



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO PROF^a CINOBELINA ELVAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS



FRANCISCO DOS SANTOS FARIAS

**CRESCIMENTO E ACÚMULO DE SOLUTOS ORGÂNICOS EM
GENÓTIPOS DE CAJUEIRO ANÃO-PRECOCE SUBMETIDOS AO
ESTRESSE SALINO**

Bom Jesus - PI
2019

FRANCISCO DOS SANTOS FARIAS

**CRESCIMENTO E ACÚMULO DE SOLUTOS ORGÂNICOS EM GENÓTIPOS DE
CAJUEIRO ANÃO-PRECOCE SUBMETIDOS AO ESTRESSE SALINO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Piauí, Campus Prof^a Cinobelina Elvas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Daniela Vieira Chaves

Coorientador a: Prof^a. Dr^a. Aurenívia Bonifácio

Bom Jesus - PI

2019

ESPAÇO PARA A FICHA CATALOGRÁFICA

FRANCISCO DOS SANTOS FARIAS

**CRESCIMENTO E ACÚMULO DE SOLUTOS ORGÂNICOS EM GENÓTIPOS DE
CAJUEIRO ANÃO-PRECOCE SUBMETIDOS AO ESTRESSE SALINO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Piauí, Campus Profª Cinobelina Elvas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias.

Área de Concentração: Produção vegetal

Aprovada em: 12/08/2019

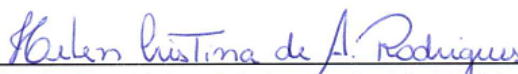
BANCA EXAMINADORA



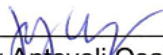
Profa. Dra. Daniela Vieira Chaves (Orientadora)
Universidade Federal do Piauí – UFPI



Profa. Dra. Aurenívia Bonifácio (Coorientadora)
Universidade Federal do Piauí – UFPI



Profa. Dra. Helen Cristina de Arruda Rodrigues
Universidade Estadual do Piauí – UESPI



Prof. Dr. Josy Antevelli Osajima Furtini
Universidade Federal do Piauí – UFPI

Bom Jesus - PI
2019

Alguns nascem sob estrelas de sorte;
Outros sobres estrelas de azar.
Mas eu só posso dizer que eu farei o possível,
Sejam quais forem as minhas estrelas.
(Seiya-Cavaleiros dos Zodíacos)

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, por me terem dado educação, valores e por acreditarem em mim, mesmo diante de muitos intemperes e até mesmo sem saberem o que realmente é um mestrado. A vocês que, muitas vezes, renunciaram aos seus sonhos para que eu pudesse realizar o meu, partilho a alegria deste momento.

A todos os meus familiares, irmãs e irmãos. Não citarei nomes, para não me esquecer de ninguém. Mas há aquelas pessoas especiais que diretamente me incentivaram. A minha namorada Lia Monnielli que sem ela provavelmente não teria conseguido, pois junto com minha mãe, ela foi a pessoa que me deu mais apoio e força para não desistir mesmo longe de casa, a mais de 600 Km minha namorada me dava força e até mesmo apoio financeiro devo boa parte dessa conquista a meu amor e parceira Monnielli e também a minha querida mãe que é meu grande pilar.

A Profa. Dra. Daniela Vieira Chaves, minha orientadora e exemplo profissional, por não ter permitido que eu desistisse, pela confiança e por ter desempenhado no sentido mais profundo a palavra “orientação”.

A Profa. Dra. Aurenívia Bonifácio, minha coorientadora e exemplo profissional, por me permitir fazer parte do melhor grupo de pesquisa da UFPI. Obrigado pela confiança e por ter desempenhado no sentido mais profundo a palavra “orientação”. Você será uma meta de profissional para mim.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias (PPCA) pela oportunidade de realização do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo financiamento da pesquisa “mesmo sem bolsa”.

À Universidade Federal do Piauí (UFPI), em especial ao Centro de Ciências Agrárias (CCA), pela disponibilidade de espaço para realização deste trabalho e ao Centro de Ciências da Natureza-Biologia.

Aos professores e colegas do Curso de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, em especial as minhas amigas de Bom Jesus-PI, Dayane e Fatima, que me deram muito apoio e companheirismo, ao Cleriston Souza que me deu bastante ajuda nas análises de laboratório e ao amigo Vicente Costa Neto que estava sempre lá me tirando dúvidas. Obrigada por tudo.

RESUMO GERAL

O cajueiro é uma das principais culturas perenes produzidas no Nordeste brasileiro, entretanto existem poucos estudos sobre o comportamento fisiológico desta espécie em situações de salinidade. A salinidade é um dos estresses abióticos que mais afeta a produtividade das culturas devido aos seus efeitos negativos no crescimento e desenvolvimento das espécies vegetais. O presente estudo objetivou analisar as respostas fisiológicas e bioquímicas de dois genótipos de cajueiro anão-precoce submetidos ao estresse salino. O experimento foi conduzido em casa de vegetação com delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 2, sendo cinco níveis de salinidade (0, 25, 50, 75 e 100 mmol L⁻¹ de NaCl) e dois genótipos de cajueiro (EMBRAPA51 e CCP76), com cinco repetições e uma planta por parcela experimental. Após a exposição ao estresse salino, as alterações nas variáveis biométricas e biomassa (altura de planta, número de folhas, diâmetro do caule, massa seca da parte aérea e raiz), nos pigmentos fotossintéticos (clorofila *a* e *b*, carotenoides e antocianinas) na concentração de solutos orgânicos e inorgânicos (carboidratos solúveis totais, sacarose, açúcares redutores, amido, aminoácidos livres totais, prolina livre, sódio e potássio), foram avaliadas. Observou-se que não houve efeito significativo da salinidade para as variáveis altura de planta, número de folhas e diâmetro do caule, entretanto a massa seca da parte aérea e das raízes foi significativamente reduzida. Houve redução na concentração de clorofilas (*a* e *b*), amido e aminoácidos livres totais, enquanto que os níveis de carotenoides, antocianinas, carboidratos solúveis totais, açúcares redutores, prolina livre e dos íons sódio e potássio foram incrementados em resposta ao aumento da salinidade. A concentração de sacarose declinou apenas após a exposição das plantas à 50, 75 e 100 mmol L⁻¹ de NaCl. Conclui-se que a salinidade afetou significativamente o crescimento dos genótipos de cajueiro anão-precoce, principalmente na biomassa, e que houve alteração no metabolismo vegetal na busca de reequilibrar o potencial osmótico, sendo os carboidratos solúveis, prolina livre e os íons potássio os maiores contribuintes neste processo. No geral, o genótipo de cajueiro EMBRAPA51 mostrou-se mais tolerante à salinidade.

Palavras-chave: *Anacardium occidentale*, salinidade, osmoprotetores.

ABSTRACT

Cashew trees are one of the main perennial crops produced in northeastern Brazil, however there are few studies on the physiological behavior of this species in salinity situations. Salinity is one of the abiotic stresses that most affects crop productivity due to its negative effects on plant growth and development. This study aimed to analyze the physiological and biochemical responses of two genotypes of dwarf cashew trees submitted to salt stress. The experiment was conducted in a greenhouse with a completely randomized design in a 5 x 2 factorial scheme, with five levels of salinity (0, 25, 50, 75 and 100 mmol L⁻¹ NaCl) and two cashew genotypes (EMBRAPA51 and CCP76), with five replications and one plant per experimental plot. After exposure to saline stress, changes in biometric and biomass variables (plant height, leaf number, stem diameter, shoot and root dry mass) in photosynthetic pigments (chlorophyll a and b, carotenoids and anthocyanins) in the concentration of Organic and inorganic solutes (total soluble carbohydrates, sucrose, reducing sugars, starch, total free amino acids, free proline, sodium and potassium) were evaluated. It was observed that there was no significant effect of salinity for the variables plant height, number of leaves and stem diameter, however the shoot and root dry mass was significantly reduced. The concentration of chlorophylls (a and b), starch and total free amino acids decreased, while the levels of carotenoids, anthocyanins, total soluble carbohydrates, reducing sugars, free proline and sodium and potassium ions were increased in response to increased salinity. Sucrose concentration declined only after plant exposure to 50, 75 and 100 mmol L⁻¹ NaCl. It was concluded that salinity significantly affected the growth of the dwarf cashew tree genotypes, mainly in biomass, and that there was a change in plant metabolism in order to rebalance the osmotic potential, with soluble carbohydrates, free proline and potassium ions being the largest contributors in this process. Overall, the cashew genotype EMBRAPA51 was more tolerant to salinity.

Keywords: *Anacardium occidentale*, salinity, osmoprotectors.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Massa seca da parte aérea (A) e das raízes (B) de plantas cajueiro anão-precoce (EMBRAPA51 e CCP76) submetidos ao estresse salino (0, 25, 50, 75 e 100 mmol L⁻¹ de NaCl). O asterisco (*) indica que houve diferença significativa entre os genótipos no nível de salinidade correspondente (Teste de Tukey; $p < 0,05$).27
- Figura 2.** Pigmentos fotossintéticos nas folhas de cajueiro anão-precoce (EMBRAPA51 e CCP76) submetidos ao estresse salino (0, 25, 50, 75 e 100 mmol L⁻¹ de NaCl). O asterisco (*) indica que houve diferença significativa entre os genótipos no nível de salinidade correspondente (Teste de Tukey; $p < 0,05$).29
- Figura 3.** Carboidratos solúveis totais (A), sacarose (B), açúcares redutores (C) e amido (D) nas folhas de cajueiro anão-precoce (EMBRAPA51 e CCP76) submetidos ao estresse salino (0, 25, 50, 75 e 100 mmol L⁻¹ de NaCl). O asterisco (*) indica que houve diferença significativa entre os genótipos no nível de salinidade correspondente (Teste de Tukey; $p < 0,05$).31
- Figura 4.** Aminoácidos livres totais (A) e prolina livre (B) nas folhas de cajueiro anão-precoce (EMBRAPA51 e CCP76) submetidos ao estresse salino (0, 25, 50, 75 e 100 mmol L⁻¹ de NaCl). O asterisco (*) indica que houve diferença significativa entre os genótipos no nível de salinidade correspondente (Teste de Tukey; $p < 0,05$).32
- Figura 5.** Concentração de sódio (A) e potássio (B) nas folhas de cajueiro anão-precoce (EMBRAPA51 e CCP76) submetidos ao estresse salino (0, 25, 50, 75 e 100 mmol L⁻¹ de NaCl). O asterisco (*) indica que houve diferença significativa entre os genótipos no nível de salinidade correspondente (Teste de Tukey; $p < 0,05$).33

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Análise de variância (quadrado médio) das variáveis analisadas após a exposição dos genótipos de cajueiro anão-precoce à salinidade.....26
- Tabela 2** – Variáveis biométricas de genótipos de cajueiro anão-precoce submetidos ou não ao estresse salino (0, 25, 50, 75 e 100 mmol L⁻¹ de NaCl).....27

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	11
CAPÍTULO 1	12
1. REVISÃO DE LITERATURA.....	12
1.1 A cultura do cajueiro.....	12
1.2 Aspectos gerais da salinidade.....	13
1.3 Respostas das plantas à salinidade	14
REFERÊNCIAS.....	15
CAPÍTULO 2	19
CRESCIMENTO E SOLUTOS ORGÂNICOS EM GENÓTIPOS DE CAJUEIRO ANÃO-PRECOCE SUBMETIDOS AO ESTRESSE SALINO	19
1. INTRODUÇÃO.....	21
2. MATERIAIS E MÉTODOS	22
2.1 Procedimento experimental e análise estatística.....	22
2.2 Análises bioquímicas.....	23
3. RESULTADOS.....	25
3.1 Respostas de crescimento	26
3.2 Pigmentos fotossintéticos.....	28
3.3 Solutos orgânicos e inorgânicos.....	30
4. DISCUSSÃO.....	34
5. CONCLUSÃO	37
REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	37

INTRODUÇÃO GERAL

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) é uma espécie pertencente à família botânica Anacardiaceae, sendo uma das principais culturas perenes produzidas no Nordeste brasileiro (Bezerra et al., 2007). Essa cultura pode ser encontrada em todo território intertropical e a maior diversidade está nos ecossistemas do Nordeste brasileiro, principalmente ao longo da zona costeira (Barros et al., 2002). Na região Nordeste, a área de cultivo destinada ao cajueiro é de aproximadamente 700 mil hectares (Paiva et al., 2009), sendo seu cultivo direcionado, principalmente, para produção de castanha que é o subproduto mais comercializado no mercado internacional (Bezerra et al., 2007). Segundo os dados da FAO (2015), a produção mundial de castanha-de-caju foi de 4,40 e 4,15 milhões de toneladas nas safras de 2011 e 2012, respectivamente.

Devido a sua importância socioeconômica, o cajueiro se tornou uma considerável fonte de renda para o Nordeste brasileiro, em especial para os estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, todos situados no semiárido brasileiro (Serrano et al., 2013). As áreas semiáridas do Nordeste brasileiro apresentam escassez de água e, portanto, o uso da irrigação nos cultivos agrícolas torna-se inevitável. Entretanto, o uso de águas de irrigação de baixa qualidade aliado com o manejo incorreto do solo pode resultar na salinização dos solos. A salinização dos solos é, portanto, resultado do acúmulo excessivo de íons na solução do solo, principalmente os íons sódio (Na^+) e cloreto (Cl^-), os quais provocam redução na absorção de água, alterações na absorção e utilização de nutrientes essenciais, acúmulo de íons tóxicos e, conseqüentemente, distúrbios no metabolismo vegetal.

A salinidade dos solos pode ocasionar perdas significativas na produtividade das culturas em todo o mundo (Munns & Gilliam, 2015). As respostas das plantas à salinidade são complexas e de difícil compreensão uma vez que envolvem vários genes e diversos mecanismos fisiológicos e bioquímicos (Michodjehoun-Mestres et al., 2009). Além disso, as espécies vegetais podem se comportar de forma variada em relação aos limites de tolerância à salinidade e podem existir variações na resposta à salinidade entre os genótipos de uma mesma espécie ou ainda nas diferentes fases de desenvolvimento do ciclo de vida da planta. Considerando a importância socioeconômica do cajueiro no Semiárido nordestino e a escassez de estudos sobre a fisiologia desta planta em condições adversas, o presente estudo

objetivou analisar as respostas fisiológicas e bioquímicas de dois genótipos de cajueiro anão-precoce submetidos ao estresse salino.

CAPÍTULO 1

1. REVISÃO DE LITERATURA

1.1 A cultura do cajueiro

O Brasil é considerado centro de diversidade do cajueiro uma vez que, desde a chegada dos colonizadores europeus, esta espécie vegetal era amplamente disseminada no litoral nordestino e, portanto, fazia parte da vegetação de praias, dunas e restingas (Barros et al., 2002). Tem sido relatado na literatura a existência de dois tipos (variedades) de cajueiro que se diferenciam devido ao seu porte: o cajueiro comum ou gigante (*Anacardium occidentale* L.) e o cajueiro anão-precoce (*Anacardium occidentale* L. var. *nanum*) (Paiva et al., 2009). O cajueiro anão-precoce vem substituindo o cajueiro comum devido a facilidade de cultivo e colheita e também pela sua maior produtividade. Além disso, o cajueiro anão-precoce apresenta maior uniformidade da castanha (fruto), do pedúnculo (pseudofruto) e da produção e isto, portanto, permite uma exploração comercial mais rentável.

O cajueiro é uma planta com considerável capacidade adaptativa a solos de baixa fertilidade bem como a temperaturas elevadas e ao estresse hídrico. Devido a sua rusticidade, o cajueiro é uma importante fonte de renda para os agricultores de regiões semiáridas sendo responsável pela criação de empregos em todo o mundo (Serrano et al., 2013). Esta espécie vegetal oferece a goma, o pedúnculo e a castanha como produtos primários de importância comercial. A goma é obtida do exsudado da casca ou do caule do cajueiro e pode ser utilizada na indústria farmacêutica e alimentícia (Araújo et al. 2018). O pedúnculo, pseudofruto de consistência carnosa, é utilizado na produção de sucos, cajuína, ração animal ou ainda pode ser consumido como fruto de mesa. Já a castanha pode ser consumida *in natura* na alimentação humana ou utilizada na extração do líquido da castanha-de-caju (Vidal, 2016).

Durante muito tempo a exploração do cajueiro foi realizada de forma extrativista com plantio desorganizado e manejo incorreto nas propriedades agrícolas. Devido a isto e também a estiagem prolongada, a cajucultura trouxe grandes prejuízos para pequenos e grandes produtores. Segundo Carvalho et al.

(2017), houve redução de 55% e 73% na safra de castanha-de-caju no Piauí e no Ceará, respectivamente, nos anos de 2011 a 2016. A baixa produção do cajueiro refletiu diretamente nas indústrias de beneficiamento de castanha-de-caju, as quais se viram obrigadas, por falta de matéria-prima, a paralisar as atividades reduzindo de modo significativo as exportações da castanha-de-caju e do líquido da castanha-de-caju. Nesse contexto, torna-se necessário um adequado manejo técnico bem como a correta escolha do genótipo a ser cultivado nas regiões semiáridas do Brasil e do mundo.

Mesmo com a boa adaptação do cajueiro ao nordeste brasileiro, especialmente na região Semiárida, observa-se que há barreiras na quantidade e qualidade dos recursos hídricos, principalmente no tocante à presença de sais (Sá et al., 2015). Na busca de cultivar o cajueiro em regiões semiáridas, os genótipos desta cultura que foram lançados pela Embrapa mostram-se como as melhores opções, uma vez que apresentam boa tolerância a escassez hídrica e também são responsivos a solos pouco férteis. Atualmente, os genótipos mais indicados para a região Nordeste são CCP76 e EMBRAPA51, pois possuem grande resistência a estiagem. Entretanto, os estudos acerca das respostas fisiológicas destes genótipos em condições de salinidade são escassos.

1.2 Aspectos gerais da salinidade

Uma grande parcela dos solos do Nordeste brasileiro, em especial aqueles localizados em regiões Semiáridas e na faixa litorânea, apresentam uma forte tendência a serem afetados por excesso de sais solúveis na solução do solo. O acúmulo de sais afeta as propriedades físicas e químicas dos solos e pode resultar de processos pedogenéticos específicos ou da ação antrópica (Munns & Gilliam, 2015). A salinização dos solos devido à ação antrópica é decorrente do manejo inadequado e, principalmente, da água nas práticas agrícolas (Jiang et al., 2012; Torres et al., 2014). No geral, a água utilizada na irrigação é de origem superficial ou subterrânea, entretanto águas salobras de origem subterrânea com concentração elevada de sais podem ser utilizadas (Neves et al., 2009; Almeida et al., 2010; Silva et al., 2011; Jiang et al., 2012).

Em regiões áridas e semiáridas, existem uma irregularidade natural na distribuição de chuvas combinada com elevadas taxas de evapotranspiração (Carneiro et al., 2012). Diante deste cenário, é comum que a irrigação seja utilizada

para viabilizar o cultivo de espécies vegetais de importância agrônômica nestes ambientes (Almeida et al., 2010). Nos solos de regiões semiáridas que não apresentam problemas de salinidade, os íons de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) são os principais cátions presentes na solução do solo. A irrigação destes solos com águas de baixa qualidade (águas salobras), somada a elevada evapotranspiração que ocorre neste ambiente, resulta no acúmulo de outros sais solúveis e, com frequência, o sódio (Na^+) passa a ser o cátion predominante (Silva et al., 2011; Lima et al., 2018).

A salinização do solo provocada pelo uso de águas salobras, classificadas como inadequadas, na irrigação pode comprometer o crescimento e a produtividade de sistemas agrícolas, entretanto existem evidências de que a água salobra pode ser utilizada na irrigação de algumas culturas (Torres et al., 2014). Assim, torna-se importante a condução de estudos com uso de águas salobras visando ampliar os conhecimentos acerca das respostas vegetais, uma vez que a tolerância à salinidade é variável entre as espécies vegetais, dentro de uma mesma espécie e entre diferentes estádios de desenvolvimento da planta. A tolerância à salinidade nas espécies vegetais é controlada por mais de um gene e altamente influenciada por fatores ambientais (Brito et al., 2014).

1.3 Respostas das plantas à salinidade

A salinidade dos solos pode ocasionar perdas significativas na produtividade das culturas em todo o mundo uma vez que limita o crescimento das culturas (Carneiro et al., 2012; Munns & Gilliam, 2015). De modo geral, a salinidade pode provocar alterações no potencial hídrico em decorrência das alterações no seu potencial osmótico, desequilíbrio nutricional e toxicidade iônica específica tendo em vista o acúmulo excessivo de íons Na^+ e cloreto (Cl^-) no tecido vegetal (Alves et al., 2013) e, conseqüentemente, redução no crescimento e desenvolvimento das plantas (Lima et al., 2018; Souza et al., 2018). Estes íons provocam deficiência nutricional de Ca^{2+} , Mg^{2+} , potássio (K^+) e nitrato (NO_3^-), causando alterações nas razões K^+/Na^+ , $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ e $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ nos tecidos vegetais, o que compromete a homeostase iônica nas células (Munns & Tester, 2008; Kaur & Asthir, 2015; Munns & Gilliam, 2015).

A tolerância a salinidade, na maioria das plantas, resulta das modificações nos parâmetros morfológicos, anatômicos e fisiológicos das folhas, os quais são

muito sensíveis às mudanças ambientais (Munns & Tester, 2008; Edziri et al., 2018). Os efeitos da salinidade sobre o metabolismo vegetal são complexos e atingem processos metabólicos associados, principalmente, a capacidade de assimilação e alocação de carbono, levando a redução no crescimento inicial (Alves et al., 2013; Nascimento et al., 2015; Pereira Junior et al., 2018). Os efeitos negativos do estresse salino podem ser notados inclusive nas espécies frutíferas, tais como no mamoeiro (Mesquita et al., 2018) e maracujazeiro amarelo (Medeiros et al., 2016). Segundo Karimi et al. (2018), as plantas cultivadas em condições de estresse salino induzem o ajustamento osmótico na busca de evitar danos estruturais resultantes das alterações no potencial osmótico celular.

O ajustamento osmótico é um mecanismo acionado pelas plantas em situações estressantes, principalmente quando estas estão submetidas aos estresses salino e hídrico. Este mecanismo é resultante da absorção de íons inorgânicos (p.ex. Ca^{2+} e K^+) e da síntese e acúmulo de solutos orgânicos compatíveis ou osmoprotetores (Morais et al., 2008). Os íons inorgânicos são compartimentalizados no vacúolo, enquanto que os solutos orgânicos são mantidos no citoplasma para balancear o potencial osmótico vacuolar (Azevedo Neto et al., 2004; Munns & Tester, 2008; Munns & Gilliam, 2015). Entre os solutos orgânicos, os aminoácidos, com destaque para a prolina, compostos quaternários de amônio, carboidratos solúveis e poliálcoois são mais comumente acumulados. O acúmulo de aminoácidos e carboidratos solúveis tem sido estudado intensamente em plantas em condições de estresse salino, pois estes apresentam maior contribuição para o potencial osmótico (Munns & Gilliam, 2015).

REFERÊNCIAS

- Almeida AO. *Qualidade da água de irrigação*. 1 ed. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010.
- Alves FA, Ponte LFA, Silva SLF, Maias JM, Silveira JAG. Germinação e estabelecimento de plântulas de cajueiro anão precoce (*Anacardium occidentale* L.) em função da salinidade. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 8:197-204, 2013.
- Araújo S, Sousa IJO, Gonçalves RLG, França ARS, Negreiros PS, Brito AKS, Oliveira AP, Lima EBS. Aplicações farmacológicas e tecnológicas da goma do cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) – um produto obtido da flora brasileira. *Revista Geintec*, 8(1):4292-4305, 2018.

- Azevedo Neto AD, Prisco JT, Enéas Filho J, Lacerda CF, Silva JV, Costa PHA, Gomes Filho E. Effects of salt stress on plant growth, stomatal response and solute accumulation of different maize genotypes. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 16:31-38, 2004.
- Barros LM, Paiva JR, Crisóstomo JR, Cavalcante JJV. Botânica, origem e distribuição geográfica. In: Barros LM. (Ed) *Caju: Aspectos técnicos*. 1 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. (Frutas do Brasil, 30), v. 1, p. 18-20 2002.
- Bezerra M, Lacerda CF, Gomes Filho E, Abreu CEB, Prisco JT. Physiology of cashew plants grown under adverse conditions. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19: 449-461, 2007.
- Brito MEB, Fernandes PD, Gheyi HR, Melo AS, Filho WSS, Santos RT. Sensibilidade à salinidade de híbridos trifoliados e outros porta-enxertos de citros. *Revista Caatinga*, 27:17-27, 2014
- Carneiro PT, Fernandes PD, Gueyi HR, Soares FAL, Santos MAL, Feitoza LATF. Evapotranspiração do cajueiro anão precoce sob estresse salino em diferentes fases fenológicas. *Irriga*, 2:351-367, 2012.
- Carvalho C, Kist BB, Santos CE. *Anuário Brasileiro da Fruticultura*. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2017.
- Edziri H, Jaziri F, Aissaoui L, Verschaeve G, Flamini H, Laameri B, Chihaoui Z, Mahjoub H, Sfina A. Impact of water deficit on physiological parameters, bioactive content and antioxidant activity of three olive cultivars. *South African Journal of Botany*, 118:268-273, 2018.
- FAO. *Faostat*. Disponível em: <http://faostat.fao.org>. Acesso em: 16 maio, 2015.
- Jiang J, Huo Z, Feng S, Zhang C. Effect of irrigation amount and water salinity on water consumption and water productivity of spring wheat in Northwest China. *Field Crops Research*, 137:78-88, 2012.
- Karimi S, Karimi H, Mokhtassi A, Tavallali V, Vahdatl K. Inducing drought tolerance in greenhouse grown *Juglans regia* by imposing controlled salt stress: The role of osmotic adjustment. *Scientia Horticulturae*, 239:181-192, 2018.
- Kaur G, Asthir B. Proline: a key player in plant abiotic stress tolerance. *Biologia Plantarum*, 59(4):609-619, 2015.
- Lima GS, Dias AS, Souza LP, Sá FVS, Gheyi HR, Soares LAA. Effects of saline water and potassium fertilization on photosynthetic pigments, growth and production of West Indian Cherry. *Revista Ambiente & Água*, 13:351-359, 2018.
- Medeiros SAS, Cavalcante LF, Bezerra MAF, Nascimento JAM, Bezerra FTC, Prazeres SS. Água salina e biofertilizante de esterco bovino na formação e qualidade de mudas de maracujazeiro Amarelo. *Irriga*, 21:779-795, 2016.

- Michodjehoun-Mestres L, Souquet J, Fulcrand H, Bouchut C. Monomeric phenols of cashew apple (*Anacardium occidentale* L.). *Food Chemistry*, 112:851-857, 2009.
- Morais L, Almeida R, Figueiredo R. Contribuição de solutos inorgânicos no ajustamento osmótico de pinhão-manso submetido à salinidade. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44: 437-445, 2008.
- Munns R, Tester M. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59: 651-681. 2008
- Munns R, Gilliam M. Salinity tolerance of crops – what is the cost? *New Phytologist*, 208:668-673, 2015.
- Nascimento IB, Medeiros JF, Alves SSV, Lima BLC, Silva JLA. Desenvolvimento inicial da cultura do pimentão influenciado pela salinidade da água de irrigação em dois tipos de solos. *Agropecuária Científica no Semi-Árido*, 11:37-43, 2015.
- Neves ALR, Lacerda CF, Guimarães FVA, Hernandez FFF, Silva FB, Prisco JT, Gheyi HR. Acumulação de biomassa e extração de nutrientes por plantas de feijão-de-corda irrigado com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. *Ciência Rural*, 39:758-765, 2009.
- Paiva JR, Barros LM, Cavalcanti JJV. Cashew (*Anacardium occidentale* L.) Breeding: a global perspective. In: Jain SM, Priyadarshan PM. (Ed.). *Breeding Plantation Tree Crops*. Pp. 287-324, 2009.
- Pereira Junior EB, Sousa OS, Casimiro DE, Oliveira Filho FS, Lima FVS. Desenvolvimento inicial de mudas de cajueiro irrigadas com diferentes tipos de águas. *Brazilian Applied Science Review*, 2:644-656, 2018.
- Sá FVS, Brito MEB, Pereira IB, Neto PA, Silva LA, Costa FB. Balanço de sais e crescimento inicial de mudas de pinheira (*Annona squamosa* L.) sob substratos irrigados com água salina. *Irriga*, 20:544-556, 2015.
- Serrano LAL, Melo DS, Taniguchi CAK, Vidal Neto FC, Cavalcante Júnior LF. Porta-enxertos para a produção de mudas de cajueiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 48:1237-1245, 2013.
- Silva AO, Silva DJR, Soares TM, Silva EFF, Santos AN, Rolim MM. Produção de rúcula em sistema hidropônico NFT utilizando água salina do semiárido-PE e rejeito de dessalinizador. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 6:147-155, 2011.
- Silva EM, Nobre RG, Sousa LP, Rocha RHC. Morfofisiologia de porta-enxerto de goiabeira irrigado com águas salinizadas sob doses de nitrogênio. *Comunicata Scientiae*, 8: 32-42, 2017.
- Souza LDP, Lima GS, Gheyi H, Nobre RG, Soares LAA. Emergence, growth, and production of colored cotton subjected to salt stress and organic fertilization. *Revista Caatinga*, 31:719-729, 2018.

Torres ECM, Freire JLO, Oliveira JL, Bandeira LB, Melo DA, Silva AL. Biometria de mudas de cajueiro anão irrigadas com águas salinas e uso de atenuadores do estresse salino. *Nativa*, 2:71-78, 2014.

Vidal MF. *Situação da cajucultura nordestina após a seca*. Caderno Setorial ETENE. 1: 17-25, 2016.

CAPÍTULO 2
CRESCIMENTO E SOLUTOS ORGÂNICOS EM GENÓTIPOS DE CAJUEIRO
ANÃO-PRECOCE SUBMETIDOS AO ESTRESSE SALINO

Artigo a ser submetido no periódico
Theoretical and Experimental Plant Physiology

CRESCIMENTO E SOLUTOS ORGÂNICOS EM GENÓTIPOS DE CAJUEIRO ANÃO-PRECOCE SUBMETIDOS AO ESTRESSE SALINO

Francisco dos Santos Farias^{1,*}, Daniela Vieira Chaves², Aurenivia Bonifácio³

¹Discente, Programa Pós-Graduação em Ciências Agrárias, *Campus* Professora Cinobelina Elvas (CPCE), Universidade Federal do Piauí (UFPI), Bom Jesus/PI; ²Docente, Curso de Engenharia Agrônômica, CPCE, UFPI, Bom Jesus/PI; ³Docente, Departamento de Biologia, *Campus* Ministro Petrônio Portela (CMPP), UFPI, Teresina/PI; *Autor Correspondente: cobainkico@yahoo.com.br

RESUMO

A salinidade é um dos estresses abióticos que mais afeta a produtividade das culturas devido aos seus efeitos negativos no crescimento e desenvolvimento das espécies vegetais. O presente estudo objetivou analisar as respostas fisiológicas e bioquímicas de dois genótipos de cajueiro anão-precoce submetidos ao estresse salino. O experimento foi conduzido em casa de vegetação com delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 2, sendo cinco níveis de salinidade (0, 25, 50, 75 e 100 mmol L⁻¹ de NaCl) e dois genótipos de cajueiro (EMBRAPA51 e CCP76), com cinco repetições e uma planta por parcela experimental. Após a exposição ao estresse salino, as alterações nas variáveis biométricas, nos pigmentos fotossintéticos e na concentração de solutos orgânicos foram avaliadas. Observou-se que não houve efeito significativo da salinidade para as variáveis altura de planta, número de folhas e diâmetro do caule, entretanto a massa seca da parte aérea e das raízes foi significativamente reduzida. Houve redução no teor de clorofilas (a e b), amido e aminoácidos livres totais, enquanto que a concentração de carotenoides, antocianinas, carboidratos solúveis totais, açúcares redutores, prolina livre e dos íons sódio e potássio foram incrementados em resposta ao aumento da salinidade. A concentração de sacarose declinou apenas após a exposição das plantas à 50, 75 e 100 mmol L⁻¹ de NaCl em ambos os genótipos. Conclui-se que a salinidade afetou significativamente o crescimento dos genótipos de cajueiro anão-precoce, principalmente na biomassa. No geral, o genótipo de cajueiro EMBRAPA51 mostrou-se mais tolerante à salinidade.

Palavras-chave: *Anacardium occidentale*, salinidade, osmoprotetores.

1. INTRODUÇÃO

O cajueiro é uma das principais culturas perenes produzidas no Nordeste brasileiro, sendo fonte de diversos produtos com importância comercial, tais como a goma, o pedúnculo e a castanha. A goma, obtida do exsudado da casca ou do caule do cajueiro, pode ser utilizada na indústria farmacêutica e alimentícia (ARAÚJO et al. 2018), enquanto que o pedúnculo, pseudofruto carnosos, é utilizado na produção de sucos, cajuína, ração animal ou como fruto de mesa (PAIVA et al., 2009). A castanha é o principal produto e pode ser consumida na alimentação humana ou utilizada na extração do líquido da castanha-de-caju (VIDAL, 2016). Considerando sua importância, torna-se necessário um adequado manejo técnico e a escolha correta do genótipo a ser utilizado nas áreas de cultivo. Os genótipos de cajueiro CCP76 e EMBRAPA51 são os mais indicados para a região Nordeste uma vez que possuem resistência à seca, entretanto existem poucos estudos sobre o comportamento fisiológico destes genótipos em situações de salinidade.

A salinidade é um dos estresses abióticos mais severos que afetam crescimento e produtividade das culturas (MUNNS; GILLIHAM, 2015). A salinidade pode ser resultante da ação antrópica devido ao manejo inadequado do solo e da água nas práticas agrícolas (JIANG et al., 2012; TORRES et al., 2014). No geral, a água utilizada na irrigação é de origem superficial ou subterrânea, podendo as águas subterrâneas apresentarem elevada concentração de sais e, portanto, serem consideradas águas salobras (SOUSA et al., 2019). Em regiões áridas e semiáridas, a irrigação com águas salobras juntamente com a elevada evapotranspiração nestes ambientes, resulta no acúmulo de sais solúveis, com destaque para o íon Na^+ (MUNNS; TESTER, 2008; KAUR; ASTHIR, 2015). O acúmulo do íon Na^+ em níveis intracelulares tóxicos pode comprometer a homeostase iônica celular tendo em vista que as razões K^+/Na^+ , $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ e $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ nos tecidos vegetais passam a se tornar alteradas (MUNNS; GILLIHAM, 2015) e este cenário pode resultar na limitação do crescimento e desenvolvimento das espécies vegetais (HU et al., 2018).

As respostas das espécies vegetais à salinidade são complexas e envolvem vários processos fisiológicos e bioquímicos (HU et al., 2018). A salinidade afeta importantes processos metabólicos associados, principalmente a capacidade de manter o balanço hídrico favorável e a assimilação e alocação de carbono, levando a redução no crescimento e produtividade vegetal (ALVES et al., 2013; NASCIMENTO et al., 2015). Além de promover decréscimos significativos na

produção de massa seca da parte aérea e das raízes e redução na área foliar efetiva e na taxa de crescimento das espécies vegetais, a salinidade pode levar a perdas significativas de produtividade (MEDEIROS et al., 2016; FIGUEIREDO et al., 2018). Segundo Karimi et al. (2018), as plantas cultivadas em condições de estresse salino induzem o ajustamento osmótico visando evitar danos estruturais devido às mudanças no potencial osmótico e potencial hídrico celular.

O ajustamento osmótico é um mecanismo que envolve a absorção de compostos inorgânicos (p.ex. Ca^{2+} e K^+) e o acúmulo de compostos orgânicos compatíveis – também chamados de osmoprotetores (MORAIS et al., 2008). Os compostos orgânicos compatíveis são mantidos no citoplasma para balancear o potencial osmótico vacuolar (AZEVEDO NETO et al., 2004). Dentre os compostos orgânicos compatíveis, os carboidratos solúveis, compostos quaternários de amônio, poliálcoois e aminoácidos, com destaque para a prolina, são mais comumente acumulados. O acúmulo de aminoácidos e carboidratos solúveis tem sido estudado intensamente em plantas em condições de estresse salino, pois estes apresentam maior contribuição para o potencial osmótico (MUNNS; GILLIHAM, 2015). Diante do exposto, o presente estudo objetivou analisar as respostas fisiológicas e bioquímicas de dois genótipos de cajueiro anão-precoce submetidos ao estresse salino.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Procedimento experimental e análise estatística

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, localizada no Departamento de Biologia do Centro de Ciências da Natureza (Universidade Federal do Piauí; Teresina/PI), com delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 x 5, sendo dois genótipos de cajueiro anão-precoce (EMBRAPA51 e CCP76) e cinco doses crescentes de NaCl (0, 25, 50, 75 e 100 mmol L⁻¹). As mudas de cajueiro anão-precoce dos genótipos EMBRAPA51 e o CCP76 foram obtidas a partir das castanhas (sementes) destes genótipos, as quais foram adquiridas diretamente com produtores de cajueiro da Fazenda Agropecuária Bom Futuro (Cocal de Telha/PI). As castanhas foram selecionadas com base no tamanho, densidade, ausência de defeitos ou injúrias e, então, higienizadas com água destilada. Após a higienização, procedeu-se o plantio das castanhas em vasos de polipropileno contendo 3,5 kg de vermiculita média para a produção das mudas de cajueiro anão-precoce.

Até os trinta dias após a emergência (DAE), as mudas dos genótipos de cajueiro anão-precoce foram irrigadas, de forma alternada, com água destilada e solução nutritiva de Hoagland & Arnon (1950). Aos 30 DAE, as mudas de cajueiro anão-precoce foram submetidas ao estresse salino com uso de cloreto de sódio (NaCl) nas seguintes doses: 0 (controle), 25, 50, 75 e 100 mmol L⁻¹. Todos os tratamentos foram compostos por cinco repetições e a unidade experimental foi composta de um vaso com uma planta. Aos 42 DAE, procedeu-se a coleta das plantas dos genótipos de cajueiro anão-precoce (EMBRAPA51 e CCP76). Na ocasião, mensurou-se diâmetro do caule, altura de planta e o número de folhas. As plantas foram divididas em parte aérea e raízes e o material vegetal foi acondicionado, separadamente, em sacos de papel devidamente identificados e levados para secagem em estufa de aeração forçada a 65 °C para obtenção da massa seca da parte aérea e das raízes.

Amostras de folhas frescas do terço médio dos genótipos de cajueiro anão-precoce (EMBRAPA51 e CCP76) foram coletadas e mantidas a -20 °C para serem utilizadas na determinação da concentração de pigmentos fotossintéticos (clorofilas, carotenoides e antocianinas) e dos solutos orgânicos e inorgânicos (carboidratos solúveis totais, aminoácidos livres totais, prolina livre, sacarose, amido e os íons Na⁺ e K⁺) seguindo as metodologias usuais (ver tópico 2.2). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) precedido de teste F a 5% de probabilidade. Para análise do efeito da salinidade (doses crescentes de NaCl), os dados foram ajustados utilizando a análise de regressão. A comparação entre os valores médios dos dois genótipos de cajueiro anão-precoce em cada nível de estresse salino (doses de NaCl que foram aplicadas) foi realizada utilizando o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o software estatístico R (versão 3.5.2).

2.2 Análises bioquímicas

2.2.1 Pigmentos fotossintéticos

Para mensurar a concentração de clorofilas (*a* e *b*) e carotenoides (LICHTENTHALER; WELLBURN, 1983), amostras foliares frescas foram maceradas em presença de etanol, centrifugadas a 5000 rpm (5 min) e o sobrenadante foi coletado e lido em espectrofotômetro nos comprimentos de onda 646, 664 e 470 nm. Com base nas leituras, calculou-se a concentração da clorofila *a* e *b* e de

carotenoides e os dados foram expressos em mg kg^{-1} massa fresca (MF). Para determinação da concentração de antocianinas (GITELSON et al., 2001), amostras foliares frescas foram maceradas na presença de metanol-HCl 0,1% (v/v), centrifugadas a 5000 rpm (5 min) e então procedeu-se a coleta e leitura do sobrenadante em espectrofotômetro a 530 nm. Após o cálculo da concentração de antocianinas, os dados foram expressos em $\mu\text{mol g}^{-1}$ MF.

2.2.2 Solutos orgânicos e inorgânicos

Amostras de folhas frescas de cajueiro anão-precoce (EMBRAPA51 e CCP76), cortadas em pequenos segmentos desprezando-se a nervura, foram misturadas com água destilada e levadas ao banho-maria a 100 °C por 60 min. Posteriormente, o sobrenadante (extrato) foi coletado e utilizado na quantificação da concentração de carboidratos solúveis totais, aminoácidos livres totais, prolina livre e dos íons Na^+ e K^+ . Os açúcares redutores foram determinados pela diferença entre a concentração de carboidratos solúveis totais e de sacarose. Alíquotas do extrato foram levadas ao fotômetro de chama para mensurar a concentração dos íons Na^+ e K^+ (VIÉGAS et al., 2001) e os resultados foram expressos em mmol kg^{-1} MS (massa seca). Para quantificar os carboidratos solúveis totais (DUBOIS et al., 1956), alíquotas do extrato foram misturadas com fenol 5% (v/v) e ácido sulfúrico concentrado e, após agitação dos tubos em vórtex, a mistura foi lida em espectrofotômetro a 420 nm. A concentração de carboidratos solúveis totais foi calculada com base na curva-padrão de glicose e os dados foram expressos em mmol kg^{-1} MS.

Na mensuração da concentração de aminoácidos livres totais (YEMM; COCKING, 1955), alíquotas do extrato foram misturadas com tampão citrato 0,2 M (pH 5,0) e o reagente revelador (ninhidrina 5% em KCN 0,2 mM) e então levadas ao banho-maria a 100 °C por 15 min. Posteriormente, os tubos foram resfriados em banho de gelo e etanol 60% foi adicionado. Após atingirem temperatura ambiente, as amostras foram lidas em espectrofotômetro a 570 nm. A concentração de aminoácidos livres totais foi calculada com base em curva-padrão de glicina e expressa em mmol kg^{-1} MS. Para determinar a concentração de prolina livre (BATES et al., 1973), alíquotas do extrato foram misturadas com ácido acético glacial e ninhidrina ácida (ninhidrina em ácido acético glacial 60% e ácido fosfórico 6 M) e então levadas ao banho-maria a 100 °C (60 min). Em seguida, adicionou-se tolueno

para a separação das fases e o cromóforo foi aspirado e lido em espectrofotômetro a 520 nm. A concentração de prolina livre foi calculada com base na curva-padrão de prolina e os dados foram expressos em $\text{mmol kg}^{-1} \text{MS}$.

Para quantificar a concentração de sacarose (VAN HANDEL, 1968), as amostras foliares frescas foram misturadas com MCW (metanol:clorofórmio:água; 12:5:3; v/v/v), agitadas por 25 min e então centrifugadas a 10.000 rpm (10 min). O procedimento foi repetido e os sobrenadantes foram reunidos para obter o extrato final. Alíquotas do extrato final foram misturadas com KOH 30% (em metanol) e levadas ao banho-maria (100 °C; 10 min). Em seguida, adicionou-se antrona 0,2% (em H_2SO_4) e a mistura foi levada ao banho-maria (40 °C; 20 min). As amostras foram lidas em espectrofotômetro a 620 nm e, após o cálculo com base em curva-padrão de sacarose, os dados expressos em $\text{mmol kg}^{-1} \text{MS}$. Para quantificação do amido (MCCREADY et al., 1950), o resíduo da extração com MCW (*pellet*) foi misturado com HClO_4 30%, agitado por 25 min e centrifugado a 10.000 rpm (10 min). O procedimento foi repetido, os sobrenadantes foram reunidos e obteve-se o extrato final. Alíquotas do extrato final foram misturadas com fenol 5% e H_2SO_4 puro, agitadas e lidas em espectrofotômetro a 490 nm. A concentração de amido foi calculada baseando-se na curva-padrão de glicose e os dados expressos em $\text{mmol kg}^{-1} \text{MS}$.

3. RESULTADOS

As variáveis obtidas após a exposição dos genótipos de cajueiro anão-precoce à salinidade foram analisadas estatisticamente e os dados estão mostrados na tabela 1. Observa-se que não houve efeito significativo da salinidade para as variáveis altura de planta, número de folhas e diâmetro do caule (Tabela 1), enquanto que para a altura de planta, concentração de carboidratos solúveis totais, de açúcares redutores e de aminoácidos livres totais não houve diferença significativa entre os genótipos estudados. Houve interação significativa entre os fatores 'genótipos' e 'salinidade' para as variáveis analisadas, exceto para altura de planta, número de folhas, diâmetro do caule e massa seca das raízes e da parte aérea (Tabela 1). Em contrapartida, houve diferença significativa entre os genótipos e em resposta à salinidade para a massa seca da parte aérea e das raízes, para os pigmentos fotossintéticos (clorofilas; carotenoides e antocianinas) e também para a concentração de prolina livre, sacarose e amido.

Tabela 1 – Análise de variância (quadrado médio) das variáveis analisadas após a exposição dos genótipos de cajueiro anão-precoce à salinidade.

Variáveis analisadas	Fonte de variação (Quadrado médio)			
	Salinidade (S)	Genótipos (G)	G x S	CV (%)
Diâmetro do caule	0,04 ^{ns}	6,62 [*]	0,43 ^{ns}	9,06
Altura das plantas	7,51 ^{ns}	0,40 ^{ns}	5,26 ^{ns}	15,73
Número de folhas	7,95 ^{ns}	50,70 [*]	8,45 ^{ns}	23,30
Massa seca da parte aérea	0,23 [*]	8,45 [*]	0,30 [*]	4,92
Massa seca das raízes	0,18 [*]	1,74 [*]	0,02 ^{ns}	10,18
Clorofila <i>a</i>	0,18 [*]	0,07 [*]	0,01 [*]	9,44
Clorofila <i>b</i>	0,30 [*]	0,13 [*]	0,13 [*]	9,70
Carotenoides	0,06 [*]	0,04 [*]	0,01 [*]	4,08
Antocianinas	2,55 [*]	0,52 [*]	0,09 [*]	9,15
Carboidratos solúveis totais	8501 [*]	1838 ^{ns}	5701 [*]	5,99
Sacarose	10,22 [*]	18,25 [*]	32,74 [*]	5,22
Açúcares redutores	8481 [*]	2226 ^{ns}	5825 [*]	6,12
Amido	3143 [*]	9781 [*]	295,9 [*]	5,41
Aminoácidos livres totais	21745 [*]	723,2 ^{ns}	21244 [*]	6,55
Prolina livre	139,1 [*]	5,04 [*]	9,30 [*]	5,58
Sódio (Na ⁺)	2066 [*]	2839 [*]	129,8 [*]	4,85
Potássio (K ⁺)	1888 [*]	399,9 [*]	589,9 [*]	6,19
Graus de liberdade	4	1	4	-

* = significativo a 5%; ns = não significativo. CV = coeficiente de variação.

3.1 Respostas de crescimento

Não houve interação significativa entre os fatores ‘genótipos’ e ‘salinidade’ para as variáveis de crescimento analisadas, exceto para massa seca da parte aérea (Tabela 1). Em relação aos genótipos, notou-se diferença significativa entre os genótipos de cajueiro EMBRAPA51 e CCP76 no número de folhas, diâmetro do caule, massa seca da parte aérea e das raízes. O genótipo de cajueiro EMBRAPA51 apresentou maior número de folhas, enquanto que o genótipo de cajueiro CCP76 exibiu maiores valores de diâmetro do caule (Tabela 2). Apenas a altura das plantas não respondeu de forma significativa aos tratamentos aplicados (Tabela 1).

Tabela 2 – Variáveis biométricas de genótipos de cajueiro anão-precoce submetidos ou não ao estresse salino (0, 25, 50, 75 e 100 mmol L⁻¹ de NaCl).

Genótipos	Salinidade (mmol L ⁻¹ de NaCl)				
	0	25	50	75	100
	Diâmetro do caule (cm)				
EMBRAPA51	6,3 a	5,6 b	5,9 b	6,0 b	5,9 b
CCP76	6,5 a	7,0 a	6,9 a	7,3 a	6,9 a
	Número de folhas				
EMBRAPA51	15,0 a	14,0 a	14,0 a	14,0 a	16,0 a
CCP76	12,0 b	12,0 b	14,0 a	14,0 a	14,0 b

Na coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Conforme observado na análise de variância (Tabela 1), houve interação significativa entre os genótipos e a salinidade para a massa seca da parte aérea e o desdobramento dos dados estão mostrados na figura 1A. A massa seca da parte aérea declinou em resposta à salinidade nos dois genótipos, entretanto o genótipo de cajueiro CCP76 apresentou valores superiores ao genótipo de cajueiro EMBRAPA51 em todos os níveis de salinidade aplicados (Figura 1A). Nas plantas expostas à 75 mmol L⁻¹ de NaCl, notou-se a maior diferença entre os dois genótipos e as plantas do genótipo de cajueiro CCP76 apresentaram massa seca da parte aérea 54% superior ao registrado para o genótipo EMBRAPA51.

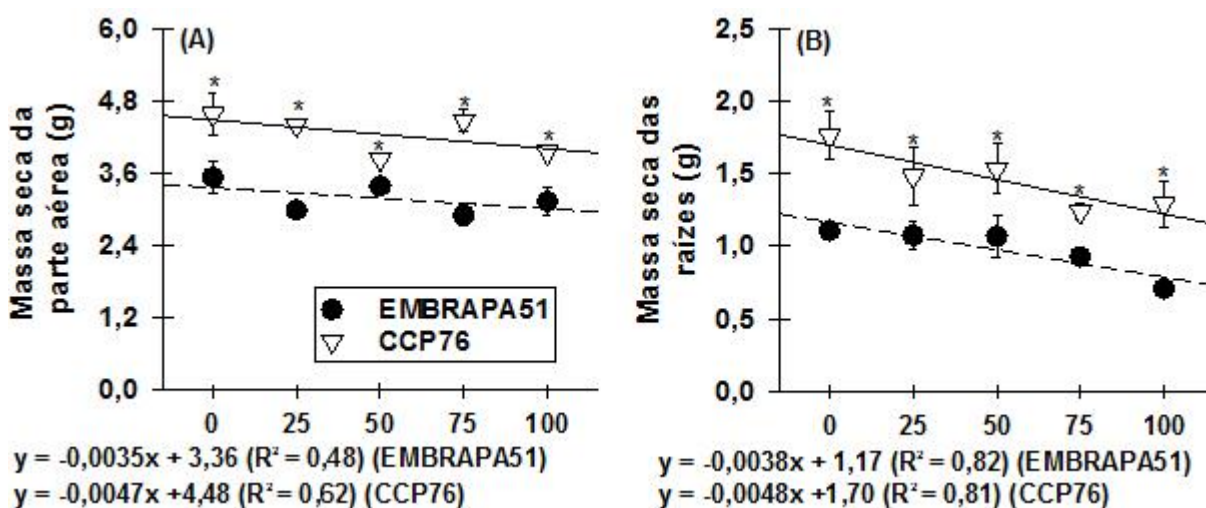


Figura 1. Massa seca da parte aérea (A) e das raízes (B) de plantas cajueiro anão-precoce (EMBRAPA51 e CCP76) submetidos ao estresse salino (0, 25, 50, 75 e 100 mmol L⁻¹ de NaCl). O asterisco (*) indica que houve diferença significativa entre os genótipos no nível de salinidade correspondente (Teste de Tukey; $p < 0,05$).

Similar ao registrado para a massa seca da parte aérea, houve declínio na massa seca das raízes em resposta ao estresse salino nos dois genótipos estudados e o genótipo de cajueiro CCP76 apresentou valores superiores ao genótipo de cajueiro EMBRAPA51 em todos os níveis de salinidade (Figura 1B). Na

ausência de salinidade (controle ou $0,0 \text{ mmol L}^{-1}$ de NaCl), o genótipo de cajueiro CCP76 apresentou valores de massa seca das raízes 59% superior ao registrado para o genótipo de cajueiro EMBRAPA51. O genótipo de cajueiro CCP76 apresentou médias da massa seca das raízes 83% superior ao registrado para o genótipo EMBRAPA51 no nível mais elevado de salinidade (100 mmol L^{-1} de NaCl) (Figura 2B).

3.2 Pigmentos fotossintéticos

Houve diferença significativa na concentração dos pigmentos fotossintéticos (clorofilas, carotenoides e antocianinas) em resposta à salinidade e aos genótipos de cajueiro avaliados bem como houve interação entre estes fatores (Tabela 1). Houve redução na concentração das clorofilas *a* e *b* em resposta à salinidade nos dois genótipos, sendo esta redução mais significativa para o genótipo de cajueiro CCP76 (Figura 2A). Os dois genótipos de cajueiro apresentaram valores de clorofila *a* em torno de $1,0 \text{ mg g}^{-1}$ MF quando não expostas a salinidade ($0,0 \text{ mmol L}^{-1}$ de NaCl ou controle) e diferenças significativas entre os dois genótipos para esta variável foram observadas com a aplicação de 50 e 75 mmol L^{-1} de NaCl (Figura 2A). Quando exposto à 50 e 75 mmol L^{-1} de NaCl, o genótipo de cajueiro EMBRAPA51 apresentou concentração de clorofila *a* 42% e 29% superior ao registrado para o genótipo CCP76, respectivamente (Figura 2A).

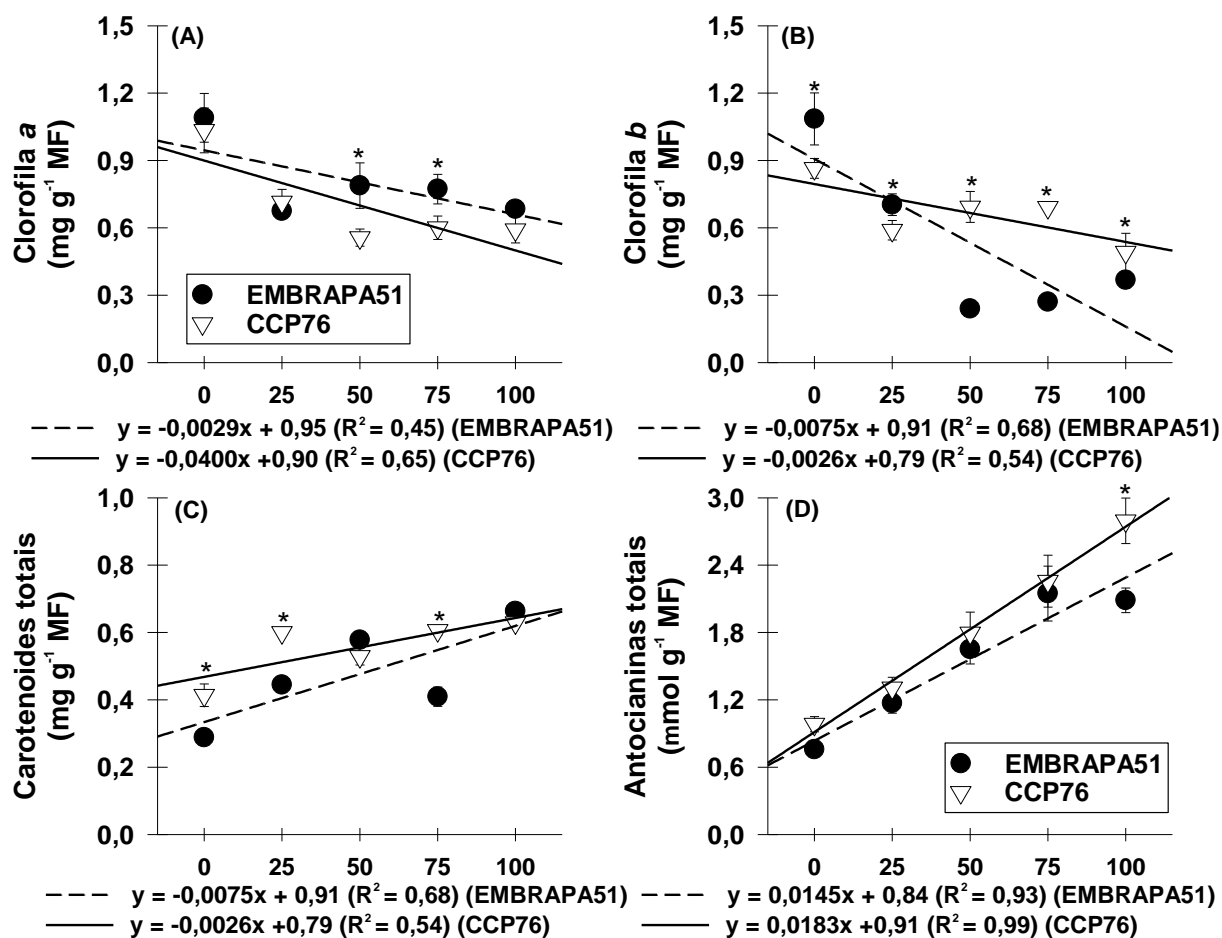


Figura 2. Pigmentos fotossintéticos nas folhas de cajueiro anão-precoce (EMBRAPA51 e CCP76) submetidos ao estresse salino (0, 25, 50, 75 e 100 mmol L⁻¹ de NaCl). O asterisco (*) indica que houve diferença significativa entre os genótipos no nível de salinidade correspondente (Teste de Tukey; $p < 0,05$).

De modo geral, a salinidade induziu redução significativa na concentração da clorofila *b* nos dois genótipos, sendo esta redução mais significativa nas folhas do genótipo de cajueiro EMBRAPA51 expostas à 50, 75 e 100 mmol L⁻¹ de NaCl (Figura 2B). O genótipo de cajueiro EMBRAPA51 apresentou concentração de clorofila *b* 25% e 19% superior ao genótipo de cajueiro CCP76 quando não expostas a salinidade (0,0 mmol L⁻¹ de NaCl ou controle) e quando submetidas à 25 mmol L⁻¹ de NaCl, respectivamente. Em contrapartida, o genótipo de cajueiro CCP76 apresentou valores de clorofila *b* quando submetidas à 50, 75 e 100 mmol L⁻¹ de NaCl, mais elevados em 190%, 156% e 34%, respectivamente, em relação ao observado para o genótipo de cajueiro EMBRAPA51 (Figura 2B).

Observou-se incremento significativo na concentração de carotenoides totais (Figura 2C) e antocianinas totais (Figura 2D) em resposta ao aumento da salinidade para os dois genótipos de cajueiro. A concentração de carotenoides totais diferiu significativamente entre os dois genótipos, exceto quando as plantas foram expostas

à 50 e 100 mmol L⁻¹ de NaCl (Figura 2C). O genótipo de cajueiro CCP76 apresentou valores de carotenoides totais superiores ao genótipo de cajueiro EMBRAPA51 no controle (0,0 mmol L⁻¹ de NaCl) e quando expostas à 25 e 75 mmol L⁻¹ de NaCl. Houve diferença significativa para a concentração de antocianinas totais entre os genótipos apenas quando estes foram expostos à 100 mmol L⁻¹ de NaCl, sendo a concentração deste pigmento nas folhas do genótipo de cajueiro CCP76 34% superior ao registrado para o genótipo de cajueiro EMBRAPA51 (Figura 2D).

3.3 Solutos orgânicos e inorgânicos

De modo geral, houve interação significativa entre os fatores 'genótipos' e 'salinidade' para a concentração dos solutos orgânicos e inorgânicos bem como influência significativa da salinidade na concentração destes solutos orgânicos e inorgânicos, entretanto não houve diferença significativa na concentração de carboidratos solúveis totais, sacarose e amido entre os dois genótipos de cajueiro avaliados (Tabela 1). Houve aumento linear na concentração de carboidratos solúveis com o aumento da salinidade e respostas diferenciadas dos genótipos foram observadas quando estes foram submetidos à 50, 75 e 100 mmol L⁻¹ de NaCl (Figura 3A). O genótipo de cajueiro CCP76 apresentou valores de carboidratos solúveis totais mais elevados que o genótipo de cajueiro EMBRAPA51 quando submetidos à 50 e 100 mmol L⁻¹ de NaCl, enquanto que o genótipo de cajueiro EMBRAPA51 foi superior ao genótipo de cajueiro CCP76 quando exposto à 75 mmol L⁻¹ de NaCl (Figura 3A).

A concentração de açúcares redutores foi linearmente aumentada com a salinidade de forma similar ao observado para os carboidratos solúveis totais (Figura 3C).

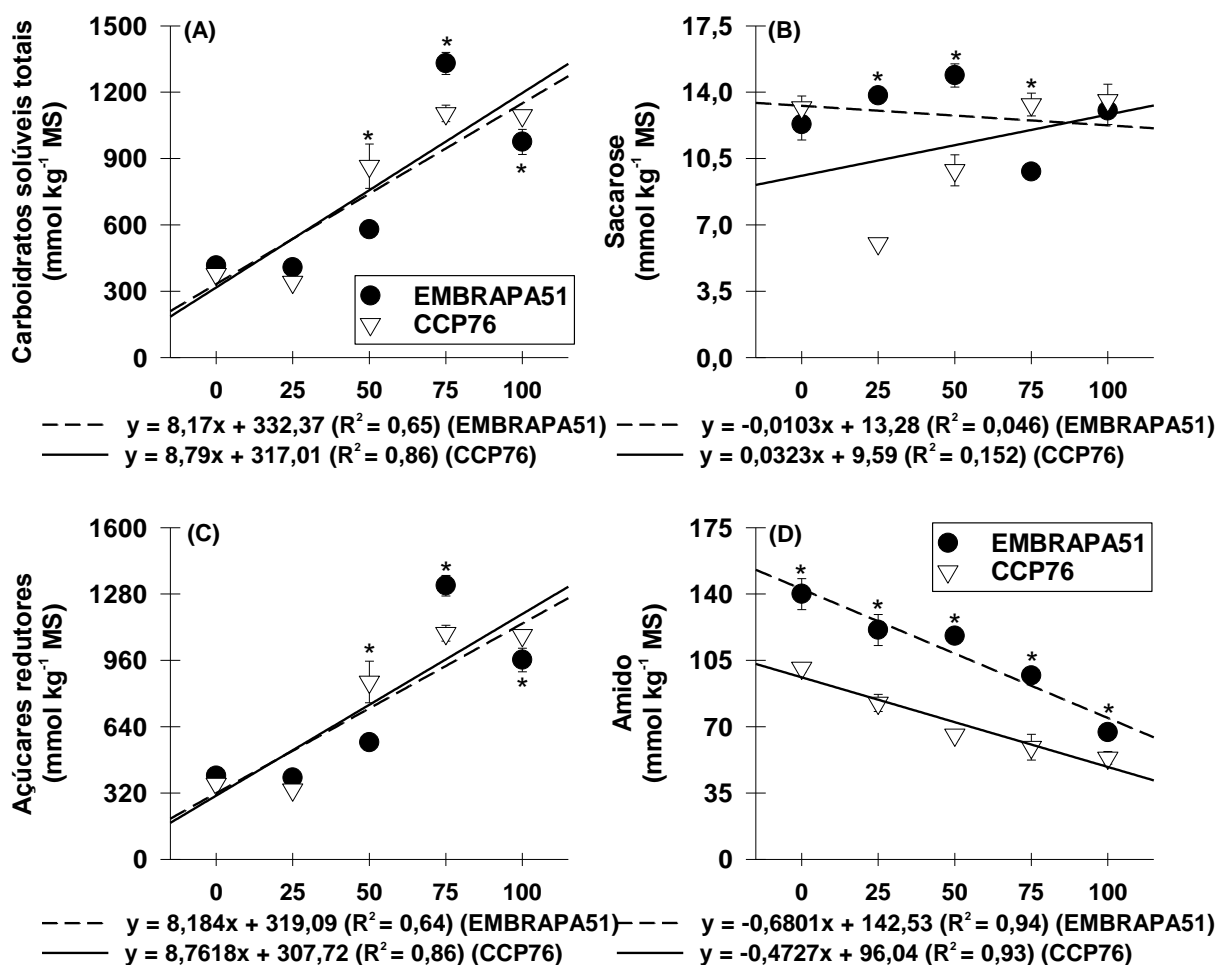


Figura 3. Carbohidratos solúveis totais (A), sacarose (B), açúcares redutores (C) e amido (D) nas folhas de cajueiro anão-precoce (EMBRAPA51 e CCP76) submetidos ao estresse salino (0, 25, 50, 75 e 100 mmol L⁻¹ de NaCl). O asterisco (*) indica que houve diferença significativa entre os genótipos no nível de salinidade correspondente (Teste de Tukey; $p < 0,05$).

Houve efeito da salinidade na concentração de sacarose nos dois genótipos estudados, sendo observadas alterações, principalmente, para o genótipo de cajueiro CCP76 (Figura 3B). A concentração de sacarose foi significativamente diferente entre os dois genótipos quando estes foram submetidos à 25, 50 e 75 mmol L⁻¹ de NaCl. Quando submetido à 25 e 50 mmol L⁻¹ de NaCl, o genótipo de cajueiro EMBRAPA51 apresentou valores de sacarose 129% e 51% superiores ao genótipo de cajueiro CCP76. Em contrapartida, o genótipo de cajueiro CCP76 apresentou maiores valores de sacarose quando exposto à 75 mmol L⁻¹ de NaCl (36% superior ao genótipo de cajueiro EMBRAPA51) (Figura 3B).

A concentração de amido foi reduzida de forma linear e significativa em resposta ao aumento da salinidade nos dois genótipos de cajueiro e houve diferença significativa entre os dois genótipos em cada nível de salinidade aplicada (Figura

3D). De modo geral, o genótipo de cajueiro EMBRAPA51 apresentou concentrações superiores de amido em relação ao genótipo de cajueiro CCP76 em todos os níveis de salinidade que foram aplicados e no controle (0,0 mmol L⁻¹ de NaCl) e as maiores diferenças entre os genótipos foram observadas quando as plantas foram expostas à 50 mmol L⁻¹ de NaCl (79%).

De modo geral, a concentração de aminoácidos livres totais foi reduzida com a salinidade, principalmente no genótipo de cajueiro CCP76 após ser submetido à 75 e 100 mmol L⁻¹ de NaCl (Figura 4A).

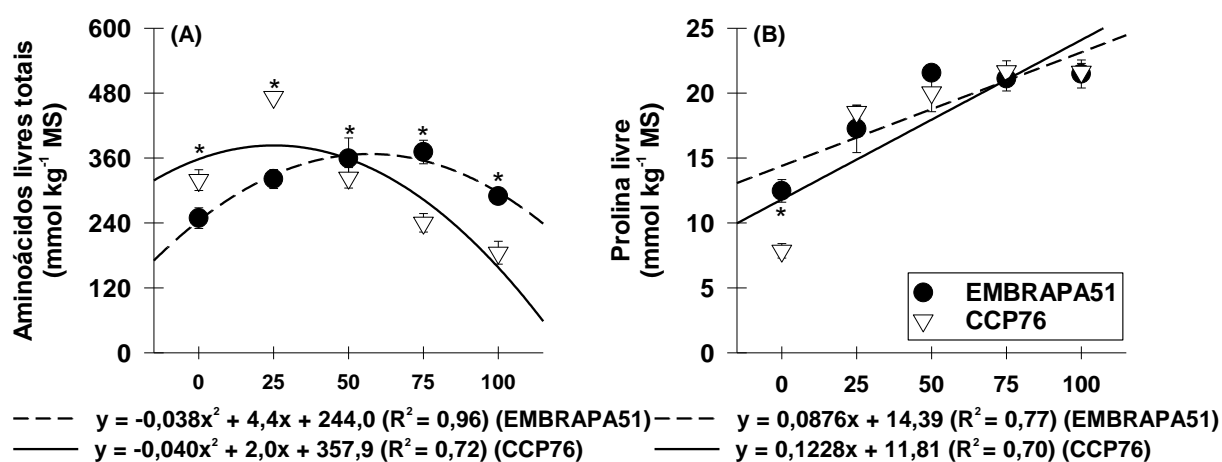


Figura 4. Aminoácidos livres totais (A) e prolina livre (B) nas folhas de cajueiro anão-precoce (EMBRAPA51 e CCP76) submetidos ao estresse salino (0, 25, 50, 75 e 100 mmol L⁻¹ de NaCl). O asterisco (*) indica que houve diferença significativa entre os genótipos no nível de salinidade correspondente (Teste de Tukey; $p < 0,05$).

Houve diferença significativa para a concentração de aminoácidos livres totais entre os dois genótipos em todos os níveis de salinidade que foram aplicados e no controle (0,0 mmol L⁻¹ de NaCl), sendo os maiores valores registrados para genótipo de cajueiro CCP76 quando não expostas a salinidade (0,0 mmol L⁻¹ de NaCl ou controle) e quando submetidas à 25 mmol L⁻¹ de NaCl. Em contrapartida, o genótipo de cajueiro EMBRAPA51 apresentou valores de aminoácidos livres totais mais elevados que o genótipo de cajueiro CCP76 quando exposto aos níveis mais elevados de salinidade (50, 75 e 100 mmol L⁻¹ de NaCl) (Figura 4A).

A concentração de prolina livre foi incrementada nos dois genótipos em resposta ao aumento da salinidade (Figura 4B) e diferenças entre os dois genótipos foram observadas apenas no controle (0,0 mmol L⁻¹ de NaCl), onde o genótipo de cajueiro EMBRAPA51 apresentou os maiores valores deste parâmetro.

Houve aumento significativo na concentração de sódio (Figura 5A) e de potássio (Figura 5B) em resposta ao incremento da salinidade. Houve diferença

significativa entre os dois genótipos para a concentração de sódio quando as plantas foram expostas a todos os níveis de salinidade (Figura 5A). O genótipo de cajueiro EMBRAPA51 apresentou maior concentração de sódio nas suas folhas, em relação ao genótipo de cajueiro CCP76, quando não expostas a salinidade (0,0 mmol L⁻¹ de NaCl ou controle) e quando submetidas à 100 mmol L⁻¹ de NaCl. Já o genótipo de cajueiro CCP76 apresentou valores mais elevados de sódio nas suas folhas quando submetido à 25, 50 e 75 mmol L⁻¹ de NaCl (Figura 5A).

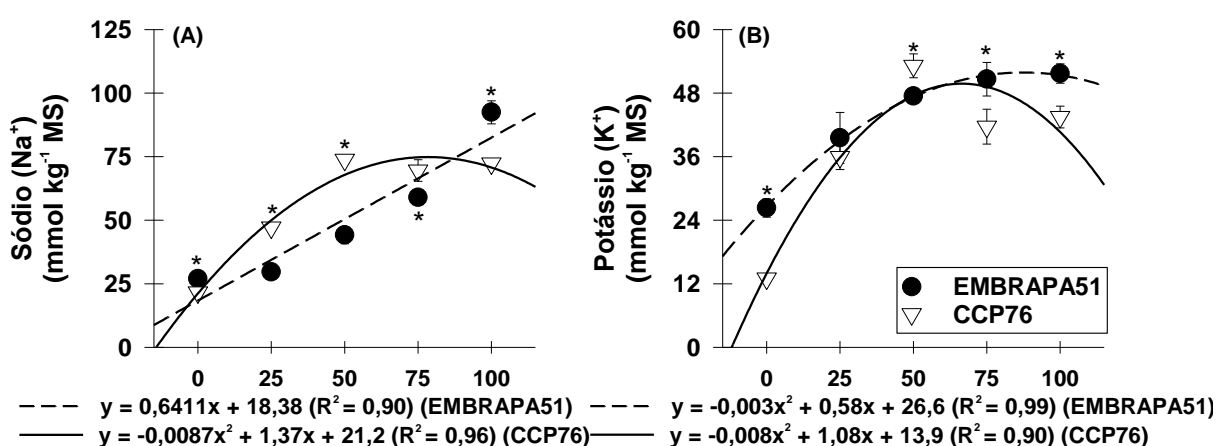


Figura 5. Concentração de sódio (A) e potássio (B) nas folhas de cajueiro anão-precoce (EMBRAPA51 e CCP76) submetidos ao estresse salino (0, 25, 50, 75 e 100 mmol L⁻¹ de NaCl). O asterisco (*) indica que houve diferença significativa entre os genótipos no nível de salinidade correspondente (Teste de Tukey; $p < 0,05$).

Houve incremento significativo na concentração de potássio nas folhas dos dois genótipos em resposta ao estresse salino (Figura 5B). Houve diferença significativa entre os dois genótipos para a concentração de potássio quando as plantas foram expostas a salinidade, exceto quando as plantas foram submetidas à 25 mmol L⁻¹ de NaCl (Figura 5B). O genótipo de cajueiro EMBRAPA51 apresentou valores da concentração de potássio 103%, 22% e 19% superiores ao genótipo de cajueiro CCP76 quando não expostas a salinidade (0,0 mmol L⁻¹ de NaCl ou controle) e quando submetidas à 75 e 100 mmol L⁻¹ de NaCl, respectivamente. Por outro lado, o genótipo de cajueiro CCP76 apresentou valores mais elevados de potássio quando exposto à 50 mmol L⁻¹ de NaCl (Figura 5B).

4. DISCUSSÃO

A exposição dos genótipos de cajueiro anão-precoce à salinidade não influenciou significativamente o diâmetro do caule, altura das plantas e número de folhas (Tabelas 1 e 2). É provável que o número de folhas não tenha sido alterado significativamente pela idade das mudas de cajueiro que foram utilizadas, as quais apresentavam cerca de 30 dias (após a emergência) e que foram expostas a salinidade por 12 dias. Além disso, o cajueiro é uma planta de ciclo longo e, portanto, mais lenta na emissão das suas folhas. Apesar do número de folhas não ter sido alterado, pode-se observar que as plantas expostas à salinidade apresentaram aumento na clorose e morte das folhas, principalmente nos níveis de salinidade mais elevados. Os resultados apresentados contrastam com os de Siqueira et al. (2005) e Sousa et al. (2015), os quais relataram redução no número de folhas de plantas de algodoeiro e goiabeira em função do aumento da salinidade. Os autores relacionaram a perda de folhas com uma forma de reduzir a perda de água por transpiração, sendo este, portanto, um processo fisiológico de adaptação das plantas ao estresse salino.

Houve declínio na massa seca da parte aérea e das raízes com o aumento da salinidade (Figura 1). A restrição do crescimento frente à salinidade é atribuída a vários fatores que vão desde alterações na absorção e utilização de nutrientes e na fotossíntese até a própria toxicidade iônica causada pelo excesso de sódio nas proximidades das raízes (MUNNS; GILLIHAM, 2015). Resultados semelhantes foram registrados em híbridos trifoliados de porta-enxerto de citros submetidos à salinidade, os quais apresentaram 44% de redução na massa seca total (BRITO et al., 2014). Bader et al. (2015) registraram efeitos negativos da salinidade na massa seca das raízes de três cultivares de oliveira (*Olea europaea* L. cv. 'Picholine', 'Meski' e 'Ascolana'). Estes autores ressaltam que a salinidade pode ter afetado aspectos básicos do desenvolvimento destas plantas, tais como a divisão e alongamento celular, devido ao efeito tóxico do excesso de sódio.

O aumento dos níveis de sais nos genótipos de cajueiros comprometeu significativamente a concentração dos pigmentos fotossintéticos e observou-se queda nos teores de clorofila *a* e *b* com o aumento da salinidade. No geral, o genótipo EMBRAPA51 apresentou maior teor de clorofila *a* e o genótipo CCP76 apresentou maior teor de clorofila *b*. É possível que a salinidade tenha resultado em desequilíbrio nas atividades fisiológicas e bioquímicas devido aos níveis serem

superiores ao tolerado pela maioria das culturas. Esses dados estão semelhantes aos obtidos por Lima et al. (2018), que estudaram as alterações nos níveis de clorofila e carotenoides em plantas de cereja da Índia irrigado com águas salinizadas.

Os teores de carotenoides foram aumentados em resposta à salinidade e esse aumento pode estar relacionado com a função destes compostos. Segundo Kerbauy (2004), os carotenoides podem agir absorvendo energia luminosa nos processos fotoquímicos ou atuarem como pigmentos acessórios com ação fotoprotetora do aparato fotoquímico visando evitar/prevenir danos fotooxidativos às moléculas de clorofila. Os teores de antocianinas obtiveram aumento significativo em relação ao tratamento controle principalmente nos níveis mais elevados de salinidade. Tendo em vista seu papel como antioxidante, é natural que haja acúmulo deste composto em resposta ao estresse. Em relação ao conteúdo de antocianinas, é possível que seu aumento tenha se dado devido ao alto teor de sacarose, açúcares redutores e carboidratos solúveis totais uma vez que a biossíntese desta molécula está relacionada a elevados níveis de açúcares disponíveis.

A osmorregulação está entre os mecanismos de tolerância ao estresse salino e este processo consiste no aumento da concentração de solutos nas células visando manter o potencial hídrico celular em níveis adequados (MUNNS; TESTER, 2008). Neste estudo, o nível de carboidratos solúveis totais, açúcares redutores e sacarose foram aumentados em resposta a salinidade (Figura 3). Os carboidratos solúveis (monossacarídeos e oligossacarídeos redutores ou não) têm efeito osmótico e protetor e ainda se apresentam como fontes primárias de energia para as plantas no enfrentamento ao estresse (COVA et al., 2016). É possível que este aumento na concentração de açúcares tenha sido uma estratégia para atenuar o efeito nocivo do estresse salino. Resultados similares foram registrados em plantas de cajueiro expostas à salinidade (AMORIM et al., 2010; SOUSA et al., 2019), enquanto que plantas de noni (COVA et al., 2016) e amaranto (MENEZES et al., 2017) exibiram declínio no nível de carboidratos solúveis totais.

De modo geral, a redução no nível de carboidratos está associada com desordens na sua biossíntese ou ainda na translocação para outras partes (AZEVEDO NETO et al., 2004). Em nosso estudo, registrou-se redução na concentração de amido nos dois genótipos de cajueiro (Figura 3D). Siringam et al. (2011) e Nascimento et al. (2015) relatam resultados similares em plantas de arroz e jatobá, respectivamente. É possível que o declínio na concentração de amido seja

uma forma de amenizar os efeitos prejudiciais do estresse uma vez que este polissacarídeo é fonte de carboidratos mais simples (mono e oligossacarídeos) comumente utilizados pelas plantas como osmólitos compatíveis em condições estressantes e então acumulados para promover o ajustamento osmótico (MUNNS; TESTER, 2008). Segundo Azevedo Neto et al. (2004), os carboidratos e aminoácidos solúveis estão entre os solutos orgânicos primariamente envolvidos no ajustamento osmótico.

Houve redução na concentração de aminoácidos livres totais em resposta ao estresse salino, enquanto que a concentração de prolina livre foi incrementada linearmente com aumento dos níveis de salinidade (Figura 4). A prolina é considerada um aminoácido multifuncional e seu acúmulo é uma resposta comum quando as plantas estão submetidas à estresses abióticos, com destaque para o estresse salino (KAUR; ASTHIR, 2015). O acúmulo de prolina contribui para a redução do potencial hídrico celular e, portanto, promove aumento na retenção da água nas células sob condições de estresse. Além de atuar no ajustamento osmótico, a prolina apresenta várias funções que vão desde a estabilização de membranas, estruturas subcelulares e proteínas importantes até a captura de espécies reativas de oxigênio (MUNNS; TESTER, 2008; MUNNS; GILLIHAM, 2015). Tal como registrado neste estudo para os dois genótipos de cajueiro, plantas de noni (COVA et al., 2016), amaranto (MENEZES et al., 2017) e mandioca (CARDOSO et al., 2019) apresentaram incremento nos níveis de prolina em resposta à exposição ao estresse salino.

A exposição das plantas ao estresse salino também afeta os níveis de solutos inorgânicos, com destaque para o potássio (íon K^+) (MUNNS; GILLIHAM, 2015). O íon K^+ é um macronutriente importante e fator limitante da taxa de rendimento de culturas, sendo considerado o principal nutriente inorgânico catiônico em plantas glicófitas (WU et al., 2014). Além disso, o íon K^+ desempenha um papel importante na resposta das plantas aos estresses abióticos, como seca, salinidade e inundações (SHABALA; POTTOSIN 2014; WU et al., 2014). Em nosso estudo, a concentração do íon K^+ foi incrementada em resposta ao incremento nos níveis de salinidade e este aumento apresentou-se correlacionado com o aumento nos níveis de sódio (íon Na^+). Em algumas plantas, especialmente naquelas tolerantes à salinidade, a compartimentalização de íons (K^+ , Na^+ e cloreto (Cl^-)) no vacúolo pode ser mais uma estratégia útil na busca do equilíbrio osmótico uma vez que estes

podem ser balanceados com os solutos orgânicos sintetizados no citosol das células vegetais (MUNNS; TESTER, 2008; QUÉRO et al., 2014).

5. CONCLUSÃO

A salinidade afetou significativamente o crescimento dos genótipos de cajueiro anão-precoce, principalmente na deposição de biomassa na parte aérea e nas raízes. É possível que as alterações na massa seca da parte aérea e raízes sejam resultado do efeito tóxico dos elevados níveis do Na⁺ no metabolismo primário, especialmente no processo fotossintético uma vez que os níveis das clorofilas (*a* e *b*) foram reduzidos com o incremento da salinidade. Além disso, conclui-se que as plantas alteraram seu metabolismo bioquímico na busca de reequilibrar seu potencial osmótico e, por consequência, o potencial hídrico tendo em vista que houve incremento nos níveis de carboidratos solúveis e de prolina livre. Em relação aos genótipos, o genótipo de cajueiro EMBRAPA51 apresentou melhores resultados e mostrou-se mais tolerante à salinidade.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

- Alves FA, Ponte LFA, Silva SLF, Maias JM, Silveira JAG. Germinação e estabelecimento de plântulas de cajueiro anão precoce (*Anacardium occidentale* L.) em função da salinidade. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 8:197-204, 2013.
- Amorim AV, Filho EG, Bezerra MA, Prisco JT, Lacerda CF. Respostas fisiológicas de plantas adultas de cajueiro anão precoce à salinidade. *Revista Ciência Agrônômica*, 41(1):113-121, 2010.
- Araújo S, Sousa IJO, Gonçalves RLG, França ARS, Negreiros PS, Brito AKS, Oliveira AP, Lima EBS. Aplicações farmacológicas e tecnológicas da goma do cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) – um produto obtido da flora brasileira. *Revista Geintec*, 8(1):4292-4305, 2018.
- Azevedo Neto AD, Prisco JT, Enéas Filho J, Lacerda CF, Silva JV, Costa PHA, Gomes Filho E. Effects of salt stress on plant growth, stomatal response and solute accumulation of different maize genotypes. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 16:31-38, 2004.
- Bader B, Aissaoui F, Kmicha I, Salem AB, Chehab H, Gargouri K, Boujnah D, Chaieb M. Effects of salinity stress on water desalination, olive tree (*Olea europaea* L. cvs 'Picholine', 'Meski' and 'Ascolana') growth and ion accumulation. *Desalination*, 364, 46-52, 2015

- Bates LS, Waldren RP, Teare ID. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39:205-209, 1973.
- Brito MEB, Fernandes PD, Gheyi HR, Melo AS, Filho WSS, Santos RT. Sensibilidade à salinidade de híbridos trifoliados e outros porta-enxertos de citros. *Revista Caatinga*, 27:17-27, 2014
- Cardoso MN, Araújo AGD, Oliveira LAR, Cardoso BT, Muniz AVCS, Santos PSN, Oliveira ACA, Machado CA, Ledo AS. Proline synthesis and physiological response of cassava genotypes under in vitro salinity. *Ciência Rural*, 49(6):E-20170175, 2019
- Cova AMW, Azevedo Neto AD, Ribas RF, Gheyi HR, Menezes RV. Effect of salt stress on growth and contents of organic and inorganic compounds in noni (*Morinda citrifolia* L.). *African Journal of Biotechnology*, 15(43):2401-2410, 2016.
- Dubois M, Gilles KA, Hamilton JK, Rebers PT, Smith F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Biochemistry*, 28:350-356, 1956.
- Gitelson AA, Merzlyak MN, Chivkunova OB. Optical properties and non-destructive estimation of anthocyanin content in plant leaves. *Photochemistry and Photobiology*, 74:38-45, 2001.
- Hoagland DR, Arnon DI. *The Water-Culture Method for Growing Plants Without Soil*. California: California Agricultural Experiment Station, 1950.
- Jiang J, Huo Z, Feng S, Zhang C. Effect of irrigation amount and water Salinity on water consumption and water productivity of spring wheat in Northwest China. *Field Crops Research*, 137:78-88, 2012.
- Karimi S, Karimi H, Mokhtassi A, Tavallali V, Vahdatl K. Inducing drought tolerance in greenhouse grown *Juglans regia* by imposing controlled salt stress: The role of osmotic adjustment. *Scientia Horticulturae*, 239:181-192, 2018.
- Kaur G, Asthir B. Proline: a key player in plant abiotic stress tolerance. *Biologia Plantarum*, 59(4):609-619, 2015.
- Kerbauy GB. *Fisiologia vegetal*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. 452p.
- Lichtenthaler HK, Wellburn AR. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 11:591-592, 1983
- Lima GS, Dias AS, Souza LP, Sá FVS, Gheyi HR, Soares LAA. Effects of saline water and potassium fertilization on photosynthetic pigments, growth and production of West Indian Cherry. *Revista Ambiente & Água*, 13:351-359, 2018.
- McCready RM, Guggolz J, Silveira V, Owens HS. Determination of starch and amylase in vegetables. *Analytical Chemistry*, 22(9):1156-1158, 1950.

- Medeiros SAS, Cavalcante LF, Bezerra MAF, Nascimento JAM, Bezerra FTC, Prazeres SS. Água salina e biofertilizante de esterco bovino na formação e qualidade de mudas de maracujazeiro Amarelo. *Irriga*, 21:779-795, 2016.
- Menezes RV, Azevedo Neto ADD, Ribeiro MDO, Cova AMW. Growth and contents of organic and inorganic solutes in amaranth under salt stress. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 47(1), 22-30, 2017.
- Mesquita EF, Sá FVS, Jesus PLM, Suassuna CF, Santos APL, Paiva EP. Crescimento e produção da mamoneira BRS Gabriela em função da adubação orgânica e níveis de água. *Irriga*, 1(1):196-208. 2018
- Morais L, Almeida R, Figueiredo R. Contribuição de solutos inorgânicos no ajustamento osmótico de pinhão-manso submetido à salinidade. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44: 437-445, 2008.
- Munns R, Gilliam M. Salinity tolerance of crops – what is the cost? *New Phytologist*, 208:668-673, 2015.
- Munns R, Tester M. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59: 651-681. 2008
- Nascimento IB, Medeiros JF, Alves SSV, Lima BLC, Silva JLA. Desenvolvimento inicial da cultura do pimentão influenciado pela salinidade da água de irrigação em dois tipos de solos. *Agropecuária Científica no Semi-Árido*, 11:37-43, 2015.
- Paiva JR, Barros LM, Cavalcanti JJV. Cashew (*Anacardium occidentale* L.) Breeding: a global perspective. In: Jain SM, Priyadarshan PM. (Ed.). *Breeding Plantation Tree Crops*. Pp. 287-324, 2009.
- Quéro A, Molinié R, Elboutachfai R, Petit E, Pau-Roblot C, Guilot X, Mesnard F, Courtois J. Osmotic stress alters the balance between organic and inorganic solutes in flax (*Linum usitatissimum*). *Journal of Plant Physiology*, 171(1):55-64, 2014.
- Shabala S, Pottosin I. Regulation of potassium transport in plants under hostile conditions: implications for abiotic and biotic stress tolerance. *Physiologia Plantarum*, 151(3):257-279, 2014.
- Siqueira EDC, Gheyi HR, Beltrão NDM, Soares FAL, Barros Júnior G, Cavalcanti MLF. Crescimento do algodoeiro colorido sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9:263-267, 2015.
- Siringam K, Juntawong N, Chaum S, Kirdmanee C. Salt stress induced ion accumulation, ion homeostasis, membrane injury and sugar contents in salt sensitive rice (*Oryza sativa* L. spp. *indica*) roots under iso-osmotic conditions. *African Journal of Biotechnology*, 10: 1340-1346, 2011.

- Sousa ABO, Farias FC, Bezerra MA. Crescimento inicial de plantas enxertadas de cajueiro anão-precoce, irrigadas com água salina. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 13:3380-3389, 2019.
- Souza LP, Nobre RG, Silva EM, Pinheiro FWA, Almeida LLS. Crescimento de porta-enxerto de goiabeira sob águas salinizadas e doses de nitrogênio. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 10:53-60, 2015.
- Torres ECM, Freire JLO, Oliveira JL, Bandeira LB, Melo DA, Silva AL. Biometria de mudas de cajueiro anão irrigadas com águas salinas e uso de atenuadores do estresse salino. *Nativa*, 2:71-78, 2014.
- Van Handel E. Direct microdetermination of sucrose. *Analytical Biochemistry* 22: 280-283, 1968.
- Vidal MF. *Situação da Cajucultura nordestina após a seca*. Caderno Setorial ETENE. 1: 17-25, 2016.
- Viégas RA, Silveira JAG, Lima Junior AR, Queiroz JE, Fausto MJM. Effects of NaCl-salinity on growth and inorganic solute accumulation in young cashew plants. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 5:216-222, 2001.
- Wu H, Zhu M, Shabala L, Zhou M, Shabala S. K⁺ retention in leaf mesophyll, an overlooked component of salinity tolerance mechanism: a case study for barley. *Journal of Integrative Plant Biology*, 57(2), 171-185, 2014.
- Yemm EW, Cocking EF. The determination of amino acids with ninhydrin. *Analyst*, 80: 209-213, 1955