



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA
MESTRADO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA

ALLYSSON RÉGIS PRAXEDES MOREIRA

**ÁCIDO SALICÍLICO COMO ATENUADOR DA SALINIDADE NA PRODUÇÃO DE
PORTA-ENXERTOS DE CAJUEIRO IRRIGADOS COM ÁGUA PRODUZIDA DO
PETRÓLEO**

MOSSORÓ - RN

2025

ALLYSSON RÉGIS PRAXEDES MOREIRA

**ÁCIDO SALICÍLICO COMO ATENUADOR DA SALINIDADE NA PRODUÇÃO DE
PORTA-ENXERTOS DE CAJUEIRO IRRIGADOS COM ÁGUA PRODUZIDA DO
PETRÓLEO**

Dissertação apresentada ao Mestrado em Manejo de Solo e Água do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

Linha de Pesquisa: Tecnologia em Nutrição de Plantas e Soluções para Convivência com a Seca e Salinidade.

Orientador: Reginaldo Gomes Nobre, Prof. Dr.

MOSSORÓ – RN

2025

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

P823Á Praxedes Moreira, Allysson Régis.
ÁCIDO SALICÍLICO COMO ATENUADOR DA
SALINIDADE NA PRODUÇÃO DE PORTA-ENXERTOS DE
CAJUEIRO IRRIGADOS COM ÁGUA PRODUZIDA DO
PETRÓLEO /
Allysson Régis Praxedes Moreira. - 2025.
76 f. : il.

Orientador: Reginaldo Gomes Nobre . Dissertação
(Mestrado) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
Manejo de Solo e Água, 2025.

1. Anacardium occidentale L. 2. Fitohormônio.
3. Estresse Abiótico. 4. Material Genético. I. Gomes Nobre ,
Reginaldo , orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva

CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ALLYSSON RÉGIS PRAXEDES MOREIRA

**ÁCIDO SALICÍLICO COMO ATENUADOR DA SALINIDADE NA PRODUÇÃO DE
PORTA-ENXERTOS DE CAJUEIRO IRRIGADOS COM ÁGUA PRODUZIDA DO
PETRÓLEO**

Dissertação apresentada ao Mestrado em
Manejo de Solo e Água do Programa de Pós-
Graduação em Manejo de Solo e Água da
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Mestre em Manejo de Solo e Água.

Linha de Pesquisa: Tecnologia em Nutrição de
Plantas e Soluções para Convivência com a
Seca e Salinidade.

Defendida em: 05 / 12 / 2025.

BANCA EXAMINADORA

Reginaldo Gomes Nobre, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente / Orientador

Luiz Fernando de Sousa Antunes, Prof. Dr. (PPGMSA/UFERSA)
Membro Examinador

Antônio Gustavo de Luna Souto, Dr. (Prof. Visitante/PPGMSA/UFERSA)
Membro Examinador

Jailson Lopes da Penha, Dr. (EMPAER/PB)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela minha vida, e por me permitir ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo da realização deste trabalho.

Aos meus pais e irmãos, pelo apoio em toda minha existência.

A minha esposa, Ana Cleide e a meus filhos, Arthur Vinícius e Ana Luíza, por todo o amor, confiança e apoio em mais essa etapa da minha vida.

Ao professor e amigo Dr. Reginaldo Gomes Nobre, por todo apoio, incentivo, orientação, compreensão, paciência, tempo e dedicação ao longo desta jornada.

Aos colegas Maria do Socorro, Kaila, Guilherme e Fernanda pelo apoio e contribuição durante a pesquisa.

A banca examinadora pela disposição em contribuir com a melhoria deste trabalho.

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido e ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água por todo o apoio estrutural e de aprendizado durante todo o curso.

OBRIGADO!

À minha esposa e meus filhos, onde o coração encontra abrigo e a alegria floresce. Onde encontro forças, apoio, incentivo e muito amor.

DEDICO

RESUMO

A região nordeste do Brasil, caracterizado pelo clima semiárido, convive historicamente com a escassez de água. Nesse contexto, há algum tempo os agricultores, pesquisadores e entidades de vários setores vêm inovando através de alternativas para suprir as necessidades hídricas da região, especialmente no setor agrícola. Nesse sentido, e analisando as alternativas pré-existentes, a água proveniente da extração do petróleo, após tratamento para remoção dos metais pesados, pode se tornar uma opção viável, notadamente, combinada com o ácido salicílico, um fito regulador vegetal que ajuda a reduzir os estresses abióticos. Nesse viés, este trabalho objetiva analisar a produção de porta-enxertos de cajueiro, uma cultura de grande relevância social e econômica para o nordeste, com imensas áreas de produção, empregando milhares de nordestinos nas áreas de produção, submetidas à irrigação com água produzida do petróleo, com diferentes aplicações de ácido salicílico. O experimento foi conduzido em condições de ambiente protegido (casa de vegetação) nas dependências da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), campus Caraúbas, Caraúbas – RN, em diferentes blocos, aleatoriamente, utilizando esquema fatorial de 5 x 4 x 2 com quatro repetições e uma planta por parcela. Os tratamentos consistem em 5 diluições de água sintética do petróleo - AP em água de abastecimento - AA designadas como T1: 100% AA T2: 75% AP+ 25% AP, T3: 50% AA+ 50% AP, T4: 25% AA+ 75% AP e T5: 100% AP; associado a quatro concentrações de ácido salicílico (0; 0,8; 1,6 e 2,4 mM) e 2 clones de cajueiro (Embrapa 51 e CCP 76). A morfofisiologia e a qualidade dos porta-enxertos de cajueiro apresentaram melhor desempenho quando irrigados com a solução T-3, composta por 50% de água não salobra (ANS) e 50% de água produzida do petróleo (AP). Enquanto no tratamento T-4, contendo 25% de água de abastecimento e 75% de AP, resultou em reduções no aparato fotossintético e de crescimento dentro de limites aceitáveis para produção de mudas, com decréscimos máximos de até 10%. A aplicação exógena de ácido salicílico, na concentração média de 1,45 mM, mitigou os efeitos adversos da salinidade da água produzida de petróleo (CEa de 2,63 dS·m⁻¹) promovendo melhorias nos parâmetros fisiológicos, no crescimento e na qualidade dos porta-enxertos. Entre os cultivares de cajueiros, o CCP 76 destacou-se em relação ao Embrapa 51, apresentando maior tolerância ao estresse salino e qualidade de mudas para porta-enxerto quando irrigadas com água produzida do petróleo.

Palavras-Chave: *Anacardium occidentale* L., Fitohormônio; Estresse Abiótico; Material Genético.

ABSTRACT

The northeastern region of Brazil, characterized by a semi-arid climate, has historically faced water scarcity. In this context, for some time farmers, researchers, and organizations from various sectors have been innovating through alternatives to meet the region's water needs, especially in agriculture. In this sense, and analyzing pre-existing alternatives, water derived from oil extraction, after treatment to remove heavy metals, may become a viable option, notably when combined with salicylic acid, a plant growth regulator that helps reduce abiotic stresses. From this perspective, this study aims to analyze the production of cashew rootstocks, a crop of great social and economic relevance for the Northeast, with vast production areas employing thousands of Northeastern workers, subjected to irrigation with oil-produced water under different applications of salicylic acid. The experiment was conducted under protected environment conditions (greenhouse) at the Federal Rural University of the Semi-Arid (UFERSA), Caraúbas campus, Caraúbas – RN, in different randomized blocks, using a factorial scheme of 5 x 4 x 2 with four replications and one plant per plot. The treatments consisted of 5 dilutions of synthetic oil-produced water (AP) in supply water (AA), designated as T1: 100% AA; T2: 75% AA + 25% AP; T3: 50% AA + 50% AP; T4: 25% AA + 75% AP; and T5: 100% AP; combined with four concentrations of salicylic acid (0; 0.8; 1.6; and 2.4 mM) and two cashew clones (Embrapa 51 and CCP 76). The morphophysiology and quality of cashew rootstocks showed better performance when irrigated with solution T-3, composed of 50% non-saline water (NSW) and 50% oil-produced water (AP). Meanwhile, treatment T-4, containing 25% supply water and 75% AP, resulted in reductions in the photosynthetic apparatus and growth, within acceptable limits for seedling production, with maximum decreases of up to 10%. The exogenous application of salicylic acid, at an average concentration of 1.45 mM, mitigated the adverse effects of the salinity of oil-produced water (ECa of $2.63 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$), promoting improvements in physiological parameters, growth, and rootstock quality. Among the cashew genotypes, CCP 76 stood out compared to Embrapa 51, showing greater tolerance to saline stress and better seedling quality for rootstock when irrigated with oil-produced water.

Keywords: *Anacardium occidentale* L., Phytohormone; Abiotic Stress; Genetic Material.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO I

Figura 1	Condutância estomática - g_s (A) e Concentração interna de CO_2 (B) em função da interação entre os fatores água produzida do petróleo - AP x cultivars de cajueiro - GC; e g_s sob concentrações de ácido salicílico - AS (C)	29
Figura 2	Taxa de assimilação de CO_2 - A em função da interação entre água produzida do petróleo - AP x concentrações de ácido salicílico - AS (A) e em função dos cultivares de cajueiro (B); e Transpiração - E em função de cultivars de cajueiro (C) e de AP (D)	32
Figura 3	Eficiência instantânea no uso da água - $EiUA$ em função da interação entre água produzida do petróleo - AP e cultivars de cajueiro GC (A) e interação de AP e concentrações de AS (B)	33
Figura 4	Número de folhas - NF em função da interação entre água produzida do petróleo - AP x concentrações de ácido salicílico - AS (A); e Diâmetro de caule - DC em função de AP (B) de AS (C) e dos cultivars de cajueiro (D)	37
Figura 5	Altura de planta - AP em função das diluições de água produzida do petróleo (A) das concentrações de ácido salicílico (B) e dos cultivars de cajueiro (C)	39
Figura 6	Área foliar - AF em função da interação entre os fatores água produzida do petróleo - AP x concentrações de ácido salicílico - AS (A), da interação entre AP x cultivars de cajueiro - GC (B), e da interação entre AS x GC (C)	40
Figura 7	Massa fresca de raízes - MFR (A) e da parte aérea - MFPA (B) em função das diluições de água produzida do petróleo; MFR (C) e MFPA (D) em função da interação entre concentrações de ácido salicílico - AS x cultivars de cajueiro - GC	43
Figura 8	Massa fresca total por planta - MFT em função das diluições de água produzida do petróleo (A) e em função da interação entre concentrações de ácido salicílico - AS x cultivars de cajueiro - GC (B), e Índice de qualidade de Dickson - IQD em função da interação AS x GC (C) e da interação AP x AS (D)	45

ARTIGO II

Figura 1	Eficiência intrínseca da carboxilação - $EiCi$ (A) e eficiência do uso da água - WUE (B) em função da interação entre os fatores água produzida do petróleo - AP x cultivars de cajueiro - GC; eficiência intrínseca do uso da água - $EiUA_{ae}$ em função da interação entre AP x concentrações de ácido salicílico - AS (C) e dos cultivars de cajueiro (D)	59
Figura 2	Suculência - SUC em função dos cultivars de cajueiro (A) e das concentrações de ácido salicílico (B) e taxa de crescimento absoluto da	61

Figura 3	altura de planta - TCAap em função de AS (C) e das distintas diluições de água produzida do petróleo (D) Taxa de crescimento absoluto do diâmetro de caule - TCAdc em função dos cultivars de cajueiro (A) e da interação entre os fatores água produzida do petróleo - AP x concentrações de ácido salicílico - AS (B); e taxa de crescimento absoluto da área foliar – TCAaf (C) em função da interação entre AP x AS	63
Figura 4	Massa seca de folhas – MSF em função da interação entre concentrações de ácido salicílico e cultivars de cajueiro (A) e das diluições de água produzida do petróleo - AP (B); e, massa seca de caule – MSC (C) em função de AP.	66
Figura 5	Massa seca de raízes – MSR em função da interação entre água produzida do petróleo - AP x concentrações de ácido salicílico - AS (A), e da interação entre AS x cultivars de cajueiro - GC (B).	68
Figura 6	Massa seca da parte aérea - MSPA (A) e total por planta - MST (B) em função da interação entre concentrações de ácido salicílico - AS x cultivars de cajueiro - GC; e MSPA (C) e MST (D) em função das distintas diluições de água produzida do petróleo.	70
Figura 7	Relação raiz/parte aérea - RPA em função da interação entre diluições de água produzida do petróleo - AP x concentrações de ácido salicílico - AS (A).	71

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

Tabela 1	Composição química média da água produzida de petróleo (AP) encontrada nos poços da Bacia Potiguar e os reagentes e quantitativos utilizados para produção da AP sintética	24
Tabela 2	Características físicas e químicas da mistura solo/substrato utilizado para condução das plantas de cajueiro	25
Tabela 3	Resumo da análise de variância para condutância estomática (gs), concentração interna de CO ₂ (Ci), taxa de assimilação de CO ₂ (A), transpiração (E) e eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) de porta-enxertos de cultivars de cajueiro sob irrigação com diluições de água produzida do petróleo (AP) e concentrações de ácido salicílico (AS)	27
Tabela 4	- Resumo da análise de variância referente ao número de folhas (NF), diâmetro de caule (DC), altura de planta (AP) e área foliar (AF) de porta-enxertos de cultivars de cajueiro sob irrigação com diluições de água produzida do petróleo (AP) e distintas concentrações de ácido salicílico (AS), 42 dias após a emergência das plantas (DAE)	35
Tabela 5	Resumo da análise de variância referente à massa fresca de raízes (MFR), da parte aérea (MFPA) e total por planta (MFT), e índice de qualidade de Dickson (IQD) de porta-enxerto de cultivars de cajueiro sob irrigação com diluições de água produzida do petróleo (AP) e distintas concentrações de ácido salicílico (AS), aos 42 dias após a emergência (DAE)	41

ARTIGO 2

Tabela 1	Composição química média da água produzida de petróleo (AP) encontrada nos poços da Bacia Potiguar e os reagentes e quantitativos utilizados para produção da AP sintética	55
Tabela 2	Características físicas e químicas da mistura solo/substrato utilizado para condução das plantas de cajueiro	56
Tabela 3	Resumo da análise de variância para eficiência intrínseca da carboxilação (EiCi), eficiência intrínseca do uso da água (EiUAe), eficiência do uso da água (WUE), suculência (SUC) taxa de crescimento absoluto da altura de planta (TCAap), do diâmetro de caule (TCAdc) e da área foliar (TCAaf) de porta-enxertos de cultivars de cajueiro sob irrigação com diluições de água produzida do petróleo (AP) e concentrações de ácido salicílico (AS)	58
Tabela 4	Resumo da análise de variância para massa seca de folhas (MSF), de caule (MSC), de raízes (MSR), da parte aérea (MSPA), total por planta (MST) e relação raiz/parte aérea (RPA) de porta-enxertos de cultivars de cajueiro sob irrigação com diluições de água produzida do petróleo (AP) e concentrações de ácido salicílico (AS)	64

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	13
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17
2. ARTIGO 1: PRODUÇÃO DE PORTA-ENXERTO DE CULTIVARS DE CAJUEIRO COM ÁGUA PRODUZIDA DO PETRÓLEO SOB APLICAÇÃO DE ÁCIDO SALICÍLICO	19
2.1 INTRODUÇÃO	21
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	23
2.2.1 Delineamento experimental, tratamentos e semeio do porta-enxerto de cajueiro	23
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
2.4 CONCLUSÕES.....	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
3. ARTIGO 2 - CRESCIMENTO E FISILOGIA DE PORTA-ENXERTOS DE CAJUEIRO IRRIGADOS COM ÁGUA PROVENIENTE DA EXTRAÇÃO DO PETRÓLEO SOB APLICAÇÃO DE ÁCIDO SALICÍLICO	51
3.1 INTRODUÇÃO	53
3.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	54
3.2.1 Delineamento experimental, tratamentos e semeadura dos porta-enxertos de cajueiro	54
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
3.4 CONCLUSÕES.....	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
4 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	76

1. INTRODUÇÃO GERAL

Este trabalho, composto por dois artigos, variedades distintas foram analisadas em cada um deles, envolvendo pesquisa literária e experimento de campo, propondo demonstrar em um contexto técnico-científico o problema da escassez hídrica no mundo e no Brasil. O estudo pormenorizou os problemas gerados por essa escassez no semiárido do nordeste brasileiro, especificamente na agricultura irrigada, destacando os impactos que comprometem a sustentabilidade da produção agrícola na região.

Além disso, foram apresentadas alternativas que estão sendo pesquisadas para amenizar esses problemas, como o uso de água produzida do petróleo associada ao ácido salicílico, um fitohormônio que funciona como bioestimulante e regulador de crescimento. Essa combinação promove a defesa das plantas contra estresses abióticos (seca e salinidade) e bióticos (doenças e pragas), ao induzir a resistência sistêmica adquirida (SAR), sendo aplicada na produção de porta-enxertos de *cultivars* de cajueiro.

A água disponível no planeta está majoritariamente concentrada nos oceanos, sendo 97,5% salgada e apenas 2,5% doce. Deste pequeno percentual de água doce, cerca de 68,7% encontra-se em regiões polares, enquanto 30,1% está armazenada em aquíferos subterrâneos, rios e lagos. Apenas 0,27% estão acessível para consumo humano (Fietz, 2006). No Brasil, a situação é agravada pela distribuição desigual dos recursos hídricos, o que pode limitar o acesso a água em regiões de baixa disponibilidade, como a região Nordeste brasileiro. Em 2018, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2021) registrou cerca de 2.516 episódios de seca, afetando aproximadamente 43 milhões de pessoas, principalmente no Nordeste brasileiro (Santos *et al.*, 2020). A maior parte da água retirada das bacias hidrográficas no Brasil em 2020 foi destinada à irrigação (50%), seguida pelo abastecimento urbano (25%) e uso industrial (10%), totalizando uma vazão de $1.947 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (ANA, 2021).

A escassez hídrica é uma preocupação crescente, sendo considerada um dos principais entraves ao desenvolvimento sustentável (SgROI *et al.*, 2018). Essa preocupação se manifesta tanto pela limitação quantitativa - agravada pelo crescimento populacional - quanto pela degradação qualitativa das fontes hídricas, resultado do despejo de esgoto sem tratamento, descarte inadequado de resíduos urbanos e industriais, além do uso excessivo de fertilizantes e pesticidas (Toretta *et al.*, 2020).

No semiárido nordestino, os baixos índices pluviométricos, que variam entre 200 e 800 mm durante o período chuvoso, somados à alta densidade populacional, poluição, agricultura

irrigada, atividade industrial e desmatamento, intensificam ainda mais a escassez de água de qualidade (Augusto *et al.*, 2012). Em 2024 os maiores volumes de chuva foram observados em áreas da Bahia, Piauí e Maranhão, com valores superiores a 250 mm, como foi o caso de Vitória da Conquista (BA), onde choveu 397,5 mm, Imperatriz (MA) com 377,7 mm e Valença do Piauí (PI) com 321 mm (Inmet, 2024).

Diante desse cenário, surgem alternativas para mitigar os impactos da escassez hídrica. Uma delas, foco deste estudo, é o uso da água produzida do petróleo (AP), associada ao ácido salicílico, na produção de porta-enxertos de cultivars de cajueiro. As águas residuárias tratadas (ART) têm se mostrado ferramentas eficazes na gestão hídrica, sendo utilizadas em atividades não potáveis como irrigação, recarga de aquíferos e limpeza urbana. O uso potável, direto ou indireto, também vem ganhando relevância diante da crescente escassez (Santos *et al.*, 2022).

No contexto agrícola, as fontes de água incluem rios, lagos, reservatórios, aquíferos subterrâneos e, em alguns casos, águas residuais. A água produzida do petróleo vem sendo considerada uma dessas fontes alternativas. Trata-se de um subproduto da extração de petróleo e gás natural, com composição variável conforme a região, o tipo de reservatório e os métodos de extração utilizados (Alzahrani *et al.*, 2014; Abbas *et al.*, 2021).

Essa água contém hidrocarbonetos, metais pesados, sais solúveis e outros elementos químicos, além de gases dissolvidos como CO₂, O₂ e H₂S, que podem ser gerados por atividade bacteriana ou reações químicas (Dudek *et al.*, 2020; Igunnu *et al.*, 2012; Munirasu, *et al.*, 2016;). A cada barril de petróleo extraído, são gerados cerca de quatro barris de água produzida (Dudek, 2020), evidenciando a magnitude do desafio ambiental.

Por isso, o reaproveitamento da AP na agricultura surge como uma alternativa promissora, contribuindo para a redução dos impactos ambientais e para a sustentabilidade dos recursos hídricos. O uso racional dessa água, aliado ao avanço tecnológico, pode promover uma convivência mais harmônica entre desenvolvimento e preservação ambiental.

O cajueiro (*Anacardium occidentale L.*), cultura utilizada no experimento de campo da pesquisa, pertencente à família Anacardiaceae, é uma planta perene, resistente e xerófila, adaptada a solos arenosos e pobres, típicos de regiões tropicais. Cultivado em diversas partes do mundo (Barros, 2002), o Brasil se destaca como um dos principais produtores, favorecido por condições edafoclimáticas ideais. Além de sua relevância econômica, o cajueiro possui importância cultural, especialmente no Nordeste brasileiro, onde populações indígenas contribuíram para sua disseminação em áreas interiores. Historicamente, os nativos utilizavam sua floração como referência temporal (Gamarra-Rojas *et al.*, 2019).

Atualmente, o Nordeste concentra 99,7% da área cultivada com cajueiro no país, totalizando 424 mil hectares dos 425,2 mil hectares registrados nacionalmente (IBGE, 2022a). A castanha de caju é o principal produto comercializado, com alto valor agregado e ampla aceitação no mercado internacional (Bezerra *et al.*, 2007). O cultivo ocorre durante a estação chuvosa (março a julho), com colheita entre setembro e janeiro. A produtividade varia conforme a idade das plantas, o material genético utilizado e as condições climáticas, especialmente em períodos de seca, que coincidem com a entressafra de culturas como feijão e milho. A cajucultura, portanto, representa uma alternativa econômica e nutricional, já que as castanhas, por seu baixo teor de umidade, podem ser armazenadas com segurança durante a estiagem, desde que sejam adotadas boas práticas de colheita e conservação (Serrano *et al.*, 2016).

Apesar da adaptabilidade do cajueiro, grande parte do Nordeste apresenta clima semiárido, caracterizado por chuvas escassas e irregulares, concentradas em um curto período de 3 a 4 meses. A região registra precipitação anual de até 800 mm, elevada insolação (2.800 horas/ano), temperaturas médias entre 23°C e 27°C, evaporação de aproximadamente 2.000 mm/ano e umidade relativa em torno de 50% (SUDENE, 2021). Esses fatores limitam a disponibilidade hídrica, comprometendo o atendimento das demandas sociais e agrícolas. Embora o cajueiro tolere certo grau de salinidade, essa condição pode afetar negativamente a produção de mudas, pois o acúmulo de sais solúveis no solo reduz o potencial osmótico da solução, dificultando a absorção de água e nutrientes pelas plantas (Lima *et al.*, 2017).

Para mitigar os efeitos da salinidade, diversos compostos naturais e sintéticos têm sido estudados, entre eles o ácido salicílico. Este fitohormônio atua como antioxidante, acumulando-se em plantas sob estresse e contribuindo para processos fisiológicos como fotossíntese, abertura estomática, germinação e absorção de nutrientes (Silva *et al.*, 2020). Além disso, potencializa a tolerância ao estresse salino e ativa enzimas antioxidantes (Antonioni *et al.*, 2016; Rajeshwari *et al.*, 2017).

O interesse científico pelo ácido salicílico tem crescido, com estudos voltados à sua influência no crescimento vegetal e nas propriedades físico-químicas das folhas, como indução de resistências a patógenos no tomate, estímulo da fotossíntese no trigo, melhoria da absorção de nutrientes na soja, aumento da germinação de sementes no girassol, potencialização da resistência a geadas no café, entre outros. Estudos indicam, ainda, que o ácido salicílico atua como um estimulante do metabolismo secundário nas plantas e tem sido avaliado para reduzir os estresses ambientais, como a elevação na temperatura.

Por conseguinte, com o agravamento da escassez hídrica no semiárido brasileiro e do aumento da agricultura irrigada para suprir a demanda alimentar, a água produzida do petróleo surge como uma alternativa promissora. Considerando, ainda, a importância do cajueiro para a região e a escassez de estudos sobre o uso dessa água associada ao ácido salicílico na produção de mudas, esta pesquisa surge como mais um instrumento para buscar alternativas viáveis para essa problemática, ao avaliar a morfofisiologia de cultivars de cajueiro irrigados com água produzida, com aplicação exógena de ácido salicílico, como atenuador do estresse salínico na produção e desenvolvimento de mudas de cajueiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBAS, A. J.; GZAR, H. A.; RAHI, M. N. **Oilfield-produced water characteristics and treatment technologies: a mini review**. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, v. 1058, 2021.
- ALZARAHNI, S.; MOHAMMAD, A. W. **Challenges and trends in membrane technology implementation for produced water treatment: A review**. Journal of Water Process Engineering, v. 4, p. 107-133, 2014.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Relatório pleno, Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. 2021. Brasília: ANA, 2021.
- ANTONIOU, C.; SAVVIDES, A.; CHRISTOU, A.; FOTOPOULOS, V. **Unravelling chemical priming machinery in plants: the role of reactive oxygen–nitrogen–sulfur species in abiotic stress tolerance enhancement**. Current Opinion in Plant Biology, v.33, n.1, p.101-107, 2016.
- ASSUNÇÃO, M. V. D.; VIEIRA, M. M.; ALMEIDA, M. R. **Fatores influenciadores na produção indesejada da água produzida de petróleo: um estudo na Bacia Potiguar/Brasil**. Holos, Natal, v. 34, n. 2, p. 146-160, 2018. DOI: [10.15628/holos.2018.6479] (<https://doi.org/10.15628/holos.2018.6479>).
- AUGUSTO, L. G. S., Gurgel, I. G. D., Câmara Neto, H. F., Melo, C. H. & Costa, A. M. (2012). **O contexto global e nacional frente aos desafios do acesso adequado à água para consumo humano**. Ciência & Saúde Coletiva, 17(6), 1511-1522.
- BARROS, L. M. et al. Botânica, origem e distribuição geográfica. In: BARROS, L. M. **Caju, Produção: Aspectos Técnicos**. Brasília: Embrapa, 2002. p. 18-20.
- BEZERRA, M. A. et al. **Physiology of cashew plants grown under adverse conditions**. Brazilian Journal of Plant Physiology, v. 19, n. 04, p. 449-461, 2007.
- DUDEK, M.; VIK, E.A.; AANESSEN, V.; OYE, G. **Colloid chemistry and experimental techniques for understanding fundamental behaviour of produced water in oil and gas production**. Advances in Colloid and Interface Science, v. 276, 2020.
- FIETZ, C. R. (2006) Água, o recurso natural terceiro milênio. EMBRAPA AGROPECUÁRIA OESTE. Guimarães, D. P. & Landau, E. C. (2014) **Levantamento da Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil em 2013**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 42 p.
- GAMARRA-ROJAS, G., DA SILVA, N. C. G.; VIDAL, M. S. C. **Contexto, agricultura e interação no agroecossistema familiar do caju no semiárido brasileiro**. Cadernos de Ciência & Tecnologia, n. 34, v. 3, p. 315-338, 2019.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento sistemático da Produção Agrícola**. IBGE/LSPA. Fortaleza: IBGE/GCEA-CE. Série abril de 2022a.

IGUNNU, E. T.; CHEN, G. Z. **Produced water treatment technologies**. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, v. 9, n. 3, p. 157-177, 2012.

BOLETIM AGROCLIMATOLÓGICO / INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. – V.59 n. 02 – (2024) – Brasília: Inmet, 2024. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/>. Acesso: 11/11/2025.

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

MUNIRASU, S.; HAIJA, M.A.; BANAT, F.; **use of membrane technology for oil field and refinery produced water treatment**—A review. *Process safety and environmental protection*, v. 100, p. 183-202, 2016.

RAJESHWARI, V.; BHUVANESHWARI, V. **Salicylic acid induced salt stress tolerance in plants**. *International Journal of Plant Biology and Research*, v. 5, n. 3, p. 1067-1073, 2017.

SANTOS, A. S. P.; VIEIRA, J. M. P. **Reúso de água para o desenvolvimento sustentável: aspectos de regulamentação no Brasil e em Portugal**. *Revista Gesta*, v. 8, n. 1, p. 50-68. 2020. <https://doi.org/10.9771/gesta.v8i1.36462>

SANTOS et al., 2022. **A tale that never loses in the telling: Considerations for the shifting ethnobaseline based on artisanal fisher records from the southwestern Atlantic**. *Ethnobiology and Conservation*, 11:03 (27 January 2022) doi:10.15451/ec2022-01-11.03-1-20

SERRANO, L. A. L.; PESSOA, P. F. A. P. **Aspectos econômicos da cultura do cajueiro. Embrapa agroindústria tropical: Fortaleza-Ceará**, 2016.

SGROI, M.; VAGLIADASHI, F. G.A.; ROCCARO, P. **Feasibility, sustainability and circular economy concepts in water reuse**. *Environmental Science & Health*, v. 2, p. 20-25. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.01.004>.

SILVA, A. A. R.; LIMA, G. S. de; AZEVEDO, C. A. V.; VELOSO, L. L. S.; GHEYI, H. R. **Salicylic acid as an attenuator of salt stress in soursop**. *Revista Caatinga*, v.33, n.4, p.1092-1101, 2020.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. **Delimitação do Semiárido - Relatório final, 2021**. Disponível em: https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/8-relatoriometodologia_semiarido2021_v9_versaodefinitiva__1_.pdf. Acesso em: 10 maio. 2025.

TORRETTA, V.; KATSOYIANNIS, I.; COLLIVIGNARELLI, M. C.; BERTANZA, G.; XANTHOPOULOU, M. **Water reuse as a secure pathway to deal with water scarcity**. *MATEC Web of conferences*, v.305. 2020. <https://doi.org/10.1051/mateconf/202030500090>

2. ARTIGO 1: PRODUÇÃO DE PORTA-ENXERTO DE CULTIVARS DE CAJUEIRO COM ÁGUA PRODUZIDA DO PETRÓLEO SOB APLICAÇÃO DE ÁCIDO SALICÍLICO

RESUMO

A agricultura irrigada no semiárido brasileiro enfrenta desafios como escassez hídrica, alta evapotranspiração e solos salinos, impactando diversas culturas, incluindo o cajueiro, que se destaca pela importância alimentar, social e econômica na região. Entretanto, a resposta das plantas aos estresses abióticos como o salino, varia entre espécies, cultivars, estágio fenológico, tipo e concentração salina, dentre outros, tornando essencial a seleção de materiais genéticos mais tolerantes. Além disto, diversas pesquisas têm estudado a aplicação de adubos e/ou produtos capazes de atenuar os efeitos negativos de distintos estresses e, dentre estes, cita-se a aplicação de fitohormônios, como o ácido salicílico que atua sobre processos fisiológicos e morfológicos da planta, contribuindo para sua adaptação ao ambiente adverso. Desta forma, este estudo teve como objetivo avaliar a morfofisiologia de porta-enxerto de cajueiro irrigada com água produzida do petróleo, associada a concentrações de ácido salicílico. O experimento foi realizado em blocos ao acaso, segundo um delineamento fatorial $5 \times 4 \times 2$, com quatro repetições e uma planta por parcela. Os tratamentos consistiram em diferentes diluições de água produzida de petróleo sintética - AP e água não salobra - ANS (T1: 100% ANS, T2: 75% ANS + 25% AP, T3: 50% ANS + 50% AP, T4: 25% ANS + 75% AP e T5: 100% AP), além de concentrações de ácido salicílico (0; 0,8; 1,6 e 2,4 mM) e dos cultivars de cajueiro (EMBRAPA 51 e CCP 76). A morfofisiologia e a qualidade dos porta-enxertos de cajueiro é favorecida com a irrigação usando a diluição de águas T-3 (50% de água não salobra - ANS + 50% de água produzida do petróleo - AP) e, a diluição T-4 (25% de água de abastecimento + 75% AP) promove decréscimos máximos aceitáveis de 10% no crescimento e fisiologia do cajueiro. A aplicação exógena de ácido salicílico na concentração média de 1,45 mM atenua os efeitos negativos da salinidade contida na diluição com água produzida do petróleo até a CEa de 2,63 dS m⁻¹ sobre os componentes fisiológicos, de crescimento e qualidade de porta-enxertos de cajueiro. O porta-enxerto de cajueiro CCP 76 superou o Embrapa 51 em termos de qualidade e foi mais tolerante ao estresse salino da água produzida do petróleo.

Palavras-chave: *Anacardium occidentale* L., Fitohormônio; Estresse Abiótico; Material Genético.

ARTICLE 1: PRODUCTION OF CASHEW GENOTYPE SEEDLINGS WITH WATER PRODUCED FROM PETROLEUM UNDER THE APPLICATION OF SALICYLIC ACID

ABSTRACT

Irrigated agriculture in the Brazilian semi-arid region faces challenges such as water scarcity, high evapotranspiration, and saline soils, affecting various crops including cashew, which stands out for its nutritional, social, and economic importance in the region. However, plant responses to abiotic stresses like salinity vary according to species, genotypes, phenological stage, type and concentration of salts, among other factors, making the selection of more tolerant genetic materials essential. Additionally, several studies have investigated the use of fertilizers and/or products capable of mitigating the negative effects of different stresses, including the application of phytohormones such as salicylic acid, which influences physiological and morphological processes in plants, aiding their adaptation to adverse environments. Therefore, this study aimed to evaluate the morphophysiology of cashew rootstocks irrigated with petroleum-produced water combined with different concentrations of salicylic acid. The experiment was conducted in randomized blocks using a $5 \times 4 \times 2$ factorial design, with four replications and one plant per plot. Treatments consisted of different dilutions of synthetic petroleum-produced water (PW) and non-saline water (NSW): T1: 100% NSW, T2: 75% NSW + 25% PW, T3: 50% NSW + 50% PW, T4: 25% NSW + 75% PW, and T5: 100% PW, along with salicylic acid concentrations (0; 0.8; 1.6; and 2.4 mM) and cashew genotypes (EMBRAPA 51 and CCP 76). The morphophysiology and quality of cashew rootstocks were enhanced under irrigation with T3 dilution (50% NSW + 50% PW), while T4 dilution (25% NSW + 75% PW) resulted in acceptable maximum reductions of 10% in growth and physiological parameters. Exogenous application of salicylic acid at an average concentration of 1.45 mM mitigated the negative effects of salinity in petroleum-produced water up to an electrical conductivity of $2.63 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$, improving physiological traits, growth, and rootstock quality. The CCP 76 cashew rootstock outperformed Embrapa 51 in terms of quality and showed greater tolerance to saline stress from petroleum-produced water.

Keywords: *Anacardium occidentale* L., Phytohormone, Abiotic Stress, Genetic Material.

2.1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a distribuição desigual dos recursos hídricos agrava a escassez, principalmente na região Nordeste, sendo a mais afetada (Fischer, *et al.*, 2016). Esta inconveniência é devido a região possuir elevadas temperaturas na maioria dos meses do ano associada a baixa precipitação pluviométrica, que varia entre 200 e 800 mm anuais, sendo bem inferiores ao volume evapotranspirado que em média atinge 2000 mm (ANA, 2021; Santos & Vieira, 2020).

A crescente preocupação com a escassez hídrica é apontada como um dos maiores desafios para o desenvolvimento sustentável (SgROI, *et al.*, 2018), agravando-se tanto pela redução na disponibilidade quanto pela deterioração da qualidade da água devido ao descarte inadequado de resíduos e poluentes (Toretta *et al.*, 2020). Para enfrentar esse problema e, visando a ampliação das áreas irrigadas nesta região, algumas alternativas vêm sendo avaliadas, como a água produzida do petróleo (AP) (Miranda, *et al.*, 2016).

A água produzida do petróleo (AP), um subproduto da extração de petróleo e gás natural, possui composição variável, sendo uma mistura complexa de compostos orgânicos e inorgânicos além de conter geralmente altas concentrações de sais e metais pesados (Assunção, *et al.*; 2018). Sua composição pode conter gases dissolvidos, como hidrocarbonetos voláteis, CO₂, O₂ e H₂S, provenientes de atividades bacterianas ou reações químicas (Munirasu, 2016). De acordo com alguns estudos, para cada barril de petróleo extraído, cerca de quatro barris de água são gerados (Dudek, 2020). Por isso, seu tratamento é essencial para descarte seguro seja na injeção em poços ou reutilização em diversas atividades, como indústria, dessedentação animal e agricultura (Abbas *et al.*, 2021; Amakiri *et al.*, 2022; Jiménez *et al.*, 2018; Munirasu, 2016).

Devido a possibilidade de uso da AP tratada na atividade agrícola principalmente em regiões onde o volume de água disponível para irrigação é escasso, é essencial a realização de pesquisas que possam avaliar o comportamento de distintas espécies vegetais quando irrigada com esta água. Dentre as culturas, o cajueiro (*Anacardium occidentale L.*), da família Anacardiaceae, destaca-se por ser adaptado a clima semiárido e cultivado geralmente em solos arenosos e com baixa disponibilidade nutricional (Gamarrá, *et al.*; 2019). Cultivado em várias partes do mundo, o Brasil se destaca como um dos principais produtores devido às condições edafoclimáticas favoráveis (Barros, 2002).

Além de sua importância econômica, o cajueiro tem relevância cultural no Nordeste brasileiro, onde indígenas ajudaram a expandir seu cultivo (Gamarra-Rojas *et al.*, 2019). Esta região abriga 99,7% da área total de cultivo no Brasil, ocupando aproximadamente 424 mil hectares (IBGE, 2022). A castanha de caju é seu principal produto comercializado, gerando grande valor agregado no mercado internacional (Bezerra *et al.*, 2007).

Almejando uma produtividade satisfatória, a produção de porta-enxerto de cultivars de cajueiro é uma fase fundamental para garantir plantas mais adaptadas às condições ambientais da região onde será implantado. A propagação pode ser feita por sementes ou enxertia, sendo a enxertia a técnica mais utilizada para preservar características desejáveis dos cultivars, como resistência a pragas, tolerância à seca e alta produtividade neste sentido, a escolha de porta-enxertos promissores é essencial para o sucesso da atividade. Além da escolha do cultivar, fatores como substrato adequado, irrigação controlada e uso de reguladores de crescimento, incluindo ácido salicílico, podem influenciar no desenvolvimento das porta-enxerto, melhorando sua resistência ao estresse hídrico e salino. Embora o cajueiro apresente certa resistência ao déficit hídrico e adaptação ao estresse salino, ambos podem comprometer seu desenvolvimento. A salinidade, por exemplo, com o acúmulo de sais reduz o potencial osmótico da solução, dificultando a absorção de água e nutrientes pelas plantas (Lima *et al.*, 2017).

Neste diapasão, o ácido salicílico surge como uma alternativa para amenizar os efeitos do estresse hídrico, como também o problema dos solos salinos e águas com altos teores de sais. O ácido salicílico é um hormônio vegetal natural que funciona como antioxidante, ajudando a minimizar os efeitos negativos dos sais nas plantas, onde promove a ativação de enzimas antioxidantes (Antoniou *et al.*, 2016; Rajeshwari & Bhuvaneshwari, 2017) que favorece o desenvolvimento das plantas em condições de estresses. Ele se acumula em vegetais expostos a condições adversas, como ataques de patógenos, variações na fotossíntese e alterações na absorção de nutrientes (Silva *et al.*, 2020).

Em síntese, considerando a relevância socioeconômica do cajueiro para o Nordeste brasileiro e a escassez de pesquisas sobre cultivos irrigados com essa água em associação ao ácido salicílico, este estudo foi desenvolvido com o objetivo de analisar a morfofisiologia de porta-enxertos de diferentes genótipos de cajueiro submetidos a tais condições. Busca-se, assim, compreender os efeitos dessa prática sobre o desenvolvimento das plantas e fornecer subsídios para estratégias de manejo mais eficientes.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado de outubro a dezembro de 2023, em ambiente protegido (telado) na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), campus Caraúbas, Rio Grande do Norte. A área experimental está localizada nas coordenadas 05°47'33''S, 37°33'24''W, com altitude média de 144 m acima do nível do mar. Segundo a classificação climática de Köppen, a região apresenta clima BSh, caracterizado como semiárido quente (Alvarés *et al.*, 2013).

2.2.1 Delineamento experimental, tratamentos e semeio do porta-enxerto de cajueiro

O experimento foi realizado no delineamento em blocos casualizados, utilizando um esquema fatorial $5 \times 4 \times 2$, com quatro repetições e uma planta por parcela. Os tratamentos envolveram cinco diluições de água produzida do petróleo (AP) em água não salobra (ANS): T1: 100% ANS; T2: 75% ANS + 25% AP; T3: 50% ANS + 50% AP; T4: 25% ANS + 75% AP; T5: 100% AP. Além disso, foram testadas quatro concentrações de ácido salicílico (0; 0,8; 1,6 e 2,4 mM) e dois cultivars de cajueiro (Embrapa 51 e CCP 76). A água não salobra utilizada no experimento foi proveniente de um poço artesiano gerenciado pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN).

Após o preparo das águas, verificou-se a condutividade elétrica e o pH de cada água, cujos valores obtidos foram: 0,47 dS m⁻¹ (T1), 1,26 dS m⁻¹ (T2), 2,06 dS m⁻¹ (T3), 2,63 dS m⁻¹ (T4) e 3,52 dS m⁻¹ (T5); e pH de 7,11; 7,43; 7,68; 7,75 e 7,79, respectivamente. A seleção destas misturas de águas foi embasada na salinidade tolerada pela cultura onde conforme Alencar *et al.* (2021) ocorre inibição acentuada do crescimento do cajueiro a partir da CEa igual ou superior a 1,58 dS m⁻¹. Entretanto, a resposta da cultura à salinidade pode variar em função de diversos fatores, sendo os cultivars um dos principais determinantes dessa variabilidade (Lima *et al.*, 2020). Devido à escassez de estudos sobre a aplicação de ácido salicílico na cultura do cajueiro, optou-se por adotar as concentrações utilizadas por Silva *et al.* (2021) em experimentos com a graviroleira.

Os clones de cajueiro anão-precoces Embrapa 51 e CCP 76 utilizados na pesquisa, são recomendados para o plantio comercial no Nordeste do Brasil, em virtude da sua produtividade, resistência a estresse hídrico e qualidade do fruto (castanha) (Oliveira, *et al.*, 2008). O clone CCP 76 apresenta boa adaptabilidade a diferentes ambientes e características desejáveis no

pedúnculo, como baixo teor de taninos. Já o clone Embrapa 51 destaca-se pelas características biométricas superiores e pelo alto valor de mercado internacional, sendo indicado para o cultivo em regime de sequeiro. As sementes dos distintos cultivars usadas no experimento foram provenientes de área de produção comercial localizado no Município de Severiano Melo - RN.

A água produzida do petróleo utilizada no experimento foi preparada com base na composição média das AP da região da Bacia Potiguar (Figueredo *et al.*, 2014), a partir do uso de reagentes e da determinação da quantidade necessária (Tabela 1). O preparo desta água se deu em virtude da Petrobrás não fornecer a água proveniente da extração de petróleo para pesquisas com culturas comestíveis, pois, mesmo após o tratamento, a água ainda fica com resíduos de metais pesados e sais solúveis.

Tabela 1. Composição química média da água produzida de petróleo (AP) encontrada nos poços da Bacia Potiguar e os reagentes e quantitativos utilizados.

Composição química da AP	Média (mg L ⁻¹)	Reagentes utilizados na composição da AP sintética	Quantitativo de reagentes (g 1000 L ⁻¹)
Alumínio	0,13	Cloreto de alumínio	1,162
Bário	0,84	Boráx	3,88
Boro	0,44	Ácido bórico	2,519
Cálcio	169,87	Sulfato de cálcio	55,89
Cloreto	687,47	Cloreto de cálcio	425,74
Ferro	0,24	Cloreto de ferro	0,695
Magnésio	65,76	Cloreto de magnésio	557,05
Manganês	0,19	Sulfato de manganês	0,522
Potássio	47,62	Cloreto de potássio	89,46
Sódio	242,07	Cloreto de sódio	609,5
Sulfato	39,94		
Zinco	0,09	Sulfato de zinco	0,222

Para o semeio, foram utilizadas sacolas plásticas de 1150 ml, visando um melhor desenvolvimento do sistema radicular. Essas sacolas foram preenchidas com solo franco-arenoso, representativo da região de Caraúbas - RN, coletado entre 0-30 cm de profundidade, acrescido de 5% de esterco bovino curtido (base peso), cujas características químicas e físico-hídricas foram determinadas de acordo com Teixeira *et al.* (2017) e estão apresentadas na Tabela 1. As sacolas foram dispostas em estrados de madeira a 20 cm de altura, facilitando o manejo e garantindo a drenagem adequada por meio de furos na base. Foi semeada uma semente (castanha) por sacola, a 1 cm de profundidade.

Tabela 2. Características físicas e químicas da mistura solo/substrato utilizado para condução de cajueiro.

Areia						Silte		Argila		Classificação textural		CEes		pHes H ₂ O		M.O	
-----%-----												dS m ⁻¹		g kg ⁻¹			
16		79,3		4,7		Franca		0,41		6,38		33,08					
P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	(H ⁺ + Al ³⁺)		SB	T	CTC	V	M	PST				
cmolc dm ⁻³		-----cmolc dm ⁻³ -----										-----%-----					
313,3	0,17	0,22	8,20	3,95	0,00	2,08		12,54	12,54	14,62	86	0	1,0				

M.O - Matéria orgânica: Digestão Úmida Walkley-Black; Ca²⁺ e Mg²⁺ extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ pH 7,0; Na⁺ e K⁺ extraídos utilizando-se NH₄OAc 1 mol L⁻¹ pH 7,0; Al³⁺ e (H⁺ + Al³⁺) extraídos utilizando-se CaOAc 1 mol L⁻¹ pH 7,0; CEes - condutividade elétrica do extrato de saturação do substrato a 25°C; pHes - pH do extrato de saturação do substrato.

Durante o período experimental, a umidade do solo foi mantida próxima à capacidade de campo. Nos primeiros 16 dias após o semeio (DAS), as plantas foram irrigadas com água de abastecimento (0,3 dS m⁻¹), para favorecer uma boa formação de um sistema radicular. Após esse período, a irrigação foi feita conforme os tratamentos com água produzida do petróleo.

A irrigação foi realizada diariamente, no início da manhã e no final da tarde, de forma manual com o auxílio de uma proveta graduada com ajuste do volume aplicado de acordo com a necessidade hídrica das plantas. Esse ajuste foi estimado por meio do balanço hídrico, calculando a diferença entre o volume drenado e o volume aplicado na irrigação anterior, acrescido de 10% de lixiviação, garantindo que o solo mantivesse uma umidade próxima à capacidade de campo. Para este processo, foram usadas 30 sacolas, escolhidas aleatoriamente, acopladas coletores para análise dos volumes drenados.

As plântulas emergiram, em média, aos 9 dias após o semeio (DAS), tendo-se iniciado a irrigação com as distintas diluições após 17 DAS. As concentrações de ácido salicílico foram aplicadas quatro vezes em intervalos de 8 dias, cuja primeira aplicação ocorreu três dias antes do início da irrigação com a água produzida (AP). O ácido salicílico foi aplicado no final da tarde (17 horas) com o auxílio de um borrifador, pulverizando as faces abaxial e adaxial das folhas, de modo a se obter o molhamento completo das mesmas, utilizando-se de um borrifador.

Ao longo do ciclo realizou-se tratos culturais como eliminação de plantas invasoras e controle preventivo de pragas, conforme recomendação de (Oliveira, *et al.*; 20008). Realizou-

se ainda adubação nitrogenada aos 37 dias após a emergência (DAE), seguindo as recomendações para a cultura. Para isso, foram diluídos 355,2 g de ureia em 20 L de água, aplicando-se 100 mL por sacola, conforme indicado por Novais *et al.* (1991).

O efeito dos distintos tratamentos foi averiguado aos 40 dias após a emergência (DAE), a partir da análise de variáveis fisiológicas, de crescimento e qualidade de porta-enxerto onde, aos 42 DAE foram realizadas as determinações das trocas gasosas utilizando um analisador de gás infravermelho (IRGA) modelo LCPro+. As avaliações ocorreram entre 7:00h e 9:00h da manhã, em folhas maduras e completamente expandidas, sob luz artificial de $1200 \text{ MJ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ com CO_2 obtido da atmosfera a 2,5 m de altura (Alencar *et al.*, 2021). As variáveis analisadas foram taxa de transpiração foliar (E) - $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; concentração intercelular de CO_2 (C_i) - $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; condutância estomática (gs) - $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; taxa de assimilação de CO_2 (A) - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. De posse destes parâmetros, foram determinadas as relações de eficiência instantânea no uso da água (EiUA) através da razão A/E [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1}$].

Além disso, neste mesmo período, foram avaliadas o número de folhas (NF), a altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC) e área foliar (AF). A altura de planta (AP) foi determinada utilizando uma trena para medir da base do caule até o ramo mais alto. O diâmetro do caule foi determinado a partir da medida da circunferência, dividida por 3,14 - valor aproximado de π . Já a área foliar foi calculada com base na média do comprimento e da largura de cada folha, multiplicada por um fator de correção, conforme a fórmula: Área foliar = comprimento $\times$ largura $\times 0,6$.

No final do experimento as plantas foram cortadas rente ao solo e suas partes (raízes, caule e folhas) foram separadas e armazenadas em sacos de papel identificados. Em seguida, foram pesadas em balança analítica para determinação da massa fresca de folhas (MFF), de caule (MFC), de raízes (MFR), da parte aérea (MFPA = MFF + MFC) e total por planta (MFT = MFPA + MFR). Posteriormente, o material vegetal foi colocado em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até a obtenção da massa seca das diferentes partes das plantas (MSF, MSC, MSR, MSPA e MST).

A qualidade das mudas de cajueiro foi avaliada por meio do Índice de Qualidade de Dickson (IQD), conforme Dickson *et al.* (1960), utilizando a seguinte equação: $\text{IQD} = [\text{MST} / (\text{AP}/\text{DC}) + (\text{MSPA}/\text{MSR})]$; em que; MST = massa seca total de planta; AP = altura de planta; DC = diâmetro de caule; MSPA = massa seca de parte aérea (g) e MSR = massa seca de raiz (g).

Antes da análise estatística, os dados foram submetidos aos testes de homogeneidade e normalidade, utilizando o teste de Shapiro-Wilk. As médias das variáveis foram avaliadas por análise de variância (ANOVA), com aplicação do Teste F a 1% e 5% de probabilidade, além de estudos de regressão para as concentrações de ácido salicílico. Para os fatores qualitativos (diluições da água de produção e genótipos de cajueiro), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, também a 1% e 5% de probabilidade, empregando o software estatístico SISVAR (Ferreira, 2019).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a tabela 2, constata-se efeito significativo para interação entre água produzida do petróleo e cultivars de cajueiro (AP x GC) para condutância estomática (gs), concentração interna de CO₂ (Ci) e eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) e da interação entre água produzida do petróleo e concentrações de ácido salicílico (AP x AS) sobre a taxa de assimilação de CO₂ (A) e EiUA. Houve ainda efeito significativo isolado da AP sobre E e do fator GC sobre a A e E de porta-enxertos de cajueiro aos 42 DAE.

Tabela 3. Resumo da análise de variância pelos valores do quadrado médio, para as variáveis de trocas gasosas de porta-enxertos de cultivars de cajueiro sob irrigação com diluições de água produzida do petróleo (AP) e concentrações de ácido salicílico (AS).

Fonte de Variação	Quadrados Médios				
	gs	Ci	A	E	EiUA
Água produzida do petróleo - AP	14010,117ns	5833,381**	166,929**	10,144**	0,0003ns
Concentrações de Ácido Salicílico – AS	25420,917*	3354,406ns	9,585ns	0,299ns	0,0005*
Reg, Linear	63207,723*	3292,661ns	14,609ns	0004ns	0,0016**
Reg, Quadrática	811,485ns	2441,406ns	0,003ns	0,045ns	0,00001ns
Cultivars Cajueiro (GC)	1874095,529**	26445,306**	222,382**	271,05**	0,0133**
Interação (AP x AS)	10033,918ns	791,760ns	81,406**	0,485ns	0,0003*
Interação (AP x GC)	64120,942*	6503,368**	25,972ns	3,215ns	0,0009**
Interação (AS x GC)	6292,643ns	2007,606ns	13,904ns	0,436ns	0,0001ns
Interação (AP x AS x GC)	11314,469ns	807,564ns	43,020ns	0,691ns	0,0002ns
Bloco	359395,368**	4746,12**	63,159ns	22,288**	0,0028**
CV (%)	30,63	14,01	24,73	17,44	28,94

ns, **, * respectivamente não significativos, significativo a $p < 0,01$ e a $p < 0,05$; CV= coeficiente de variação.

De acordo com o teste de comparação de médias (Figura 1A), observa-se que em relação ao genótipo Embrapa 51, o maior valor de gs ocorreu nas mudas irrigadas com a diluição T2,

ou seja, plantas irrigadas com água de CEa de $1,26 \text{ dS m}^{-1}$, que não diferiu estatisticamente de T-1, T-3 e T-5, sendo superior em 22,71% ao das plantas sob T-4; enquanto o CCP 76, a maior gs ($423,81 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi constatado em porta-enxerto sob T-5 (100%AP - $3,52 \text{ dS m}^{-1}$) que não diferiu estatisticamente das demais diluições, indicando que o estresse salino promovido pelas distintas águas, de forma geral, não interferiu negativamente sobre a gs das mudas, revelando que mesmo sob estresse salino, as plantas foram eficientes na regulação da abertura estomática (Araújo Junior *et al.*, 2024). Outrossim, vê-se (Figura 1A) que o genótipo cultivar Embrapa 51 superou o CCP 76 nas distintas diluições de água produzida, denotando que este material genético manteve maior abertura estomática, ou seja, característica essencial à manutenção da atividade fotossintética e maior eficiência no uso da água (Alencar *et al.*, 2021).

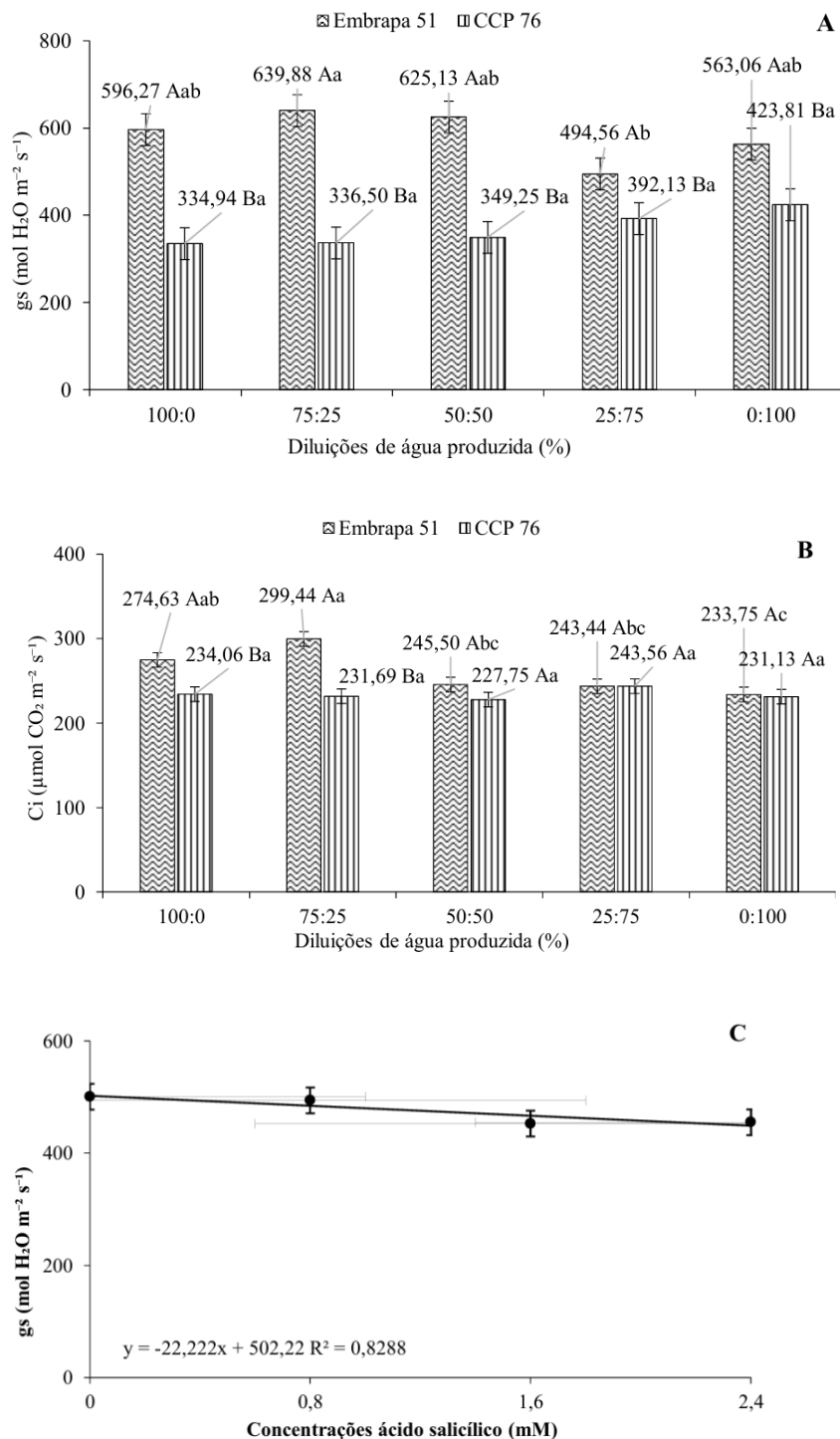


Figura 1. Condutância estomática - gs (A) e concentração interna de CO₂ (B) de mudas de cultivares de cajueiro irrigados com água produzida de petróleo e condutância estomática - gs (C) de mudas de cajueiro sob aplicação de concentrações de ácido salicílico. (A) - Letras maiúsculas iguais não diferem entre si para os cultivares de cajueiro dentro de cada diluição da água produzida do petróleo pelo teste F ($p \leq 0,05$) e letras minúsculas iguais não diferem entre si para as diluições de água produzida dentro de cada cultivar de cajueiro pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). Na figura B - Letras maiúsculas iguais não diferem entre si para as concentrações de ácido salicílico dentro de cada diluição da água produzida do petróleo pelo teste F ($p \leq 0,05$) e letras minúsculas iguais não diferem entre si para as diluições de água produzida dentro de cada diluição de ácido salicílico pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dispersão nas barras representa o desvio padrão das médias ($n = 4$).

Houve diferenças significativas das cultivar nas diluições T-1 e T-2 (Figura 1B), onde as plantas do cultivar Embrapa 51 superou o CCP 76 e, obteve o maior C_i ($299,44 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) quando submetidas a diluição T-2. Os maiores valores de C_i do Embrapa 51 foram obtidas sob T2 e T1 que não diferiram entre si, sendo superiores aos demais tratamentos já, a o CCP 76 teve o maior valor ($243,56 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) quando foram irrigadas com T-4, porém, não diferiram estatisticamente das porta-enxerto submetidas às demais diluições. Vê-se que a maior abertura estomática constatada em plantas do Embrapa 51 (Figura 1A) sob T-2, promoveram maior concentração interna de CO_2 (Figura 1B), enquanto CCP 76, o comportamento das plantas foi similar nas duas variáveis g_s e C_i sob as distintas diluições de AP, entretanto, observa-se (Figura 1B) que é essencial considerar o teor salino na mistura de água e a seleção de espécies ou materiais genéticos mais tolerantes (Al-Ghouti *et al.*, 2019) pois, geralmente nas maiores salinidades ocorre reduções nas variáveis fisiológicas conforme constatado no presente estudo.

A diluição de águas com elevado teor salino com outras águas de melhor qualidade, como aquelas produzidas na extração de petróleo, constitui uma alternativa eficaz para reduzir os altos níveis de sais presentes em sua composição. Desta forma, estas diluições configuram uma estratégia de manejo capaz de diminuir a condutividade elétrica da água (CEa) e ampliar sua viabilidade para uso na irrigação agrícola.

Essa abordagem contribui diretamente para a sustentabilidade e para a conservação dos recursos hídricos em regiões semiáridas, favorecendo práticas agrícolas mais resilientes e ambientalmente responsáveis (Sedlacko *et al.*, 2019).

O uso de água produzida na extração do petróleo (AP), quando utilizada na irrigação, após o tratamento inicial feito pela estatal petrolífera e, conseqüentemente, com as diluições e a utilização de atenuadores, quando utilizada da irrigação pode contribuir para a redução do consumo de água potável, especialmente em áreas com restrição hídrica. Assim, para evitar impactos negativos na produtividade agrícola, é essencial considerar fatores como níveis de salinidade no solo e na água utilizada na irrigação, técnicas de aplicação e a seleção de espécies ou materiais genéticos mais tolerantes (Al-Ghouti *et al.*, 2019).

As concentrações crescentes de ácido salicílico afetaram a g_s onde verifica-se, a partir da equação de regressão (Figura 1C), que houve redução de 4,42% por aumento unitário da concentração de AS, ou seja, ocorreu redução de 10,62% nas plantas submetidas à maior concentração em relação as que não receberam AS ou seja, denota-se que o efeito do ácido

salicílico exógeno nas plantas depende tanto da sua concentração como das espécies de plantas e podem ter efeitos promotores ou inibidores no crescimento (Li *et al.*, 2022).

Houve comportamento linear em plantas irrigadas com T-5, com decréscimos de 8,69% por aumento unitário da concentração de AS, resultando em redução de 20,87% nos porta-enxerto que receberam à maior concentração de AS (Figura 2A) em comparação as que não receberam AS (Figura 2A). Em plantas sob diluição T-2, T-3 e T-4 ocorreu conforme equações de regressão resposta quadrática, sendo os maiores valores observados 25,19; 31,07 e 20,73 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente, obtidos nas concentrações de AS (Figura 2A) de 1,2; 2,4 e 0,9 Mm. O fornecimento de concentrações adequadas de ácido salicílico pode contribuir com a atenuação do estresse salino da água de irrigação, visto que as plantas sob T-3 e T-4 eram irrigadas respectivamente, com água de CEa igual a 2,06 dS m^{-1} e 2,63 dS m^{-1} .

Os cultivars de cajueiro diferiram significativamente em termos de taxa de assimilação de CO_2 e transpiração foliar, de acordo com as Figuras 2B e 2C vê-se os maiores valores (22 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e 8,8 mol $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) em porta-enxerto do cultivar 'Embrapa 51', o que representa superioridade de 9,09% e 29,54%, respectivamente, em comparação com o cultivar 'CCP 76'. Os maiores valores de condutância estomática e concentração interna de CO_2 obtida por este cultivar, favoreceram a realização de fotossíntese e o aumento da transpiração, como forma de manter a turgescência e o controle térmico das plantas.

O aumento da salinidade na água de irrigação presente nas distintas diluições da (AP), afetou significativamente a taxa de transpiração, e conforme o teste de comparação de médias verifica-se o maior valor de E em plantas irrigadas com T-4, que não diferiu de T-3 e T-5 e, sendo superior em 17,62% as porta-enxerto irrigadas com a diluição T-1 que apresentou o menor valor desta variável (Figura 2D), evidenciando, assim, certa tolerância dos cultivares de cajueiro, pois, mesmo sob estresse salino as plantas continuaram absorvendo água, nutrientes e favorecendo a redistribuição de substâncias essenciais aos processo fisiológicos (Lima, *et al.*, 2017).

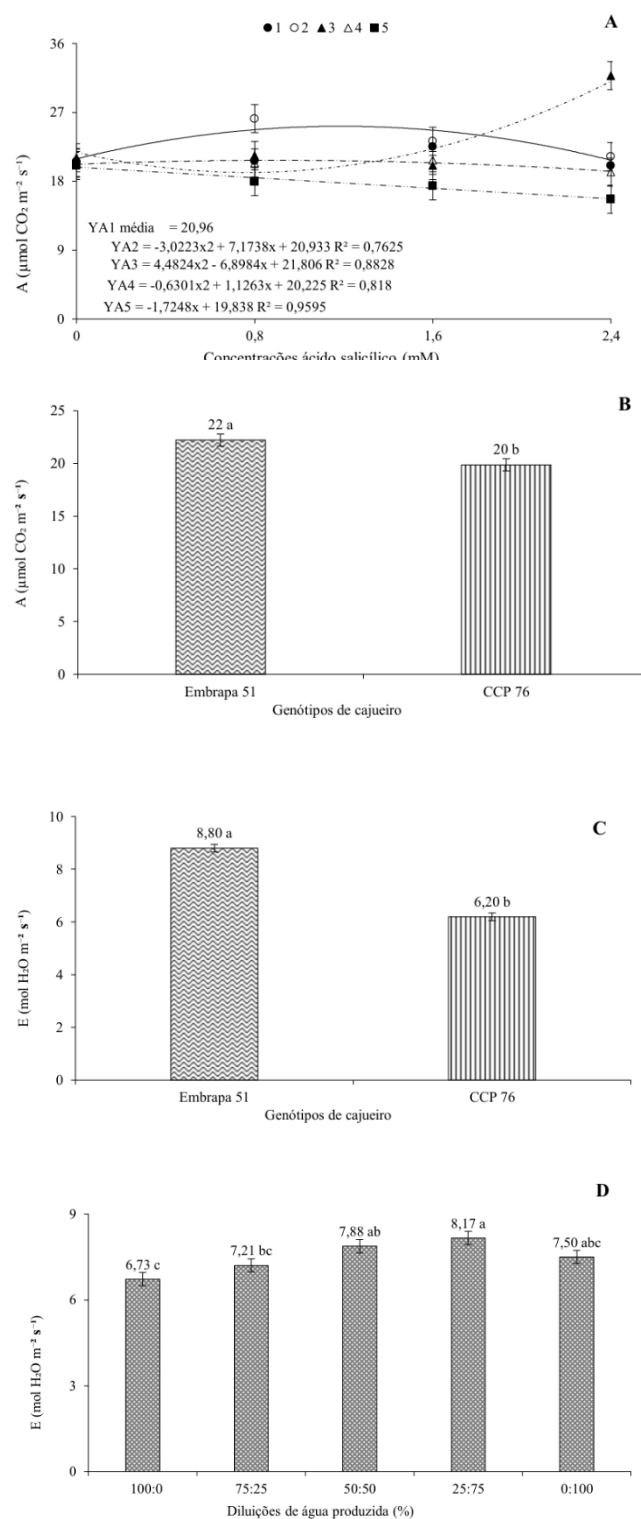


Figura 2. Taxa de assimilação de CO_2 - A em função da interação entre água produzida do petróleo - AP x concentrações de ácido salicílico - AS (A) e em função dos cultivares de cajueiro (B); e Transpiração - E em função de cultivares de cajueiro (C) e de água produzida do petróleo (D). Letras maiúsculas iguais não diferem entre si nas diluições da água produzida do petróleo pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$) e letras minúsculas iguais não diferem entre si para os cultivares de cajueiro pelo teste F ($p \leq 0,05$). Dispersão nas barras representa o desvio padrão das médias ($n = 4$).

De acordo com o teste de comparação de médias vê-se que o cultivar CCP 76 sob irrigação com T-2 teve o maior valor de EiUA [$0,066 (\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) / (\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1})$], embora não tenha diferido estatisticamente do T-1 e T-3, e sendo superior as plantas sob T-4 em 24,24%. Enquanto a já para o cultivar Embrapa 51, observa-se maior valor de EiUA [$0,048 (\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) / (\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1})$] nas mudas do tratamento T-4, que não diferiu estatisticamente das plantas sob os demais tratamentos. Outrossim, os distintos cultivares diferiram quando submetidas as diluições T-1, T-2, T-3 e T-5, onde o CCP 76 superou o Embrapa 51 indicando que, apesar deste último ter superado o CCP 76 em termos de g_s , C_i e A , o CCP 76 foi mais eficiente em termos de uso de água.

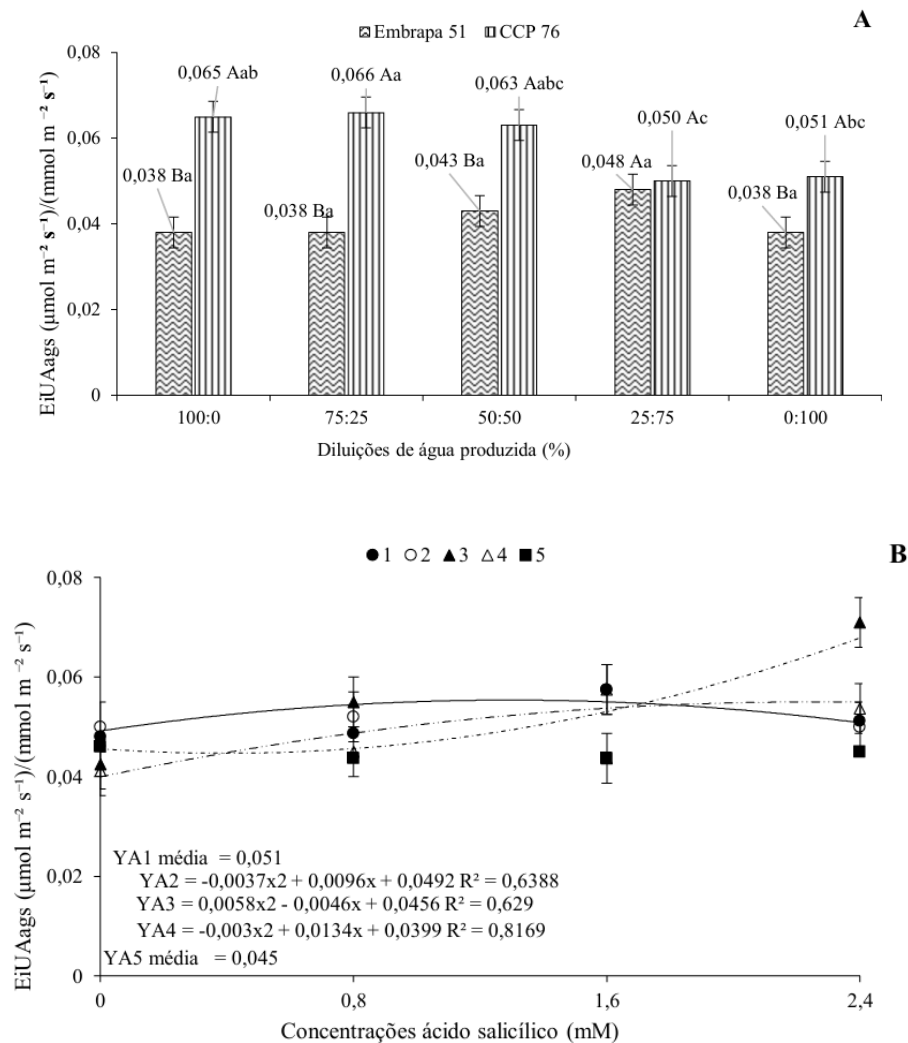


Figura 3. Eficiência instantânea no uso da água - EiUA em diluições de água produzida do petróleo - AP (A) e concentrações de AS (B) na produção de porta-enxertos de cultivares de cajueiro. Letras minúsculas iguais não diferem entre si nas diluições da água produzida de petróleo pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dispersão nas barras representa o desvio padrão das médias ($n = 4$).

Conforme equações de regressão (Figura 3B), observa-se que os porta-enxerto de cajueiro sob as diluições T-2, T-3 e T-4 observou-se um comportamento quadrático, evidenciado pelos maiores valores de EiUA - 0,0554; 0,0679 e 0,0549 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)/(mmol $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) - obtidos, respectivamente, nos porta-enxertos submetidos às concentrações de AS de 1,3; 2,4 e 2,2 mM. Esses resultados indicam que há uma faixa ótima de fornecimento de ácido salicílico (AS), na qual o desempenho fisiológico é maximizado. Tal resposta sugere que o AS atua como regulador no equilíbrio entre processos fotossintéticos e mecanismos de defesa, promovendo maior eficiência no uso da água e, conseqüentemente, atenuando os efeitos negativos de estresses abióticos.

A tendência quadrática reforça a ideia de que concentrações muito baixas ou excessivas de AS não são igualmente eficazes, sendo necessário um aporte adequado para que os benefícios se manifestem. Esse comportamento está em consonância com o papel do AS descrito na literatura, como molécula sinalizadora capaz de modular respostas antioxidantes e de tolerância ao estresse (Li *et al.*, 2022). Portanto, os resultados obtidos demonstram que a aplicação de AS em níveis intermediários pode ser uma estratégia eficiente para melhorar a resiliência fisiológica de porta-enxertos em condições adversas.

Vê-se em termo das variáveis fisiológicas que a irrigação com o tratamento T-5 (100% de água produzida do petróleo) associado ou não a concentrações de AS, promoveram efeitos deletérios nas plantas, ocorrido possivelmente devido ao estresse osmótico (Araújo Junior *et al.*, 2024; Alencar *et al.*, 2021; Souza *et al.*, 2019) e/ou devido a concentrações elevadas de metais pesados e compostos químicos orgânicos, potencialmente prejudiciais ao desenvolvimento vegetal, possivelmente presente nesta água (Sedlacko *et al.*, 2019).

De acordo com os resultados da análise de variância (Tabela 3), verificou-se efeito significativo das interações entre água produzida do petróleo e concentrações de ácido salicílico (AP $\times$ AS) sobre o número de folhas (NF), bem como da interação entre AS $\times$ GC sobre a área foliar (AF). Além disso, observou-se efeito significativo isolado do fator AP sobre a AF, o diâmetro do caule (DC) e a altura da planta (AP). Os fatores AS e GC também apresentaram efeito significativo isolado sobre DC e AP.

Tabela 4 - Resumo da análise de variância pelos valores do quadrado médio, para as variáveis de crescimento de porta-enxertos de cultivares de cajueiro sob irrigação com diluições de água produzida do petróleo (AP) e concentrações de ácido salicílico (AS), 42 dias após a emergência das plantas (DAE).

Fonte de Variação	Quadrados Médios			
	NF	DC	AP	AF
Água produzida do petróleo (AP)	12,490**	4,085**	52,699**	35259,639**
Concentrações de Ácido Salicílico (AS)	5,209*	1,215**	45,078**	27350,859**
Reg, Linear	7,288*	0,066ns	30,077ns	64836,905**
Reg, Quadrática	5,505*	2,787**	67,340*	11842,717*
Cultivars Cajueiro (GC)	5,234ns	20,880**	79,580**	22394,899**
Interação (AP x AS)	4,182**	0,419ns	4,076ns	7500,728**
Interação (AP x GC)	1,004ns	0,378ns	10,544ns	6363,202*
Interação (AS x GC)	0,259ns	0,094ns	9,282ns	15115,758**
Interação (AP x AS x GC)	3,377ns	0,140ns	18,533ns	3344,047ns
Bloco	3,115ns	0,643ns	94,262**	25941,781**
CV (%)	12,54	7,04	12,57	15,85

ns, **, * respectivamente não significativos, significativo a $p < 0,01$ e significativo a $p < 0,05$; CV= coeficiente de variação.

Segundo as equações de regressão (Figura 4A), houve resposta quadrática dos dados referente aos tratamentos T-1, T-3 e T-4, no qual os maiores valores foram 12,24; 10,85 e 10,28 observados, respectivamente, em plantas sob concentrações de AS de 1,1, 0,5 e 2,4 mM, indicando que o estresse salino tende a reduzir a emissão de folhas (MUNIR *et al.*, 2022), entretanto, sob aplicação de concentrações adequadas de AS, esse efeito pode ser minimizado.

De acordo com o teste de médias (Figura 4B) as porta-enxerto sob a diluição T-1 (100%AA) tiveram o maior DC, embora não tenha diferido estatisticamente da T-2, T-3 e T-4 e, sendo superior em 12,76% a DC dos porta-enxerto sob T-5, no entanto, conforme Lima et al. (2022), o porta-enxerto de cajueiro apto para enxertia deve ter diâmetro caulinar superior a 0,5 cm, assim, no presente estudo, até as plantas sob irrigação com 100% de AP atenderam esse parâmetro, indicando certa tolerância dos materiais estudados ao estresse salino visto que o T-5 tem CEa de $3,52 \text{ dS m}^{-1}$ e teve DC igual a 6,22 cm.

As concentrações crescentes de ácido salicílico afetaram o DC onde verifica-se, a partir da equação de regressão (Figura 4C), comportamento quadrático dos dados, ocorrendo aumento na DC até a concentração de 1,2 mM, que promoveu o maior DC (7,0 mm), ou seja, o AS em baixas concentrações contribui para a produção de porta-enxerto de qualidade devido este composto fenólico agir na sinalização e ativação de genes que atuam como mecanismos de defesa da planta (Nobrega *et al.*, 2021). Igualmente, o diâmetro caulinar é um dos principais parâmetros utilizados em estudos de avaliação de porta-enxerto, pois segundo (Serrano et al.

(2016) o diâmetro do caule ajuda a definir o momento da enxertia, uma vez que plantas que apresentam maior diâmetro podem ser enxertadas mais precocemente além de oferecer maior correlação com a sobrevivência das porta-enxerto no campo.

Os maiores valores de diâmetro caulinar foi na cultivar CCP 76, onde observa-se o maior valor (7,2 mm) e, sendo este, 10% superior ao Embrapa 51 (Figura 4D). As diferenças de características específicas dos materiais estudados podem favorecer maior taxa de crescimento tanto em condições normais quanto sob estresse ambiental, pois, esse desempenho está associado à eficiência fotossintética, ao ajustamento osmótico e à atividade antioxidante contra o estresse oxidativo (Alencar *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2021;).

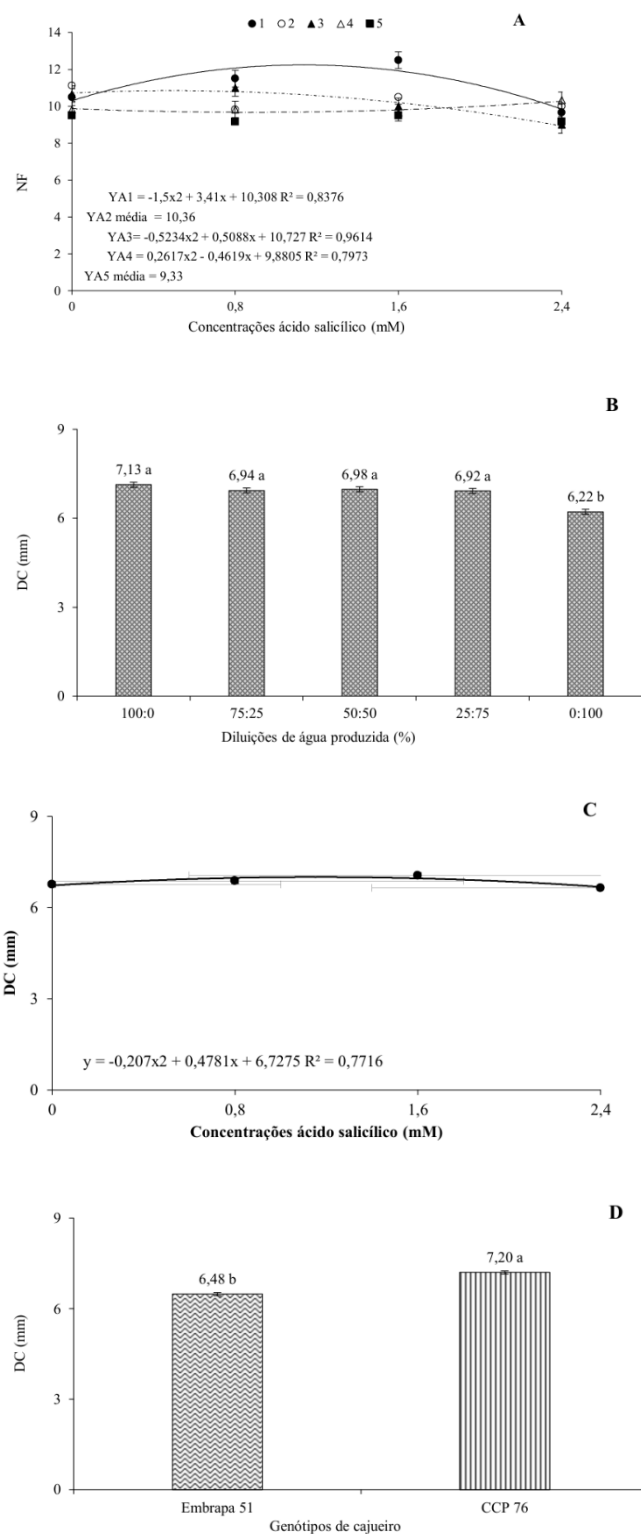


Figura 4. Número de folhas - NF e Diâmetro do Caule - DC em função das diferentes concentrações de Ácido Salicílico - AS e Diluições de Água Produzida do Petróleo (AP), respectivamente, (A e B); e Diâmetro do Caule - DC em função das diferentes concentrações de Ácido Salicílico e Cultivares de Cajueiros (C e D). Letras minúsculas iguais não diferem entre si nas diluições da água produzida de petróleo pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dispersão nas barras representa o desvio padrão das médias ($n = 4$).

Na Figura 5, verifica-se que as proporções de água produzida - AP promoveram efeito significativo sobre a altura de planta de porta-enxerto de cajueiro onde o maior valor (24,68 cm) foi observado em plantas irrigadas com o T-3 que não diferiram estatisticamente de T-1, T-2 e T-4 e, sendo superior as plantas sob T-5 em 10,97%, indicando que a salinidade desta água ($3,52 \text{ dS m}^{-1}$) reduz o potencial osmótico da solução do solo ao ponto de dificultar a absorção de água e nutrientes essenciais as plantas, além de ter afetado a taxa de assimilação de CO_2 (Figura 5A) e comprometido o crescimento das porta-enxerto. O estresse salino geralmente limita as trocas gasosas nas plantas, incluindo a entrada de CO_2 nas células do mesófilo devido à redução da abertura estomática, provocada por perturbações nas relações hídricas do sistema solo-planta-atmosfera (Al-Janabia *et al.*, 2024). Lima *et al.* (2020) também observaram reduções semelhantes em porta-enxertos de cajueiros irrigados com água salina de até $3,6 \text{ dS m}^{-1}$, reforçando que a salinidade excessiva pode comprometer o desenvolvimento vegetal.

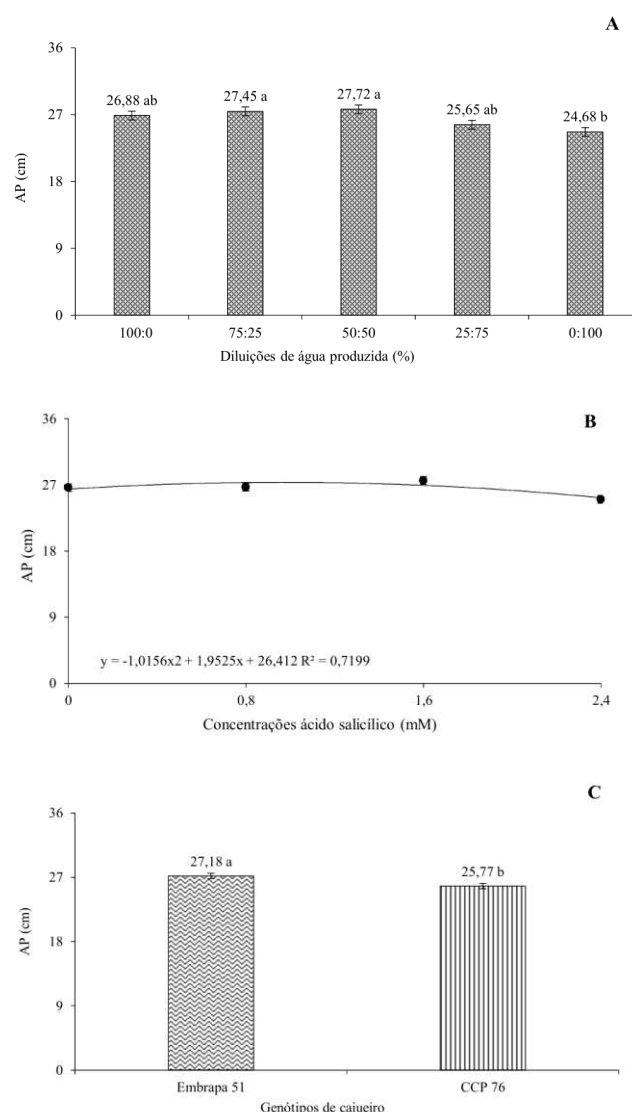


Figura 5. Altura de planta - AP em função das diluições de água produzida do petróleo (A) das concentrações de Ácido Salicílico (B) e dos Cultivars de Cajueiro (C). Letras minúsculas iguais não diferem entre si nas diluições da água produzida de petróleo pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dispersão nas barras representa o desvio padrão das médias ($n = 4$).

As concentrações crescentes de ácido salicílico afetaram negativamente o diâmetro do caule, e altura da planta onde vê-se a partir da equação de regressão (Figura 5B), que houve redução do comportamento quadrático com o maior valor de AP (27,35 cm) obtido em porta-enxerto que receberam a concentração de 1,0 mM de AS. As baixas concentrações de ácido salicílico favorecem os mecanismos de defesa das plantas contra estresse bióticos e abióticos, porém concentrações elevadas podem causar morte celular ou suscetibilidade das plantas a estresses abióticos (Khan *et al.*, 2015).

Os cultivars de cajueiro também diferiram significativamente quanto à altura de planta (Figura 5C), e segundo o teste de comparação de médias observa-se que a AP do cultivar Embrapa 51 superou o CCP 76 em apenas 5,19%. Conforme Serrano *et al.* (2013), um porta-

enxerto de cajueiro ideal para enxertia deve ter altura média de 25 cm, assim, os dois materiais genéticos avaliados neste estudo (Embrapa 51; CCP 76) atenderam este critério visto terem AP de 27,2 cm e 25,8 cm, respectivamente.

O aumento da salinidade na água de irrigação presente nas distintas diluições da AP afetou negativamente a área foliar, e conforme o teste de comparação de médias (Figura 6A) verifica-se o maior valor de AF em plantas irrigadas com T-1 (100%ANS), que não diferiu de T-2 e T-3 e, sendo superior em 20,53% as porta-enxerto irrigadas com a diluição T-4 que apresentou o menor valor desta variável.

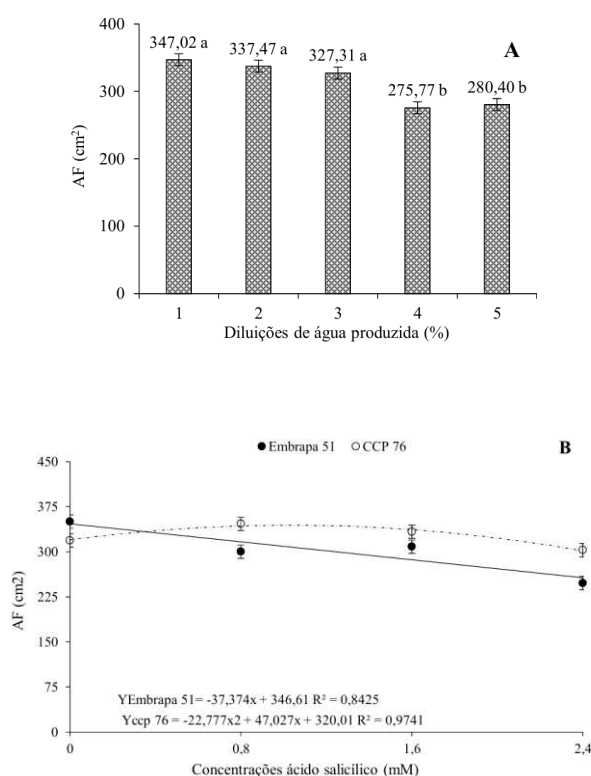


Figura 6. Área foliar - AF em função de distintas Diluições da Água Produzida e Concentrações de Ácido Salicílico numa resposta comparativa entre dois porta-enxertos de cultivares de cajueiro. Letras minúsculas iguais não diferem entre si nas diluições da água produzida de petróleo pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dispersão nas barras representa o desvio padrão das médias ($n = 4$).

Mediante o desdobramento da interação entre os fatores AS x GC para a variável AF, vê-se de acordo com as equações de regressão (Figura 6B), que houve um aumento até a dose de AS a 1mM e reduções após essa dose em relação ao Cultivar CPP 76, com maior valor de AF (344,26 cm²). Nas mudas do cultivar Embrapa 51 houve resposta linear com decréscimos de 10,78% por aumento unitário da concentração de AS, resultando em aumento de 25,88% nos

porta-enxerto que receberam à maior concentração de AS em comparação as que não receberam AS.

De acordo com o resumo da análise de variância (Tabela 5), identifica-se efeito significativo da interação entre os fatores concentrações de ácido salicílico - AS x cultivars de cajueiro - GC sobre a massa fresca de raízes (MFR), da parte aérea (MFPA), total por planta (MFT) e índice de qualidade de Dickson (IQD); e da interação entre água produzida do petróleo - AP x AS sobre o IQD. Houve ainda, efeito significativo isolado das distintas AP sobre a MFR, MFPA e MFT.

Tabela 5 - Resumo da análise de variância referente à variáveis de crescimento (biomassa) e índice de qualidade de Dickson (IQD) de porta-enxerto de cultivars de cajueiro sob irrigação com diluições de água produzida do petróleo (AP) e distintas concentrações de ácido salicílico (AS), aos 42 dias após a emergência (DAE).

Fonte de Variação	Quadrados Médios			
	MFR	MFPA	MFT	IQD
Água produzida do petróleo (AP)	3,689**	27,107**	41,092**	0,119**
Concentrações de Ácido Salicílico (AS)	0,343ns	18,690**	15,948**	0,008ns
Reg, Linear	0,048ns	37,285**	29,837**	0,012ns
Reg, Quadrática	0,185ns	8,258*	13,110*	0,001ns
Cultivars Cajueiro (GC)	22,808**	0,124ns	22,440*	0,173**
Interação (AP x AS)	1,059ns	3,211ns	2,832ns	0,038*
Interação (AP x GC)	0,182ns	2,08ns	2,917ns	0,011ns
Interação (AS x GC)	2,283*	7,534*	14,361*	0,087**
Interação (AP x AS x GC)	0,936ns	2,358ns	2,646ns	0,026ns
Bloco	1,977ns	13,649**	26,787**	0,022ns
CV (%)	26,24	14,21	13,82	25,01

ns, **, * respectivamente não significativos, significativo a $p < 0,01$ e significativo a $p < 0,05$; CV= coeficiente de variação.

O aumento do índice salino na água de irrigação das distintas diluições da AP afetou significativamente a massa fresca de raízes e conforme o teste de comparação de médias (Figura 7A) verifica-se que as mudas irrigadas com T-2 foram superiores em 20,64% as mudas irrigadas com T-5, não diferindo das T1, T3 e T4. O estresse salino reduziu a eficiência instantânea no uso da água (Figura 3) e consequentemente a fotossíntese (Figura 2A) dos porta-enxertos de cajueiro, ou seja, afetou a absorção de água, levando as plantas a reduzir a abertura estomática como mecanismo de defesa contra a perda excessiva de água e limitou a entrada de CO₂ nas câmaras subestomáticas, comprometendo a eficiência fotossintética e o uso da água (Capitulino *et al.*, 2022; Capitulino *et al.*, 2023) e desta forma induziu a planta a restringir a produção de raízes.

Na Figura 7B verifica-se que o aumento de salinidade na água de irrigação também promoveu efeito significativo sobre a MFPA, sendo o maior valor (11,34 g) observado em plantas irrigadas com 100% de água não salobra (T-1), que não diferiu estatisticamente das porta-enxerto sob T-2 e T-3 e, sendo superior em 19,13% e 16,76% as porta-enxerto sob T-4 e T-5.

De acordo com a (Figura 7C), houve aumento na Massa Fresca da Raiz MFR nos porta-enxertos dos cultivars Embrapa 51 e CCP 76, (4,35 e 3,63 g) sob as concentrações de AS de 1,1 e 2,4 mM, respectivamente.

Conforme as equações de regressão (Figura 7D), o cultivar Embrapa 51 apresentou resposta linear, com redução de 8,21% a cada incremento unitário na concentração de AS, resultando em decréscimo total de 19,71% nas plantas submetidas à maior concentração de AS em comparação às que não receberam o regulador. Já no cultivar CCP 76 verificou-se resposta quadrática, com valor máximo de 10,57 g obtido na concentração de 1,0 mM de AS.

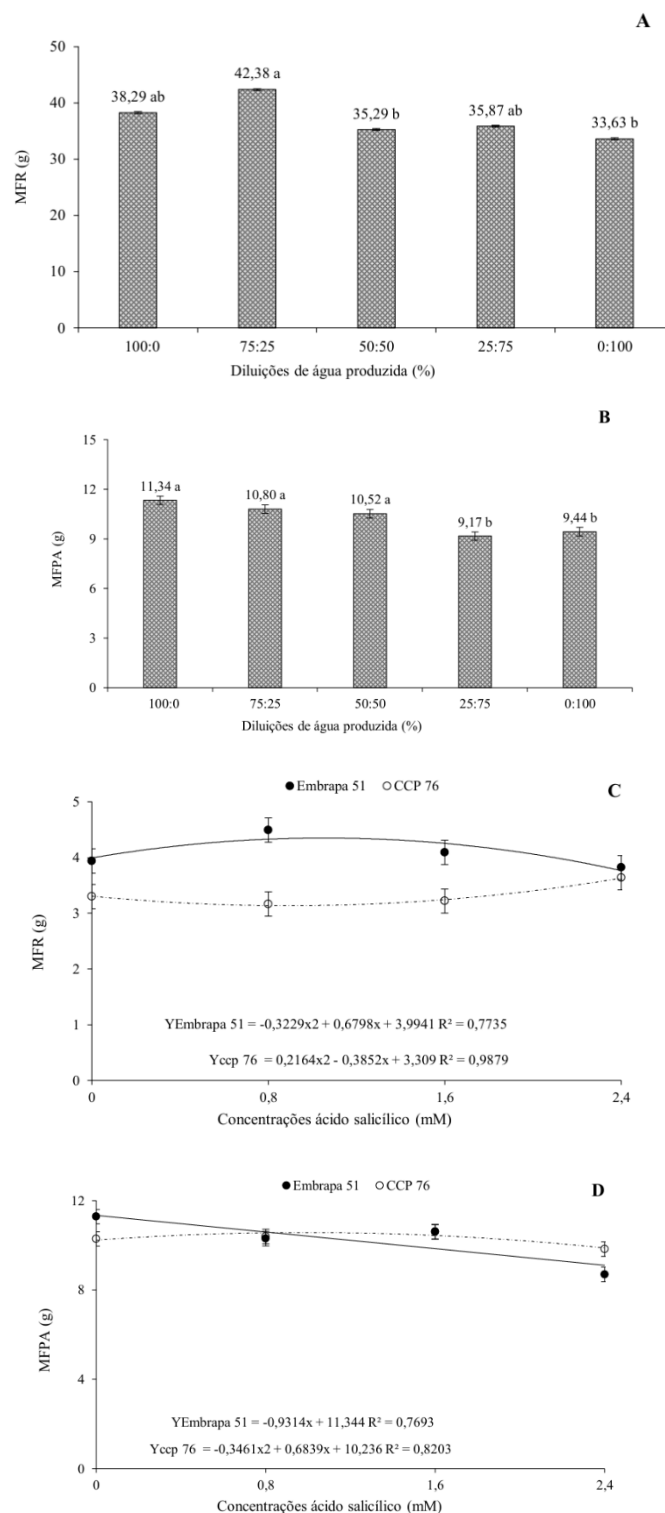


Figura 7. Massa fresca de raízes - MFR (A) e da parte aérea - MFPA (B) em função das diluições de água produzida do petróleo; MFR (C) e MFPA (D) em função da interação entre concentrações de ácido salicílico - AS x cultivars de cajueiro - GC. Letras minúsculas iguais não diferem entre si nas diluições da água produzida de petróleo pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dispersão nas barras representa o desvio padrão das médias ($n = 4$).

A massa fresca total por planta de cajueiro foi afetada significativamente pelas diluições de água produzida do petróleo onde, de acordo com o teste de médias (Figura 8A) os porta-enxertos sob a diluição T-1 tiveram a maior MFT, embora não tenha diferido estatisticamente da T-2 e T-3 e, sendo superior em 15,2% a MFT das porta-enxerto sob T-4 e T-5.

O desdobramento da interação entre AS $\times$ GC para a variável MFT revelou comportamento quadrático nos genótipos Embrapa 51 e CCP 76, com maiores valores de 15,24 g e 13,73 g obtidos nas concentrações de AS de 0,5 e 1,3 mM, respectivamente (Figura 8B). Esses resultados, em conjunto com os dados de fitomassa fresca de raízes (Figura 7C), parte aérea (Figura 7D) e total (Figura 8B), indicam que o AS, em concentrações adequadas, atua como regulador de crescimento, aumentando a biomassa vegetal por meio da melhoria da assimilação de carbono e da eficiência fotossintética (Rajeshwari & Bhuvaneshwari, 2017). Além disso, sua aplicação pode estimular enzimas antioxidantes, reduzindo danos associados ao estresse salino e ao déficit hídrico, fatores que comprometem diretamente o crescimento vegetativo (Antoniou *et al.*, 2016).

No genótipo CCP 76, observou-se resposta linear, com acréscimos de 7,89% por incremento unitário na concentração de AS, resultando em aumento total de 18,94% nas plantas submetidas à maior concentração de AS em comparação às que não receberam o regulador. Já no genótipo Embrapa 51 verificou-se resposta quadrática, com valor máximo de 0,53 obtido na concentração de 1,0 mM de AS.

Na análise do efeito interativo entre as diluições da água produzida do petróleo e as concentrações de AS sobre o IQD (Figura 8D), constatou-se comportamento quadrático para as diluições T-1, T-2, T-4 e T-5. Os maiores valores de IQD foram 0,71; 0,65; 0,48 e 0,50, obtidos respectivamente nas concentrações de AS de 2,4; 1,0; 1,7 e 1,1 mM.

De modo geral, os porta-enxertos de cajueiro apresentaram IQD acima do limite mínimo aceitável (0,2). Segundo Eloy *et al.* (2013), valores superiores a esse índice indicam mudas de boa qualidade, aptas ao transplântio. Assim, os resultados demonstram que a aplicação de AS em concentrações adequadas, associada às diferentes diluições de água produzida, contribui para a formação de porta-enxertos vigorosos e com potencial agrônômico satisfatório.

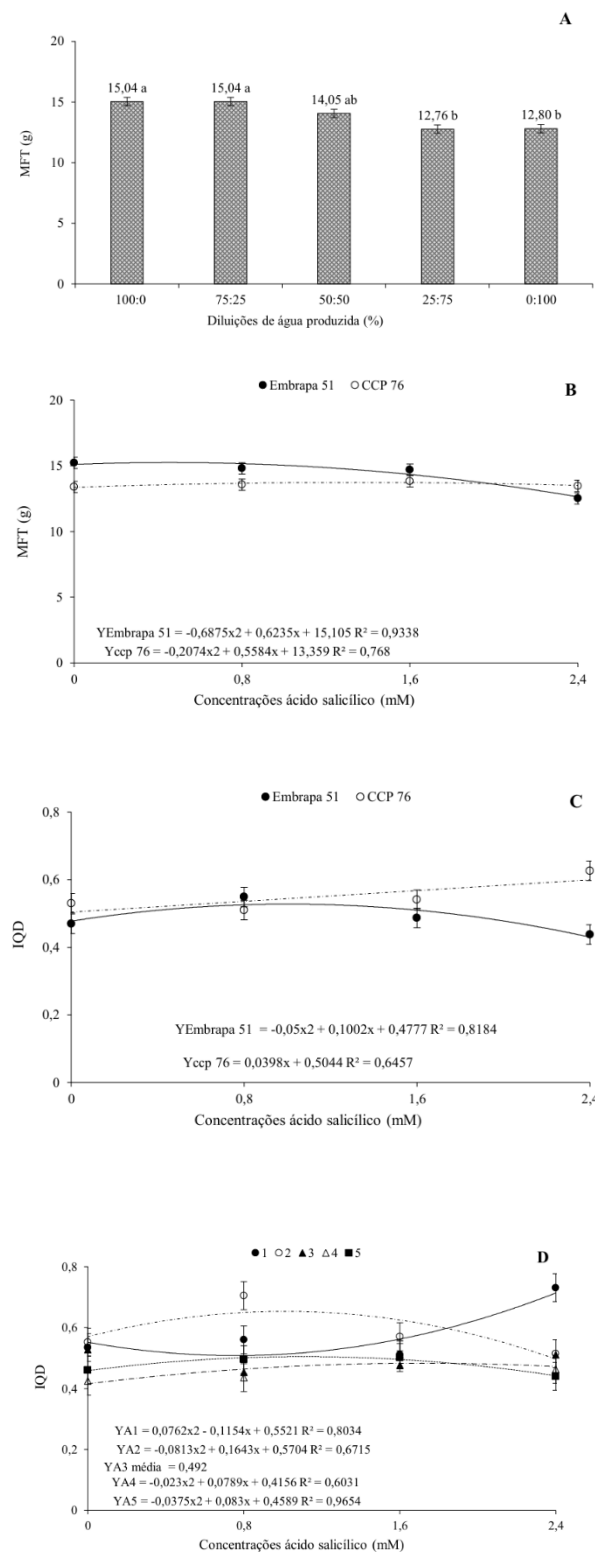


Figura 8. Massa fresca total por planta - MFT em função das diluições de água produzida do petróleo (A) e em função da interação entre concentrações de ácido salicílico - AS x cultivars de cajueiro - GC (B), e Índice de qualidade de Dickson - IQD em função da interação AS x GC (C) e da interação AP x AS (D). Letras minúsculas iguais não diferem entre si nas diluições da água produzida de petróleo pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dispersão nas barras representa o desvio padrão das médias ($n = 4$).

2.4 CONCLUSÕES

A irrigação com água produzida do petróleo, associada aos cultivares e à aplicação de ácido salicílico, interfere na fisiologia e na qualidade das mudas de cajueiro. A morfofisiologia e a qualidade dos porta-enxertos são favorecidas com a diluição T-3 (50% ANS + 50% AP), enquanto a diluição T-4 (25% água de abastecimento + 50% AP) resulta em reduções aceitáveis de até 10%.

A aplicação exógena de AS na concentração média de 1,45 mM atenua os efeitos da salinidade até CEa de 2,63 dS m⁻¹, promovendo melhor crescimento e qualidade das mudas. Entre os cultivares avaliados, o CCP 76 apresentou maior tolerância ao estresse salino e qualidade superior em relação ao Embrapa 51, podendo ser irrigado com percentuais mais elevados de AP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBAS, A. J.; GZAR, H. A.; RAHI, M. N. **Oilfield-produced water characteristics and treatment technologies: a mini review.** In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, v. 1058, 2021.
- ALENCAR, M. L. M.; OLIVEIRA, A. B. de; ALVAREZ-PIZARRO, J. C.; MARQUES, E. C.; PRISCO, J. T.; GOMES-FILHO, E. **Differential responses of dwarf cashew clones to salinity are associated to osmotic adjustment mechanisms and enzymatic antioxidative defense.** Anais da Academia Brasileira de Ciências, v.93, p.1-14, 2021.
- AL-GHOUTI, M. A.; AL-KAABI, M. A.; ASHFAQ, M. Y.; DA'NA, D. A. **Produced water characteristics, treatment and reuse: A review.** Journal of Water Process Eng., v. 28, p. 222-239, 2019.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brazil.** Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- AL-JANABIA, A. M. I.; AL-DULAIMY, A. F. Z.; SEKHI, Y. S.; ALMOHAMMEDI, O. H. M.; AL-TAEY, D. K. A. **Effect of Salt Stress on Growth and Yield of Plants: A Review.** IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci, v. 1371, p. 1-14, 2024.
- AMAKIRI, K. T.; CANON, A. R.; MOLINARIM, M.; ANGELIS-DIMAKIS, A. **Review of oilfield produced water treatment technologies.** Chemosphere, v.298, p.1-20, 2022.
- ANTONIOU, C.; SAVVIDES, A.; CHRISTOU, A.; FOTOPOULOS, V. Unravelling chemical priming machinery in plants: the role of reactive oxygen–nitrogen–sulfur species in abiotic stress tolerance enhancement. Current Opinion in Plant Biology, v.33, n.1, p.101-107, 2016.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Relatório pleno, Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil.** 2021. Brasília: ANA, 2021.
- ARAÚJO JUNIOR, E. S.; SILVA, A. F.; MAIA, J. M.; SILVA, E. F.; JARDIM, A. M. R. F.; SANTOS, H. R. B.; SOUZA, C. A. V.; SIMÕES, A. N.; SOUZA, E.; FERREIRA-SILVA, S. L. **Genotypic Differences Among Scions and Rootstocks Involved with Oxidative Damage and Ionic Toxicity in Cashew Plants Under Salinity.** Horticulturae, v. 10, 2024.
- BARROS, L. M. et al. Botânica, origem e distribuição geográfica. In: BARROS, L. M. **Caju, Produção: Aspectos Técnicos.** Brasília: Embrapa, 2002. p. 18-20.
- BEZERRA, M. A. et al. **Physiology of cashew plants grown under adverse conditions.** Brazilian Journal of Plant Physiology, v. 19, n. 04, p. 449-461, 2007.
- CAPITULINO, J. D.; LIMA, G. S.; AZEVEDO, C. A. V.; SILVA, A. A. R.; VELOSO, L. L. S. A.; FARIAS, M. S. S.; SOARES, L. A. A.; GHEYI, H. R.; LIMA, V. L. A. **Gas exchange and growth of soursop under salt stress and H2O2 application methods.** Brazilian Journal of Biology, v. 82, 2022.

CAPITULINO, J. D.; LIMA, G. S.; AZEVEDO, C. A. V.; SILVA, A. A. R.; ARRUDA, T. F. L.; SOARES, L. A. A.; GHEYI, H. R.; FERNANDES, P. D.; FARIAS, M. S. S.; SILVA, F. A.; DIAS, M. S. **Influence of Foliar Application of Hydrogen Peroxide on Gas Exchange, Photochemical Efficiency, and Growth of Soursop under Salt Stress.** *Plants*, v. 12, 2023.

DUDEK, M.; VIK, E.A.; AANESEN, V.; OYE, G. **Colloid chemistry and experimental techniques for understanding fundamental behaviour of produced water in oil and gas production.** *Advances in Colloid and Interface Science*, v. 276, 2020.

FERREIRA, D. F. **SISVAR: um sistema computacional de análise estatística.** *Ciência e Agrotecnologia*, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2019.

FIGUEREDO, K. S. L., MARTINEZ-HUITLE, C. A., TEIXEIRA, A. B. R., DE PINHO, A. L. S., VIVACQUA, C. A.; DA SILVA, D. R. **Study of produced water using hydrochemistry and multivariate statistics in different production zones of mature fields in the Potiguar Basin–Brazil.** *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 116, p. 109-114, 2014.

FISCHER, Marta Luciane; CUNHA, Thiago Rocha da; ROSANELI, Caroline Filla; MOLINARI, Renata Bicudo; SGANZERLA, Anor. **Crise hídrica em publicações científicas: olhares da bioética ambiental.** *Revista Ambiente & Água*, v. 11, n. 3, p. 546-558, set. 2016.

GAMARRA-ROJAS, G., DA SILVA, N. C. G.; VIDAL, M. S. C. **Contexto, agricultura e interação no agroecossistema familiar do caju no semiárido brasileiro.** *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, n. 34, v. 3, p. 315-338, 2019.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento sistemático da Produção Agrícola.** IBGE/LSPA. Fortaleza: IBGE/GCEA-CE. Série abril de 2022a.

JIMÉNEZ, S.; MICÓ, M.M.; ARNALDOS, M.; MEDINA, F.; CONTRERAS, S. **State of the art of produced water treatment.** *Chemosphere*, v. 192, p. 186-208, 2018.

M IQBAL R KHAN; MEHAR FATMA; TASIR S PER; NASER A ANJUM; NAFEEES A KHAN; **Salicylic acidinduced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants.** *Frontiers in Plant Science*, v. 6, p. 1-17, 2015.

LI, A., SUN, X. & LIU, L. **Action of Salicylic Acid on Plant Growth.** *Frontiers in Plant Science*. v.13, p.878076. 2022.

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

LIMA, G. S., ARRUDA, T. F. L., AZEVEDO, C. A. V., & RODRIGUES, A. A. R. (2020). **Physiological aspects and growth of cashew under salt stress and salicylic acid in pre-flowering phase.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 24 (6), 415-422.

LIMA, M. do S. de S.; PAIVA, R.V. de; SOUZA, F.B.M. de; FREIRE, A.I.; ARAÚJO, N.O. de. **Produção de porta-enxerto de cajueiro CP076 por meio de diferentes tipos de substratos**. Research, Society and Development, v.11, n.7, e30911730116, 2022.

MIRANDA, F. R. de et al. **Irrigação com Água Produzida na Extração de Petróleo: Efeitos Sobre a Salinidade do Solo e a Produtividade da Mamoneira**. 29P. Fortaleza, Embrapa Agroindústria Tropical, 2016.

MUNIR, N.; HASNAIN, M.; ROESSNER, U.; ABIDEEN, Z. **Strategies in improving plant salinity resistance and use of salinity resistant plants for economic Sustainability**. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, v. 52, n. 12, p. 2150-2196, 2022.

MUNIRASU, S.; HAIJA, M.A.; BANAT, F.; **use of membrane technology for oil field and refinery produced water treatment—A review**. Process safety and environmental protection, v. 100, p. 183-202, 2016.

NÓBREGA, J.C; SILVA, T.I; SILVA, R.T; LOPES, M. F. Q; FIGUEIREDO, F. R. A; BRUNO, R. L. A; **Salicylic acid as a saline stress attenuator in the physiological quality of Erythrina velutina seeds**. Revista Árvore, v. 45, p. e4521, 2021.

OLIVEIRA, L. C. P., VIDAL NETO, F. C., BORDALLO, P. N., & MELO, D. S. **Diversidade genética e desempenho agrônomo de híbridos de cajueiro: Recursos para o melhoramento genético**. (2008).

OLIVEIRA, P. K. B.; OLIVEIRA, T. S.; CAMELO, A. M.; ROMERO, R. E. **Crescimento de plantas de cajueiro anão precoce influenciado pela compactação e temperatura do solo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 27, n. 1, p. 121-129, fev. 2003. DOI: [https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000100002] (https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000100002).

RAJESHWARI, V.; BHUVANESHWARI, V. **Salicylic acid induced salt stress tolerance in plants**. International Journal of Plant Biology and Research, v. 5, n. 3, p. 1067-1073, 2017.

SANTOS, A. S. P.; VIEIRA, J. M. P. **Reúso de água para o desenvolvimento sustentável: aspectos de regulamentação no Brasil e em Portugal**. Revista Gesta, v. 8, n. 1, p. 50-68. 2020.

SEDLACKO, E. M.; JAHN, C. E.; HEUBERGER, A. L.; SINDT, N. M.; MILLER, H. M.; BORCH, T.; BLAINE, A. C.; CATH, T. Y.; HIGGINS, C. P. **Potential for Beneficial Reuse of Oil-and-gas-derived Produced Water in Agriculture: Physiological and Morphological Responses in Spring Wheat (Triticum Aestivum)**. Environ. Toxicol. Chem., v. 38, p. 1756–1769, 2019.

SERRANO, L. A. L.; PESSOA, P. F. A. P. **Aspectos econômicos da cultura do cajueiro**. In: SERRANO, L. A. L. (org.). Sistema de Produção do Caju. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 2016. p. 2-10.

SGROI, M.; VAGLIADASHI, F. G.A.; ROCCARO, P. **Feasibility, sustainability and circular economy concepts in water reuse**. Environmental Science & Health, v. 2, p. 20-25. 2018.

SILVA, A. A. R.; LIMA, G. S. de; AZEVEDO, C. A. V.; VELOSO, L. L. S.; GHEYI, H. R. **Salicylic acid as an attenuator of salt stress in sour sop**. Revista Caatinga, v.33, n.4, p.1092-1101, 2020.

SILVA, J. A. da; TAVARES, C. D. A.; MORAIS, S. M. de; OLIVEIRA, M. S. C. **Caracterização química e fitoquímica, toxicidade e atividade antioxidante in vitro, de Clones de Pedúnculos de Caju (Anacardium Occidentale L.)**. Brazilian Journal of Development, v.7, n.8, p.79458-79470, 2021.

SOUZA, N. C. S.; SILVEIRA, J. A. G.; SILVA, E. N.; NETO, M. C. L.; LIMA, C. S.; ARAGÃO, R. M.; FERREIRA-SILVA, S. L. **High CO₂ favors ionic homeostasis, photoprotection, and lower photorespiration in salt-stressed cashew plants**. Acta Physiologiae Plantarum, v. 21, n. 158, 2019.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE – SUDENE. **Delimitação do Semiárido - Relatório final, 2021**. Disponível em: https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/8-relatoriometodologia_semiarido2021_v9-versaodefinitiva__1_.pdf. Acesso em: 10 maio. 2025.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. Embrapa Solos, 2017.

TORRETTA, V.; KATSOYIANNIS, I.; COLLIVIGNARELLI, M. C.; BERTANZA, G.; XANTHOPOULOU, M. **Water reuse as a secure pathway to deal with water scarcity**. MATEC Web of conferences, v.305. 2020.

3. ARTIGO 2 - CRESCIMENTO E FISIOLOGIA DE PORTA-ENXERTOS DE CAJUEIRO IRRIGADOS COM ÁGUA PROVENIENTE DA EXTRAÇÃO DO PETRÓLEO SOB APLICAÇÃO DE ÁCIDO SALICÍLICO

RESUMO

No semiárido brasileiro, a agricultura irrigada enfrenta limitações decorrentes da escassez hídrica e da salinização dos solos, fatores que comprometem o desempenho de espécies agrícolas relevantes, como o cajueiro (*Anacardium occidentale* L.). Nesse contexto, pesquisas têm avaliado o uso de águas alternativas, incluindo a água produzida do petróleo tratada, cujo impacto sobre as plantas depende de variáveis como espécie, cultivar, estágio fenológico e concentração de íons. O emprego de fitohormônios, especialmente o ácido salicílico, tem se mostrado promissor na mitigação dos efeitos negativos do estresse salino, favorecendo a adaptação morfofisiológica das plantas. O presente estudo analisou porta-enxertos de cajueiro irrigados com diferentes diluições de água produzida do petróleo sintética, associadas a concentrações variadas de ácido salicílico, em delineamento fatorial $5 \times 4 \times 2$. Os resultados indicaram que a diluição T3 (50% água não salobra + 50% água produzida) promoveu melhor desempenho fisiológico e produtivo. A aplicação de ácido salicílico em concentrações médias de 1,3 mM reduziu os efeitos da salinidade até CEa de $2,63 \text{ dS m}^{-1}$, enquanto 1,7 mM beneficiou a morfofisiologia das plantas. Entre os cultivares avaliados, o CCP 76 apresentou maior eficiência no uso da água e maior produção de fitomassa em comparação ao EMBRAPA 51.

Palavras-chave: *Anacardium occidentale* L., Fito regulador, Estresse salino, Eficiência de carboxilação, Material Genético.

ARTICLE 2: GROWTH AND PHYSIOLOGY OF CASHEW ROOTSTOCKS IRRIGATED WITH WATER FROM PETROLEUM EXTRACTION UNDER SALICYLIC ACID APPLICATION

ABSTRACT

In the Brazilian semi-arid region, irrigated agriculture faces limitations due to water scarcity and soil salinization, factors that compromise the performance of relevant agricultural species such as cashew (*Anacardium occidentale* L.). In this context, research has evaluated the use of alternative water sources, including treated produced water from petroleum, whose impact on plants depends on variables such as species, cultivar, phenological stage, and ion concentration. The use of phytohormones, especially salicylic acid, has proven promising in mitigating the negative effects of saline stress, favoring the morphophysiological adaptation of plants. This study analyzed cashew rootstocks irrigated with different dilutions of synthetic petroleum-produced water, combined with varying concentrations of salicylic acid, in a $5 \times 4 \times 2$ factorial design. The results indicated that dilution T3 (50% non-saline water + 50% produced water) promoted better physiological and productive performance. The application of salicylic acid at an average concentration of 1.3 mM reduced the effects of salinity up to EC_w of 2.63 dS m⁻¹, while 1.7 mM benefited plant morphophysiology. Among the evaluated cultivars, CCP 76 showed greater efficiency in water use and higher biomass production compared to EMBRAPA 51.

Keywords: *Anacardium occidentale* L., Growth regulator, Saline stress, Carboxylation efficiency, Genetic material.

3.1 INTRODUÇÃO

A escassez hídrica é um dos maiores desafios globais, intensificada pelo crescimento populacional e pela necessidade de ampliar áreas irrigadas para garantir a segurança alimentar. No Brasil, o semiárido nordestino é particularmente vulnerável, com precipitações anuais entre 200 e 800 mm e evapotranspiração média próxima de 2.000 mm, resultando em severa limitação da disponibilidade de água de boa qualidade (ANA, 2021; Santos *et al.*, 2020). Além da escassez quantitativa, a degradação da qualidade hídrica, causada por poluentes e resíduos, compromete o desenvolvimento sustentável (Sgroi *et al.*, 2018; Toretta *et al.*, 2020).

Nesse contexto, alternativas como o uso de águas salobras, residuárias e da água produzida do petróleo (AP) vêm sendo investigadas. A AP, subproduto da extração de petróleo e gás natural, apresenta composição complexa, frequentemente com alta salinidade, metais pesados e gases dissolvidos, exigindo tratamento para descarte ou reaproveitamento seguro (Munirasu, 2016; Dudek, 2020). Estima-se que para cada barril de petróleo extraído sejam gerados cerca de quatro barris de água, o que reforça seu potencial de uso agrícola (Abbas *et al.*, 2021; Amakiri *et al.*, 2022).

Entre as culturas adaptadas ao semiárido, o cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) se destaca pela relevância econômica e cultural, com o Nordeste concentrando 99,7% da área cultivada no país, cerca de 424 mil hectares (IBGE, 2022). A formação de porta-enxertos vigorosos é estratégica para garantir produtividade, sendo influenciada por fatores como substrato, manejo da irrigação e uso de reguladores de crescimento. Embora o cajueiro apresente resiliência à seca e à salinidade, tais condições podem limitar seu desenvolvimento, uma vez que a salinidade reduz o potencial osmótico do solo e dificulta a absorção de água e nutrientes (Lima *et al.*, 2017).

O ácido salicílico, por sua vez, tem se mostrado eficaz na mitigação dos efeitos do estresse hídrico e salino, atuando como fitohormônio antioxidante capaz de ativar mecanismos de defesa e favorecer a adaptação das plantas (Antoniou *et al.*, 2016; Rajeshwari *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2020).

Diante da intensificação da escassez hídrica e da necessidade de alternativas sustentáveis para irrigação, este estudo teve como objetivo avaliar a resposta morfofisiológica de porta-enxertos de cajueiro submetidos à irrigação com água produzida do petróleo tratada, associada à aplicação de ácido salicílico.

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido entre os meses de outubro e dezembro de 2023, em ambiente protegido por telado, nas instalações da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), campus de Caraúbas, Rio Grande do Norte. O local do experimento situa-se nas coordenadas geográficas 05°47'33''S e 37°33'24''W, a uma altitude média de 144 metros. De acordo com a classificação climática de Köppen, a região enquadra-se no tipo BSh, caracterizado como semiárido quente (Alvares *et al.*, 2013).

3.2.1 Delineamento experimental, tratamentos e semeadura dos porta-enxertos de cajueiro

O ensaio foi estruturado em delineamento de blocos casualizados, adotando um arranjo fatorial $5 \times 4 \times 2$. Foram utilizadas quatro repetições, com uma planta por parcela. Os tratamentos consistiram em cinco proporções de mistura entre água não salobra (ANS) e água produzida do petróleo sintética (AP), a saber:

- T1: 100% ANS
- T2: 75% ANS + 25% AP
- T3: 50% ANS + 50% AP
- T4: 25% ANS + 75% AP
- T5: 100% AP

Essas combinações foram associadas a quatro níveis de ácido salicílico (0; 0,8; 1,6; e 2,4 mM) e aplicadas em dois cultivares de cajueiro: Embrapa 51 e CCP 76. A água não salobra utilizada teve origem em um poço artesiano administrado pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN). A água produzida do petróleo empregada no experimento foi elaborada de forma sintética, tomando como referência a composição média das águas da Bacia Potiguar, conforme descrito por Figueredo *et al.* (2014). Sua formulação envolveu a combinação de reagentes específicos e a quantificação precisa dos componentes, cujos valores encontram-se detalhados na Tabela 1.

Tabela 1. Composição química média da água produzida de petróleo (AP) encontrada nos poços da Bacia Potiguar e os reagentes e quantitativos utilizados para produção da AP sintética.

Composição química da AP	Média (mg L ⁻¹)	Reagentes utilizados na composição da AP sintética	Quantitativo de reagentes (g 1000 L ⁻¹)
Alumínio	0,13	Cloreto de alumínio	1,162
Bário	0,84	Boráx	3,88
Boro	0,44	Ácido bórico	2,519
Cálcio	169,87	Sulfato de cálcio	55,89
Cloreto	687,47	Cloreto de cálcio	425,74
Ferro	0,24	Cloreto de ferro	0,695
Magnésio	65,76	Cloreto de magnésio	557,05
Manganês	0,19	Sulfato de manganês	0,522
Potássio	47,62	Cloreto de potássio	89,46
Sódio	242,07	Cloreto de sódio	609,5
Sulfato	39,94		
Zinco	0,09	Sulfato de zinco	0,222

Após o preparo da solução de água salina (AP), foram realizadas diluições para compor os tratamentos experimentais. A condutividade elétrica (CEa) e o pH das soluções resultantes foram determinados, obtendo-se os seguintes valores: T1 = 0,47 dS m⁻¹ e pH 7,11; T2 = 1,26 dS m⁻¹ e pH 7,43; T3 = 2,06 dS m⁻¹ e pH 7,68; T4 = 2,63 dS m⁻¹ e pH 7,75; T5 = 3,52 dS m⁻¹ e pH 7,79. A escolha dessas diluições foi fundamentada na tolerância da cultura à salinidade, considerando que, segundo Alencar *et al.* (2021), o crescimento do cajueiro é significativamente inibido em CEa $\geq$ 1,58 dS m⁻¹. Ressalta-se, contudo, que a resposta da espécie à salinidade é variável, sendo os genótipos um dos principais fatores determinantes dessa heterogeneidade (Lima *et al.*, 2020).

Quanto às concentrações de ácido salicílico (AS), optou-se por adotar os mesmos níveis empregados por Silva *et al.* (2021) em estudos com graviola, devido à escassez de pesquisas específicas sobre a aplicação de AS em cajueiro. O experimento foi conduzido com os clones de cajueiro anão-precocemente Embrapa 51 e CCP 76, recomendados para cultivo comercial no Nordeste brasileiro em função da elevada produtividade, resistência ao déficit hídrico e qualidade da castanha (Oliveira *et al.*, 2008). O clone CCP 76 apresenta ampla adaptabilidade a diferentes condições ambientais e pedúnculo com baixo teor de taninos, enquanto o Embrapa 51 se destaca por dimensões biométricas superiores e elevado valor comercial, sendo indicado para cultivo em áreas de sequeiro. As sementes utilizadas foram provenientes de área de produção comercial localizada em Severiano Melo - RN.

Na etapa de semeadura, utilizaram-se sacolas plásticas com capacidade de 1150 mL, visando favorecer o desenvolvimento radicular. O substrato foi composto por solo franco-arenoso da região de Caraúbas - RN, coletado na camada de 0-30 cm de profundidade, enriquecido com 5% de esterco bovino curtido (base em peso). As propriedades químicas e físico-hídricas do solo foram determinadas conforme os métodos descritos por Teixeira *et al.* (2017), apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Características físicas e químicas da mistura solo/substrato utilizado para condução das plantas de cajueiro.

Dados Gerais												
Areia		Silte		Argila		Classificação textural		CEes	pHes H ₂ O	M.O		
-----%-----								dS m ⁻¹	g kg ⁻¹			
16		79,3		4,7		Franca		0,41	6,38	33,08		
P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	(H + Al)	SB	T	CTC	V	M	PST
cmolc dm ⁻³	-----cmolc dm ⁻³ -----									-----%-----		
313,3	0,17	0,22	8,20	3,95	0,00	2,08	12,54	12,54	14,62	86	0	1,0

M.O - Matéria orgânica: Digestão Úmida Walkley-Black; Ca²⁺ e Mg²⁺ extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ pH 7,0; Na⁺ e K⁺ extraídos utilizando-se NH₄OAc 1 mol L⁻¹ pH 7,0; Al³⁺ e (H⁺ + Al³⁺) extraídos utilizando-se CaOAc 1 mol L⁻¹ pH 7,0; CEes - condutividade elétrica do extrato de saturação do substrato a 25°C; pHes - pH do extrato de saturação do substrato.

O experimento foi conduzido em sacolas plásticas (1150 mL) dispostas sobre estrados de madeira a 20 cm do solo, com drenagem assegurada por furos na base. Cada unidade recebeu uma castanha de caju semeada verticalmente a 1 cm de profundidade. O substrato consistiu em solo franco-arenoso da região de Caraúbas - RN, coletado na camada de 0-30 cm, enriquecido com 5% de esterco bovino curtido.

Nos primeiros 16 dias após a semeadura (DAS), as mudas foram irrigadas com água de abastecimento (CEa = 0,3 dS·m⁻¹). A partir do 17º DAS, a irrigação seguiu os tratamentos definidos com diferentes diluições de água produzida do petróleo (AP), aplicadas manualmente duas vezes ao dia, com volumes ajustados pelo balanço hídrico. A aplicação de ácido salicílico (AS) iniciou-se aos 14 DAS, em quatro pulverizações foliares com intervalo de oito dias. Aos 37 dias após a emergência (DAE), realizou-se adubação nitrogenada com ureia (355,2 g em 20 L de água; 100 mL por unidade). Durante o ciclo, foram efetuados tratos culturais de rotina.

As variáveis avaliadas incluíram: Eficiência Intrínseca da Carboxilação (EiCi), Eficiência Instantânea do Uso da Água (EiUA), Eficiência Intrínseca do Uso da Água (EUA), Suculência

Foliar (SUC), Taxa de Crescimento Absoluto da Altura da Planta (TCAap), do Diâmetro do Caule (TCAdc) e da Área Foliar (TCAaf).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial $5 \times 4 \times 2$ (cinco diluições de AP, quatro concentrações de AS e dois cultivares de cajueiro), com quatro repetições e uma planta por parcela. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando significativo, ao teste de Tukey ($p \leq 0,05$), utilizando o software SISVAR (Ferreira, 2019).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o resumo da análise de variância (Tabela 3), verificou-se efeito significativo da interação entre as diluições de água produzida do petróleo e os genótipos de cajueiro sobre a Eficiência Intrínseca da Carboxilação (EiCi) e a Eficiência Intrínseca do Uso da Água (EUA). Também foi observada interação significativa entre as diluições de água produzida e as concentrações de ácido salicílico sobre a Eficiência Instantânea do Uso da Água (EiUA), a Taxa de Crescimento Absoluto do Diâmetro do Caule (TCAdc) e a Taxa de Crescimento Absoluto da Área Foliar (TCAaf).

Além disso, constatou-se efeito isolado das diferentes diluições de água produzida sobre a Taxa de Crescimento Absoluto da Altura da Planta (TCAap); do fator ácido salicílico sobre a Taxa de Crescimento Absoluto da Altura da Planta (TCAap); e dos genótipos de cajueiro sobre a Eficiência Instantânea do Uso da Água (EiUA), a Suculência Foliar (SUC), a Taxa de Crescimento Absoluto do Diâmetro do Caule (TCAdc) e a Taxa de Crescimento Absoluto da Área Foliar (TCAaf). Também houve efeito significativo do ácido salicílico sobre a Suculência Foliar (SUC) e sobre a Taxa de Crescimento Absoluto da Altura da Planta (TCAap) em porta-enxertos de cajueiro.

Tabela 3. Resumo da análise de variância para eficiência intrínseca da carboxilação (EiCi), eficiência instantânea do uso da água (EiUA), eficiência intrínseca do uso da água (EUA), suculência foliar (SUC), taxa de crescimento absoluto da altura de planta (TCAap), do diâmetro de caule (TCAdc) e da área foliar (TCAaf) de porta-enxertos de cultivars de cajueiro com diluições de água produzida do petróleo (AP) e concentrações de ácido salicílico (AS).

Fonte de Variação	Quadrados Médios						
	EiCi	EiUA	EUA	SUC	TCAap	TCAdc	TCAaf
Água produzida do petróleo (APP)	0,004*	3,822**	3,230*	0,00002ns	0,120**	0,006**	86,247**
Concentrações de Ácido Salicílico (AS)	0,002ns	0,103ns	5,153ns	0,00003*	0,050*	0,002*	37,820**
Reg, Linear	0,003ns	0,209ns	0,094ns	0,00009**	0,080*	0,001ns	113,048**
Reg, Quadrática	0,001ns	0,022ns	0,770ns	0,00001ns	0,005ns	0,006*	0,029ns
Cultivars Cajueiro (GC)	0,001ns	20,449**	22,141**	0,00052**	0,003ns	0,077**	1,476ns
Interação (AP x AS)	0,002ns	1,231**	2,792ns	0,00001ns	0,017ns	0,001*	15,766**
Interação (AP x GC)	0,003*	0,670ns	2,995*	0,00001ns	0,016ns	0,001ns	8,170ns
Interação (AS x GC)	0,002ns	0,118ns	1,349ns	0,00002ns	0,007ns	0,001ns	7,960ns
Interação (AP x AS x GC)	0,002ns	0,280ns	1,533ns	0,00001ns	0,036ns	0,001ns	7,149ns
Bloco	0,002ns	1,690*	1,849ns	0,00001ns	0,160**	0,001ns	19,810**
CV (%)	44,94	23,27	37,32	29,26	51,72	21,17	40,98

ns, **, * respectivamente não significativos, significativo a $p < 0,01$ e a $p < 0,05$; CV= coeficiente de variação.

De acordo com o teste de comparação de médias (Figura 1A) vê-se que o cultivar Embrapa 51 sob irrigação com T-3 teve o maior valor de eficiência intrínseca da carboxilação EiCi, embora não tenha diferido estatisticamente do T-4, e sendo superior as plantas sob T-1 em 38,89%. Para a cultivar CCP 76, a maior eficiência intrínseca da carboxilação EiCi foi obtido em plantas sob T-2, que não diferiu estatisticamente das plantas sob os demais tratamentos de diluição de AP, denotando certa tolerância destes cultivars ao estresse salino da AP, pois, em plantas sob estresse abiótico geralmente ocorre restrições metabólicas no ciclo de Calvin devido a desidratação do mesófilo foliar e, comprometendo a eficiência da carboxilação (Dias et al., 2018). Outrossim, os distintos cultivars diferiram apenas quando submetidas a diluição T-3, onde o Embrapa 51 superou o CCP 76.

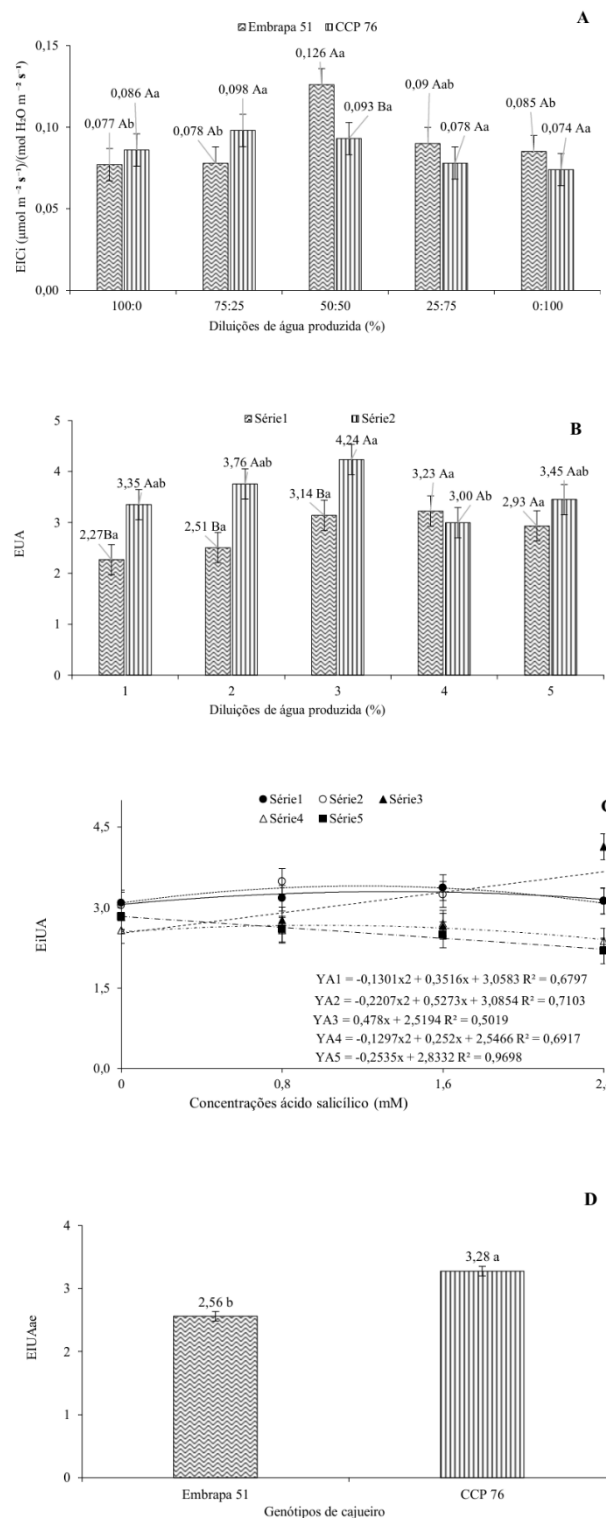


Figura 1. Eficiência intrínseca da carboxilação – EiCi (A) e eficiência intrínseca do uso da água – EUA (B) em função da interação entre os fatores água produzida do petróleo – AP x cultivars de cajueiro – GC; e eficiência instantânea do uso da água – EiUA em função da interação entre AP x concentrações de ácido salicílico - AS (C) e dos cultivars de cajueiro (D).

A interação entre as diluições de água produzida do petróleo (AP) e os genótipos de cajueiro (GC) afetou significativamente a Eficiência Intrínseca do Uso da Água (EUA), promovendo diferenças entre os cultivares nas diluições T-1, T-2 e T-3 (Figura 1B). O cultivar CCP 76 apresentou maior eficiência sob T-3 ($CEa = 1,26 \text{ dS m}^{-1}$), superando o Embrapa 51, embora sem diferença estatística em relação às diluições T-1, T-2 e T-5. Para o cultivar Embrapa 51, o maior valor de EUA ($3,23 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) foi observado em T-4, sem diferença significativa em relação às demais diluições, indicando que ambos os cultivares toleraram satisfatoriamente a irrigação com AP.

Na análise da interação entre AP e concentrações de ácido salicílico (AS) sobre a Eficiência Instantânea do Uso da Água (EiUA) (Figura 1C), verificou-se comportamento quadrático para as diluições T-1, T-2 e T-4, com maiores valores ($3,29$; $3,40$ e $2,67 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1} / \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) obtidos nas concentrações de AS de $1,4$; $1,2$ e $1,0 \text{ mM}$, respectivamente. Nas diluições T-3 e T-5, observou-se comportamento linear: em T-3, houve incremento de $18,97\%$ por unidade de aumento de AS, resultando em acréscimo total de $45,53\%$ na maior concentração; em T-5, ocorreram reduções de $8,95\%$ por unidade de aumento de AS, totalizando decréscimo de $21,47\%$ na maior concentração, sugerindo efeito osmótico negativo da salinidade elevada ($CEa = 3,52 \text{ dS m}^{-1}$).

Os cultivares também diferiram significativamente quanto à EiUA (Figura 1D), com o CCP 76 superando o Embrapa 51 em $21,95\%$, diferença atribuída às características genéticas distintas. A Suculência Foliar (SUC) variou significativamente entre os cultivares (Figura 2A), sendo maior no Embrapa 51 ($0,014 \text{ g H}_2\text{O cm}^{-2}$), que superou o CCP 76 em $26,43\%$. O aumento das concentrações de AS promoveu efeito linear sobre a SUC (Figura 2B), com acréscimos de $8,11\%$ por unidade de concentração, resultando em superioridade de $19,46\%$ na maior dose em relação à ausência de AS, evidenciando o papel do regulador no controle da divisão e expansão celular (Wang *et al.*, 2021).

Apesar de favorecer a SUC, o AS afetou negativamente a Taxa de Crescimento Absoluto da Altura da Planta (TCAap) (Figura 2C), com comportamento linear decrescente: reduções de $8,5\%$ por unidade de concentração, totalizando decréscimo de $20,41\%$ na maior dose em comparação ao controle, demonstrando que o regulador não beneficia todas as variáveis fisiológicas. A TCAap também foi influenciada pelas diluições de AP (Figura 2D). As plantas sob T-1 (100% água de abastecimento) apresentaram maior crescimento, sem diferença estatística em relação a T-2 e T-3, mas superiores em $40,24\%$ às plantas sob T-4 e T-5. Esses

resultados indicam que a tolerância ao estresse salino se mantém até CEa de 2,06 dS m⁻¹ (T-3), sugerindo viabilidade do uso de água produzida quando devidamente diluída.

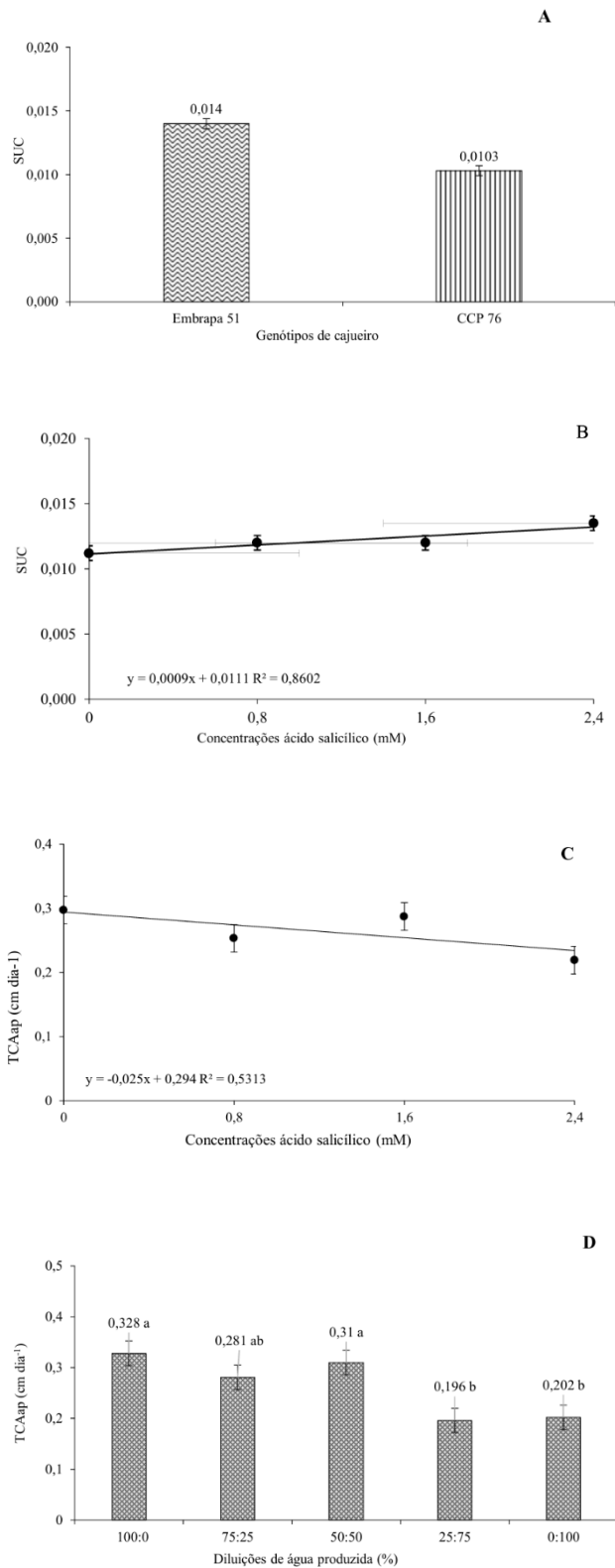


Figura 2. Suculência foliar - SUC em função dos cultivares de cajueiro (A) e das concentrações de ácido salicílico (B) e taxa de crescimento absoluto da altura de planta - TCAap em função de AS (C) e das distintas diluições de água produzida do petróleo (D).

Os cultivares de cajueiro apresentaram diferenças significativas na Taxa de Crescimento Absoluto do Diâmetro do Caule (TCAdc). Conforme a Figura 3A, o maior valor (0,1656 mm dia⁻¹) foi observado nos porta-enxertos do cultivar CCP 76, representando superioridade de 26,63% em relação ao Embrapa 51. Esse resultado sugere que a maior Eficiência Instantânea do Uso da Água (EiUA) do CCP 76 (Figura 1D) contribuiu para o incremento no diâmetro das plantas.

A TCAdc foi influenciada pela interação entre as diluições de água produzida do petróleo (AP) e as concentrações de ácido salicílico (AS). De acordo com as equações de regressão (Figura 3B), os porta-enxertos submetidos às diluições T-1 e T-4 apresentaram resposta linear decrescente, com reduções de 5,29% e 7,93% por unidade de aumento da concentração de AS, resultando em decréscimos de 12,69% e 19,02% na maior dose, respectivamente, em comparação às plantas sem aplicação de AS. Nas diluições T-2 e T-5, observou-se comportamento quadrático, com maiores valores de TCAdc (0,15 mm dia⁻¹) obtidos nas concentrações de AS de 0,9 e 1,3 mM, indicando que doses adequadas de AS podem favorecer a tolerância das plantas ao estresse abiótico.

A Taxa de Crescimento Absoluto da Área Foliar (TCAaf) também foi afetada pela interação entre AP e AS. Conforme as equações de regressão (Figura 3C), os porta-enxertos sob T-1 apresentaram comportamento quadrático, com maior valor (9,95 folhas dia⁻¹) na concentração de AS de 0,9 mM. Já nas diluições T-2 e T-3, verificou-se comportamento linear decrescente, com reduções de 17,69% e 14,80% por unidade de aumento de AS, resultando em decréscimos de 42,44% e 35,52% na maior concentração, respectivamente, em comparação às plantas sem aplicação de AS.

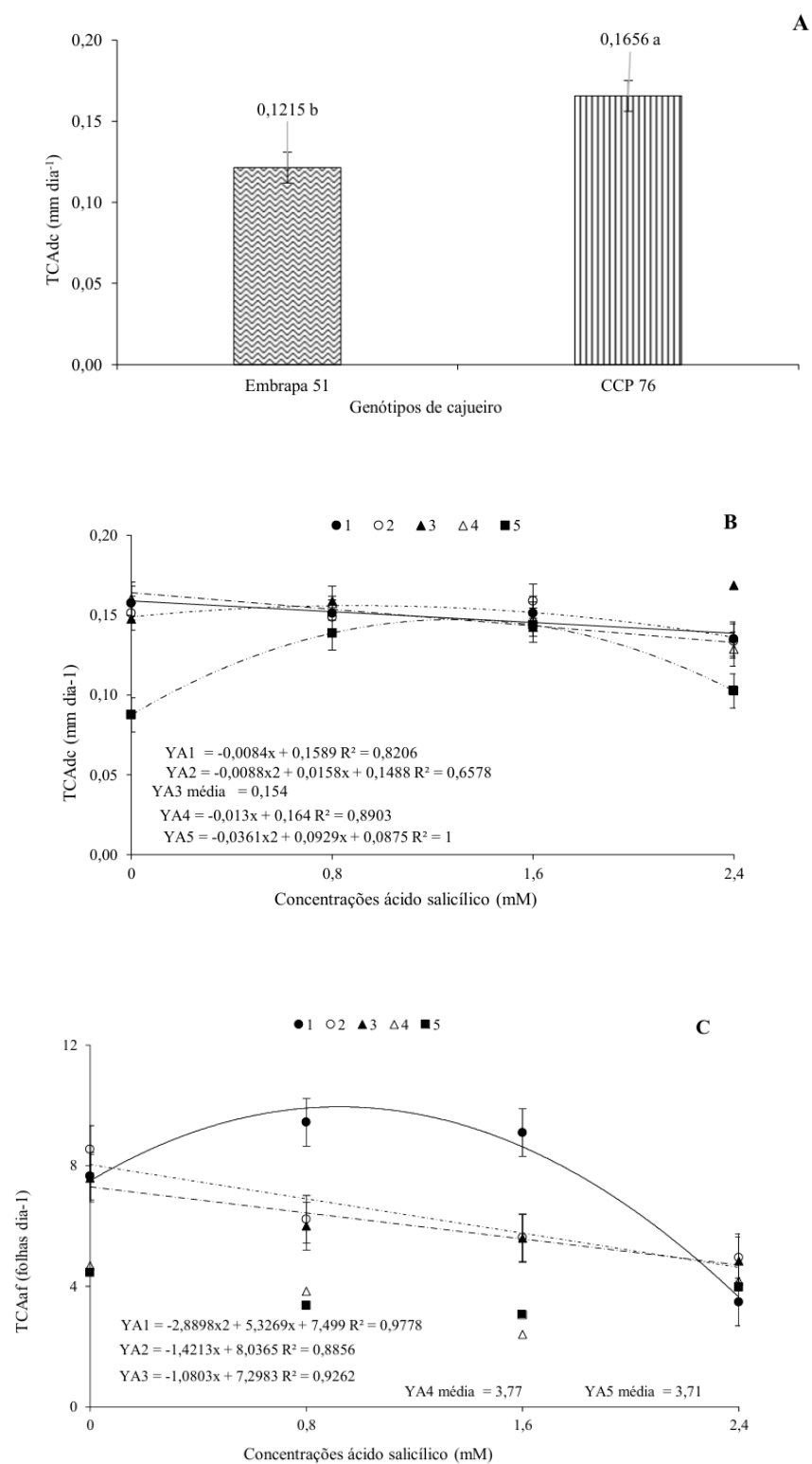


Figura 3. Taxa de crescimento absoluto do diâmetro de caule - TCAde em função dos cultivares de cajueiro (A) e da interação entre os fatores água produzida do petróleo - AP x concentrações de ácido salicílico - AS (B); e taxa de crescimento absoluto da área foliar - TCAaf (C) em função da interação entre AP x AS.

De acordo com os resultados da análise de variância (Tabela 4), verificou-se efeito significativo da interação entre as concentrações de ácido salicílico (AS) e os cultivares de cajueiro (GC) sobre a Massa Seca de Folhas (MSF), Massa Seca de Raízes (MSR), Massa Seca da Parte Aérea (MSPA) e Massa Seca Total por planta (MST). Também foi observada interação significativa entre diluições de água produzida do petróleo (AP) e AS para a Massa Seca de Raízes (MSR) e para a Relação Raiz/Parte Aérea (RPA). Além disso, constatou-se efeito isolado das diferentes diluições de AP sobre a Massa Seca de Caule (MSC), Massa Seca de Folhas (MSF), Massa Seca da Parte Aérea (MSPA) e Massa Seca Total (MST) dos porta-enxertos de cajueiro.

Tabela 4. Resumo da análise de variância para massa seca de folhas (MSF), de caule (MSC), de raízes (MSR), da parte aérea (MSPA), total por planta (MST) e relação raiz/parte aérea (RPA) de porta-enxertos de cultivars de cajueiro sob irrigação com diluições de água produzida do petróleo (AP) e concentrações de ácido salicílico (AS).

Fonte de Variação	Quadrados Médios					
	MSF	MSC	MSR	MSPA	MST	RPA
Água produzida do petróleo (AP)	0,640*	0,213**	0,630**	1,337**	3,701**	0,039ns
Concentrações de Ácido Salicílico (AS)	0,510*	0,135ns	0,210ns	1,124*	0,501ns	0,201**
Reg, Linear	0,770*	0,055ns	0,091ns	1,237*	0,656ns	0,163*
Reg, Quadrática	0,028ns	0,007ns	0,073ns	0,063ns	0,273ns	0,011ns
Cultivars Cajueiro (GC)	28,249**	0,068ns	0,538ns	25,552**	18,666**	1,489**
Interação (AP x AS)	0,196ns	0,055ns	0,272*	0,191ns	0,358ns	0,057*
Interação (AP x GC)	0,364ns	0,019ns	0,081ns	0,421ns	0,302ns	0,025ns
Interação (AS x GC)	0,791*	0,099ns	0,585**	1,321**	2,110**	0,167ns
Interação (AP x AS x GC)	0,136ns	0,040ns	0,135ns	0,193ns	0,432ns	0,021ns
Bloco	0,128ns	0,365**	0,245ns	0,910*	2,094**	0,002ns
CV (%)	33,42	19,01	39,02	23,37	21,12	41,62

ns, **, * respectivamente não significativos, significativo a $p < 0,01$ e a $p < 0,05$; CV= coeficiente de variação.

A Massa Seca de Folhas (MSF) foi significativamente afetada pela interação entre as concentrações de ácido salicílico (AS) e os genótipos de cajueiro (GC). Conforme as equações de regressão (Figura 4A), o porta-enxerto Embrapa 51 apresentou resposta linear, com reduções de 15,88% por unidade de aumento da concentração de AS, resultando em decréscimo total de 38,12% na maior dose em comparação às plantas sem aplicação. No cultivar CCP 76, verificou-se resposta quadrática, com maior valor de MSF (1,92 g) obtido na concentração de 1,7 mM de AS. Esse resultado sugere que concentrações adequadas de AS podem induzir a expressão de genes relacionados aos mecanismos de defesa, ao processo fotossintético e ao acúmulo de espécies reativas de oxigênio (ERO) no apoplasto, favorecendo a absorção de água e o

crescimento vegetal (Sharma *et al.*, 2017). Entretanto, os genótipos apresentaram comportamentos distintos.

As diluições de água produzida do petróleo (AP) também influenciaram a MSF (Figura 4B). O maior valor (1,63 g) foi observado em plantas irrigadas com T-2 (75% água de abastecimento + 25% AP), sem diferença estatística em relação às diluições T-1, T-3 e T-5, mas superior em 23,31% às plantas sob T-4. Esses resultados indicam tolerância do cajueiro ao estresse salino durante a fase de produção de mudas, especialmente até a CEa de 2,06 dS m⁻¹ (T-3). De forma semelhante, a Massa Seca de Caule (MSC) foi afetada pelas diluições de AP (Figura 4C). Os porta-enxertos irrigados com T-1, T-2 e T-3 não diferiram estatisticamente entre si, mas superaram em 17,12% as plantas submetidas às diluições T-4 e T-5, conforme o teste de comparação de médias.

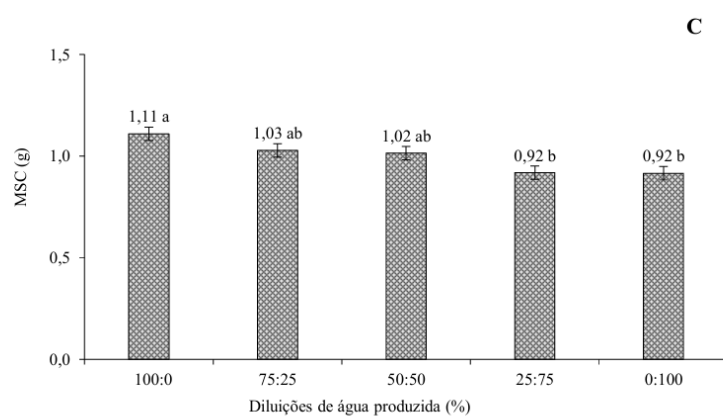
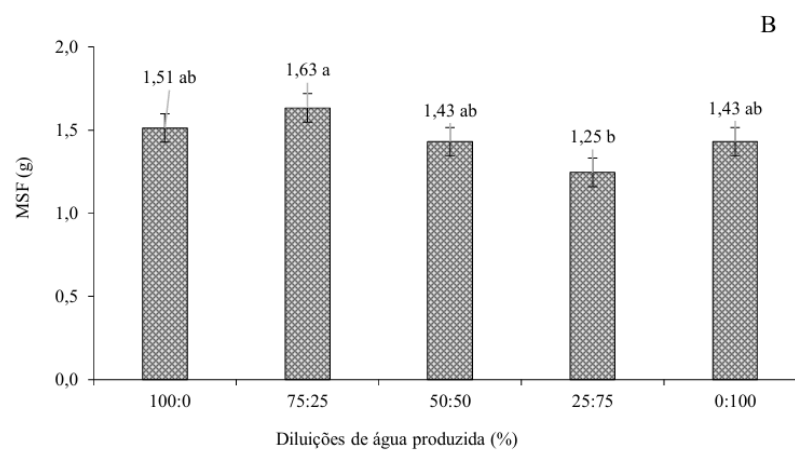
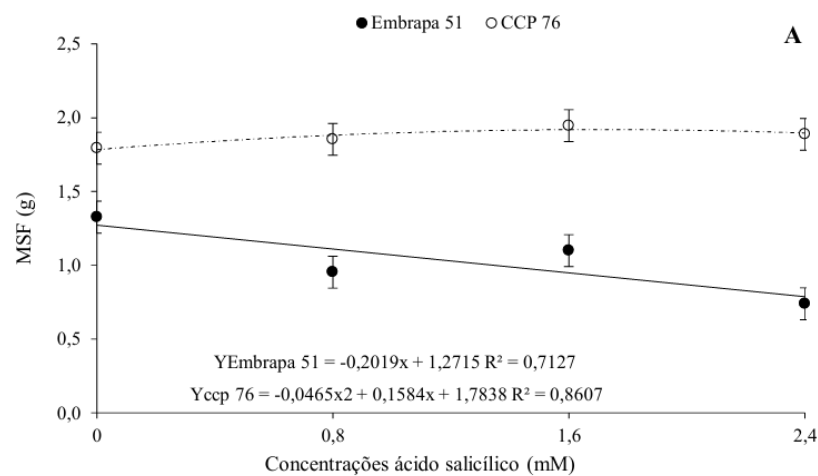


Figura 4. Massa seca de folhas – MSF em função da interação entre concentrações de ácido salicílico e cultivars de cajueiro (A) e das diluições de água produzida do petróleo - AP (B); e, massa seca de caule – MSC (C) em função de AP.

De acordo com as equações de regressão (Figura 5A), plantas irrigadas com a diluição T-1 apresentaram comportamento linear, com acréscimos de 22,38% por unidade de aumento da concentração de ácido salicílico (AS), resultando em redução total de 53,72% na Massa Seca de Raízes (MSR) dos porta-enxertos submetidos à maior concentração em comparação às plantas sem aplicação de AS. Nas diluições T-2 e T-4, observou-se resposta quadrática, com valores máximos de MSR de 1,37 g e 0,89 g, obtidos nas concentrações de AS de 1,1 e 1,7 mM, respectivamente.

No desdobramento da interação entre AS e genótipos de cajueiro (GC) para a variável MSR (Figura 5B), verificou-se comportamento quadrático para o cultivar Embrapa 51, com maior valor de MSR (1,15 g) obtido na concentração de 1,1 mM de AS. Para o cultivar CCP 76, observou-se resposta linear, com acréscimos de 9,81% por unidade de aumento da concentração de AS, resultando em incremento total de 23,54% na maior dose em comparação às plantas sem aplicação.

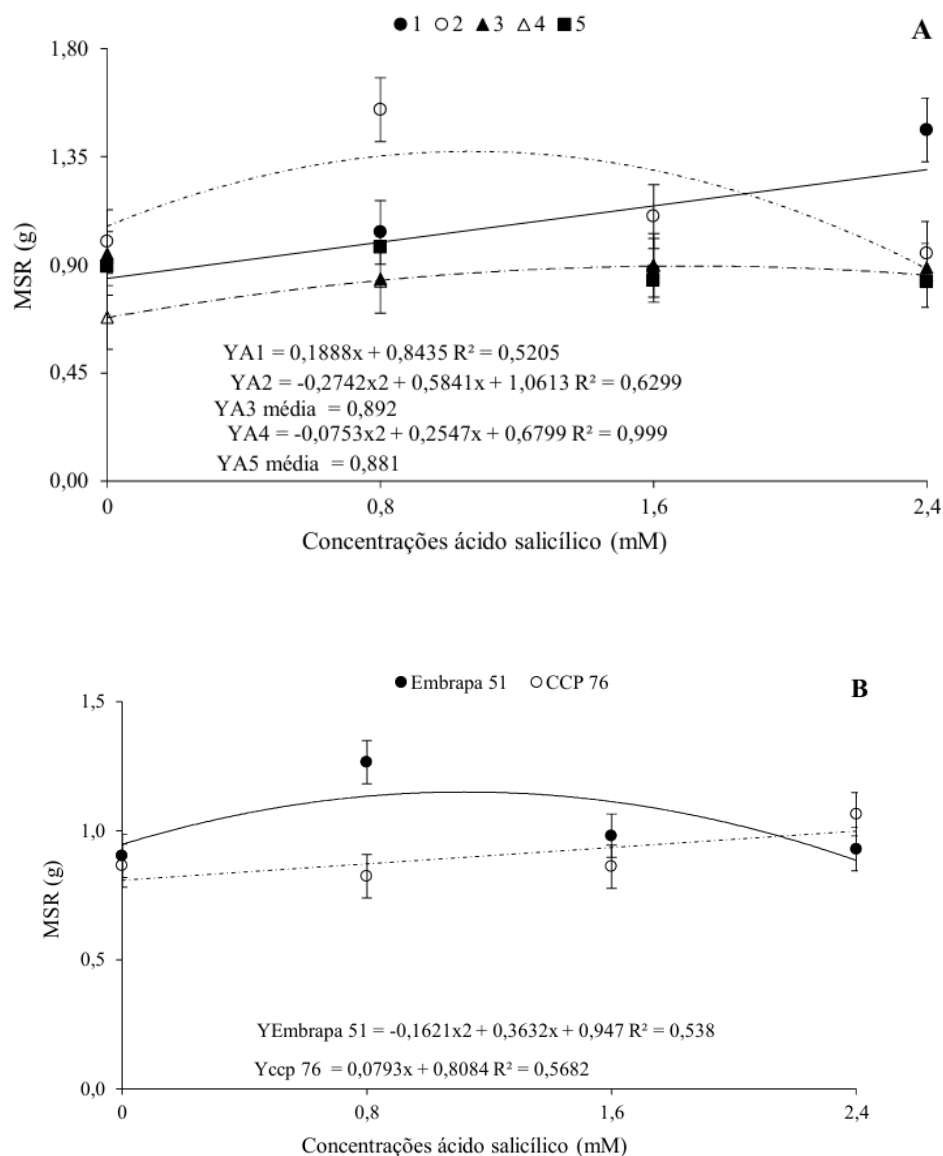


Figura 5. Massa seca de raízes – MSR em função da interação entre água produzida do petróleo - AP x concentrações de ácido salicílico - AS (A), e da interação entre AS x cultivars de cajueiro - GC (B).

Conforme as equações de regressão (Figuras 6A e 6B), os porta-enxertos do cultivar Embrapa 51 apresentaram resposta linear, com reduções de 10,58% e 8,05% por unidade de aumento da concentração de ácido salicílico (AS), resultando em decréscimos totais de 25,38% e 19,32% na maior dose em comparação às plantas sem aplicação. Em contrapartida, as mudas do cultivar CCP 76 exibiram comportamento oposto, com acréscimos de 1,84% e 3,72% por unidade de aumento da concentração de AS, correspondendo a incrementos de 4,41% e 8,92%

na maior dose em relação ao controle. Esses resultados evidenciam que o efeito do AS é dependente do material genético utilizado.

O aumento da salinidade da água de irrigação, proveniente das diferentes diluições de água produzida do petróleo (AP), afetou significativamente a Massa Seca da Parte Aérea (MSPA) e a Massa Seca Total por planta (MST). De acordo com os testes de comparação de médias (Figuras 6C e 6D), os maiores valores de MSPA e MST foram observados em plantas irrigadas com a diluição T-2 (75% água de abastecimento + 25% AP), sem diferença estatística em relação às diluições T-1 e T-3, mas superiores em 18,8% e 21,78%, respectivamente, às plantas submetidas à diluição T-4, que apresentaram os menores valores dessas variáveis.

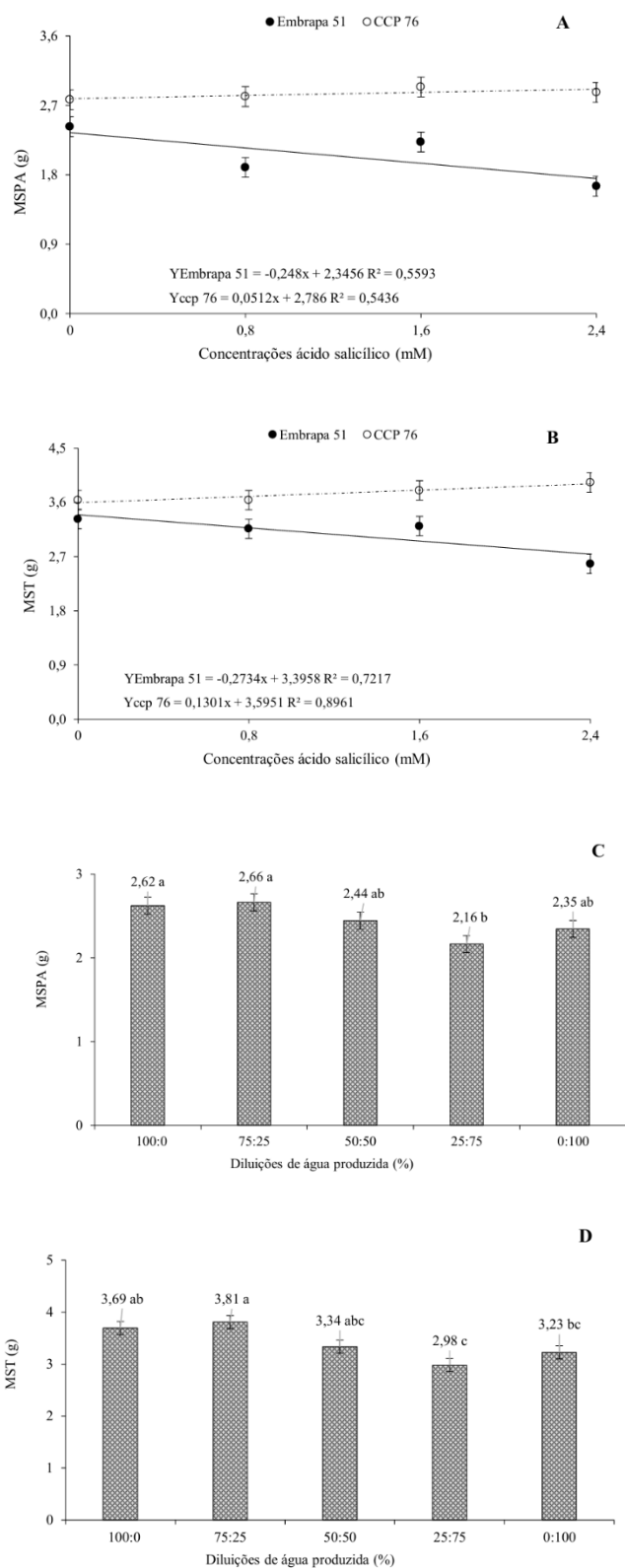


Figura 6. Massa seca da parte aérea - MSPA (A) e total por planta - MST (B) em função da interação entre concentrações de ácido salicílico - AS x cultivares de cajueiro - GC; e MSPA (C) e MST (D) em função das distintas diluições de água produzida do petróleo.

A relação raiz/parte aérea foi afetada pela interação entre AP x AS, onde vê-se que nas plantas irrigadas com T-1, houve efeito linear crescente na ordem de 34,71% por aumento unitário da concentração de AS, ou seja, aumento de 83,32% nas plantas submetidas à maior concentração em relação as que não receberam AS.

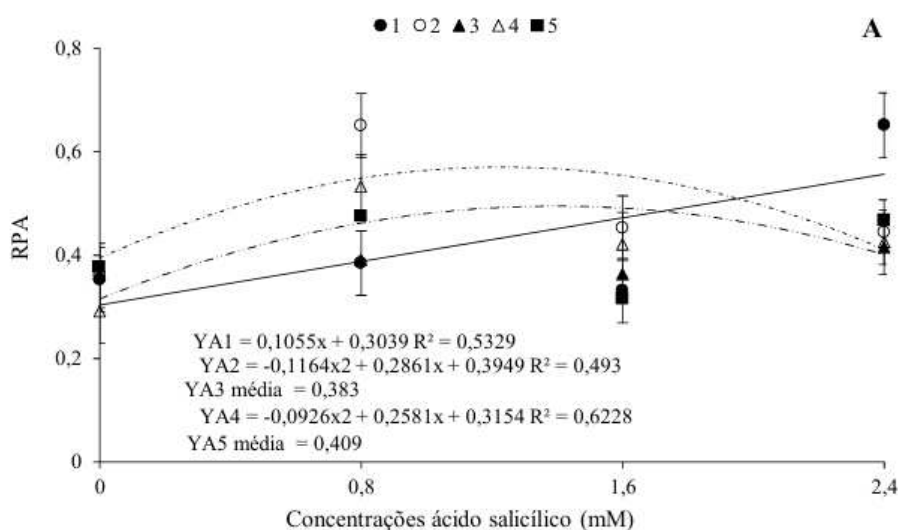


Figura 7. Relação raiz/parte aérea - RPA em função da interação entre diluições de água produzida do petróleo - AP x concentrações de ácido salicílico - AS (A).

Já nas plantas sob T-2 e T-4 houve, conforme equação de regressão, comportamento quadrático, cujos maiores valores (0,57 e 0,49) foram obtidos nas concentrações de AS de 1,2 e 1,4 mM (Figura 7A).

3.4 CONCLUSÕES

A irrigação com água produzida do petróleo, quando diluída até o tratamento T-3 ($\text{CEa} = 2,06 \text{ dS m}^{-1}$), favoreceu a fisiologia, o crescimento e a produção de fitomassas dos porta-enxertos de cajueiro, demonstrando tolerância da cultura a níveis moderados de salinidade. A aplicação de ácido salicílico em concentrações médias, especialmente 1,3-1,7 mM, atenuou os efeitos negativos do estresse salino, melhorando a eficiência no uso da água e promovendo ganhos morfofisiológicos.

Entre os genótipos avaliados, o CCP 76 apresentou maior eficiência fisiológica e superioridade na produção de biomassa em comparação ao Embrapa 51, que, embora tenha se destacado em suculência foliar e acúmulo de massa seca aérea, mostrou maior sensibilidade às concentrações crescentes de ácido salicílico. Esses resultados indicam que o uso de água produzida, quando devidamente diluída, associado à aplicação de doses adequadas de ácido salicílico, pode ser uma estratégia viável para a produção de porta-enxertos de cajueiro em condições de estresse salino.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBAS, A. J.; GZAR, H. A.; RAHI, M. N. **Oilfield-produced water characteristics and treatment technologies: a mini review**. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, v. 1058, 2021.
- AMAKIRI, K. T.; CANON, A. R.; MOLINARIM, M.; ANGELIS-DIMAKIS, A. **Review of oilfield produced water treatment technologies**. Chemosphere, v.298, p.1-20, 2022.
- ANTONIOU, C.; SAVVIDES, A.; CHRISTOU, A.; FOTOPOULOS, V. Unravelling chemical priming machinery in plants: the role of reactive oxygen–nitrogen–sulfur species in abiotic stress tolerance enhancement. Current Opinion in Plant Biology, v.33, n.1, p.101-107, 2016.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Relatório pleno, Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. 2021. Brasília: ANA, 2021.
- DIAS, A. S.; LIMA, G. S.; SÁ, F. V. S.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. A.; FERNANDES, P. D. **Gas exchanges and photochemical efficiency of West Indian cherry cultivated with saline water and potassium fertilization**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.22, p.628- 633, 2018.
- DUDEK, M.; VIK, E.A.; AANESEN, V.; OYE, G. **Colloid chemistry and experimental techniques for understanding fundamental behaviour of produced water in oil and gas production**. Advances in Colloid and Interface Science, v. 276, 2020.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: **um sistema computacional de análise estatística**. Ciência e Agrotecnologia, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2019.
- FIGUEREDO, K. S. L., MARTINEZ-HUITLE, C. A., TEIXEIRA, A. B. R., DE PINHO, A. L. S., VIVACQUA, C. A.; DA SILVA, D. R. **Study of produced water using hydrochemistry and multivariate statistics in different production zones of mature fields in the Potiguar Basin–Brazil**. Journal of Petroleum Science and Engineering, v. 116, p. 109-114, 2014.
- GAMARRA-ROJAS, G., DA SILVA, N. C. G.; VIDAL, M. S. C. **Contexto, agricultura e interação no agroecossistema familiar do caju no semiárido brasileiro**. Cadernos de Ciência & Tecnologia, n. 34, v. 3, p. 315-338, 2019.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento sistemático da Produção Agrícola**. IBGE/LSPA. Fortaleza: IBGE/GCEA-CE. Série abril de 2022.
- JIMÉNEZ, S.; MICÓ, M.M.; ARNALDOS, M.; MEDINA, F.; CONTRERAS, S. **State of the art of produced water treatment**. Chemosphere, v. 192, p. 186-208, 2018.
- LIMA, G. S. de; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; SOARES, L. A. dos A.; FERNANDES, P. D.; FREITAS, G. F. **Trocas gasosas, pigmentos cloroplastídicos e dano celular na mamoneira sob diferentes composições catiônica da água**. Irriga, v.22, n.4, p.757-774, 2017.

LIMA, G. S., ARRUDA, T. F. L., AZEVEDO, C. A. V., & RODRIGUES, A. A. R. (2020). **Physiological aspects and growth of cashew under salt stress and salicylic acid in pre-flowering phase**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 24 (6), 415-422.

MUNIRASU, S.; HAIJA, M.A.; BANAT, F.; **use of membrane technology for oil field and refinery produced water treatment**—A review. Process safety and environmental protection, v. 100, p. 183-202, 2016.

Novais, RF, Neves, JCL e Barros, NF (1991) **Ensaio em ambiente controlado**. In: Oliveira, AJ, Garrido, WE, Araújo, JD e Lourenço, S., Coord., Métodos de pesquisa em fertilidade do solo, Cap. 2, EMBRAPA, Brasília, 189-198.

OLIVEIRA, L. C. P., VIDAL NETO, F. C., BORDALLO, P. N., & MELO, D. S. **Diversidade genética e desempenho agrônomo de híbridos de cajueiro: Recursos para o melhoramento genético**. (2008).

RAJESHWARI, V.; BHUVANESHWARI, V. **Salicylic acid induced salt stress tolerance in plants**. International Journal of Plant Biology and Research, v. 5, n. 3, p. 1067-1073, 2017.

SANTOS, A. S. P.; VIEIRA, J. M. P. **Reúso de água para o desenvolvimento sustentável: aspectos de regulamentação no Brasil e em Portugal**. Revista Gesta, v. 8, n. 1, p. 50-68. 2020.

SGROI, M.; VAGLIADASHI, F. G.A.; ROCCARO, P. **Feasibility, sustainability and circular economy concepts in water reuse**. Environmental Science & Health, v. 2, p. 20-25. 2018.

SILVA, A. A. R.; LIMA, G. S. de; AZEVEDO, C. A. V.; VELOSO, L. L. S.; GHEYI, H. R. **Salicylic acid as an attenuator of salt stress in sour sop**. Revista Caatinga, v.33, n.4, p.1092-1101, 2020.

SILVA, J. A. da; TAVARES, C. D. A.; MORAIS, S. M. de; OLIVEIRA, M. S. C. **Caracterização química e fitoquímica, toxicidade e atividade antioxidante in vitro, de Clones de Pedúnculos de Caju (Anacardium Occidentale L.)**. Brazilian Journal of Development, v.7, n.8, p.79458-79470, 2021.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE – SUDENE. **Delimitação do Semiárido - Relatório final, 2021**. Disponível em: https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/8-relatoriometodologia_semiarido2021_v9_versaodefinitiva__1_.pdf. Acesso em: 10 maio. 2025.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. Embrapa Solos, 2017.

TORRETTA, V.; KATSOYIANNIS, I.; COLLIVIGNARELLI, M. C.; BERTANZA, G.; XANTHOPOULOU, M. **Water reuse as a secure pathway to deal with water scarcity**. MATEC Web of conferences, v.305. 2020.

WANG, Z., RONG, D., CHEN, D., XIAO, Y., LIU, R., WU, S., Yamamuro, C. **O ácido salicílico promove a divisão celular do centro quiescente por meio do acúmulo de ROS e da regulação negativa de PLT1, PLT2 e WOX5.** *J. Integr. Plant Biol.* 63, 583–596, 2021.

4 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os resultados obtidos demonstram que a morfofisiologia e a qualidade dos porta-enxertos de cajueiro são favorecidas pela irrigação com a diluição T-3 (50% de água não salobra e 50% de água produzida do petróleo), evidenciando tolerância da cultura a níveis moderados de salinidade. A diluição T-4 (25% de água de abastecimento e 75% de água produzida) promoveu reduções fisiológicas e de crescimento dentro de limites aceitáveis, com decréscimos máximos de até 10%.

A aplicação exógena de ácido salicílico (AS), em concentração média de 1,45 mM, mitigou os efeitos negativos da salinidade até uma condutividade elétrica de 2,63 dS·m⁻¹, contribuindo para melhorias nos parâmetros fisiológicos, no crescimento e na qualidade dos porta-enxertos.

A análise comparativa entre os cultivares revelou respostas distintas às combinações entre diluições de AP e concentrações de AS. O CCP 76 destacou-se por apresentar maior eficiência no uso da água (WUE), melhor desempenho na eficiência instantânea do uso da água (EiUA), crescimento mais vigoroso do caule e maior alocação de biomassa nas raízes e parte aérea, especialmente sob condições de menor salinidade e doses intermediárias de AS. Em contrapartida, o Embrapa 51 apresentou maior suculência foliar, mas sofreu reduções consistentes na produção de biomassa com o aumento das concentrações de AS. A relação raiz/parte aérea (RPA) foi mais favorável no CCP 76, indicando uma estratégia adaptativa mais eficiente frente aos estresses hídrico e salino.

Esses achados reforçam a importância do manejo integrado entre cultivar, qualidade da água e dose de ácido salicílico como ferramenta para otimizar o desempenho fisiológico e produtivo do cajueiro em ambientes adversos, destacando o CCP 76 como o porta-enxerto mais promissor nesse contexto.

Adicionalmente, a utilização de água produzida do petróleo, quando devidamente diluída, configura-se como alternativa viável para irrigação em regiões marcadas pela irregularidade das chuvas e pela escassez de recursos hídricos de boa qualidade. Torna-se, portanto, essencial ampliar os estudos em condições de campo, visando avaliar o desempenho agrônomo do cajueiro sob irrigação prolongada com essa fonte hídrica alternativa.