 e 40 µM de H₂O₂ elevaram o índice de qualidade de Dickson das plantas irrigadas com água constituída de Na⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺.

Palavras-chave: *Passiflora edulis f. flavicarpa*, salt stress, peróxido de hidrogênio.

ABSTRACT

Over the years, water salinity has become one of the main obstacles in the agricultural sector. 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 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 [S_1 – Control ($0,3 \text{ dS m}^{-1}$); S_2 - Na^+ ; S_3 - Ca^{2+} ; S_4 - $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+}$; S_5 - Mg^{2+} and S_6 - $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$] and four concentrations of hydrogen peroxide - H_2O_2 (0, 20, 40 and 60 μM), with four repetitions. With the exception of S_1 , the other treatments were irrigated with water of 3.6 dS m^{-1} . The 40 μM concentration of H_2O_2 reduced the salt stress effect on leaf area of plants irrigated with water consisting of Na^+ , $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+}$ and $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$. The 20 and 40 μM concentrations of H_2O_2 increased the Dickson quality index of plants irrigated with water consisting of $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$.

Keywords: *Passiflora edulis f. flavicarpa Degener*, salt stress, hydrogen peroxide.

1 INTRODUÇÃO

A salinidade da água e dos solos em regiões semiáridas tem se tornado uma preocupação global e um dos principais obstáculos atuais da agricultura (SÁ *et al.*, 2020). De acordo com a FAO (Food Agriculture Organization), aproximadamente 6% das terras do mundo estão comprometidas pela salinidade e, desse total, 32 milhões de hectares da agricultura irrigada, distribuídos em mais de 75 países, apresentam problemas com sais em graus variados (PARIHAR *et al.*, 2015; ALAGHMAND *et al.*, 2016).

No Brasil, a salinidade afeta principalmente as regiões semiáridas do Nordeste, uma vez que esta região está sujeita a altas variações edafoclimáticas, apresentando elevadas temperaturas e baixas precipitações, sendo estes fatores limitantes ao desenvolvimento de inúmeras espécies vegetais, especialmente por proporcionar o acúmulo de sais e a escassez de água de qualidade para a irrigação (ANDRADE *et al.*, 2019; BEZERRA *et al.*, 2020). Nos recursos hídricos do Nordeste, as concentrações de sais variam e seus efeitos sobre as plantas dependem da concentração total de sais e da composição catiônica da água (LIMA *et al.*, 2019), que, nesta região, se caracteriza por possuir altos teores de cloreto (Cl^-) e sódio (Na^+), baixos teores de sulfato (SO_4^{2-}), e concentrações variáveis de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) (HUSSAIN *et al.*, 2017).

De forma geral, as modificações causadas nas plantas pela salinidade são decorrentes de três componentes principais do estresse salino: o efeito osmótico, que promove a inibição do crescimento em virtude da redução da absorção de água e nutrientes; o efeito iônico, resultante do acúmulo de quantidades excessivas de íons tóxicos nos tecidos vegetais, especialmente Na^+ e Cl^- (SILVA *et al.*, 2018); e o desequilíbrio nutricional, ocasionado pela absorção de íons tóxicos em detrimento de nutrientes importantes para a nutrição mineral (SOUSA *et al.*, 2010).

Consolidado como o maior produtor e consumidor mundial de maracujazeiro (*Passiflora edulis Sims f. flavicarpa Degener*), o Brasil produz, aproximadamente, 602,651 toneladas desta cultura por ano, em uma área com cerca de 78,502.42 hectares, dos quais 62,3% se encontram na região Nordeste (IBGE, 2019). No entanto, apesar do sucesso no cultivo nesta região, as limitações referentes à salinidade e à variação na composição catiônica da água impedem uma produção ainda maior, evidenciando a necessidade de adoção de estratégias que possibilitem uma produção satisfatória das culturas sob estas condições (LIMA *et al.*, 2015).

A aplicação de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) tem assumido um papel preponderante como mecanismo de atenuação do estresse salino na agricultura irrigada, uma vez que, em baixas concentrações, este composto é capaz de agir como uma molécula sinalizadora, promovendo uma condição de estresse moderado. Desta forma, sob condições de estresse mais severo, os sinais anteriormente ativados pelo H_2O_2 promovem diversos ajustes moleculares que resultam em mecanismos de aclimação, como a ativação do sistema antioxidante, um dos principais mecanismos de defesa das plantas (LI *et al.*, 2011; SAVVIDES *et al.*, 2016; SILVA *et al.*, 2019).

Conforme o exposto, recentes trabalhos têm estudado a ação do H_2O_2 como atenuante do estresse salino na cultura do maracujá (SANTOS *et al.*, 2018; ANDRADE *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2019), no entanto, a maioria se limita a avaliar apenas o efeito dos diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação sobre a cultura. Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o crescimento, as relações hídricas e a qualidade de mudas de maracujazeiro cv. BRS GA1 em função da irrigação com águas de diferentes naturezas catiônicas e aplicação exógena de peróxido de hidrogênio.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido durante o período de janeiro a março de 2020 em condição 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, com as seguintes coordenadas geográficas locais: 6°48'16" S, 37°49'15" O. Conforme o sistema de classificação de Koppen, o clima da região é BSh (semiárido, quente e seco), com temperatura média anual de 25,8 °C e precipitação pluviométrica em torno de 431,8 mm por ano.

Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, em arranjo 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⁺; 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 – H_2O_2 (0, 20, 40 e 60 μ M), com quatro repetições e duas plantas por parcela, totalizando 96 unidades experimentais. As plantas referentes ao tratamento testemunha (S₁)

foram irrigadas com água de condutividade elétrica (CEa) de 0,3 dS m⁻¹, enquanto as plantas dos demais tratamentos foram irrigadas com água de CEa de 3,6 dS m⁻¹.

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 solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos. Pombal, CCTA/UFCG, 2021.

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⁺	H ⁺
5,58	2,93	39,2	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		

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 - Percentagem de sódio trocável; ^{1,2}referindo a capacidade de campo e ponto de murchamento permanente

Inicialmente, o teor de umidade do solo foi elevado ao nível correspondente a capacidade de campo e, em seguida, foi realizada a semeadura, utilizando-se duas sementes de maracujazeiro por sacola, a dois centímetros de profundidade, distribuídas de forma equidistante. Aos 15 dias após o semeio (DAS), foi realizado um desbaste, deixando-se uma planta por sacola, aquela que apresentava visualmente maior vigor morfofisiológico.

As concentrações de H₂O₂ (0, 02, 40 e 60 µM) foram estabelecidas conforme estudos desenvolvidos por Andrade *et al.* (2019), obtidas pela diluição de H₂O₂ em água deionizada e armazenadas em um recipiente em ambiente escuro. As aplicações foliares tiveram início aos 20 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) e aplicando um volume médio de 2,08 mL por planta.

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. 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:

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

Em que:

Q = Quantidade de sais a ser aplicado (mmol_c L⁻¹); e

CEa = Condutividade elétrica da água (dS m⁻¹).

As irrigações com os respectivos tratamentos tiveram início aos 25 DAS e foram realizadas diariamente, às 17:00 h, aplicando-se em cada sacola a quantidade de água necessária para manter a umidade do solo próximo à capacidade de campo. O volume a ser aplicado foi determinado de acordo com a necessidade hídrica das plantas, estimada pelo balanço hídrico, conforme a Eq. 2:

$$VI = \frac{(Va - Vd)}{(1 - FL)} \quad (2)$$

Em que:

VI = Volume de água a ser usado no próximo evento de irrigação (mL);

Va = volume aplicado no evento de irrigação anterior (mL);

Vd = Volume de água drenado na irrigação anterior (mL); e

FL = fração de lixiviação (0,15).

Realizou-se adubação com nitrogênio, potássio e fósforo em cobertura conforme recomendação de Novais *et al.*, 1991, aplicando-se 100, 150 e 300 mg kg⁻¹ de N, K₂O e P₂O₅ por kg de solo, respectivamente, na forma de ureia, cloreto de potássio e fosfato monoamônio (MAP). A adubação com nitrogênio e fósforo foi parcelada em duas vezes, sendo aplicada aos 15 e 30 DAS, enquanto a adubação potássica foi dividida em três parcelas, aplicada aos 15, 30 e 45 DAS, via fertirrigação. Com o propósito de suprir a necessidade de micronutrientes, as folhas do maracujazeiro-azedo foram pulverizadas com 2,5 g L⁻¹ de fertilizante foliar Ubyfol [(N (15%); P₂O₅ (15%); K₂O (15%); Ca (1%); Mg (1,4%); S (2,7%); Zn (0,5%); B (0,05%); Fe (0,5%); Mn (0,05%); Cu (0,5%); Mo (0,02%)], aos 30 e 45 DAS.

O crescimento foi mensurado aos 60 DAS, pela altura de plantas (AP), diâmetro do caule (DC), área foliar (AF), fitomassa fresca de folhas (FFF), fitomassa seca de folhas (FSF), fitomassa seca de caule (FSC), fitomassa seca de raiz (FSR), e fitomassa seca total (FST). Além disso, também foram mensurados a razão de área foliar (RAF), área foliar específica (AFE), relação raiz/parte aérea (R/PA), teor de água na parte aérea (TAPA) e índice de qualidade de Dickson (IQD).

A altura das plantas (cm) foi medida tomando-se como referência a distância do colo da planta à inserção do meristema apical e o DC (mm) foi medido a 2 cm do colo da planta. Para a determinação das fitomassas, as plantas foram cortadas rente à superfície do solo e separadas em folhas, caule e raiz. O acúmulo de fitomassa fresca de folhas (FFF) foi determinado através da pesagem de folhas em balança de precisão de 0,001 g. Para a obtenção da fitomassa seca, cada parte da planta foi acondicionada em sacos de papel devidamente identificados e levados à estufa de circulação forçada por 72 horas a 65 °C, até atingir peso constante. Posteriormente, pesou-se este material visando a obtenção da fitomassa seca de folhas (FSF), caule (FSC) e raízes (FSR); cujo somatório resultou na fitomassa seca total (FST).

A área foliar (cm²) foi determinada de acordo com a recomendação de Almeida *et al.* (2006), considerando a Eq. 3:

$$AF = 5,71 + 0,647X \quad (3)$$

Em que:

AF = área foliar (cm²); e

X = produto do comprimento pela largura das folhas (cm).

A partir da área foliar, foi calculada a razão de área foliar (RAF), através da Eq. 4, utilizada por Ferrari *et al.* (2008):

$$RAF = \frac{AF}{MT} \quad (4)$$

Em que:

AF = área foliar (cm²); e

MT = massa total da planta (g).

A área foliar específica (AFE) foi quantificada por meio da divisão entre área foliar (AF) e a fitomassa seca de foliar (FSF), de acordo com equação 5 (FLOSS, 2004):

$$AFE = \frac{AF}{FSF} \quad (5)$$

Em que:

AF = área foliar (cm²); e

FSF = fitomassa seca de folhas (g).

O teor de água na parte aérea (TAPA) foi determinado de acordo com Martins *et al.* (2019), utilizando-se a seguinte equação:

$$\%TAPA = FFPA - \frac{FSPA}{FFPA} \times 100 \quad (6)$$

Em que:

FFPA = fitomassa fresca da parte aérea; e

FSPA = fitomassa seca da parte aérea.

O índice de qualidade de Dickson (IQD) foi estimado através dos parâmetros morfológicos das mudas e as relações utilizadas nas avaliações dos resultados, conforme Eq. 7, proposta por Dickson, Leaf e Hosner (1960):

$$IQD = \frac{(FST)}{(AP/DC) + (FSPA/FSR)} \quad (7)$$

Em que:

IQD = índice de qualidade de Dickson;

AP = altura de plantas (cm); DC = diâmetro do caule (mm);

FST = fitomassa seca total de planta (g por planta);

FSPA = fitomassa seca da parte aérea de planta (g por planta); e

FSR = fitomassa seca de raiz de planta (g por planta).

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).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o resumo de análise de variância (Tabela 2), verifica-se que não houve efeito significativo da interação entre os fatores (NCA x H₂O₂) sobre as variáveis analisadas. No entanto, a natureza catiônica da água afetou significativamente a FFF, a FSR e FST das plantas de maracujazeiro cv. BRS GA1. As concentrações de H₂O₂ influenciaram de forma significativa apenas a FFF das plantas de maracujazeiro, aos 60 DAS.

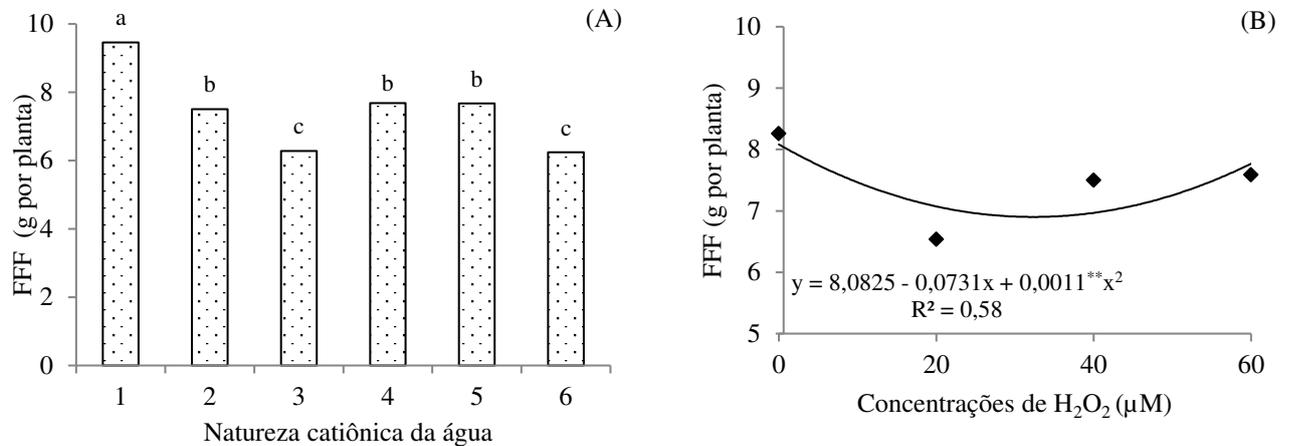
Tabela 2. Resumo da análise de variância referente à fitomassa fresca (FFF) e seca (FSC) de folhas, fitomassa seca do caule (FSC), da raiz (FSR) e total (FST) do maracujazeiro-azedo ‘BRS GA1’ cultivado com águas de diferentes naturezas catiônicas (NCA) e aplicação exógena de peróxido de hidrogênio (H₂O₂), aos 60 dias após a semeadura.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios				
		FFF	FSF	FSC ¹	FSR ¹	FST ¹
Natureza catiônica da água (NCA)	5	22,27**	0,25 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,03*	2,52**
Peróxido de hidrogênio (H ₂ O ₂)	3	12,01**	0,32 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,35 ^{ns}
Regressão linear	1	1,37 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,06*	0,94 ^{ns}
Regressão quadrática	1	19,53**	0,21 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,08 ^{ns}
Interação (NCA x H ₂ O ₂)	15	1,64 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,52 ^{ns}
Blocos	3	12,33**	0,64*	0,45 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,52 ^{ns}
Resíduo	69	2,40	0,17	0,25	0,01	0,65
CV (%)		20,75	29,63	16,18	14,12	35,12

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

Para a fitomassa fresca das folhas do maracujazeiro, constata-se (Figura 1A) que no tratamento em que se utilizou água de baixa salinidade (S₁), a FFF foi estatisticamente superior em relação às plantas que estavam submetidas à irrigação com os demais tratamentos com CEa de 3,6 dS m⁻¹ (S₂, S₃, S₄, S₅ e S₆). Entretanto, as plantas de maracujazeiro, ao serem irrigadas com água de composição constituída de Na⁺ (S₂), Na⁺ + Ca²⁺ (S₄) e Mg²⁺ (S₅) não apresentaram diferença significativa entre si. Apesar disso, foram superiores estatisticamente às irrigadas com água constituída de Ca²⁺ (S₃) e às irrigadas com água constituída de Na⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺ (S₆), que apresentaram os menores valores (6,28 e 6,24 g planta⁻¹, respectivamente). Assim, verifica-se que as plantas irrigadas com água de elevado nível salino (S₂, S₃, S₄, S₅, S₆) obtiveram valores de FFF inferiores ao tratamento testemunha (S₁). Conforme Silva *et al.* (2018), as plantas absorvem água do solo quando existe um gradiente de potencial hídrico na relação solo-raiz, ou seja, quando a força de embebição dos tecidos das raízes é maior que a força com que a água

é retida no solo. Em condições de elevado teor salino, no entanto, o efeito osmótico reduz a absorção de água pela planta por aumentar as forças de retenção de água na matriz do solo.



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.

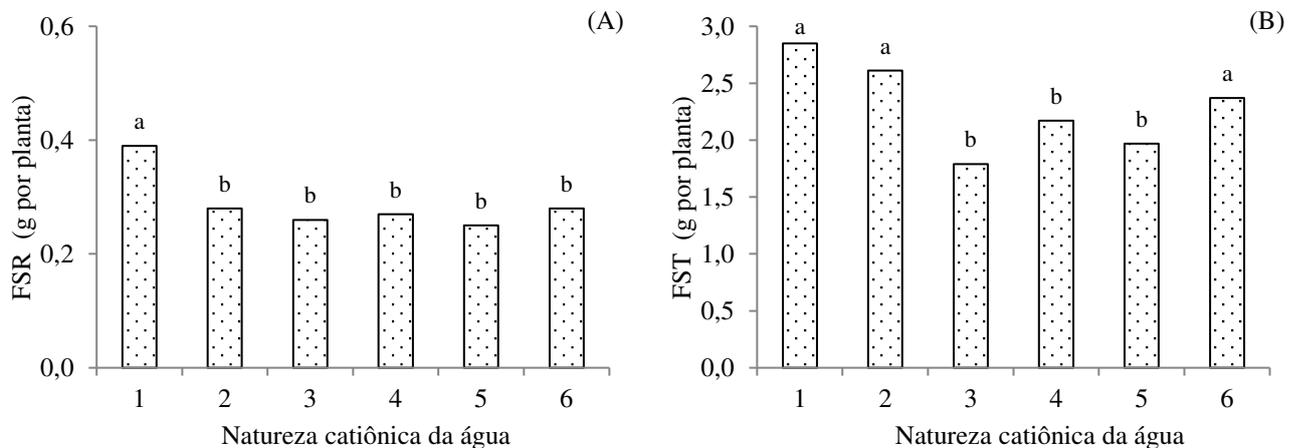
Figura 1. Fitomassa fresca de folhas (FFF) de plantas de maracujazeiro-azedo ‘BRS GA1’, em função de diferentes naturezas catiônicas da água (A) e concentrações de peróxido de hidrogênio (B), aos 60 dias após a semeadura.

Apesar de possuir uma importante atuação na composição da parede celular e de ser um nutriente essencial para as plantas (SÁ *et al.*, 2018), nota-se que a irrigação com água constituída de cálcio proporcionou o menor acúmulo de fitomassa fresca de folhas. Conforme Martins *et al.* (2019), o excesso de Ca²⁺ pode ocasionar seu redirecionamento para reações de precipitação com outros elementos, como o enxofre e o fósforo, além de competir pelos mesmos sítios ativos de absorção de nutrientes também importantes para o crescimento da planta, como o potássio.

Para a FFF das plantas maracujazeiro sob aplicação exógena de H₂O₂, verifica-se comportamento quadrático (Figura 1B), sendo o valor máximo estimado (8,26 g planta⁻¹) obtido no tratamento testemunha, ou seja, a ausência de H₂O₂. Por outro lado, o menor acúmulo de FFF (6,54 g planta⁻¹) foi alcançado quando se utilizou H₂O₂ de 20 μM. O peróxido de hidrogênio é uma espécie reativa de oxigênio (ERO), que se caracteriza como uma forma reduzida de oxigênio molecular e que tem sido apontado como um dos mais importantes sinalizadores intracelulares, capaz de controlar diversos processos importantes para o desenvolvimento das plantas (DAS; ROYCHOUDHURY, 2014; ANDRADE *et al.* 2018).

Possivelmente, as maiores concentrações de H_2O_2 (40 e 60 μM) utilizadas neste estudo podem ter acionados mecanismos de tolerância na manutenção do potencial hídrico celular, permitindo uma estabilidade na FFF, mas não altas o suficiente para provocar efeitos tóxicos nesta variável. Isso pode ter acontecido devido ao fato de que a quantidade de H_2O_2 capaz de promover efeitos negativos ou positivos nas plantas depende de diversos aspectos, uma vez que os mecanismos envolvidos na tolerância das plantas são bastante complexos e estão relacionados a diversos genes (PARIDA; DAS, 2005), os quais podem promover respostas de acordo com o tipo de genótipo, estágio de desenvolvimento, composição do solo, luz, temperatura, umidade relativa do ar, entre outros (BRAY, BAILEY-SERRES e WERETILNYK, 2000).

A FSR das plantas de maracujazeiro irrigadas com água de baixa salinidade (S_1) foi estatisticamente superior ($0,39 \text{ g planta}^{-1}$) à das plantas que estavam sob irrigação com águas de diferentes composições catiônicas (Na^+ ; Ca^{2+} ; $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+}$; Mg^{2+} e $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) (Figura 2A). Ao comparar as distintas composições catiônicas, observa-se que não houve diferença significativa entre si. Desta forma, a diminuição na FSR do maracujazeiro pode estar mais relacionada às consequências dos efeitos osmóticos e iônicos do que às distintas naturezas catiônicas da água de irrigação. Tal resultado também foi observado por Diniz *et al.* (2020) que, ao estudarem a fitomassa seca da raiz de maracujazeiro amarelo cv. GA1 submetido à diferentes níveis de CEa (0,3; 1,0; 1,7; 2,4 e 3,1 dSm^{-1}) da água de irrigação preparada com NaCl, verificaram decréscimos lineares nesta variável a medida em que o nível de salinidade aumentou, com uma redução de 31,01% entre o nível de mais baixa salinidade (0,3 dS m^{-1}) e o nível de maior estresse (3,1 dS^{-1}).



1 – Testemunha; 2 - Na^+ ; 3 - Ca^{2+} ; 4 - $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+}$; 5 - Mg^{2+} e 6 - $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$; Médias seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste Scott.

Figura 2. Fitomassa seca de raiz – FSR (A) e total – FST (B) de plantas de maracujazeiro-azedo ‘BRS GA1’ em função de diferentes naturezas catiônicas da água, aos 60 dias após a semeadura.

As raízes em direto contato com a solução do solo de elevada concentração salina são as primeiras regiões atingidas pelos efeitos do estresse e, conseqüentemente, compõem a primeira linha de defesa das plantas (LI, BAILEY-SERRES e WERETILNYK, 2017; LIMA *et al.*, 2020). Essa defesa trata-se de um mecanismo de tolerância em que a planta restringe o alongamento das raízes, reduzindo assim sua fitomassa, o que permite à espécie diminuir a absorção de água e, conseqüentemente, de sais, amenizando a toxicidade por íons específicos (ARIF, ISAM e ROBIN, 2019).

No que diz respeito ao efeito das distintas composições catiônicas, a FST das mudas de maracujazeiro (Figura 2B) das plantas irrigadas com água de baixa salinidade (S₁) e constituídas de Na⁺ (S₂) e de Na²⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺ (S₆), respectivamente, foi superior estatisticamente a FST das mudas que receberam Ca²⁺ (S₃), Na⁺ + Ca²⁺ (S₄) e Mg²⁺ (S₅). Apesar do sódio (Na⁺) ser considerado um dos principais responsáveis pela toxicidade decorrente do efeito iônico do estresse salino, a FST das plantas irrigadas com água constituída apenas por este íon (S₂) não apresentou diferença significativa em relação à FST das plantas irrigadas com água de baixa salinidade (Test). Souza *et al.* (2020) também observaram pequenas restrições na FST de maracujazeiro amarelo cv. BRS Gigante Amarelo sob irrigação com água salina preparada com cloreto de sódio (NaCl), mesmo no tratamento de mais alta salinidade (4,0 dS⁻¹), aos 90 DAS.

Isto pode indicar cv. BRS GA1 como tolerante ao estresse salino durante a fase de formação de mudas, tal como reportado por Moura *et al.* (2016), Andrade *et al.* (2018) e Souza *et al.* (2020). No entanto, nos cultivares BRS Sol do Cerrado e BRS Redondo Amarelo, Bezerra *et al.* (2016) observaram que o crescimento inicial, analisado através dos parâmetros de fitomassa (fitomassa seca de folhas, fitomassa seca de raízes e fitomassa seca total) foi extremamente sensível ao estresse provocado pela irrigação com água salina preparada com cloreto de sódio (NaCl), com os maiores decréscimos ocorrendo a partir da CEa de 2,0 dS m⁻¹. De acordo com Sá *et al.* (2013), é comum que a tolerância à salinidade varie substancialmente mesmo entre os cultivares de uma mesma espécie, uma vez que os genótipos possuem necessidades fisiológicas e nutricionais distintas.

Conforme resumo da análise de variância (Tabela 3), verifica-se efeito significativo da interação entre os fatores (NCA x H₂O₂) para AF e RAF do maracujazeiro. A natureza catiônica da água afetou significativamente a AP, o DC, a AF e a RAF. Já as concentrações H₂O₂

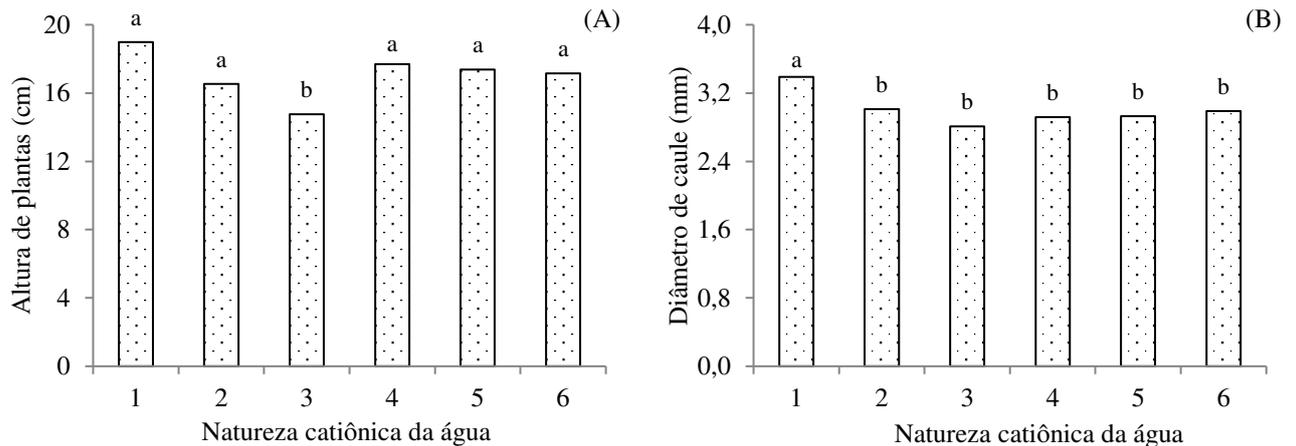
promoveram diferença significativa para área foliar AF do maracujazeiro cv. BRS GA1, aos 60 DAS.

Tabela 3. Resumo da análise de variância referente à altura de plantas (AP), diâmetro do caule (DC), área foliar (AF), razão de área foliar (RAF), área foliar específica (AFE) e razão raiz/parte aérea (R/PA) 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			
		AP	DC	AF	RAF
Natureza catiônica da água (NCA)	5	31,32*	0,63**	17231,74**	0,28**
Peróxido de hidrogênio (H ₂ O ₂)	3	24,18 ^{ns}	0,29 ^{ns}	13341,07*	0,02*
Regressão linear	1	0,26 ^{ns}	0,67*	405,00 ^{ns}	0,01 ^{ns}
Regressão quadrática	1	21,11 ^{ns}	0,12 ^{ns}	5739,83 ^{ns}	0,01 ^{ns}
Interação (NCA x H ₂ O ₂)	15	11,37 ^{ns}	0,15	7504,67*	0,04**
Blocos	3	16,71 ^{ns}	0,75 ^{ns}	15732,52**	0,00 ^{ns}
Resíduo	69	10,52	0,14	3540,53	0,00
CV (%)		18,98	12,57	26,47	42,25

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

A AP do maracujazeiro cv. BRS GA1 irrigadas com água de composição cálcica (S₃) diferiu significativamente das que foram irrigadas com água de baixa CEa (S₁) e demais naturezas catiônicas da água (S₂; S₃; S₄; S₅ e S₆) (Figura 3A), sendo os maiores valores (18,99; 16,5; 17,70; 17,37 e 17,15 cm) obtidos nas plantas submetidas aos tratamentos S₁, S₂, S₄, S₅ e S₆, respectivamente. Já o menor valor de AP (14,76 cm) foi verificado nas plantas submetidas à salinidade da água de composição cálcica (S₃). A redução pode estar relacionada ao redirecionamento do Ca²⁺ para reações precipitação com outros sais, ou até mesmo à uma competição por sítios ativos com outros nutrientes (MARTINS *et al.*, 2019). Como é possível observar, as plantas irrigadas com água de composição cálcica foram as mais afetadas na maioria das variáveis de biomassa e crescimento avaliadas. No entanto, é importante salientar que este resultado difere do que, geralmente, é encontrado na literatura para outros cultivares e espécies, uma vez que plantas irrigadas com águas preparadas com sais de cálcio tendem a crescer mais em altura, especialmente em níveis de salinidade mais altos (COSTA, 2005).



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.

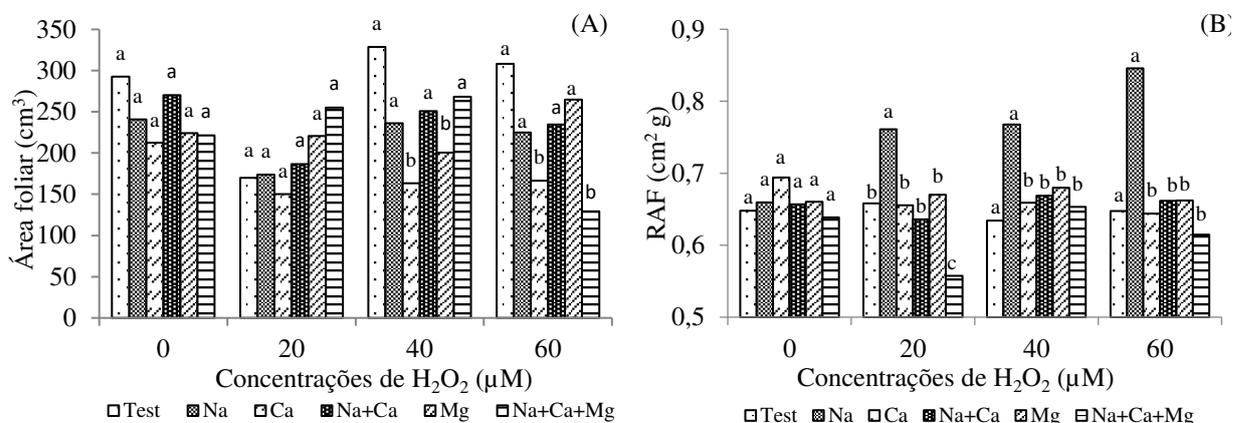
Figura 3. Altura de plantas – AP (A) e diâmetro do caule - DC (B) de plantas de maracujazeiro-azedo ‘BRS GA1’ em função de diferentes naturezas catiônicas da água, aos 60 dias após a semeadura.

Conforme o teste de comparação de médias (Figura 3B), o DC das plantas de maracujazeiro irrigadas com água de baixa salinidade (Test) foi estatisticamente superior ao DC (3,39 mm) das plantas que estavam sob irrigação com águas de naturezas catiônicas distintas (S₂, S₃, S₄, S₅ e S₆). Isto indica que o elevado teor de sais das águas com CEa de 3,6 dSm⁻¹, independente das combinações catiônicas da água de irrigação, interferiu negativamente no diâmetro caulinar. Os decréscimos no DC com a irrigação de águas de elevada condutividade podem estar associados com a redução do potencial osmótico-hídrico da solução do solo, causada pelo excesso de sais na zona radicular, o que promove diminuição na turgescência e, conseqüentemente, resulta em redução na expansão celular (KHALID; SILVA, 2010).

Essa variável é considerada uma das mais relevantes no que se refere ao processo de produção de mudas, pois segundo Diniz *et al.* (2018), mudas com elevado diâmetro caulinar tendem a se destacarem no campo, devido a vigorosidade. Resultados similares foram obtidos por Andrade *et al.* (2019), que avaliaram o crescimento em diâmetro do caule de plantas de um cultivar de maracujazeiro amarelo popularmente conhecido como “Guinezinho” sob irrigação com águas salinas preparadas com Na⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺ (na proporção de 7:2:1) e aplicação exógena de peróxido de hidrogênio (0; 20; 40 e 60 μM), e verificaram que o DC foi negativamente afetado pela irrigação com águas com CEa a partir de 2,8 dS m⁻¹.

Verifica-se, com base no desdobramento da interação entre os fatores (NCA x H₂O₂), que a ausência de aplicação exógena de H₂O₂ e a concentração de 20 μM não influenciaram de

forma significativa a AF das plantas de maracujazeiro, independentemente da natureza catiônica da água (Figura 4A). Contudo, ao comparar a área foliar das plantas que receberam 40 μM de H_2O_2 , nota-se superioridade nas plantas que receberam água de baixa CEa (Test), água preparada com Na^+ (S_2), $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+}$ (S_4) e $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ (S_6), enquanto as águas constituídas apenas com Ca^{2+} (S_3) e com Mg^{2+} (S_5) apresentaram os menores valores de AF (163,29 e 200,51 cm^3). Já as plantas que receberam a maior concentração de H_2O_2 (60 μM) obtiveram os menores valores de área foliar (166,52 e 129,37 cm^3) quando foram cultivadas com água constituída de Ca^{2+} (S_3) e de $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ (S_6), respectivamente.



Médias seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste Scott.

Figura 4. Área foliar – AF (A) e razão de área foliar – RAF (B) de plantas de maracujazeiro-azedo ‘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 forma geral, as concentrações de H_2O_2 de 40 e 60 μM promoveram um maior crescimento em área foliar (328,82 e 308,05 cm^2 , respectivamente) nas plantas do tratamento testemunha, ou seja, nas plantas cultivadas sob baixa salinidade da água de irrigação (0,3 dS m^{-1}). Gohari *et al.* (2020) ressaltam que a aplicação de H_2O_2 , em concentrações ideais e sob condições normais (baixa salinidade) ativa vias de transdução de sinais que regulam vários processos fisiológicos, ocasionando em aumento da tolerância da planta e, conseqüentemente, resultando em melhorias em seu crescimento. A concentração de H_2O_2 de 40 μM resultou em maior crescimento da AF nas plantas irrigadas com água de composição sódica (S_2), sódica e cálcica (S_4) e nas constituídas de sódio, cálcio e magnésio (S_6). Nas plantas que receberam a aplicação exógena de H_2O_2 na concentração de 60 μM , o maior crescimento em AF foi observado quando se utilizaram água constituídas de sódio (S_2), sódio e cálcio (S_4), e magnésio (S_5).

É importante destacar que nenhuma das concentrações de H₂O₂ foi capaz de atenuar os efeitos negativos da água constituída por cálcio (S₃) na AF do maracujazeiro, uma vez que o maior valor para a AF das plantas irrigadas apenas com cálcio (212,4 cm²) foi verificado na concentração 0 µM de H₂O₂, ou seja, na ausência de peróxido de hidrogênio. Conforme anteriormente relatado, elevadas quantidades de Ca²⁺ podem se tornar prejudiciais por competir com outros nutrientes essenciais para o crescimento do vegetal, como o potássio, além de participar de reações de precipitação com o enxofre e o fósforo (MARTINS *et al.*, 2019).

De acordo com Nobre *et al.* (2014), a redução da AF sob circunstâncias de alta salinidade é extremamente relevante para a manutenção do potencial hídrico da planta, pois diminui a superfície transpirante e, conseqüentemente, reduz a perda de água. Silva *et al.* (2019), estudando efeitos da interação entre níveis de salinidade (0,7; 1,4; 2,1 e 2,8 dS m⁻¹) e concentrações de H₂O₂ (0 µM, 25 µM, 50 µM) sob plantas de maracujazeiro, observaram que a concentração de 25 µM de H₂O₂ promoveu aumento na AF das plantas irrigadas com água de CEa de 1,4 dS⁻¹. No entanto, é importante destacar que os autores utilizaram águas com CEa inferiores à utilizada no presente estudo.

Para a RAF (Figura 4B), observa-se que a ausência de aplicação exógena de H₂O₂ (0 µM) não influenciou de forma significativa as plantas de maracujazeiro, independente da natureza catiônica da água. No entanto, as concentrações de 20, 40 e 60 µM de H₂O₂ aumentaram a RAF das plantas irrigadas com água de composição sódica (S₂), ao passo que a concentração de 20 µM de H₂O₂ reduziu a RAF das plantas irrigadas com água constituída de Na⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺ (S₆). De acordo com Azevedo Neto e Tabosa (2000), a RAF é uma variável de grande importância na diferenciação das características de tolerância ou sensibilidade à salinidade em um cultivar, uma vez que plantas com RAF maior apresentam elevada transpiração e, conseqüentemente, maior demanda de água e maior concentração de íons Na⁺ e/ou Cl⁻ na parte aérea. Esta constatação fica evidenciada nas concentrações de 20, 40 e 60 µM de H₂O₂, onde os maiores valores de RAF foram observados nas plantas irrigadas com água constituída de Na⁺ (0,76; 0,77; e 0,85 cm² g⁻¹, respectivamente).

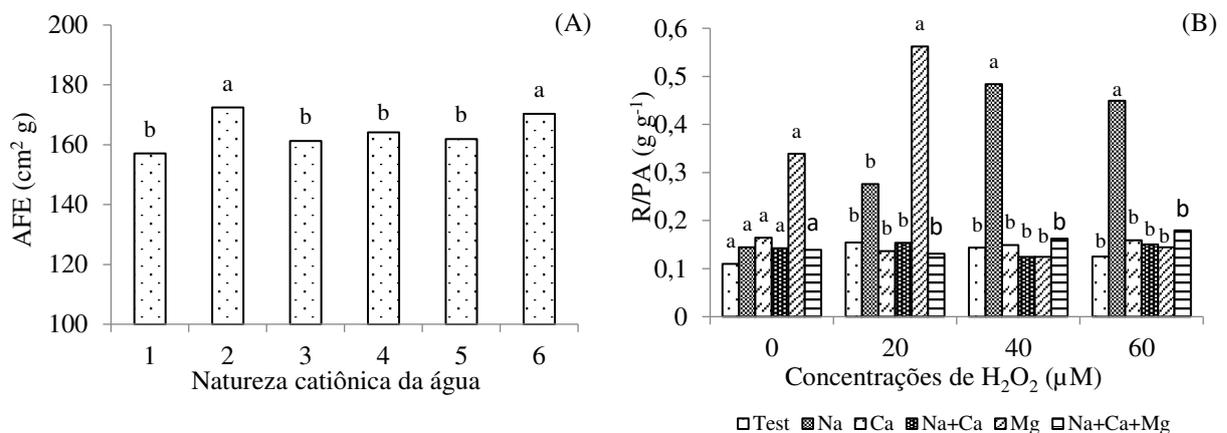
Conforme resumo da análise de variância (Tabela 3), verifica-se efeito significativo da interação entre os fatores (NCA x H₂O₂) para a R/PA, o TAPA, e para o IQD das mudas de maracujazeiro. A natureza catiônica da água afetou significativamente a AFE, a R/PA, o TAPA e o IQD, enquanto as concentrações H₂O₂ promoveram diferença significativa para o IQD do maracujazeiro cv. 'BRS GA1', aos 60 DAS.

Tabela 4. Resumo da análise de variância referente ao teor de água na parte aérea (TAPA) e ao índice de qualidade de Dickson (IQD) do maracujazeiro-azedo ‘BRS GA1’ cultivado com águas de diferentes naturezas catiônicas (NCA) e aplicação exógena de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), aos 60 dias após a semeadura.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios			
		AFE	R/PA ¹	TAPA	IQD
Natureza catiônica da água (NCA)	5	541,43*	0,12**	1014,32**	0,28**
Peróxido de hidrogênio (H_2O_2)	3	152,66 ^{ns}	0,01 ^{ns}	44,17 ^{ns}	0,02*
Regressão linear	1	330,33 ^{ns}	0,00 ^{ns}	4,71 ^{ns}	0,01 ^{ns}
Regressão quadrática	1	60,60 ^{ns}	0,02 ^{ns}	29,64 ^{ns}	0,01 ^{ns}
Interação (NCA x H_2O_2)	15	333,66 ^{ns}	0,05*	22,25*	0,04**
Blocos	3	1541,62**	0,02 ^{ns}	3,66 ^{ns}	0,00 ^{ns}
Resíduo	69	217,22	0,02	12,25	0,00
CV (%)		8,96	19,14	4,52	42,25

GL = grau de liberdade; CV (%) = coeficiente de variação; ** significativo em nível de 0,01 de probabilidade; * significativo em nível de 0,05 de probabilidade; ^{ns} não significativo.

No que diz respeito à AFE (Figura 5A) é possível observar superioridade nas plantas que foram cultivadas com águas constituídas por Na^+ (S_2) e $Na^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+}$ (S_6), cujos valores foram 172,4 e 170,3 cm^2/g , respectivamente. A AFE é um indicador de espessura foliar e desempenha um papel fundamental na representação das compensações entre o acúmulo de recursos e as restrições impostas pela estrutura foliar (NANDY *et al.* 2007). À medida que o estresse reduz o conteúdo de água na planta, suas células contraem-se e a pressão de turgor contra as paredes celulares diminui, o que torna a membrana plasmática mais espessa e comprimida, cobrindo uma área menor que a anterior (BEZERRA *et al.*, 2016).



S_1 – Testemunha; S_2 - Na^+ ; S_3 - Ca^{2+} ; S_4 - $Na^+ + Ca^{2+}$; S_5 - Mg^{2+} e S_6 - $Na^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+}$; Médias seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste Scott.

Figura 5. Área foliar específica – AFE (A) e R/PA (B) de plantas de maracujazeiro cv. 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.

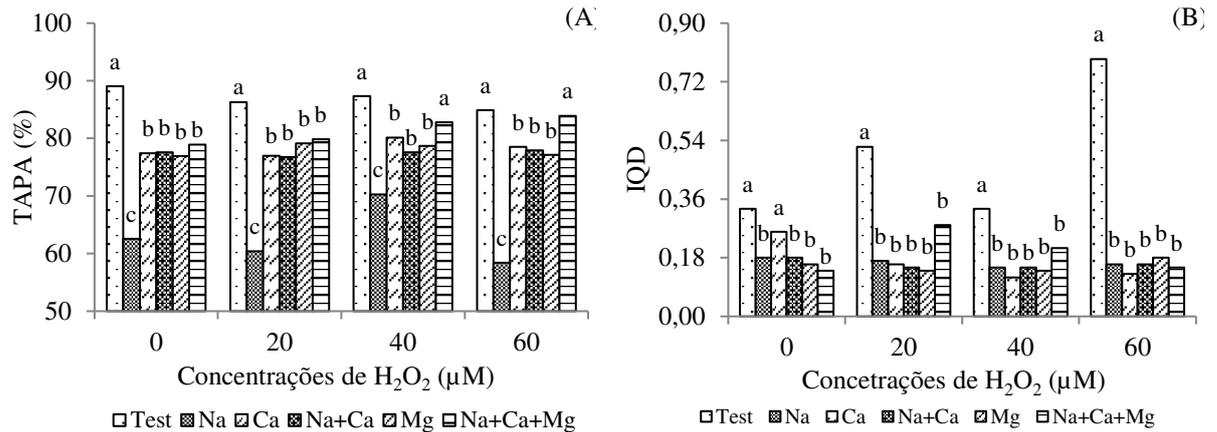
Conforme ilustra a figura 5B, verifica-se que a ausência de aplicação exógena de peróxido de hidrogênio (0 μM) não influenciou de forma significativa a R/PA das plantas de maracujazeiro, independentemente da natureza catiônica da água. Sob aplicação exógena de 20 μM de H_2O_2 , a relação raiz/parte aérea foi mais afetada quando as plantas foram irrigadas com água constituída de Mg^{2+} (S_5). Já nas concentrações mais altas de H_2O_2 (40 e 60 μM), as plantas que foram submetidas à irrigação com águas de composição sódica (S_2) obtiveram os maiores valores (0,48; e 0,44 g g^{-1} , respectivamente).

De acordo com Cavalcante *et al.* (2009), o crescimento e o comportamento da parte aérea estão diretamente relacionados com o crescimento e o comportamento das raízes, refletindo na razão raiz/parte aérea. Dessa forma, atribui-se que as concentrações mais altas de peróxido associadas ao elevado teor de Na^+ (S_2) aumentaram a sensibilidade da parte aérea do maracujazeiro em relação ao sistema radicular, o que reflete um importante mecanismo para a otimização do processo de absorção de água e nutrientes pelas raízes. Essa situação evidencia que a condição de estresse provocada pelo elevado teor de Na^+ determinou uma competição pela distribuição de assimilados entre as duas partes e que as concentrações 40 e 60 μM de H_2O_2 foram mais eficazes como atenuantes do estresse salino.

Geralmente, os íons de Na^+ e Cl^- são os principais causadores do estresse iônico sobre o crescimento das plantas, tal como averiguado por Araújo *et al.* (2013), que, ao analisar o crescimento em altura de plantas de maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) sob diferentes níveis de estresse condicionado por NaCl (0,3; 1,2; 2,1 e 3,2 dS m^{-1}), observaram uma redução de 28,42% do nível de menor CEa (0,3 dS m^{-1}) para o nível de maior CEa (3,2 dS m^{-1}).

No que se refere ao TAPA, percebe-se, dentre as composições de água, um maior teor de água da parte aérea nas plantas irrigadas com água de baixa salinidade, independente das concentrações de H_2O_2 (Figura 6A). Do mesmo modo, verifica-se que em todas as concentrações de H_2O_2 (0, 20, 40 e 60 μM), as plantas irrigadas com água de constituição sódica (S_2) apresentaram os menores valores (62,53; 60,37; 70,26; e 58,38 %, respectivamente). A partir desses resultados, pode-se inferir que o uso de água sódica ocasiona maior efeito deletério sobre TAPA, independente da concentração de H_2O_2 utilizada, enquanto as concentrações de 40 e 60 μM de H_2O_2 foram capazes de reverter os efeitos do estresse salino causado pela

irrigação com águas constituídas de $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ (S_6). Em condições de elevada salinidade, especialmente onde os íons de Na^+ prevalecem, ocorre uma redução na disponibilidade de água devido ao efeito osmótico decorrente do estresse salino, que impossibilita o deslocamento de água do local de maior potencial osmótico para o menor (BARROS *et al.*, 2010).



Médias seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste Scott.

Figura 6. Teor de água na parte aérea – TAPA (A) e índice de qualidade de Dickson – IQD (B) de plantas de maracujazeiro-azedo ‘BRS GA1’ em função de diferentes naturezas catiônicas da água e concentrações de peróxido de hidrogênio, aos 60 dias após a semeadura.

Para IQD das plantas de maracujazeiro cv. BRS GA1 (Figura 6B), verifica-se que, em todas as concentrações de peróxido de hidrogênio (0 μM, 20 μM, 40 μM e 60 μM), as plantas irrigadas com água de menor nível salino (Test) obtiveram os maiores valores (0,33; 0,52; 0,33 e 0,79, respectivamente). De acordo com Eloy *et al.* (2013), o índice de qualidade de Dickson é apontado como um excelente indicador da qualidade de mudas, considerando vários parâmetros morfológicos importantes, como a robustez e o equilíbrio da distribuição de fitomassa, uma vez que apenas mudas com IQD superior a 0,2 são consideradas de boa qualidade. Neste sentido, é possível inferir que o peróxido de hidrogênio promoveu mudas com potencial para transplante em campo em todos os tratamentos de baixa salinidade (Test), especialmente na concentração de 60 μM, onde o IQD foi expressivamente superior aos demais (0,79).

No que diz respeito às plantas irrigadas com diferentes composições catiônicas e com elevado nível de salinidade (CEa 3,6 dS m⁻¹), verifica-se que a concentração de 0 μM de H₂O₂, ou seja, a ausência de H₂O₂, promoveu o maior IQD das plantas irrigadas com água de composição cálcica (0,26), em comparação às demais concentrações. As concentrações de 20 e

40 μM de H_2O_2 não resultaram em diferenças significativas para as águas com diferentes naturezas catiônicas, no entanto, foram capazes de elevar o IQD das plantas irrigadas com água constituída de $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ (S_6) a níveis suficientemente altos (0,28 e 0,21, respectivamente) para que sejam consideradas mudas de boa qualidade, uma vez que obtiveram valores superiores a 0,2. Já na concentração de 60 μM de H_2O_2 , apenas as plantas irrigadas com o tratamento testemunha (S_1) apresentaram IQD satisfatório (0,79), valor expressivamente superior aos demais tratamentos controle em todas as concentrações de H_2O_2 estudadas.

Destaca-se, que o aumento das concentrações de H_2O_2 associado às diferentes composições catiônicas da água de irrigação interferiu de forma negativa no IQD das plantas de maracujazeiro cv. BRS GA1, evidenciando que, apesar do incremento na área foliar, o peróxido de hidrogênio não foi capaz de minimizar os efeitos do estresse salino nesta variável. Corroborando com os resultados do presente estudo, Diniz *et al.* (2020), ao analisarem a qualidade de mudas maracujazeiro amarelo cv. BRS GA1 irrigadas com águas de diferentes níveis de CEa (0,3; 1,0; 1,7; 2,4 e 3,1 dS m^{-1}) preparadas com NaCl, observaram que o nível de maior estresse (3,1 dS m^{-1}) reduziu o IQD das plantas em 26,54% com relação àquelas irrigadas com água de menor salinidade (0,3 dS m^{-1}).

4 CONCLUSÕES

O uso de água de composição sódica ocasiona efeitos deletérios sobre o crescimento e relações hídricas do maracujazeiro cv. BRS GA1'.

As concentrações de 40 e 60 μM de H_2O_2 promovem aumento na sensibilidade da parte aérea do maracujazeiro em relação ao sistema radicular, destacando-se como mecanismo de aclimação ao estresse salino.

É possível formar mudas de maracujazeiro cv. BRS GA1 com qualidade aceitável para o campo sob salinidade da água de 3,6 na composição catiônica de $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ e aplicação exógena de H_2O_2 nas concentrações de 20 e 40 μM .

As concentrações de 20 e 40 μM de H_2O_2 elevam o índice de qualidade de Dickson das plantas de maracujazeiro-azedo 'BRS GA1' irrigadas com água constituída de $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, sendo consideradas aceitáveis para o transplântio em campo.

5 REFERÊNCIAS

ALAGHMAND, S. *et al.* Quantifying the impacts of artificial flooding as a salt interception measure on a river-floodplain interaction in a semi-arid saline floodplain. **Environmental modelling & software**, v. 79, s/n., p. 167-183, 2016.

ANDRADE, E. M. G. *et al.* Gas exchanges and growth of passion fruit under saline water irrigation and H₂O₂ application. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 12, p. 945-951, 2019.

ANDRADE, J. R. *et al.* Germination and morphophysiology of passion fruit seedlings under salt water irrigation. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 48, n. 3, p. 229-236, 2018.

ARAÚJO, W. L. *et al.* Produção de mudas de maracujazeiro-amarelo irrigadas com água salina. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 9, n. 4, p. 15-19, 2013.

ARIF, M. R. *et al.* Salinity stress alters root morphology and root hair traits in *Brassica napus*. **Plants**, v. 8, n. 7, p. 192, 2019.

AZEVEDO NETO, A. D.; TABOSA, J. N. Estresse salino em plântulas de milho: parte I análise do crescimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 2, p. 159-164, 2000.

BARROS, H. M. M. *et al.* Influência da salinidade da água no crescimento de seis genótipos de helicônias. **Ornamental Horticulture**, v. 16, n. 2, p. 139-145, 2010.

BEZERRA, J. D. *et al.* Crescimento de dois genótipos de maracujazeiro-amarelo sob condições de salinidade. **Revista Ceres**, v. 63, n. 4, p. 502-508, 2016.

BEZERRA, M. A. F. *et al.* Calcium as salinity mitigator on the production components of passion fruit cultivated in protected pits. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 2, p. 500-508, 2020.

BRAY, E. A. *et al.* Responses to abiotic stresses. In: BUCHANAN, B. B. *et al.* (Eds). **Biochemistry and molecular biology of plants**. Rockville, MD: American Society of Plant Biologists, 2000. p. 149-158.

CAVALCANTE, L. F. *et al.* Clorofila e carotenoides em maracujazeiro-amarelo irrigado com águas salinas no solo com biofertilizante bovino. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, suplemento 1, p.699-705, 2011.

CAVALCANTE, L. F. *et al.* Crescimento de mudas de maracujazeiro amarelo em solo salino com esterco bovino líquido fermentado. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 4, n. 4, p. 414-420, 2009.

COSTA *et al.* Crescimento inicial do maracujazeiro amarelo sob diferentes tipos e níveis de salinidade da água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 4, p. 242-247, 2005.

DAS, K.; ROYCHOUDHURY, A. Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants. **Frontiers in Environmental Science**, v. 2, n. 53, p. 1-13, 2014.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **The Forest Chronicle**, v. 36, n. 1, p. 10-13, 1960.

DINIZ, G. L. *et al.* Phytomass and quality of yellow passion fruit seedlings under salt stress and silicon fertilization. **Comunicata Scientiae**, v. 11, s/n., p. e3400-e3400, 2020.

DINIZ, G. L. *et al.* Produção de mudas de mamoeiro sob salinidade da água irrigação e adubação fosfatada. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 1, p. 231-240, 2018.

ELOY, E. *et al.* Avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis* utilizando parâmetros morfológicos. **Floresta**, v. 43, n. 3, p. 373-384, 2013.

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.

GOHARI, G. *et al.* Interaction between hydrogen peroxide and sodium nitroprusside following chemical priming of *Ocimum basilicum* L. against salt stress. **Physiologia Plantarum**, v. 168, n. 2, p. 361-373, 2020.

HUSSAIN, Y. *et al.* Groundwater quality evaluation by electrical resistivity method for optimized tubewell site selection in an ago-stressed Thal Doab Aquifer in Pakistan. **Modeling Earth Systems and Environment**, v. 3, n. 1, p. 15, 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção agrícola municipal: Lavouras permanentes**. 2019. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613>>. Acesso em: 27 de outubro de 2020.

KHALID, K. A.; SILVA, J. A. T. Yield, essential oil and pigment content of *Calendula officinalis* L. flower heads cultivated under salt stress conditions. **Scientia horticulturae**, v. 126, n. 2, p. 297-305, 2010.

LI, J. T. Exogenous hydrogen peroxide can enhance tolerance of wheat seedlings to salt stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, Heidelberg, v. 33, n. 3, p. 835-842, 2011.

LI, Y. *et al.* Improving water-use efficiency by decreasing stomatal conductance and transpiration rate to maintain higher ear photosynthetic rate in drought-resistant wheat. **The Crop Journal**, v. 5, n. 3, p. 231-239, 2017.

LIMA, G. S. *et al.* 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.

LIMA, G. S. *et al.* Water relations and gas exchange in castor bean irrigated with saline water of distinct cationic nature. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 13, p. 1581-1594, 2015.

LIMA, L. K. S. *et al.* Growth, physiological, anatomical and nutritional responses of two phenotypically distinct passion fruit species (*Passiflora* L.) and their hybrid under saline conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 263, s/n., p. 1-15, 2020.

MARTINS, J. B. *et al.* Water relations in parsley plants cultivated in brackish nutrient solutions of different cationic natures. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 9, p. 662-668, 2019.

MOURA, R. S. *et al.* Tolerance of passion fruit species under salt stress. **International Journal of Current Research**, v. 8, n. 9, p. 37689-37695, 2016.

NANDY, P. *et al.* Effects of salinity on photosynthesis, leaf anatomy, ion accumulation and photosynthetic nitrogen use efficiency in five Indian mangroves. **Wetlands Ecology and Management**, v. 15, n. 4, p. 347-357, 2007.

NOBRE, R. G. *et al.* Crescimento, consumo e eficiência do uso da água pela mamoneira sob estresse salino e nitrogênio. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 2, p. 148-158, 2014.

NOVAIS, R. F., NEVES, J. C. L., BARROS, N. F. **Ensaio em ambiente controlado**. In: OLIVEIRA, A. J. (ed.) Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. Brasília: Embrapa - SEA, 1991. Cap. 12, p. 189-253.

PARIDA, A. K.; DAS, A. B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 60, n. 3, p. 324-349, 2005.

PARIHAR, P. *et al.* Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 6, p. 4056-4075, 2015.

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.

SÁ, F. V. S. *et al.* Correção de solo salino-sódico com condicionadores e doses de fósforo para cultivo do sorgo sacarino. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 5, p. 2854-2865, 2018.

SÁ, F. V. S. *et al.* Produção de mudas de mamoeiro irrigadas com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 10, p. 1047-1054, 2013.

SÁ, F. V. S. *et al.* Tolerance of peanut (*Arachis hypogea*) genotypes to salt stress in the initial phase. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 1, p. 37-43, 2020.

SANTOS, A. S. *et al.* 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, Andreas *et al.* Chemical priming of plants against multiple abiotic stresses: mission possible? **Trends in plant science**, v. 21, n. 4, p. 329-340, 2016.

SILVA, J. N. *et al.* Desenvolvimento inicial de mudas de *Helichrysum bracteatum* submetidas a diferentes substratos. **Meio Ambiente (Brasil)**, Recife, v. 1, n. 3, p. 9-15, 2020.

SILVA, A. A. R. *et al.* Gas exchanges and growth of passion fruit seedlings under salt stress and hydrogen peroxide. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 49, e55671, p. 1-10, 2019.

SILVA, J. J. L. *et al.* 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.

SOUSA JÚNIOR, J. R. *et al.* Growth and production of sunflower as a function of cationic nature of the water and nitrogen. **Bioscience Journal**, v. 33, n. 3, p. 581-591, 2017.

SOUSA, G. G. *et al.* Nutrição mineral e extração de nutrientes de planta de milho irrigada com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 11, p. 1143-1151, 2010.

SOUZA, T. M. A. *et al.* Calcium silicate as salt stress attenuator in seedlings of yellow passion fruit cv. BRS GA1. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 2, p. 509-517, 2020.

TEIXEIRA, P. C. *et al.* **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017.