



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
CURSO DE AGRONOMIA

IVO RABELO DE MELO

TOLERÂNCIA DE MUDAS DE *Copernicia prunifera* e *Copernicia hospita* A
CONDIÇÕES DE ESTRESSES MÚLTIPLOS

FORTALEZA - CE

2026

IVO RABELO DE MELO

TOLERÂNCIA DE MUDAS DE *Copernicia prunifera* e *Copernicia hospita* A CONDIÇÕES
DE ESTRESSES MÚLTIPLOS

Monografia apresentada à Coordenação do
Curso de Agronomia da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador(a): Prof. Dr. Claudivan Feitosa de
Lacerda

Coorientador(a): Dra. Antônia Leila Rocha
Neves

FORTALEZA - CE

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M485t Melo, Ivo Rabelo de.
Tolerância de mudas de Copernicia prunifera e Copernicia hospita a condições de estresses múltiplos /
Ivo Rabelo de Melo. – 2026.
64 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências
Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2026.

Orientação: Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda.

Coorientação: Profa. Dra. Antônia Leila Rocha Neves.

1. Solos afetados por saís. 2. Solos alagados. 3. Recuperação de áreas degradadas. 4. Copernicia
prunifera. 5. Copernicia hospita. I. Título.

CDD 630

IVO RABELO DE MELO

TOLERÂNCIA DE MUDAS DE *Copernicia prunifera* e *Copernicia hospita* A CONDIÇÕES
DE ESTRESSES MÚLTIPLOS

Monografia apresentada à Coordenação do
Curso de Agronomia da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
título de Engenheiro Agrônomo.

Aprovada em: 12/01/2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dra. Antônia Leila Rocha Neves (Coorientadora)
Secretaria Municipal de Educação de Caucaia-CE (SEDUC)

Me. Jonnathan Richeds da Silva Sales
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Me. Henderson Castelo Sousa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

Aos meus familiares, sobretudo aos meus pais, Maria Emília e Marco Aurélio, pelo apoio incondicional para meu engrandecimento pessoal e profissional. Sua presença e carinho foram fundamentais em todas as conquistas da minha vida.

Aos meus amigos pelo suporte, sugestões e pelos momentos felizes partilhados ao longo do caminho.

Ao Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda pela orientação e pelos conhecimentos transmitidos ao longo da graduação.

Aos colegas Jonnathan, Henderson e Pedro pela imprescindível contribuição na condução do experimento e na escrita desta monografia.

Aos demais integrantes do Núcleo de Estudos em Salinidades (NESSA) pela boa convivência.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de recursos para realização do projeto (Chamada CNPq N° 32/2023 - Pós-Doutorado Sênior). Ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Agricultura Sustentável no Semiárido Tropical (INCTAgriS) pela contribuição financeira e pela disponibilização da estrutura física para realização do trabalho.

Muito Obrigado.

RESUMO

Os solos degradados pela elevada concentração de sais, também denominados de solos halomórficos, representam um problema de grande magnitude à produtividade agrícola e ao equilíbrio ambiental. Esse cenário pode se agravar frente às mudanças climáticas globais, impactando negativamente, com maior frequência, regiões que dispõem de menor infraestrutura. No semiárido brasileiro, a ocorrência de solos afetados por sais é expressiva. Potencializando essa problemática, os solos salinos estão, comumente, associados também a regiões sujeitas a alagamentos periódicos e a estiagens. O uso de espécies vegetais para a revegetação de áreas afetadas por sais é uma alternativa que se destaca por seus benefícios ambientais, exigindo, porém, a seleção de plantas aptas a tolerar os estresses abióticos presentes em tais áreas. Espécies naturalmente encontradas em regiões com problemas de salinização do solo, como a carnaúba (*Copernicia prunifera*) e a espécie exótica carnaúba hospedeira (*Copernicia hospita*) podem apresentar boa aptidão para uso em programas de revegetação de áreas afetadas por sais. Dada a situação, objetivou-se, com o presente trabalho, avaliar a tolerância das espécies *Copernicia prunifera* e *Copernicia hospita* aos estresses múltiplos—déficit e excesso hídrico, além do estresse salino—visando sua utilização em programas de revegetação. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, situada na Estação Agrometeorológica da Universidade Federal do Ceará, sob o delineamento experimental de blocos casualizados com parcelas subdivididas. Nas parcelas, foram avaliadas duas espécies arbóreas do gênero *Copernicia*: (i) *Copernicia prunifera* e (ii) *Copernicia hospita*; as subparcelas foram compostas pelo fator salinidade do solo: (i) solo salino, com condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) de 8,0 dS m⁻¹, e (ii) solo não salino (CEes < 2,0 dS m⁻¹); nas subsubparcelas, foram avaliados três regimes hídricos: (i) irrigação plena, (ii) déficit hídrico e (iii) excesso hídrico. Dois períodos foram analisados, sendo o primeiro de estresse, onde houve a aplicação dos tratamentos de regime hídrico por 21 dias, e o segundo de recuperação, que foi caracterizado pela uniformização da irrigação e suspensão dos estresses hídricos por 15 dias. Para avaliação das plantas, foram obtidas as variáveis: umidade do solo, altura de plantas, número de folhas, índice relativo de clorofila, taxa fotossintética líquida, taxa de transpiração, condutância estomática, e concentração interna de CO₂. Os dados foram, com exceção da umidade do solo, submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey a 5% e 1% de significância estatística. Os estresses hídricos atuando isoladamente afetam mais severamente as trocas gasosas foliares e as variáveis de crescimento do que o fator salinidade dos solos quando presente de maneira isolada. O excesso hídrico é mais prejudicial ao metabolismo das

plantas estudadas em relação ao déficit hídrico. *C. prunifera* apresentou melhor recuperação em relação a *C. hospita*. Ambas as espécies demonstraram bom potencial adaptativo.

Palavras-chave: solos afetados por sais; solos alagados; espécies arbóreas; *Copernicia prunifera*; *Copernicia hospita*; recuperação de áreas degradadas.

ABSTRACT

Soils degraded by high concentrations of salts, also referred to as halomorphic soils, represent a problem of great magnitude for agricultural productivity and environmental balance. This scenario may be exacerbated by global climate change, negatively affecting, with increasing frequency, regions with more limited infrastructure. In the Brazilian semi-arid region, the occurrence of salt-affected soils is significant. Further intensifying this issue, saline soils are commonly also associated with regions subject to periodic flooding and droughts. The use of plant species for the revegetation of salt-affected areas stands out as an alternative with important environmental benefits; however, it requires the selection of plants capable of tolerating the abiotic stresses present in such areas. Species naturally found in regions with soil salinization problems, such as carnaúba (*Copernicia prunifera*) and the exotic species Cuban wax palm (*Copernicia hospita*), may show good suitability for use in revegetation programs in salt-affected areas. Given this context, the present study aimed to evaluate the tolerance of the species *Copernicia prunifera* and *Copernicia hospita* to multiple stresses—water deficit and water excess, in addition to salinity stress—under conditions of salinized soils in the Brazilian semi-arid region, with a view to their use in revegetation programs. The experiment was conducted in a greenhouse located at the Agrometeorological Station of the Federal University of Ceará, using a randomized complete block design with sub-subdivided plots (split-split-plot design). The main plots evaluated two tree species of the genus *Copernicia*: (i) *Copernicia prunifera* and (ii) *Copernicia hospita*. The subplots consisted of the soil salinity factor: (i) saline soil, with an electrical conductivity of the saturation extract (EC_e) of 8.0 dS m⁻¹, and (ii) non-saline soil (EC_e < 2.0 dS m⁻¹). In the sub-subplots, three water regimes were evaluated: (i) well-watered, (ii) water deficit, and (iii) waterlogged soil. Two periods were analyzed: the first was a stress period, during which the water regime treatments were applied for 21 days, and the second was a recovery period, characterized by the standardization of irrigation and the suspension of stresses for 15 days. For plant evaluation, the following variables were measured: soil moisture, plant height, number of leaves, relative chlorophyll index, net photosynthetic rate, transpiration rate, stomatal conductance, and internal CO₂ concentration. The data, except for soil moisture, were subjected to analysis of variance and Tukey's test at 5% and 1% levels of statistical significance. Water stresses acting in isolation more severely affected leaf gas exchange and growth variables than soil salinity when present alone. Water excess was more detrimental to plant metabolism than water deficit. *C. prunifera* showed better recovery compared with *C. hospita*. Both species demonstrated good adaptive potential.

Keywords: salt-affected soils; waterlogged soils; tree species; *Copernicia prunifera*; *Copernicia hospita*; recovery of degraded areas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Localização do Ceará no Brasil, do Município de Fortaleza no Ceará e do experimento no bairro Pici, situado em Fortaleza.....	28
Figura 2 –	Experimento após instalação na casa de vegetação.....	29
Figura 3 –	Obtenção da altura de plantas com auxílio de trena graduada.....	32
Figura 4 –	Leituras dos índices fisiológicos e do IRC.....	33
Figura 5 –	Obtenção da MSU e secagem em estufa para cálculo da MSS.....	34
Figura 6 –	Umidade em base massa (U), calculada em porcentagem, em função das espécies, da salinidade do solo e dos regimes hídricos, para a coleta de dados realizada após o estresse e após a recuperação.....	35
Figura 7 –	Médias para a variável altura de plantas (AP), obtidas no período de estresse, conforme regime hídrico (RH).....	38
Figura 8 –	Médias para a variável índice relativo de clorofila (IRC), avaliadas no período de estresse, para as interações entre os fatores espécie (ES) e salinidade (SL), e salinidade (SL) e regime hídrico (RH).....	39
Figura 9 –	Médias para a variável altura de plantas (AP), obtidas no período de recuperação, conforme regime hídrico (RH).....	41
Figura 10 –	Médias para a variável número de folhas (NF), referentes ao período de recuperação, conforme regime hídrico (RH), e de acordo com os tratamentos de salinidade (SL), para o mesmo período.....	42
Figura 11 –	Médias da variável índice relativo de clorofila (IRC), referentes ao período de recuperação, para a interação tripla entre os fatores espécie (ES), salinidade (SL) e regime hídrico (RH).....	42
Figura 12 –	Médias para a variável fotossíntese líquida (A), referentes ao período de estresse, conforme os regimes hídricos.....	46
Figura 13 –	Médias para a variável taxa de transpiração (E), referentes ao período de estresse, conforme a interação entre os fatores espécie (ES) e regime hídrico (RH).....	47

Figura 14 – Médias para a variável condutância estomática (g_s), referentes ao período de estresse, conforme os regimes hídricos (RH).....	48
Figura 15 – Médias da variável concentração interna de CO_2 (C_i), referentes ao período de estresse, para a interação tripla entre os fatores espécie (ES), salinidade (SL) e regime hídrico (RH).....	49
Figura 16 – Médias para a variável fotossíntese líquida (A), referentes ao período de recuperação, conforme os regimes hídricos (RH).....	51
Figura 17 – Médias para a variável taxa de transpiração (E), referentes ao período de recuperação, segundo os diferentes regimes hídricos (RH).....	51
Figura 18 – Médias para a variável condutância estomática (g_s), referentes ao período de recuperação, em função dos diferentes regimes hídricos (RH).....	52

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Análise de variância para as variáveis altura de plantas (AP), número de folhas (NF) e índice relativo de clorofila (IRC) das espécies *C. prunifera* e *C. hospita* (ES), cultivadas sob diferentes condições de salinidade (SL) e diferentes regimes hídricos (RH), para os períodos T0, estresse e recuperação, com as respectivas médias de cada fator avaliado isoladamente 37
- Tabela 2 – Análise de variância para as variáveis taxa de fotossíntese líquida (*A*), taxa de transpiração (*E*), condutância estomática (*g_s*) e concentração interna de CO₂ (*C_i*) das espécies *C. prunifera* e *C. hospita* (ES), cultivadas sob diferentes condições de salinidade (SL) e diferentes regimes hídricos (RH), para os períodos de T0, de estresse e de recuperação, com as respectivas médias de cada fator avaliado isoladamente..... 45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

anova	Análise de variância
CE	Condutividade elétrica
CEes	Condutividade elétrica do extrato de saturação
cv.	Cultivar
CV	Coeficiente de variação
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
IRGA	<i>Infrared gas analyser</i>
PST	Porcentagem de sódio trocável
Recup.	Recuperação
SPAD	<i>Soil Plant Analysis Development</i>
UFC	Universidade Federal do Ceará

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
μ	Micro
<	Menor que
>	Maior que
\leq	Menor ou igual a
\geq	Maior ou igual a
<i>A</i>	Taxa fotossintética líquida
<i>E</i>	Taxa de transpiração
<i>g_s</i>	Condutância estomática
<i>C_i</i>	Concentração interna de CO ₂
°C	Grau Celsius
<i>U</i>	Umidade do solo em base massa
<i>n</i> ^o	Número
<i>T₀</i>	Período inicial
<i>p</i>	significância estatística

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	18
2.1	Objetivo geral	18
2.2	Objetivos específicos.....	18
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	19
3.1	Mudanças climáticas e seus impactos na agricultura.....	19
3.2	Estresses abióticos e seus impactos no desenvolvimento das plantas.....	20
3.2.1	<i>Estresse hídrico.....</i>	20
3.2.2	<i>Estresse salino.....</i>	22
3.2.3	<i>Estresses múltiplos.....</i>	23
3.3	Gênero <i>Copernicia</i>.....	24
3.3.1	<i>Carnaúba (<i>Copernicia prunifera</i>).....</i>	25
3.3.2	<i>Carnaúba hospedeira (<i>Copernicia hospita</i>).....</i>	26
3.4	Revegetação de áreas afetadas por sais.....	26
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
4.1	Localização e caracterização da área experimental.....	28
4.2	Delineamento experimental e tratamentos.....	28
4.3	Instalação e condução do experimento.....	30
4.4	Coleta de dados e análises.....	31
4.4.1	<i>Medições biométricas.....</i>	32
4.4.2	<i>Trocas gasosas foliares e índice relativo de clorofila (SPAD).....</i>	32
4.4.3	<i>Coleta de amostras de solo.....</i>	33

4.4.4	<i>Análise estatística dos dados</i>	34
4.4.5	<i>Caracterização da umidade do solo</i>	34
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
5.1	Variáveis biométricas e índice relativo de clorofila	36
5.1.1	<i>Período inicial (T0)</i>	37
5.1.2	<i>Período de estresse</i>	38
5.1.3	<i>Período de recuperação</i>	41
5.2	Variáveis fisiológicas	43
5.2.1	<i>Período inicial (T0)</i>	46
5.2.2	<i>Período de estresse</i>	46
5.2.3	<i>Período de recuperação</i>	50
6	CONCLUSÕES	54
	REFERÊNCIAS	55
	APÊNDICE A – CROQUI EXPERIMENTAL	65

1 INTRODUÇÃO

Os solos degradados pela elevada concentração de sais, também denominados de solos halomórficos, representam um problema de grande magnitude à produtividade agrícola, haja vista o comprometimento das qualidades físicas, químicas e biológicas do solo, que podem resultar, inclusive, em desequilíbrios ecológicos das áreas acometidas (RENGASAMY, 2010; FAO, 2015). Esses solos estão distribuídos mundialmente em uma área de 1 bilhão de hectares, com estimativas apontando para sua incidência em 20% da área total cultivada e em 33% das áreas irrigadas (JAMIL *et al.*, 2011; KUMAR; SHARMA, 2020). O cenário abordado tende a se agravar com as consequências das mudanças climáticas globais (KHEIR *et al.*, 2019; CORWIN, 2021), urgindo, pois, alternativas para mitigar essa problemática.

A elevada concentração de sais no solo acarreta efeitos deletérios ao metabolismo vegetal. Plantas submetidas ao estresse salino acumulam íons tóxicos em seus tecidos, notadamente Na^+ e Cl^- , que prejudicam a regulação osmótica celular e comprometem a absorção de nutrientes (MUNNS; TESTER, 2008). Ainda, esse estresse compromete o processo fotossintético, a eficiência do uso de água pela planta, além de estresse oxidativo por meio do aumento de espécies reativas do oxigênio (EROs) (CHAVES; FLEXAS; PINHEIRO, 2009; GILL; TUTEJA, 2010).

Na região semiárida do Brasil, os solos afetados pela salinidade são comumente encontrados, dado que as condições edafoclimáticas são propícias para a formação natural desses solos (RIBEIRO; RIBEIRO FILHO; JACOMINE, 2016). Em adição, a salinização induzida por ação antrópica é também recorrente na região semiárida, sobretudo nos perímetros irrigados (RIBEIRO; RIBEIRO FILHO; JACOMINE, 2016). Nesse sentido, Bezerra (2006) identificou problemas significativos de salinização em sete dos doze perímetros irrigados do Estado do Ceará, nos quais 66,17% de sua área é passível de recuperação.

Nesse contexto, o uso de espécies arbóreas que promovam a revegetação de tais áreas degradadas é uma alternativa essencial para recuperar a aptidão produtiva dessas áreas, sendo associada a estratégias que visam lavar os sais do perfil do solo ou promover a livre drenagem da água acumulada em superfície (COSTA *et al.*, 2005). Somando-se, para além da recuperação da aptidão agrícola das áreas degradadas, as espécies lenhosas proporcionam o desenvolvimento sustentável das áreas recuperadas, auxiliando no reestabelecimento do equilíbrio ecológico e contribuindo para o sequestro de carbono (LI; LIBER, 2018; REISCH, 2021).

Nas áreas de maior ocorrência de solos halomórficos, é frequente a presença de

outros estresses abióticos afetando as plantas, como os estresses por alagamento e por escassez hídrica (RENGASAMY *et al.*, 2022; MEDEIROS *et al.*, 2023; TAHJIB-UL ARIF *et al.*, 2023). O déficit hídrico limita processos fisiológicos e o crescimento vegetal, enquanto o excesso hídrico priva as plantas de oxigênio e compromete o metabolismo energético (CORREIA *et al.*, 2014; SASIDHARAN *et al.*, 2017). Ainda, é bem documentada na literatura científica a potencialização dos efeitos deletérios no metabolismo vegetal frente a condições de estresse hídrico e salino atuando conjuntamente (BARRETT-LENNARD, 2002; ZHENG *et al.*, 2009; TAHJIB-UL-ARIF *et al.*, 2023). Logo, a utilização de espécies arbóreas para a revegetação de tais áreas pressupõe a seleção de plantas tolerantes aos estresses abióticos mencionados, os quais podem atuar tanto isoladamente como concomitantemente.

Isto posto, a carnaúba (*Copernicia prunifera*), palmeira nativa da região semiárida brasileira, é encontrada naturalmente em áreas acometidas pela elevada concentração de sais, sendo, também, presente em regiões sujeitas a alagamentos e estiagens periódicas, como áreas de várzeas (MEDEIROS, 2021). Além da boa adaptabilidade ao clima local, estudos sugerem a existência de mecanismos adaptativos em *C. prunifera* para tolerar estresses salinos e hídricos, a saber: deposição de cera nas folhas, evitando a perda hídrica em excesso por transpiração; acúmulo de íons potencialmente tóxicos nas folhas frente à elevada salinidade do solo; sob condições de alagamento, acúmulo de reservas nas raízes e surgimento de raízes adventícias que possuem aerênquima (FERREIRA *et al.*, 2009; SCHMIDT *et al.*, 2013; KROHLING *et al.*, 2016, MEDEIROS *et al.*, 2023). Tais adaptações indicam a possibilidade de um bom desenvolvimento da espécie em áreas degradadas por sais na região semiárida.

Outrossim, a espécie exótica *Copernicia hospita* é uma palmeira cubana cuja ocorrência é também observada em áreas de várzea (OLIVEIRA *et al.*, 2009). Essa realidade, juntamente à proximidade taxonômica da espécie a *C. prunifera*, são evidências da capacidade da palmeira exótica para tolerar estresses hídricos e salinos.

A hipótese desta pesquisa é que as mudas de palmeiras do gênero *Copernicia* estudadas são capazes de tolerar os estresses hídrico e salino atuando isoladamente ou conjuntamente.

Objetivou-se, no presente trabalho, avaliar a capacidade das palmeiras *Copernicia prunifera* e *Copernicia hospita* para tolerar e se desenvolver sob condições encontradas em áreas degradadas por sais no semiárido brasileiro, tendo em vista a necessidade de identificação de espécies aptas para revegetar as áreas degradadas por sais dessa região.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar mudas de palmeiras jovens do gênero *Copernicia* (*Copernicia prunifera* e *Copernicia hospita*) submetidas a condições de estresse hídrico e salino, simulando condições observadas em áreas degradadas por sais na região semiárida do Brasil.

2.1 Objetivos específicos

- Analisar os efeitos da salinidade e do estresse hídrico nas variáveis de crescimento, altura da planta e número de folhas, bem como no índice relativo de clorofila.
- Analisar os efeitos nas trocas gasosas foliares a partir da taxa fotossintética, transpiração, condutância estomática e concentração interna de CO₂ nas plantas produzidas sob condições de estresse hídrico e estresse salino.
- Comparar as duas espécies estudadas por meio de suas respostas de crescimento, trocas gasosas e índice relativo de clorofila.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Mudanças climáticas e seus impactos na agricultura

Nas últimas décadas, emergiram robustas evidências científicas que sugerem o aumento da temperatura média da terra, as quais tratam da elevação da temperatura da superfície da terra, dos oceanos, do aumento da concentração de gases do efeito estufa (GEEs), além do aumento da frequência de eventos climáticos extremos (HEGERL *et al.*, 1996; IPCC, 2021; CRIMMINS *et al.*, 2023). Adicionalmente a tal problemática, a necessidade de produção de alimentos, fibras e bioenergia é crescente, haja vista o aumento populacional global, que é projetado para atingir a marca dos 10 bilhões de habitantes até 2050. O cenário supracitado demanda resiliência do setor produtivo agrícola, que necessita de sistemas produtivos eficientes e sustentáveis para suplantar essas adversidades (FAO, 2017; BEGNA; WAKWEYA, 2025).

A degradação de solos decorrente da elevada concentração de sais é um dos principais fatores limitantes à produtividade agrícola, sobretudo no semiárido brasileiro. Segundo dados da FAO (2006), cerca de 20% a 25% das áreas irrigadas apresentam problemas decorrentes da salinização e sodificação do solo. Em adição a magnitude dessa problemática, tem-se, no semiárido brasileiro, que a instabilidade pluviométrica na região é outro fator fortemente limitante à produção agrícola (LEMOS; BEZERRA, 2019). Diante disso, as mudanças climáticas podem agravar os problemas observados em regiões do semiárido brasileiro, como a salinização do solo e as estiagens, além de comprometer atributos biológicos, físicos e químicos do solo, intensificando, por conseguinte, os problemas relacionados à segurança alimentar dessa região (WANG *et al.*, 2022; ARIF *et al.*, 2025).

Nesse contexto, a elevação das temperaturas e a intensificação da instabilidade pluviométrica podem, respectivamente, aumentar as taxas de evapotranspiração e reduzir a lixiviação natural dos sais, contribuindo, pois, para o agravamento da salinização dos solos (PAZ *et al.*, 2022). Em adição, já são expostas evidências do aumento na frequência e na severidade de períodos de estiagem ao redor do globo, fato que estorva ainda mais a agricultura das regiões acometidas (GEBRECHORKOS *et al.*, 2025; DISASA *et al.*, 2026).

Assim, as espécies arbóreas tolerantes à salinidade do solo podem ser uma estratégia importante para mitigar os impactos das mudanças climáticas nessas áreas, haja vista o sequestro de carbono promovido e a atenuação das oscilações térmicas do microclima proporcionadas por essas espécies. Ainda, a revegetação das referidas áreas atua para

restabelecer os serviços ecossistêmicos do ambiente, possibilitando que tais áreas sejam capazes de dar retorno socioeconômico (QADIR; OSTER, 2004; LI; LIBER, 2018). Desse modo, a identificação de espécies aptas a promover a revegetação de áreas degradadas por sais é necessária, visto que seus usos potenciais constituem uma alternativa sustentável para recuperar áreas agricultáveis e mitigar os impactos ambientais promovidos pelas mudanças climáticas.

3.2 Estresses abióticos e seus impactos no desenvolvimento das plantas

A agricultura irrigada é, muitas vezes, a única maneira de tornar a produção de alimentos viável em áreas áridas e semiáridas, as quais são responsáveis por abrigar 75% da população mundial. Todavia, o manejo inadequado da irrigação, quando associado a um solo de drenagem imperfeita, está entre os principais fatores antrópicos que induzem a salinização e a inundação de áreas pela elevação do lençol freático (SINGH, 2015a; RIBEIRO; RIBEIRO FILHO; JACOMINE, 2016).

Diante desse cenário, observa-se que mais de um terço das áreas produtivas irrigadas conta com problemas de alagamento e/ou salinização do solo (HEUPERMAN *et al.*, 2002; VALIPOUR 2014; SINGH, 2015b). Adicionalmente, o semiárido brasileiro apresenta um regime pluviométrico caracterizado por uma má distribuição espacial e temporal, fato que proporciona períodos prolongados de estiagem alternados com períodos de chuvas de elevada intensidade (MARENGO *et al.*, 2017).

Assim, as condições de estresses múltiplos—estresse hídrico por alagamento ou por déficit hídrico, associado ou não à salinidade/sodicidade—apresentam grande interferência negativa no desenvolvimento das plantas, podendo, ainda, inviabilizá-lo. Portanto, a identificação de espécies que apresentam tolerância aos referidos estresses abióticos, quando presentes de maneira isolada ou conjunta, é uma etapa basilar para a elaboração de programas de revegetação.

3.2.1 Estresse hídrico

O balanço de água no solo pode ser danoso em duas situações: em solos saturados por água (excesso hídrico), onde é provocada uma situação de hipóxia ou anóxia na rizosfera radicular, e em situações de déficit hídrico, em que ocorre a redução do potencial hídrico do solo e a conseqüente perda do teor de água das células do sistema radicular (plasmólise celular)

(TAIZ *et al.*, 2024).

Tratando-se do déficit hídrico, entre as principais respostas exibidas pelas plantas frente a esse estresse está o fechamento estomático para reduzir a perda de água por transpiração (ZHU, 2002; UMEZAWA *et al.*, 2006; NEUMANN, 2008). Outra estratégia de compensação exibida pelas plantas é o favorecimento do crescimento do sistema radicular em detrimento do desenvolvimento das partes aéreas das plantas, fato que compromete o desenvolvimento da área foliar e, conseqüentemente, reduz a produção de biomassa da parte aérea (SANGTARASH *et al.*, 2009; MAES *et al.*, 2009; LEACH *et al.*, 2011). A perda do turgor celular é outra consequência diretamente relacionada ao déficit hídrico, sendo responsável pelos sintomas de murcha das plantas, que podem ser reversíveis a depender da duração e da intensidade do estresse (CORREIA *et al.*, 2014).

O déficit hídrico é também responsável por diversas modificações a nível celular nas plantas, induzindo a expressão de genes e modificando os diferentes metabólitos sintetizados pelas células (TAIZ *et al.*, 2024). Entre os genes expressos, estão os relacionados à síntese de substâncias osmorreguladoras, como a prolina e a trimetilglicina (TMG) (SINGH *et al.*, 2017). Outro efeito induzido no metabolismo celular é o acúmulo de espécies reativas de oxigênio (EROs), as quais podem danificar macromoléculas orgânicas (DERIBE, 2024). Ainda, a regulação das vias de sinalização do ácido abscísico (ABA) desempenha um papel importante nas respostas adaptativas da tolerância à seca ao modular o fechamento estomático (LEE; LUAN, 2012; ARZANI; ASHRAF, 2022).

Em contraste com o déficit hídrico, o excesso de água também é uma condição importante que pode inviabilizar o cultivo agrícola e o desenvolvimento vegetal. O excesso hídrico em plantas pode causar a hipóxia ou anóxia na região radicular, ou em toda planta, quando a parte aérea for também submersa (SASIDHARAN *et al.*, 2017). Em ambos os cenários citados, há reduzido movimento de oxigênio para os tecidos vegetais, gerando o cenário de hipóxia (< 21% O₂) (SASIDHARAN *et al.*, 2017). Somando-se, o alagamento do solo resulta em diversas mudanças em suas propriedades físico-químicas, como pH e a disponibilidade de nutrientes, impactando, conseqüentemente, na biota do solo (FRANCIOLI *et al.*, 2021; NGUMBI, 2024).

Similarmente ao déficit hídrico, o excesso hídrico desencadeia diversas respostas fisiológicas e morfológicas derivadas de modificações na expressão gênica frente ao estresse (MUSTROPH *et al.*, 2010). Mudanças no sistema radicular são importantes para superar os efeitos de hipóxia. Os aerênquimas e as raízes adventícias são características presentes na

arquitetura radicular de espécies tolerantes ao alagamento do solo, possibilitando a difusão do oxigênio das partes aéreas para as raízes e a formação de raízes em tecidos alheios aos do sistema radicular, respectivamente (ARMSTRONG, 1980; MEDEIROS *et al.*, 2023).

A nível celular, o excesso hídrico produz, em plantas sensíveis, uma substancial redução na taxa fotossintética. Essa realidade decorre da elevação do ácido abscísico, que prejudica a condutância estomática e a taxa fotossintética líquida (ZHENG *et al.*, 2009). Como consequência da redução na fotossíntese, há uma elevada produção de EROs (HERZOG *et al.*, 2016).

Entre as mudanças fisiológicas adaptativas frente a condições de alagamento, o balanço dos fitormônios é uma das principais estratégias observadas em plantas, possibilitando que o vegetal recorra a outros aceptores finais de elétrons, por meio de vias metabólicas anaeróbias, para a manutenção da produção de energia metabólica (SUN *et al.*, 2018; MANGHWAR *et al.*, 2024).

3.2.2 Estresse salino

Solos com elevada concentração de sais, também denominados de solos halomórficos, desenvolvem-se sob condições em que a drenagem está prejudicada. Sua gênese pode ser de origem antrópica (salinização secundária), a exemplo de áreas onde se observa mau manejo da irrigação, ou natural (salinização primária), como na presença de camadas coesas em horizontes próximos à superfície do solo. Os solos halomórficos são caracterizados pela concentração de sais solúveis, como sulfatos (SO_4^{2-}), carbonatos (CO_3^{2-}) e cloretos (Cl^-), ou por elevados teores de sódio trocável, situação denominada de sodicidade. A salinidade e a sodicidade podem ocorrer conjuntamente ou isoladamente (RIBEIRO; FREIRE; MONTENEGRO, 2003; RIBEIRO; RIBEIRO FILHO; JACOMINE, 2016; YUVARAJ *et al.*, 2020).

Segundo a equipe do *United States Salinity Laboratory* (1954), são considerados salinos os solos que apresentam condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) $\geq 4 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$. Quando é observado um PST $> 15\%$, o solo apresenta caráter sódico, podendo ser denominado de salino-sódico na ocasião de também atender os critérios de um solo salino. O elevado teor de sódio compromete a estrutura do solo, visto que o íon Na^+ apresenta um grande raio iônico hidratado, promovendo a dispersão das partículas constituintes dos agregados do solo e, conseqüentemente, prejudicando o ambiente edáfico para o desenvolvimento vegetal.

(FERREIRA; SILVA; RUIZ, 2016).

A salinidade é também considerada no atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), onde está presente no caráter sálico ($CEes \geq 7 \text{ dS m}^{-1}$, a $25 \text{ }^\circ\text{C}$) e no caráter salino ($4 \leq CEes < 7 \text{ dS m}^{-1}$, a $25 \text{ }^\circ\text{C}$), utilizados para separar classes no segundo, terceiro e quarto níveis categóricos; já a sodicidade é contemplada no caráter sódico ($PST > 15\%$) e no caráter solódico ($6\% < PST < 15\%$), sendo utilizada para separar classes no segundo, terceiro e quarto níveis categóricos (EMBRAPA, 2025).

O estresse salino atua de maneira antagônica ao metabolismo vegetal por inibir a absorção de água (efeito osmótico) e pelo efeito deletério da concentração elevada de íons citotóxicos, que, ainda, atuam de modo a comprometer a absorção de nutrientes por competir com os sítios de absorção presentes nas membranas plasmáticas celulares (CHHABRA, 1996; TAIZ *et al.*, 2024).

Fisiologicamente, o excesso de sais traz danos à maquinaria fotossintética, reduzindo a biossíntese de clorofila (QIN *et al.*, 2020), a condutância estomática, o suprimento de CO_2 (ORZECOWSKA *et al.*, 2021), além de alterar a atividade de enzimas relacionadas à fotossíntese (AL HINAI *et al.*, 2022). Como resultado, as plantas afetadas apresentam menor acúmulo de biomassa da parte aérea e de raízes, bem como uma menor taxa de crescimento das folhas (BALASUBRAMANIAM *et al.*, 2023).

O balanço nutricional de plantas sujeitas ao estresse salino também é severamente afetado. Entre as principais alterações, pode-se citar a influência que o excesso de Na^+ e Cl^- exerce sobre a absorção dos cátions básicos (K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}), diminuindo sua absorção, visto que tais íons competem por sítios de absorção nas membranas celulares (GRATTAN; GRIEVE, 1999; POLASH; SAKIL; HOSSAIN, 2019). Nesse cenário, há um aumento da relação Na^+/K^+ , impactando negativamente a atividade enzimática, uma vez que o íon K^+ é um importante ativador enzimático (ASLAM *et al.*, 2017). A absorção de nitrogênio nítrico (N-NO_3^-) e amoniacal (N-NH_4^+) também é influenciada em ambientes salinos, uma vez que há antagonismo entre a absorção de cloreto e de nitrato, bem como entre sódio e amônio (MUNNS; TERMAAT, 1986; POLASH; SAKIL; HOSSAIN, 2019).

3.2.3 Estresses múltiplos

A associação entre os estresses salino e hídrico pode alterar a relação solo - água - planta ou potencializar os efeitos deletérios em comparação aos estresses isolados. Por exemplo,

Saqib *et al.* (2005) observaram em trigo que alterações fisiológicas - como a senescência foliar precoce, a destruição de pigmentos fotossintetizantes e a redução da taxa fotossintética - foram mais severas em plantas submetidas aos estresses combinados de alagamento e salinidade em comparação aos referidos estresses atuando isoladamente.

Em adição, ambientes com restrição hídrica e salinidade apresentam estresse osmótico potencializado, intensificando a redução do potencial hídrico do solo e dificultando ainda mais a absorção de água pelas raízes (ACOSTA-MOTOS *et al.*, 2017). Dessa forma, a resposta vegetal aos estresses combinados não pode ser interpretada similarmente à soma de seus efeitos individuais, evidenciando a necessidade de avaliações específicas para condições de estresse múltiplo, especialmente em ambientes semiáridos sujeitos à salinização e à irregularidade hídrica.

Frente ao supracitado, a busca por espécies vegetais que naturalmente são expostas a estresses múltiplos é uma estratégia eficaz para a detecção de plantas potencialmente capazes de tolerar as condições adversas observadas nas regiões as quais se deseja revegetar. Desse modo, as espécies do gênero *Copernicia*, naturalmente encontradas em áreas afetadas por sais, de várzeas ou periodicamente inundadas, apresentam bom potencial para os usos vislumbrados neste trabalho.

3.3 Gênero *Copernicia*

O gênero *Copernicia* enquadra-se na família Arecaceae, anteriormente denominada de Palmae, a qual conta com 207 gêneros e 2675 espécies. O gênero é composto por plantas neotropicais, de 22 espécies, uma variedade e oito híbridos (GOVAERTS *et al.*, 2022).

As palmeiras constituem uma família largamente explorada pelo ser humano, sendo utilizadas para obtenção de matéria-prima para confecção de utensílios e artesanatos, exploração alimentícia e extração de princípios ativos com potenciais para uso na indústria farmacêutica, além de seu importante uso como plantas ceríferas (BARROSO *et al.*, 2024). São plantas monocotiledôneas sendo predominantes em regiões tropicais (LORENZI *et al.*, 2010). No Brasil, 37 gêneros e 300 espécies são encontradas naturalmente (FLORA DO BRASIL, 2020). Diante de tamanha versatilidade, a família Arecaceae é considerada a terceira família botânica de maior importância econômica, atrás apenas das gramíneas (Poaceae) e leguminosas (Fabaceae) (JANICK; PAULL, 2006).

3.3.1 Carnaúba (*Copernicia prunifera*)

A carnaúba [*Copernicia prunifera* (Miller) H. E. Moore] é uma palmeira nativa encontrada em regiões tropicais e subtropicais do Brasil, endêmica ao país e presente nos biomas Caatinga e Cerrado (RODRIGUES *et al.*, 2013). Sua maior ocorrência está nos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte (SOUSA *et al.*, 2015).

Devido à sua rusticidade e seus variados usos, a carnaúba representa uma fonte de renda até mesmo em períodos de estiagem, apresentando impactos socioeconômicos expressivos para a região semiárida (CARVALHO; GOMES, 2009). Nesse contexto, a carnaúba é conhecida como a “árvore da vida”, haja vista sua tamanha importância local (PEREIRA *et al.*, 2014a). A cadeia de produtos da carnaúba no Estado do Ceará, por exemplo, foi responsável por um quantitativo de mais de 76 milhões de dólares americanos em exportações referentes ao ano de 2024, com crescimento de 35,5% em relação ao ano de 2023 (CEARÁ, 2025). Adicionalmente, a espécie possui potencial para contribuir com a preservação do solo e de sua biodiversidade, prevenindo a erosão dos solos e o assoreamento dos rios próximos aos carnaubais (OLIVEIRA PAULA *et al.*, 2020).

Na região semiárida, a carnaúba desenvolve-se em áreas sujeitas a alagamento e problemas de salinização do solo, sendo considerada um bioindicador de solos halomórficos (HOLANDA *et al.*, 2011). Parte da ocorrência de carnaubais é registrada em áreas de vales de rios, onde observa-se alagamento no período chuvoso e escassez hídrica no período seco, alternando períodos de excesso e déficit hídrico (MORO *et al.*, 2015).

Para tolerar os diversos estresses a qual é submetida, a carnaúba apresenta mecanismos adaptativos ao baixo nível de oxigênio do solo e à salinidade. Referente à sua tolerância à hipóxia, *C. prunifera* dispõe de raízes adventícias com aerênquimas e porosidade em seu sistema radicular (FERREIRA *et al.*, 2009; SCHMIDT *et al.*, 2013; KROHLING *et al.*, 2016, MEDEIROS *et al.*, 2023). Já em resposta ao estresse salino, a carnaúba consegue acumular íons potencialmente tóxicos nas folhas, como Na^+ e Cl^- , e aumentar a síntese de osmorreguladores orgânicos, como a prolina (MEDEIROS *et al.*, 2023). Ainda, sua tolerância ao estresse hídrico por déficit é observada pelo bom desenvolvimento frente aos prolongados períodos de estiagem característicos do semiárido brasileiro. Adaptações como a grande produção de cera também contribuem para mitigar o déficit hídrico, visto que a cera minimiza as perdas de água por transpiração foliar.

Em síntese, *C. prunifera* demonstra bom potencial para suportar variados estresses

abióticos, atuando concomitantemente ou não. Sua ecologia também é favorável ao uso da espécie para a revegetação de áreas degradadas, uma vez que é uma espécie nativa e muito bem adaptada ao semiárido brasileiro.

3.3.2 *Carnaúba hospedeira (Copernicia hospita)*

A palmeira *Copernicia hospita* Martius, de nome popular carnaúba hospedeira (LORENZI *et al.*, 2004), é uma palmeira nativa das savanas cubanas, capaz de atingir até 7,9 m de altura e 0,3 m de diâmetro. É também encontrada em regiões declivosas, áreas costeiras e florestas (BROSCHAT; MEEROW, 2000; LORENZI *et al.*, 2004; OLIVEIRA *et al.*, 2009; PEREIRA *et al.*, 2014b).

Assim como *C. prunifera*, a *C. hospita* apresenta grande potencial para a produção de cera, com estimativas de produção de até 3 vezes mais que a observada em espécies nativas. As características químicas de sua cera são similares às da cera de carnaúba (KITZKE; WILDER, 1961).

Devido a suas similaridades ecológicas e proximidade taxonômica a *C. prunifera*, espera-se que *C. hospita* apresente mecanismos de tolerância a estresses hídrico e salino. Contudo, a espécie carece de informações na literatura científica a respeito de seus mecanismos adaptativos frente aos referidos estresses. Para *C. hospita*, não há estudos sobre a adaptabilidade aos solos afetados por sais nas condições do semiárido brasileiro.

3.4 Revegetação de áreas afetadas por sais

A maioria das culturas modernas de interesse humano foram originadas de plantas glicófitas, ou seja, de espécies não tolerantes à elevada concentração de sais no solo ou na água (GLENN; BROWN; BLUMWALD, 1999). Assim, grande parte das principais culturas estudadas não estão aptas para a revegetação de áreas afetadas por sais.

Para além da maior tolerância à elevada concentração de sais, as espécies com bom potencial para revegetação de áreas salinizadas devem acumular os íons em excesso no solo em seus tecidos, visando, assim, atenuar a salinidade do solo e possibilitar o estabelecimento posterior de espécies menos tolerantes à salinização do solo (SANTOS *et al.*, 2011).

A revegetação de áreas degradadas por sais por meio do uso de plantas tolerantes ao

estresse salino proporciona substanciais melhorias nas características do solo, a saber: recuperação das características físicas do solo pelo aporte de matéria orgânica; maior zona de remediação em comparação com outros métodos de recuperação de áreas salinizadas (como o uso do gesso agrícola); restabelecimento do equilíbrio ecológico local (QADIR; OSTER, 2004).

O uso de espécies arbóreas para revegetação de áreas salinizadas, considerando sua maior profundidade radicular, exerce maior impacto na remediação do perfil do solo. Tais espécies também dispõem de distintos mecanismos de adaptação às condições ambientais para sobreviver e se desenvolver frente a estresses, incluindo estresses hídricos associados ao estresse salino (TAIZ *et al.*, 2024).

Ainda, o reflorestamento e/ou a revegetação de áreas afetadas por sais por meio do uso de espécies tolerantes a estresses abióticos, como o hídrico e o salino, constitui uma alternativa à instalação de sistemas subterrâneos de drenagem, que representam uma solução onerosa para a recuperação dessas áreas (COSTA *et al.*, 2005).

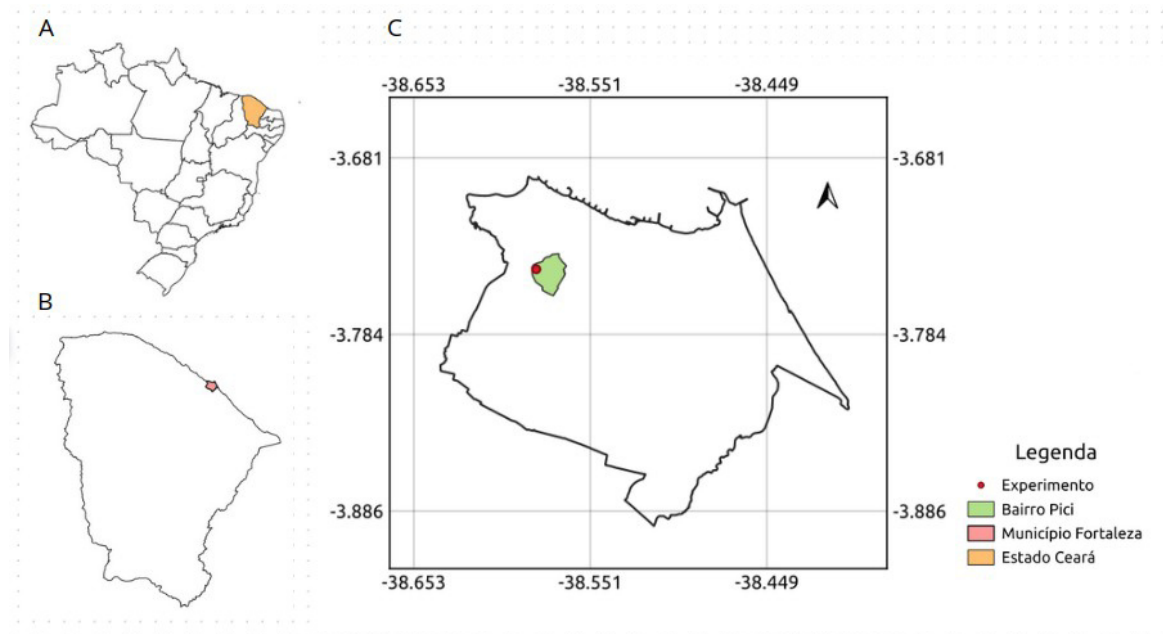
Diante do exposto, as espécies do gênero *Copernicia* dispõem de qualidades desejáveis para seu uso em programas de revegetação.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada na Estação Agrometeorológica do Campus do Pici, lotada no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará (UFC), localizada em Fortaleza - CE (3°44'44.7" latitude sul; 38°34'56.4" longitude oeste; 22 m de altitude) (Figura 1). O clima da região de acordo com o sistema de classificação de Köppen (1923) é do tipo Aw', caracterizado como tropical chuvoso, com chuvas predominantes nas estações de verão e outono. A região apresenta temperatura média anual de 26,9°C e pluviosidade média anual de 1.338 mm (IPECE, 2017 *apud* VIANA *et al.*, 2017).

Figura 1 - Localização do Ceará no Brasil (1A), do Município de Fortaleza no Ceará (1B) e do experimento no bairro Pici, situado em Fortaleza (1C)



Fonte: autoria própria, 2025

4.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi em blocos casualizados. O experimento dispôs de cinco blocos, onde, em cada bloco, havia duas plantas pertencentes ao mesmo tratamento (P1 e P2). Os tratamentos foram arranjados em parcelas subdivididas. Nas parcelas, foram

avaliadas duas espécies arbóreas do gênero *Copernicia*: (i) *Copernicia prunifera* (carnaúba) e (ii) *Copernicia hospita* (carnaúba hospedeira); as subparcelas foram compostas pelo fator salinidade do solo: (i) solo salino, com condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) de $8,0 \text{ dS m}^{-1}$, e (ii) solo não salino (CEes $< 2,0 \text{ dS m}^{-1}$); nas subsubparcelas, foram avaliados três regimes hídricos: (i) irrigação plena (IP), (ii) déficit hídrico (DH) e (iii) excesso hídrico (EH). O experimento totalizou 120 unidades experimentais. O croqui experimental é ilustrado no Apêndice A.

A Figura 2 ilustra a disposição dos vasos na casa de vegetação após a instalação do experimento.

Figura 2 - Experimento após instalação na casa de vegetação



Fonte: autoria própria, 2025

As mudas foram alocadas em vasos de plástico com dimensões de $20 \text{ cm} \times 29,5 \text{ cm}$ (capacidade de aproximadamente $9,27 \text{ L}$). Os vasos foram preenchidos com uma camada de brita nº 1 de 3 cm , visando facilitar a livre drenagem do excedente da água de irrigação, manta geotêxtil tipo bidim, para evitar a perda do substrato, e o solo, da parte inferior para a superior, respectivamente.

Para aplicação do tratamento das subsubparcelas, regime hídrico, foram

confeccionados drenos no fundo dos vasos, com orifícios de 0,5 polegada de diâmetro. Nos drenos, usou-se borrachas de vedação e mangueiras de diâmetro correspondente. Para os vasos referentes ao tratamento de excesso hídrico, foram utilizados adaptadores e *caps* tampão rosqueáveis a fim de fechar o dreno durante o período de aplicação do estresse.

Foi utilizado substrato manufaturado composto por uma mistura de 40% de solo coletado em Pentecoste - CE, na Fazenda Experimental Vale do Curu, da UFC (3°49'3.25" latitude sul; 39°20'16.54" longitude oeste; 47 m de altitude), 30% de areia e 30% de argissolo coletado nas proximidades da Estação Agrometeorológica do Campus do Pici. O solo de Pentecoste foi obtido em áreas caracterizadas pela predominância de neossolos flúvicos, com problemas de salinização associados (EMBRAPA, 1999). Os solos coletados foram, antes da mistura, destorroados e peneirados.

Para a homogeneidade experimental, os tratamentos correspondentes aos solos salinos foram submetidos a salinização artificial por meio de adição controlada de sais específicos (NaCl, CaCl₂·2H₂O, MgCl₂·6H₂O), buscando-se atingir valores de CE aproximados em todos os vasos. A quantidade de sais adicionada foi determinada por uma curva de salinização artificial (representada pela equação $y = 0,1017x + 0,947$ ($R^2 = 0,95$), onde y corresponde à CEes (dS m⁻¹) e x ao percentual de sais aplicados. Dessa forma, para uma CE desejada de 8,0 dS m⁻¹, foram aplicados 69,35% de sais (8,71 g de NaCl, 3,13 g de CaCl₂·2H₂O, 2,16 g de MgCl₂·6H₂O), cuja proporção adotada foi de 7:2:1, sendo definida por meio da proporção de sais naturalmente encontrada em águas salobras subterrâneas da região semiárida (MEDEIROS, 1992).

4.3 Instalação e condução do experimento

As mudas de *C. hospita* foram produzidas em sacos pretos de polietileno de baixa densidade, com sementes obtidas da coleção de copernícias da Fazenda Experimental Raposa, no Município de Maracanaú - CE (3°50'44.7" latitude sul; 38°38'18.2" longitude oeste), do Centro de Ciências Agrárias da UFC, sendo submetidas a irrigação diária. O substrato utilizado para a produção das mudas foi composto por arisco e bagana, com traço de 1:1. Tais mudas foram transplantadas com idade de 6 meses, sendo deixadas por 33 dias para aclimação na casa de vegetação antes do início dos tratamentos.

Para *C. prunifera*, as mudas utilizadas foram adquiridas da Fazenda Domingos Pontes, localizada no Município de Caucaia - CE (3°43'25.9" latitude sul; 38°47'3.6" longitude oeste) com 5 meses e 20 dias de idade, sendo transplantadas no mesmo dia. O período de

aclimatação precedente aos tratamentos para essa espécie foi de 25 dias.

A coleta do volume de água drenado após realização da irrigação foi feita com coletores de plástico de capacidade de 750 mL. Os vasos foram suspensos com o auxílio de tijolos para possibilitar a alocação dos recipientes coletores abaixo dos drenos.

A quantidade de água aplicada nas irrigações foi determinada pelo método do lisímetro de drenagem (BERNARDO *et al.*, 2019), em que a irrigação é realizada com base no consumo hídrico da cultura, estimada por meio da diferença entre o volume de água aplicado e o volume drenado. Para tal, quatro vasos por bloco, dois para cada espécie, correspondentes aos tratamentos de irrigação plena, atuaram como lisímetros de referência para a realização do cálculo da lâmina de água aplicada, sendo irrigados com duas horas de antecedência em relação aos demais vasos para mensuração do volume drenado. Para possibilitar o retorno dos sais lixiviados, a água de irrigação captada pelos coletores foi utilizada para compor o volume de irrigação.

No tratamento de irrigação plena, buscou-se manter os vasos na capacidade de campo (3 L), por meio de irrigações realizadas com turno de rega de dois dias. No tratamento de déficit hídrico, não foram realizadas irrigações durante o período de estresse, de modo a simular um período de estiagem. Para o tratamento de excesso hídrico, foi mantida uma lâmina de água de aproximadamente 3 cm acima da superfície do substrato durante o período de estresse, a qual foi repostada semanalmente junto às irrigações. Durante os períodos de aclimatação das mudas e de recuperação, todas as unidades experimentais foram mantidas na capacidade de campo, conforme o método do lisímetro de drenagem. A água utilizada para irrigação durante a condução do experimento foi obtida de poço freático ($CE = 1,0 \text{ dS m}^{-1}$).

Nos tratamentos de excesso hídrico, o substrato foi perfurado aos 7 e 9 dias após o início do estresse com um arame metálico de 5 mm de diâmetro, nas margens dos vasos, com a finalidade de remover o oxigênio remanescente na região radicular e contribuir para o efeito estressante por anóxia.

4.4 Coleta de dados e análises

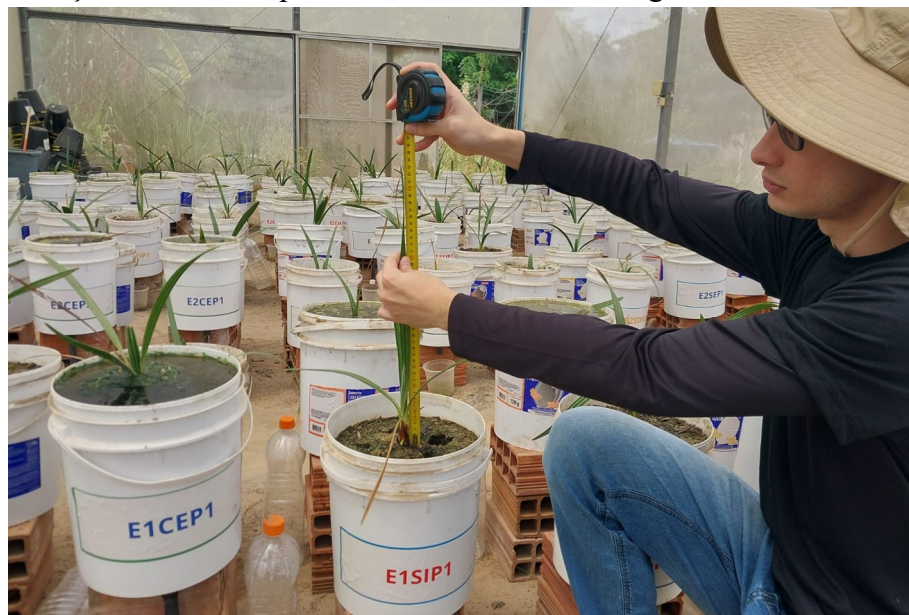
A coleta de dados foi realizada em três períodos: (i) anterior à aplicação dos tratamentos de regime hídrico, com a medição das variáveis analisadas ocorrendo na véspera do início do estresse; (ii) período de estresse, com a coleta de dados sendo realizada após 21 dias de aplicação dos tratamentos de regime hídrico; e (iii) recuperação, com aquisição de dados ocorrendo após 15 dias de suspensão do efeito dos referidos tratamentos. Considerando o

período de aclimação de *C. hospita*, que se iniciou anteriormente em relação ao de *C. prunifera*, a duração do experimento totalizou 69 dias.

4.4.1 Medições biométricas

A coleta dos dados biométricos se deu ao final do período de aclimação das mudas, ao final do período de estresse, que durou 21 dias, e ao final do período de recuperação, que se estendeu por 15 dias, correspondentes aos períodos T0, estresse e recuperação, respectivamente. Foram avaliadas as variáveis altura de plantas (AP), aferida com o auxílio de trena graduada, expressa em centímetros (cm) com uma casa decimal de precisão, sendo medida a partir do colo da planta e até o final do comprimento da maior folha quando esticada verticalmente, conforme é possível visualizar na Figura 3. O número de folhas foi medido por meio de contagem manual, considerando apenas as folhas que já haviam atingido por volta de um quarto de seu comprimento esperado para seu estágio fenológico.

Figura 3 - Obtenção da altura de plantas com auxílio de trena graduada



Fonte: autoria própria, 2025

4.4.2 Trocas gasosas foliares e índice relativo de clorofila (SPAD)

As leituras fisiológicas foram realizadas paralelamente às leituras biométricas, nas mesmas datas, com uso de um aparelho IRGA (*infrared gas analyser*) portátil (modelo ADC-

LCA/4, Hoddesdon, UK), conforme exposto na Figura 4A. As medições foram realizadas dentro da casa de vegetação, entre 09 h e 11 h, utilizando-se fonte de radiação artificial (cerca de $1.400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), e sob condições naturais de temperatura do ar e concentração de CO_2 . Foram avaliados os seguintes índices fisiológicos: condutância estomática (g_s , em $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), taxa de fotossíntese líquida (A , em $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiração foliar (E , em $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e a concentração interna de CO_2 (C_i , em ppm).

As medições do índice relativo de clorofila (IRC) foram feitas com o uso de medidor portátil SPAD 502 (Minolta) (Figura 4B) nas mesmas folhas onde foram obtidos os dados das leituras fisiológicas e nas mesmas datas de obtenção das demais variáveis. Os valores de índice relativo de clorofila foram expressos como médias provenientes de três leituras.

Figura 4 - Leituras dos índices fisiológicos (4A) e do IRC (4B)



Fonte: autoria própria, 2025

4.4.3 Coleta de amostras de solo

A coleta de amostras de solo foi realizada juntamente à obtenção dos dados biométricos e fisiológicos ao final do período de estresse e ao final da recuperação, com objetivo de analisar a umidade em base massa (U), expressa em porcentagem, dos substratos.

As amostras de solo foram coletadas com auxílio de trado de rosca, na profundidade de 0 - 20 cm, e seus teores de umidade foram determinados pelo método gravimétrico. Usou-se latas metálicas previamente pesadas e identificadas para armazenamento das amostras. Posteriormente, as latas com solo foram pesadas para obtenção do peso úmido (Figura 5A). Em seguida, as amostras foram secas em estufa a 105°C até atingirem massa constante (Figura 5B), permitindo a determinação do peso seco a partir da diferença entre os pesos inicial e final

(WANG *et al.*, 2018), de acordo com a equação (1), explicitada a seguir.

$$U = (MSU - MSS) / MSS \quad (1)$$

Em que,

U: umidade por unidade de massa, g g⁻¹; MSU: massa do solo úmido, g; MSS: massa do solo seco, g. Para obtenção da porcentagem, foi multiplicado o valor de U por 100.

Figura 5 - Obtenção da MSU (5A) e secagem em estufa para cálculo da MSS (5B)



Fonte: autoria própria, 2025

4.4.4 Análise estatística dos dados

Os dados obtidos, com exceção da umidade do solo, foram submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey a 5% e 1% de significância estatística para os fatores da parcela, da subparcela e da subsubparcela, utilizando-se o software estatístico Assistat V7.7 (SILVA; AZEVEDO, 2016).

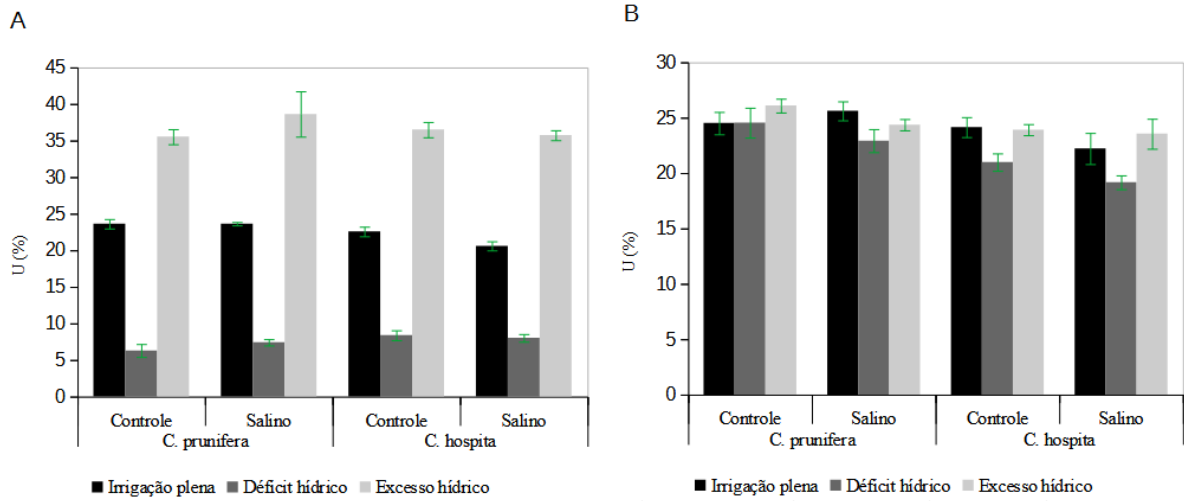
4.4.5 Caracterização da umidade do solo

O período de estresse, devido à aplicação dos tratamentos do regime hídrico (RH), foi caracterizado por médias de umidade com grande variabilidade entre os tratamentos desse fator. Todavia, como esperado, as médias avaliadas para espécie (ES) e salinidade do solo (SL) apresentaram maior uniformidade entre si. Quanto ao regime hídrico (RH), foram obtidas

médias de 22,61%, 7,54% e 36,6% para os tratamentos de irrigação plena, déficit hídrico e excesso hídrico, respectivamente. Para ES e SL, a umidade média situou-se entre 21,97% e 22,53% (Figura 6A).

Os resultados de umidade do solo para o período de recuperação evidenciaram médias mais uniformes entre ES, SL e RH, haja vista o nivelamento dos tratamentos, os quais foram submetidos ao mesmo regime hídrico durante esse período. Assim, os valores médios de umidade observados situaram-se entre 21,91% e 24,68% (Figura 6B).

Figura 6 - Umidade em base massa (U), calculada em porcentagem, em função das espécies, da salinidade do solo e dos regimes hídricos, para a coleta de dados realizada após o estresse (6A) e após a recuperação (6B)



As barras verdes representam os respectivos erros-padrão das médias. Fonte: autoria própria, 2025

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Variáveis biométricas e índice relativo de clorofila

Referente ao período T0, constatou-se influência significativa do fator espécie (ES), nas variáveis altura de plantas (AP) e número de folhas (NF), a 1% de significância (Tabela 1).

No período de estresse, a variável AP apresentou diferença estatística a 5% de significância, conforme o teste de Tukey, para espécie (ES), e a 1% de significância para regime hídrico (RH); a variável número de folhas (NF) mostrou diferença estatística apenas entre as espécies (ES); para o índice relativo de clorofila (IRC), observou-se interação a 5% de significância entre os fatores espécie x salinidade e entre salinidade x regime hídrico (Tabela 1).

Para a recuperação, a variável altura de plantas (AP) foi influenciada pelos fatores espécies (ES) e regime hídrico (RH), ambos a 5% de significância; a variável número de folhas (NF) contou com diferenças significativas decorrentes dos fatores espécie (ES), salinidade (SL) e regime hídrico (RH), a 1%, 5% e 5% de significância, respectivamente; o índice relativo de clorofila (IRC) mostrou interação tripla entre os fatores avaliados a 5% de significância (Tabela 1).

A Tabela 1 ilustra o quadro da anova simplificado para as variáveis AP, NF e IRC, correspondentes aos três períodos avaliados no experimento: T0, estresse e recuperação.

Tabela 1 - Análise de variância para as variáveis altura de plantas (AP), número de folhas (NF) e índice relativo de clorofila (IRC) das espécies *C. prunifera* e *C. hospita* (ES), cultivadas sob diferentes condições de salinidade (SL) e diferentes regimes hídricos (RH), para os períodos T0, estresse e recuperação, com as respectivas médias de cada fator avaliado isoladamente

FV	GL	F								
		AP			NF			IRC		
		T0	Estresse	Recup.	T0	Estresse	Recup.	T0	Estresse	Recup.
Espécie (ES)	1	34.03**	9.63*	15.45*	105.09**	105.06**	71.67**	0.33 ^{ns}	40.74**	28.10**
Salinidade (SL)	1	6.83 ^{ns}	1.97 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.21 ^{ns}	1.78 ^{ns}	5.38*	1.74 ^{ns}	1.95 ^{ns}	0.85 ^{ns}
Int. ES x SL	1	0.38 ^{ns}	0.01 ^{ns}	3.40 ^{ns}	0.21 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.40 ^{ns}	1.24 ^{ns}	5.56*	6.67*
Regime Hídrico (RH)	2	4.19*	11.24**	5.13*	0.07 ^{ns}	2.48 ^{ns}	3.95*	0.93 ^{ns}	5.46**	2.93 ^{ns}
Int. ES x RH	2	0.64 ^{ns}	0.28 ^{ns}	1.59 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.44 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.62 ^{ns}	2.41 ^{ns}
Int. SL x RH	2	0.89 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.24 ^{ns}	0.46 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.38 ^{ns}	2.98 ^{ns}	4.98*	1.03 ^{ns}
Int. ES x SL x RH	2	1.70 ^{ns}	0.72 ^{ns}	0.37 ^{ns}	0.46 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.16 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.17 ^{ns}	0.01*
Blocos	4	5.84 ^{ns}	2.95 ^{ns}	1.78 ^{ns}	0.82 ^{ns}	1.19 ^{ns}	0.40 ^{ns}	0.58 ^{ns}	6.38 ^{ns}	1.07 ^{ns}
CV - ES (%)		5.76	10.45	12.97	16.26	17.51	23.47	29.38	8.14	31.14
CV - SL (%)		3.95	7.30	8.19	21.37	22.95	19.24	12.33	15.56	27.65
CV - RH (%)		7.11	8.73	8.36	19.14	17.37	17.44	18.12	11.26	21.78
		Médias								
		-----cm-----			/			/		
<i>C. prunifera</i>		36.66 a	36.74 a	36.61 a	3.20 a	3.63 a	4.00 a	54.24 a	57.82 a	75.66 a
<i>C. hospita</i>		33.61 b	33.79 b	32.09 b	2.07 b	2.27 b	2.37 b	51.91 a	50.55 b	49.08 b
Solo controle		34.66 a	34.80 a	34.34 a	2.67 a	3.07 a	3.37 a	51.96 a	55.71 a	64.42 a
Solo salino		35.60 a	35.73 a	34.36 a	2.60 a	2.83 a	3.00 b	54.19 a	52.67 a	60.32 a
Irrigação plena		33.87 b	33.29 b	32.67 b	2.60 a	3.15 a	3.35 a	52.47 a	57.56 a	58.72 a
Déficit hídrico		35.43 ab	34.70 b	35.14 a	2.65 a	2.90 a	3.30 ab	51.38 a	53.79 ab	68.32 a
Excesso hídrico		36.10 a	37.80 a	35.25 a	2.65 a	2.80 a	2.90 b	55.39 a	51.22 b	60.07 a

FV - fonte de variação; GL - graus de liberdade; F - estatística F; CV - coeficiente de variação; ns - não significativo para o teste de Tukey a 5% de probabilidade; * e ** - significativo a 5% e a 1% de probabilidade pelo teste de Tukey, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: autoria própria, 2025

5.1.1 Período inicial (T0)

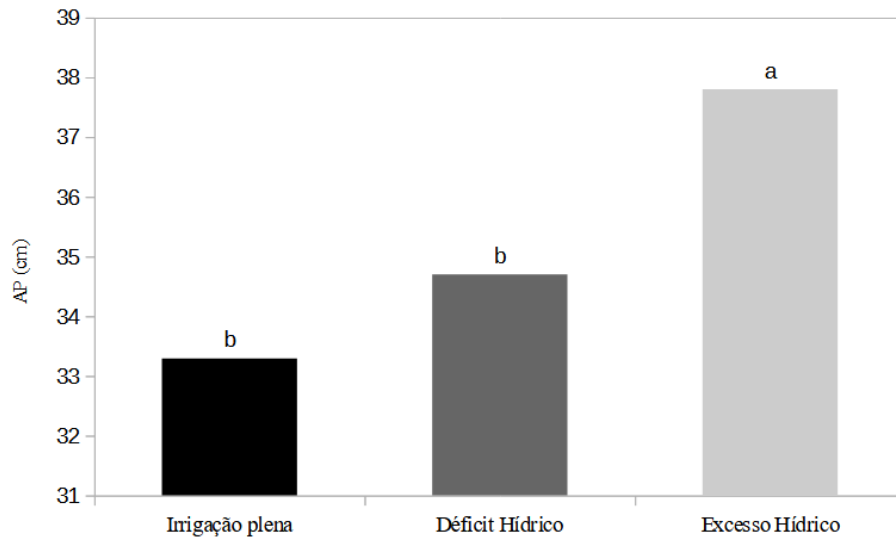
Em T0, tanto para AP, quanto para NF, *C. prunifera* exibiu médias maiores. Dessa forma, *C. prunifera* iniciou o experimento com uma média de AP 9% superior, e uma média de NF 54,6% superior em relação às médias de *C. hospita* para as mesmas variáveis.

Analisando-se a variável AP, quanto aos regimes hídricos, o excesso obteve média maior (+6,58%) em relação ao tratamento de irrigação plena ($p \leq 0.05$), com o déficit hídrico não diferindo estatisticamente dos demais.

5.1.2 Período de estresse

Considerando a variável altura de plantas (AP), o regime de excesso hídrico apresentou maior média entre os tratamentos da subsubparcela (RH) no período de estresse (Figura 7), diferindo estatisticamente dos demais e exibindo uma média 13,55% e 8,93% maior em relação aos tratamentos de irrigação plena e déficit hídrico, respectivamente. Os tratamentos de irrigação plena e déficit hídrico não diferiram estatisticamente entre si.

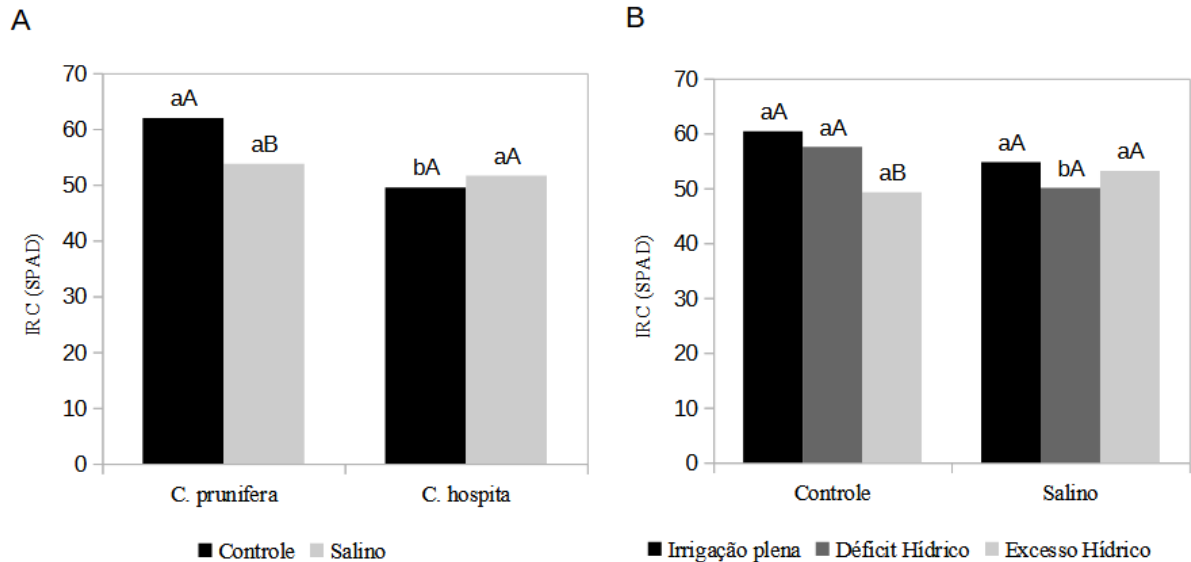
Figura 7 - Médias para a variável altura de plantas (AP), obtidas no período de estresse, conforme regime hídrico (RH)



Fonte: autoria própria, 2025

Já no índice relativo de clorofila (IRC), para a interação ES x SL, o tratamento *C. prunifera* - salino mostrou média inferior em relação a *C. prunifera* - controle, obtendo um resultado 13,21% menor (Figura 8A). Ainda, o tratamento *C. hospita* - controle apresentou média com valor 20,03% inferior ao tratamento *C. prunifera* - controle (Figura 8A). Avaliando a interação entre SL e RH, identificou-se uma menor média para o excesso hídrico entre os tratamentos do solo controle, que apresentou uma redução de 18,35% em relação à irrigação plena e de 14,34% em relação ao déficit hídrico (Figura 8B). A interação SL x RH também resultou em um menor IRC para o tratamento salino quando comparado dentro do regime de déficit hídrico, apresentando média 12,97% inferior em relação ao solo controle (Figura 8B). Para a referida variável, pôde-se observar, também no período de estresse, diferença estatística entre as médias, a 1% de significância, para os fatores isolados de RH e de ES.

Figura 8 - Médias para a variável índice relativo de clorofila (IRC), avaliadas no período de estresse, para as interações entre os fatores espécie (ES) e salinidade (SL) (8A), e salinidade (SL) e regime hídrico (RH) (8B)



Em 8A, as letras minúsculas comparam as médias das espécies para um mesmo efeito de salinização do solo; as letras maiúsculas comparam os efeitos de salinização para uma mesma espécie. Em 8B, as letras minúsculas comparam as médias do efeito da salinização do solo para um mesmo regime hídrico; as letras maiúsculas comparam os diferentes regimes hídricos para um mesmo efeito de salinidade do solo. Fonte: autoria própria, 2025

As variáveis NF e IRC indicaram tendências de progressão mais satisfatórias para os regimes hídricos de irrigação plena e déficit hídrico. Em contrapartida, o regime de excesso hídrico demonstrou crescimento menos expressivo em relação aos demais regimes para NF e redução em IRC. Tratando-se das espécies, tendência similar à do regime de excesso foi observada para *C. hospita*, com reduções em sua média de IRC e crescimento menos expressivo em relação a *C. prunifera* para NF.

Rocha e Araújo (2019) avaliando o crescimento de mudas de carnaúba submetidas a irrigação com águas de diferentes salinidades (0, 25, 50, 75, 100 mM NaCl) observaram que, aos 30 dias após início dos tratamentos, o número de folhas das mudas não foi significativamente afetado ($p \leq 0.01$). Frente a essa realidade, o estresse osmótico fisiológico induzido pelo efeito salino não alterou a variável NF em *C. prunifera*, resultado similar ao observado para os efeitos salino e de déficit hídrico do presente estudo.

Ainda, Medeiros *et al.* (2023), estudando as respostas fisiológicas de *C. prunifera* frente aos efeitos do déficit hídrico, constataram a boa adaptabilidade da espécie, quando submetida a tal estresse, em relação a uma espécie invasora (*Cryptostegia madagascariensis*), fato que pode explicar o desempenho comparável entre os regimes de déficit hídrico e irrigação

plena, para as variáveis NF e IRC, observado neste trabalho. Somando-se, os autores do estudo mencionado sugerem a vantagem adaptativa às condições estudadas de *C. prunifera* em comparação a uma espécie exótica, resultado similar ao observado no presente estudo, no qual *C. hospita* demonstrou médias e evoluções de NF e IRC inferiores às de *C. prunifera*.

No que tange ao regime de excesso hídrico, para as variáveis NF e IRC, o decréscimo desse tratamento em relação aos regimes de déficit e irrigação plena pode ser justificado pelo fechamento estomático, que implica um comprometimento da síntese de adenosina trifosfato (ATP) e do metabolismo fotossintético, fato seguido da redução no acúmulo de biomassa (SAIRAM *et al.*, 2009; PAMPANA; MASONI; ARDUINI, 2016; KAUR *et al.*, 2020). Apesar da porosidade radicular de *C. prunifera*, o comprometimento metabólico dessa espécie frente ao estresse por alagamento foi observado no trabalho de Arruda e Calbo (2003), que submeteram plantas de carnaúba de 10 meses de idade a alagamento contínuo durante 60 dias.

A redução do IRC frente a condições de alagamento também foi observada no trabalho de Medeiros (2021), no qual plantas maduras de *C. prunifera* submetidas a alagamento por período de 20 dias obtiveram decréscimos de IRC de 10% em relação aos tratamentos controles. Além disso, a menor média de IRC para o tratamento de déficit hídrico associado à salinidade, em comparação ao mesmo regime para o solo controle, pode ter sua ocorrência explicada pelo efeito adverso aditivo no potencial hídrico do solo ocasionado pelos efeitos conjuntos do déficit hídrico e da salinidade (JANSEN *et al.*, 2022). Nesse contexto, o comprometimento do teor de clorofila mediante estresses múltiplos já foi evidenciado no trabalho de Angon *et al.* (2022), em seus resultados acerca de sua meta-análise sobre os efeitos de estresses salino e de déficit hídrico combinados em plantas, que constataram uma redução média de 25% no teor de clorofila das plantas submetidas aos estresses por déficit hídrico e salino combinados em relação às plantas submetidas apenas ao déficit hídrico ($p \leq 0.05$).

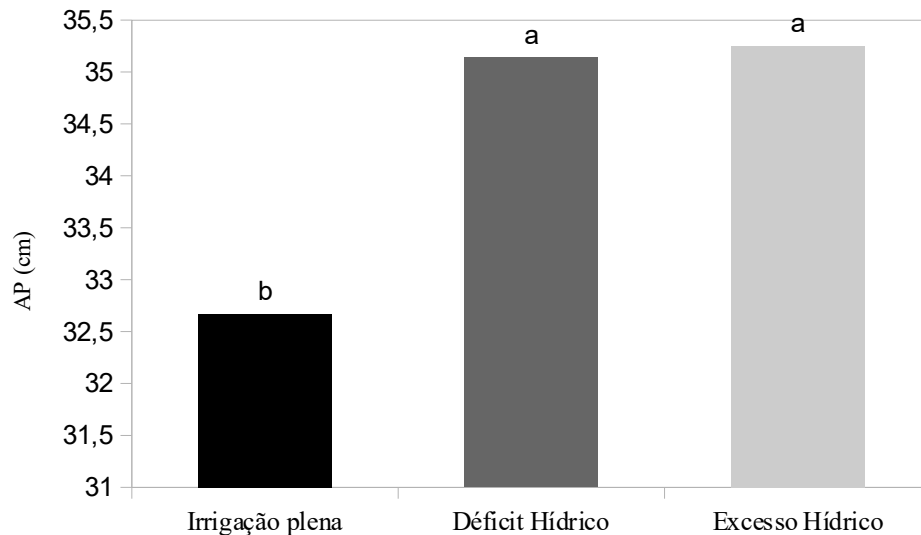
Contrariamente às demais variáveis mencionadas, a AP apresentou melhor evolução e foi maior no excesso hídrico em relação aos demais regimes hídricos durante o estresse. Embora o excesso hídrico esteja relacionado a um severo comprometimento fisiológico das plantas, uma resposta vegetal possível frente ao alagamento de curta duração é o alongamento caulinar para evitar sua completa submersão (LORETI; VEEN; PERATA, 2016). Corroborando, o estudo de Arruda e Calbo (2003) revelou que *C. prunifera* não apresentou comprometimento significativo na altura de sua parte aérea até o 60º dia de alagamento, apesar de demonstrar prejuízo em suas trocas gasosas. A influência da maior altura média das plantas correspondentes ao excesso hídrico em T0 também interferiu para o resultado observado da

variável AP no período de estresse.

5.1.3 Período de recuperação

Considerando a variável altura de plantas (AP), em relação ao fator regime hídrico, o tratamento de irrigação plena registrou a menor média, diferindo estatisticamente dos demais, com média de altura de plantas 7,56% e 7,90% menor em relação aos tratamentos de déficit hídrico e de excesso hídrico, respectivamente (Figura 9).

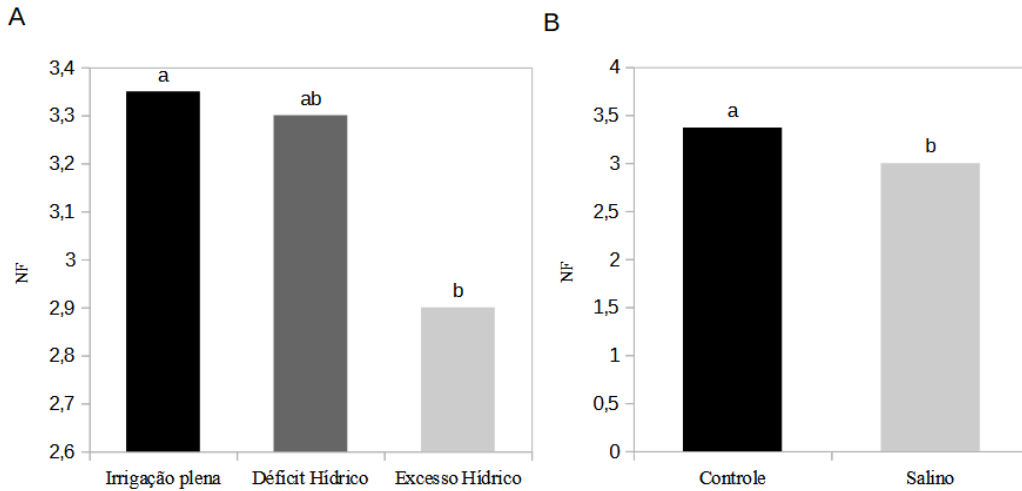
Figura 9 - Médias para a variável altura de plantas (AP), obtidas no período de recuperação, conforme regime hídrico (RH)



Fonte: autoria própria, 2025

Para a variável número de folhas (NF), analisando os regimes hídricos, o tratamento de irrigação plena foi superior ao de excesso hídrico (+15,52%), ao passo que o regime de déficit não diferiu estatisticamente dos outros dois, tendo média intermediária (Figura 10A). Concernente ao fator salinidade (SL), o solo salino apresentou uma média de NF 10,98% inferior ao controle (Figura 10B).

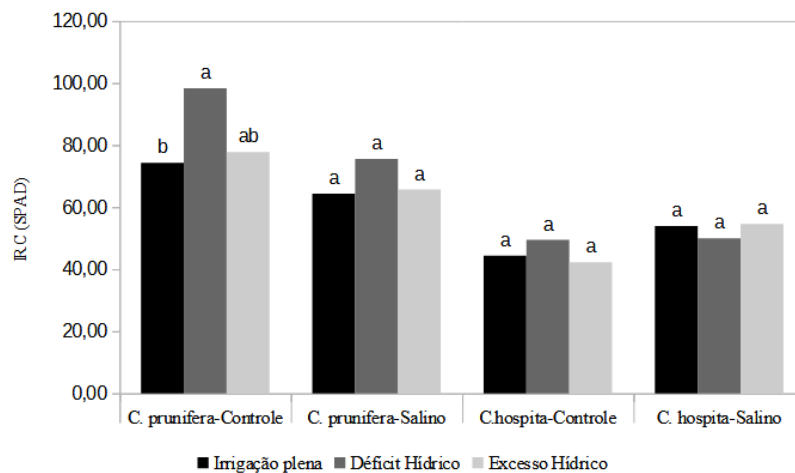
Figura 10 - Médias para a variável número de folhas (NF), referentes ao período de recuperação, conforme regime hídrico (RH) (10A), e de acordo com os tratamentos de salinidade (SL), para o mesmo período (10B)



Fonte: autoria própria, 2025

Na análise da variável índice relativo de clorofila (IRC), constatou-se diferença estatística significativa entre os regimes hídricos para o tratamento *C. prunifera* - controle, no qual o regime de déficit hídrico mostrou uma média superior (+32,30%) em relação ao regime de irrigação plena. A média para o tratamento de déficit hídrico não apresentou diferença significativa em relação aos demais regimes hídricos em *C. prunifera* - controle (Figura 11).

Figura 11 - Médias da variável índice relativo de clorofila (IRC), referentes ao período de recuperação, para a interação tripla entre os fatores espécie (ES), salinidade (SL) e regime hídrico (RH)



Fonte: autoria própria, 2025

As tendências das variáveis biométricas e do IRC revelam uma melhor recuperação do regime hídrico de déficit, que obteve médias superiores à irrigação plena em AP e para IRC. Ainda, o regime de excesso hídrico demonstrou menor emissão de novas folhas.

Entre as espécies, *C. prunifera* mostrou melhor progresso em relação a *C. hospita* entre os períodos de estresse e recuperação, sobretudo em IRC, onde foi possível constatar significativo aumento em sua média. As reduções visualizadas em *C. hospita* indicam danos metabólicos, que refletem menor capacidade da espécie para tolerar os estresses estudados e se recuperar após períodos adversos.

O melhor desempenho do regime de déficit hídrico em relação ao tratamento de irrigação plena sugere a ocorrência do fenômeno de supercompensação (*overcompensation*), relatado em plantas após períodos de estresse de curta duração, com plantas estressadas exibindo maior crescimento em relação a plantas não submetidas a estresses (LIU; LUO; SHI, 2001; SIOPONGCO *et al.*, 2006; XU; ZHOU, 2007). Em *Eucalyptus* spp., por exemplo, o estresse hídrico por déficit seguido de recuperação da umidade do solo promoveu aumento do crescimento em altura, enquanto as plantas controle apresentaram crescimento mais equilibrado e maior eficiência fisiológica (MYERS *et al.*, 1998). Tal fato pode justificar o melhor desempenho observado nas variáveis AP e IRC para as plantas submetidas ao regime de déficit hídrico em relação às plantas submetidas à irrigação plena.

Analisando-se o comprometimento da emissão foliar verificado no excesso hídrico, a queda na síntese de ATP resultante desse estresse é capaz de reduzir as reservas de carboidratos (ADAMS *et al.*, 2017), as quais são necessárias ao crescimento vegetativo.

No trabalho de Messchmidt *et al.* (2015), os autores, avaliando as trocas gasosas de cultivares de porta-enxerto de pessegueiros (*Prunus persica*) submetidas a estresses hídrico por seca e por alagamento, identificaram que pessegueiros submetidos a alagamento demonstraram maior estresse oxidativo em relação às plantas submetidas a déficit hídrico, fato que sustenta os significativos danos metabólicos observados em plantas submetidas ao excesso hídrico.

O maior comprometimento fisiológico observado no período de estresse das plantas submetidas ao excesso hídrico é um dos fatores capaz de justificar a menor emissão de folhas desse tratamento durante sua recuperação.

5.2 Variáveis fisiológicas

Em T0, para a taxa de fotossíntese líquida (*A*), observou-se diferença estatística proveniente da influência dos fatores espécie (ES) e regime hídrico (RH), a 1% e 5% de

significância, respectivamente; quanto à taxa de transpiração (E), houve interação significativa entre os fatores espécie x regime hídrico a 5% de significância; a respeito da condutância estomática (g_s), o fator espécie ocasionou diferença estatística a uma significância de 1% (Tabela 2).

Observando o período de estresse, foi possível visualizar, para a taxa fotossintética líquida (A), influência dos fatores espécie (ES) e regime hídrico (RH) a 5% e 1% de significância, respectivamente; a análise da taxa de transpiração (E) mostrou interação significativa a 5% de significância entre os fatores espécie x regime hídrico; para a condutância estomática (g_s), houve diferença significativa decorrente dos fatores espécie (ES) e regime hídrico (RH) atuando isoladamente, ambos a 1% de significância; a análise de variância também acusou, para a variável concentração interna de CO_2 (C_i), interação tripla entre os fatores avaliados a 1% de significância. (Tabela 2).

No período de recuperação, as variáveis taxa fotossintética líquida (A), taxa de transpiração (E) e condutância estomática (g_s) mostraram resultados estatísticos semelhantes, sendo influenciadas pelos fatores isolados espécie (ES) e regime hídrico (RH), todos a 1% de significância, com exceção do fator espécie avaliado em E , cujas médias diferiram a 5% de significância (Tabela 2).

Na Tabela 2, é mostrado o quadro da anova simplificado para as variáveis A , E , g_s e C_i , correspondentes aos três períodos avaliados no experimento: T0, estresse e recuperação.

Tabela 2 - Análise de variância para as variáveis taxa de fotossíntese líquida (*A*), taxa de transpiração (*E*), condutância estomática (*gs*) e concentração interna de CO₂ (*Ci*) das espécies *C. prunifera* e *C. hospita* (ES), cultivadas sob diferentes condições de salinidade (SL) e diferentes regimes hídricos (RH), para os períodos de T0, de estresse e de recuperação, com as respectivas médias de cada fator avaliado isoladamente

FV	GL	F											
		<i>A</i>			<i>E</i>			<i>gs</i>			<i>Ci</i>		
		T0	Estresse	Recup.	T0	Estresse	Recup.	T0	Estresse	Recup.	T0	Estresse	Recup.
Espécie (ES)	1	33.33**	20.55*	42.81**	16.07*	7.37 ^{ns}	12.75*	85.07**	30.28**	36.23**	2.21 ^{ns}	9.64*	0.04 ^{ns}
Salinidade (SL)	1	1.08 ^{ns}	6.37 ^{ns}	0.50 ^{ns}	0.64 ^{ns}	2.84 ^{ns}	0.11 ^{ns}	1.35 ^{ns}	2.50 ^{ns}	0.01 ^{ns}	3.57 ^{ns}	1.44 ^{ns}	0.40 ^{ns}
Int. ES x SL	1	1.59 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.39 ^{ns}	1.25 ^{ns}	0.66 ^{ns}	1.10 ^{ns}	2.97 ^{ns}	0.09 ^{ns}	1.19 ^{ns}	4.96 ^{ns}	7.42*	0.45 ^{ns}
Regime Hídrico (RH)	2	3.75*	50.68**	9.85**	0.98 ^{ns}	51.54**	6.63**	0.60 ^{ns}	47.79**	6.50**	1.06 ^{ns}	0.37 ^{ns}	0.10 ^{ns}
Int. ES x RH	2	3.13 ^{ns}	0.13 ^{ns}	0.27 ^{ns}	5.30*	0.02*	0.17 ^{ns}	2.98 ^{ns}	1.30 ^{ns}	0.62 ^{ns}	12.34 ^{ns}	3.62*	1.73 ^{ns}
Int. SL x RH	2	1.23 ^{ns}	1.33 ^{ns}	0.14 ^{ns}	1.06 ^{ns}	0.55 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.95 ^{ns}	0.97 ^{ns}	0.36 ^{ns}	0.96 ^{ns}	5.27*	0.50 ^{ns}
Int. ES x SL x RH	2	0.73 ^{ns}	1.70 ^{ns}	2.23 ^{ns}	0.34 ^{ns}	1.08 ^{ns}	2.83 ^{ns}	0.81 ^{ns}	0.40 ^{ns}	1.90 ^{ns}	0.16 ^{ns}	7.52**	3.31 ^{ns}
Blocos	4	0.65 ^{ns}	2.04 ^{ns}	0.77 ^{ns}	2.38 ^{ns}	2.28 ^{ns}	1.06 ^{ns}	2.21 ^{ns}	1.05 ^{ns}	0.98 ^{ns}	0.28 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.22 ^{ns}
CV - ES (%)		33.85	29.93	41.16	54.36	42.94	55.73	29.21	34.91	53.01	22.73	46.15	53.39
CV - SL (%)		26.30	19.52	38.47	37.54	25.26	28.10	36.62	36.07	41.71	16.33	33.30	22.96
CV - RH (%)		24.84	29.22	26.03	31.23	30.75	25.61	44.69	39.01	39.20	12.83	18.39	17.45
Médias													
		-----mmol.m ⁻² .s ⁻¹ -----			-----mmol.m ⁻² .s ⁻¹ -----			-----mol.m ⁻² .s ⁻¹ -----			-----ppm-----		
<i>C. prunifera</i>		12.53 a	12.35 a	20.55 a	4.35 a	4.08 a	6.43 a	0.134 a	0.153 a	0.417 a	357.33 a	349.40 b	517.36 a
<i>C. hospita</i>		7.48 b	8.67 b	9.95 b	2.44 b	3.01 a	3.80 b	0.064 b	0.092 b	0.173 b	389.97 a	508.03 a	532.23 a
Solo controle		10.36 a	9.84 a	14.72 a	3.53 a	3.35 a	5.05 a	0.106 a	0.113 a	0.296 a	388.53 a	450.80 a	534.67 a
Solo salino		9.65 a	11.18 a	15.79 a	3.26 a	3.74 a	5.18 a	0.095 a	0.131 a	0.295 a	358.77 a	406.63 a	514.93 a
Irrigação plena		10.24 ab	15.05 a	18.42 a	3.45 a	5.26 a	5.93 a	0.108 a	0.200 a	0.368 a	371.80 a	427.05 a	518.15 a
Déficit hídrico		8.83 b	11.14 b	14.13 b	3.14 a	3.60 b	4.99 ab	0.093 a	0.115 b	0.281 ab	363.65 a	440.20 a	531.20 a
Excesso hídrico		10.95 a	5.34 c	13.20 b	3.60 a	1.76 c	4.43 b	0.100 a	0.053 c	0.238 b	385.50 a	418.90 a	525.05 a

FV - fonte de variação; GL - graus de liberdade; F - estatística F; CV - coeficiente de variação; ns - não significativo para o teste de Tukey a 5% de probabilidade; * e ** - significativo a 5% e a 1% de probabilidade pelo teste de Tukey, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: autoria própria, 2025

5.2.1 Período inicial (T0)

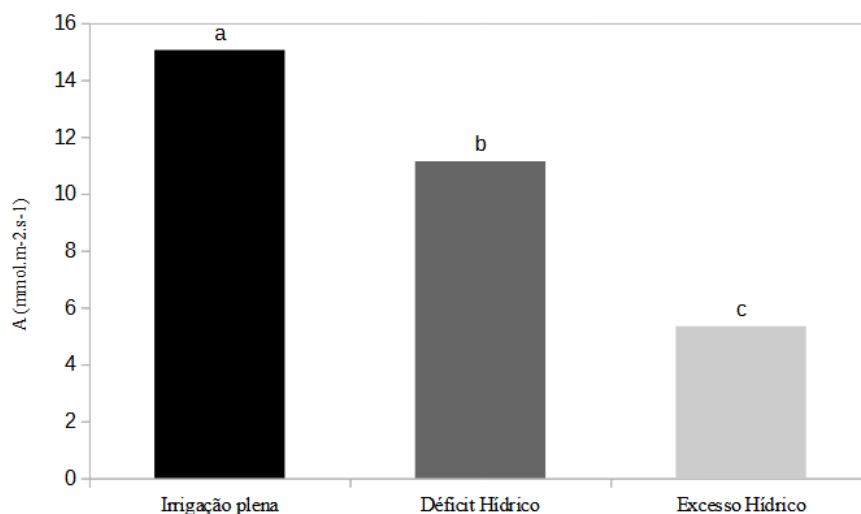
Para T0, *C. prunifera* obteve as maiores médias, iniciando o experimento com valores maiores em 67,51%, 78,28% e 100% para as variáveis *A*, *E* e *gs*, respectivamente.

No que tange aos regimes hídricos, observou-se em *A* maior média para o tratamento de excesso hídrico em relação ao de déficit hídrico (+24,00%), não havendo diferença estatística significativa entre a média da irrigação plena com a dos demais regimes. Para *E*, foi possível identificar interação entre os fatores ES e RH, onde percebeu-se menor média para os tratamentos *C. hospita* - controle (-36,50%) e *C. hospita* - salino (-38,96%) em relação ao regime de excesso hídrico para a mesma espécie. Para essa interação, *C. hospita* - controle e *C. hospita* - salino também apresentaram valores de *E* menores em relação aos tratamentos *C. prunifera* - controle (-57,14%) e *C. prunifera* - salino (-53,61%), respectivamente.

5.2.2 Período de estresse

Quanto à variável taxa de fotossíntese líquida (*A*), avaliada no período de estresse, observou-se uma redução nas médias do déficit hídrico e do excesso hídrico, em relação à irrigação plena, de 25,68% e de 64,52%, respectivamente (Figura 12).

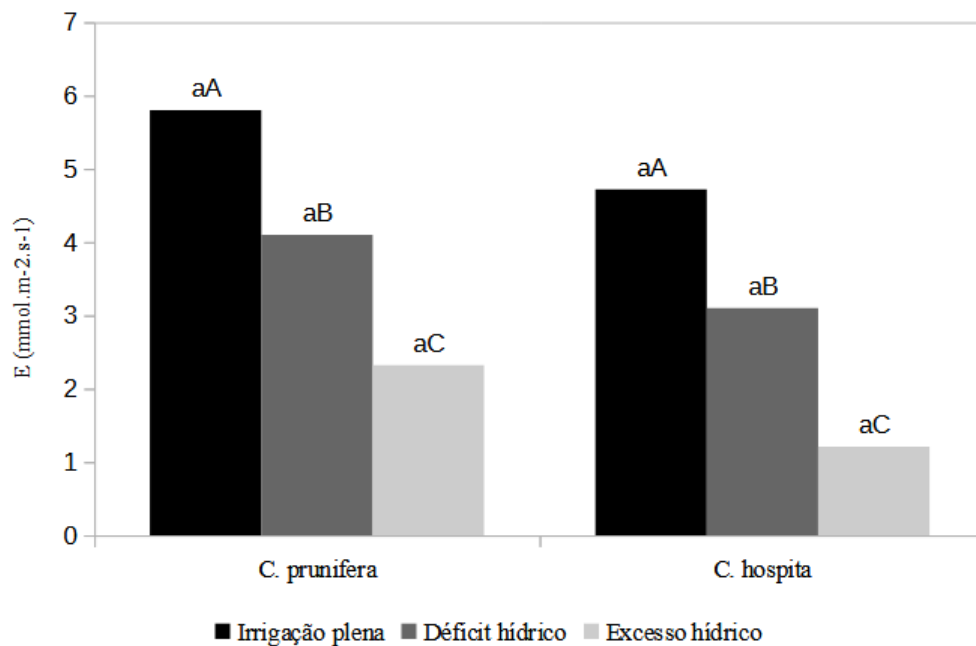
Figura 12 - Médias para a variável fotossíntese líquida (*A*), referentes ao período de estresse, conforme os regimes hídricos



Fonte: autoria própria, 2025

Para E , a interação entre regime hídrico (RH) x espécie (ES) mostrou melhor desempenho da irrigação plena e pior desempenho para o excesso hídrico, padrão esse que foi observado para ambas as espécies, onde as médias de E nos tratamentos de déficit hídrico e excesso hídrico exibiram, respectivamente, reduções de 29,31% e 60,00% em relação à irrigação plena para *C. prunifera*, e 34,32% e 74,36% para *C. hospita* (Figura 13).

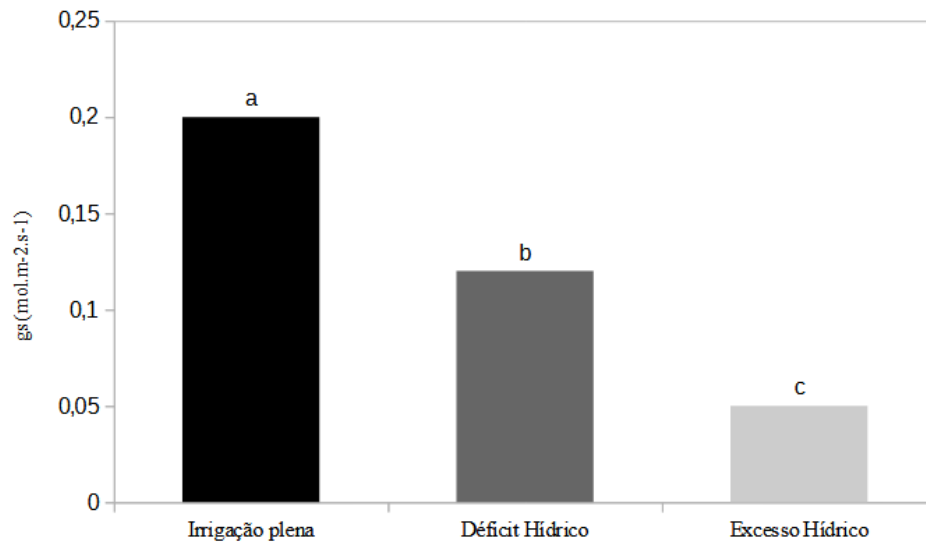
Figura 13 - Médias para a variável taxa de transpiração (E), referentes ao período de estresse, conforme a interação entre os fatores espécie (ES) e regime hídrico (RH)



As letras minúsculas comparam as diferentes espécies para um mesmo regime hídrico; as letras maiúsculas comparam os diferentes regimes hídricos para uma mesma espécie. Fonte: autoria própria, 2025

Analisando a condutância estomática (g_s), para o período de estresse, observou-se, entre os regimes hídricos, que o tratamento de irrigação plena obteve média superior aos demais, enquanto o regime de excesso hídrico apresentou a menor média de g_s , com valor 75% inferior à média da irrigação plena e 58,33% inferior à do déficit hídrico (Figura 14).

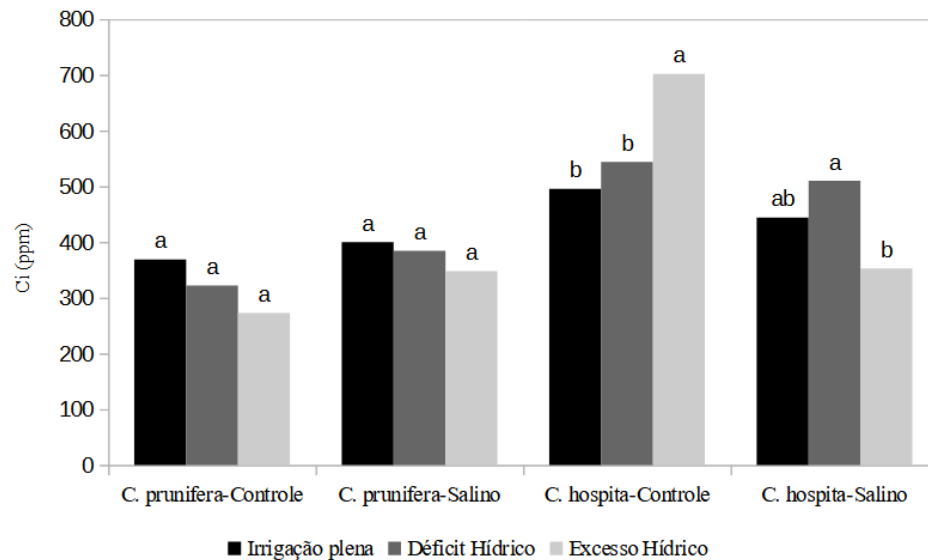
Figura 14 - Médias para a variável condutância estomática (g_s), referentes ao período de estresse, conforme os regimes hídricos (RH)



Fonte: autoria própria, 2025

Na interação tripla, para a variável concentração interna de CO_2 (C_i), não houve diferença estatística entre as médias dos diferentes regimes hídricos para as interações *C. prunifera* - controle e *C. prunifera* - salino no período de estresse. Já para as interações do fator salinidade com *C. hospita*, houve diferença entre os regimes hídricos. Nesse contexto, em *C. hospita* - controle, observou-se maior média para o regime de excesso hídrico, que obteve uma média 41,62% superior em relação ao tratamento de irrigação plena, e 28,97% superior em relação ao déficit hídrico. Avaliando-se os regimes hídricos para a interação *C. hospita* - salino, identificou-se que o déficit hídrico se sobressaiu em relação ao excesso hídrico (+44,53%), enquanto não foi observada diferença estatística entre a irrigação plena e os demais tratamentos (Figura 15).

Figura 15 - Médias da variável concentração interna de CO₂ (Ci), referentes ao período de estresse, para a interação tripla entre os fatores espécie (ES), salinidade (SL) e regime hídrico (RH)



Fonte: autoria própria, 2025

Observou-se expressiva redução de g_s para ambos os estresses hídricos aplicados, com o regime de excesso hídrico tendo reduzido a condutância estomática de forma mais expressiva em relação ao estresse por déficit hídrico. A condutância estomática regula diretamente o processo fotossintético por influenciar a obtenção de substrato (CO₂) para realização do processo metabólico (RODRIGUES *et al.*, 2011; TAIZ *et al.*, 2024). Com isso, o status hídrico da planta, que representa um dos principais mediadores da turgidez das células-guarda dos estômatos, impacta, conseqüentemente, as taxas transpiratórias (E) e fotossintéticas (A) (SOFO *et al.*, 2005; AMADOR *et al.*, 2012). Logo, a redução em A apresentou resultado esperado, haja vista a limitação estomática para realização do processo fotossintético.

Messchmidt *et al.* (2015) verificaram, nas trocas gasosas de pessegueiro, resultado similar ao presente estudo. Em sua pesquisa, a cv. Flordaguard, após 8 dias de estresse, apresentou reduções mais drásticas em g_s e A nos tratamentos alagados em comparação aos tratamentos submetidos ao déficit hídrico.

A redução das variáveis A , E e g_s de plantas submetidas ao alagamento é um fenômeno bem relatado na literatura científica. Resultados semelhantes foram observados em sorgo (*Sorghum bicolor*) (FENG *et al.*, 2023) e em mudas de coqueiro cv. Green Dwarf (*Cocos nucifera*) (MEDEIROS *et al.*, 2018), onde plantas submetidas ao alagamento exibiram reduções em suas trocas gasosas e em sua atividade fotossintética. A redução na regeneração da enzima

rubisco (BRADFORD, 1983) associada à inibição da fotossíntese decorrente do acúmulo celular de amido (TOPA; CHEESEMAN, 1992) também constituem limitações bioquímicas relacionadas às quedas das variáveis fisiológicas mencionadas de plantas submetidas ao alagamento.

O déficit hídrico também possui seu impacto nas trocas gasosas bem compreendido. Ressalta-se os efeitos relacionados ao comprometimento nutricional da planta, ao fechamento estomático induzido via atuação do ácido abscísico e ao aumento de EROs (LEE; LUAN, 2012; ARZANI; ASHRAF, 2022).

O comparativo entre espécies mostrou melhor desempenho fisiológico de *C. prunifera*, que obteve maiores médias para g_s e A , fato em consonância à maior média observada para a espécie em relação ao IRC.

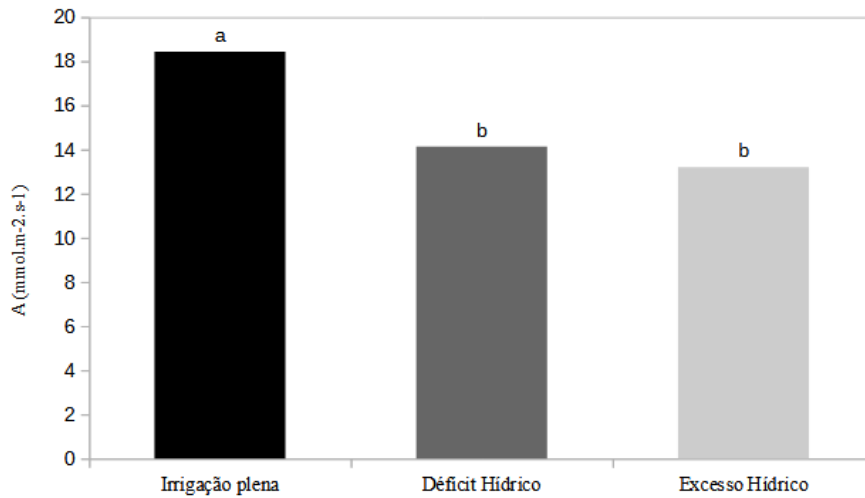
Todavia, analisando-se a variável C_i , percebe-se que houve acúmulo de CO_2 no mesófilo foliar de *C. hospita*, fato que evidencia a influência de limitações bioquímicas (não estomáticas) ao processo fotossintético (REN *et al.*, 2016; LACERDA *et al.*, 2020; MEDEIROS, 2021). Essa justificativa está alinhada aos resultados observados para a variável IRC, a qual demonstrou maiores reduções nas combinações solo controle - excesso hídrico e solo salino - déficit hídrico, tratamentos que revelaram os maiores valores de C_i em *C. hospita*. Adicionalmente, Duan *et al.* (2018) citam que limitações não estomáticas são mais significativas no comprometimento fotossintético em condições de alagamento.

As diferenças entre o desempenho fisiológico de *C. prunifera* e *C. hospita* indicam que as adaptações morfológicas e fisiológicas observadas em *C. prunifera* podem não estar presentes na mesma magnitude ou eficiência em *C. hospita*.

5.2.3 Período de recuperação

Considerando a variável fotossíntese líquida (A) no período de recuperação, o regime de irrigação plena obteve média estatisticamente superior aos demais tratamentos, que apresentaram valores 23,29% e 28,34% menores para os tratamentos de déficit hídrico e de excesso hídrico, respectivamente (Figura 16).

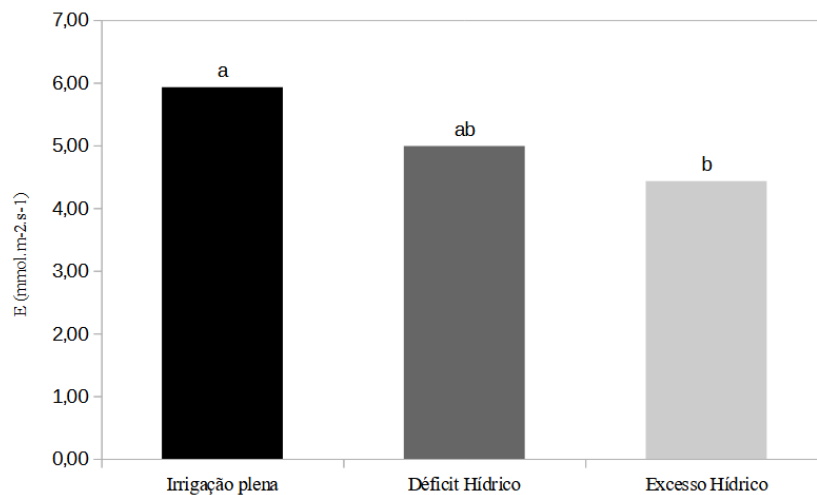
Figura 16 - Médias para a variável fotossíntese líquida (A), referentes ao período de recuperação, conforme os regimes hídricos (RH)



Fonte: autoria própria, 2025

Em relação à variável E , considerando os regimes hídricos na recuperação, o tratamento de irrigação plena se mostrou superior ao de excesso hídrico, com o último possuindo média 25,30% menor em relação ao primeiro. Somando-se, o déficit hídrico não diferiu estatisticamente dos demais (Figura 17).

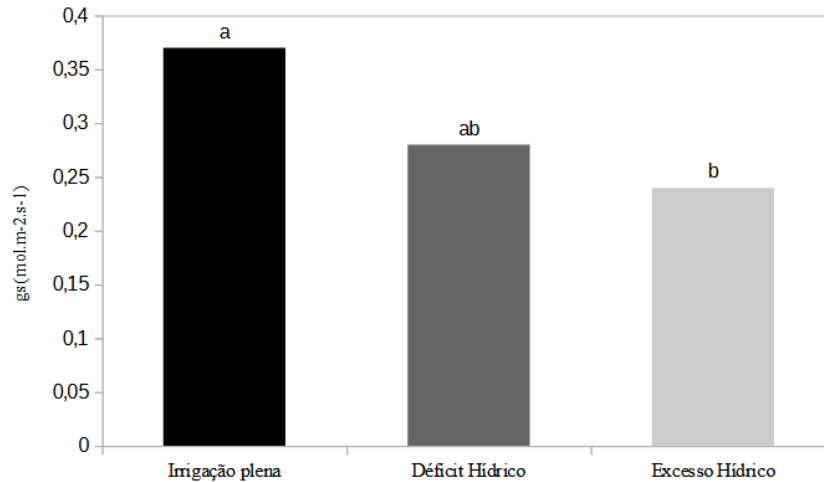
Figura 17 - Médias para a variável taxa de transpiração (E), referentes ao período de recuperação, segundo os diferentes regimes hídricos (RH)



Fonte: autoria própria, 2025

Referente à variável g_s , na recuperação, o regime hídrico de irrigação plena foi superior ao regime de excesso hídrico (+35,14%), ao mesmo tempo que o déficit hídrico não diferiu estatisticamente em relação aos demais (Figura 18).

Figura 18 - Médias para a variável condutância estomática (g_s), referentes ao período de recuperação, em função dos diferentes regimes hídricos (RH)



Fonte: autoria própria, 2025

As variáveis fisiológicas refletiram uma capacidade de melhora substancial para *C. prunifera*. Já *C. hospita*, apesar de apresentar melhora menos expressiva, obteve incrementos significativos em suas médias para as variáveis de trocas gasosas.

O sucesso da recuperação de processos fisiológicos em plantas é quantificado, usualmente, de maneira relativa a condições anteriores ao estresse ou a um tratamento controle (XU; ZHOU; SHIMIZU, 2010). Diante disso, a avaliação neste estudo foi feita considerando a comparação com os tratamentos controle, uma vez que as mudas, devido à sua fase fenológica, apresentaram rápido desenvolvimento ao longo do período experimental. Logo, foi possível visualizar que o tratamento de déficit hídrico mostrou médias de trocas gasosas similares ao tratamento de irrigação plena, evidenciando uma capacidade de recuperação compensatória para os períodos avaliados. Ademais, o regime de excesso hídrico concluiu o experimento com valores de A , E e g_s inferiores estatisticamente ($p \leq 0.01$) ao tratamento controle para o fator RH, sugerindo uma recuperação parcial.

As recuperações fisiológicas parciais decorrem de danos enzimáticos ou teciduais das plantas, que necessitam mobilizar esqueletos de carbono para restituir as estruturas prejudicadas, situação que resulta em taxas de crescimento reduzidas (RUEHR *et al.*, 2019). O comportamento da variável NF durante o período de estresse corrobora para essa possibilidade, visto que as plantas submetidas ao excesso hídrico apresentaram menor surgimento de folhas novas. Os danos à enzima rubisco e o acúmulo de amido como respostas fisiológicas usuais das plantas ao alagamento reforçam os prováveis danos metabólicos que ocorreram nas plantas alagadas. Todavia, a ausência de significância entre os tratamentos para a variável C_i indica

importante recuperação das limitações bioquímicas de ambas as espécies.

O experimento de Messchmidt *et al* (2015) também avaliou as trocas gasosas de cultivares de *Prunus persica* após a supressão dos estresses por déficit hídrico e por excesso hídrico. Como resultado, realidade similar à do presente trabalho foi observada, onde as trocas gasosas das plantas estressadas com alagamento tiveram médias inferiores às das plantas submetidas ao déficit hídrico.

O efeito salino não resultou em maior impacto à fisiologia das plantas quando presente de maneira isolada, sendo mais significativo associado ao regime de déficit hídrico, tendo em vista o efeito aditivo da redução do potencial hídrico do solo. Tal resultado está coerente conforme os trabalhos de HOLANDA *et al.*, 2011 e Rocha e Araújo (2019), que concluíram que *C. prunifera* se desenvolve bem em condições de moderada salinidade (CE da água de irrigação $\leq 9,6$ dS m⁻¹). Ainda, frente aos resultados comparáveis entre as espécies para o fator SL, é provável que *C. hospita* também apresente tolerância moderada ao estresse salino.

6 CONCLUSÕES

Os resultados das análises biométricas e fisiológicas apontam para uma boa tolerância de *C. prunifera* e *C. hospita* ao moderado estresse salino do solo quando presente de maneira isolada. Não obstante a maior significância do comprometimento das plantas frente à combinação salinidade - déficit hídrico, essa diferença não foi manifestada nas palmeiras durante o período de recuperação. Já no que diz respeito ao regime de excesso hídrico, as espécies sofreram danos metabólicos mais evidentes, fato que se refletiu em uma recuperação parcial, porém significativa, dos indivíduos.

Entre as espécies, *C. prunifera* exibiu menor comprometimento metabólico frente aos estresses isolados e conjuntos, além de melhor recuperação em comparação com *C. hospita*. Todavia, ambas as espécies mostraram relevante capacidade para tolerar e se recuperar frente aos estresses, apresentando, conseqüentemente, bom potencial adaptativo.

REFERÊNCIAS

- ACOSTA-MOTOS, J. R. *et al.* Plant Responses to Salt Stress: Adaptive Mechanisms. **Agronomy**, v. 7, art. 18, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy7010018>. Acesso em: 13 dez. 2025.
- ADAMS, H. D.; ZEPPEL, M. J. B.; ANDEREGG, W. R. L.; HARTMANN, H.; LANDHÄUSSER, S. M.; TISSUE, D. T.; BARKER, J. S.; LYWAK, R. S.; BINZEL, T. T.; CHADWICK, A. C. A multi-species synthesis of physiological mechanisms in drought-induced tree mortality. **Nature Ecology & Evolution**, [s. l.], v. 1, n. 9, p. 1285-1291, 2017.
- AL HINAI, M. S. *et al.* Proline accumulation, ion homeostasis and antioxidant defence system alleviate salt stress and protect carbon assimilation in bread wheat genotypes of Omani origin. **Environmental and Experimental Botany**, v. 193, art. 104687, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104687>. Acesso em: 13 dez. 2025.
- AMADOR, M. L.; SANCHO, S.; BIELSA, B.; GOMES-APARISI, J.; RUBIO-CABETAS, M. J. Physiological and biochemical parameters controlling waterlogging stress tolerance in *Prunus* before and after drainage. **Physiologia Plantarum**, [s. l.], v. 144, n. 4, p. 357-368, 2012.
- ANGON, P. B.; TAHJIB-UL-ARIF, M.; SAMIN, S. I.; HABIBA, U.; HOSSAIN, M. A.; BRESTIC, M. How do plants respond to combined drought and salinity stress? — A systematic review. **Plants**, [s. l.], v. 11, n. 19, p. 2474, 2022.
- Arecaceae In: Flora e Funga do Brasil.* Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB53>. Acesso em: 13 Dec. 2025.
- ARIF, M. *et al.* Evaluating the impacts of environmental stresses on agriculture in the context of climate resilience. *In: ARVIND, A.; KAUR, G.; SAINI, J. (Eds.). Sustainable agriculture, food security and climate resilience: current challenges and future perspectives.* Singapore: Springer, 2025. Cap. 2, p. 25-47. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-99-9742-9_2. Acesso em: 7 dez. 2025.
- ARMSTRONG, W. Aeration in higher plants. **Advances in Botanical Research**, v. 7, p. 225–332, 1980. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0065-2296\(08\)60089-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2296(08)60089-0). Acesso em: 12 dez. 2025.
- ARZANI, A.; ASHRAF, M. Current perspectives of salt stress tolerance mechanisms and their interrelationships in plants. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 41, n. 3, p. 206–258, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/07352689.2022.2120038>. Acesso em: 11 dez. 2025.
- ASLAM, Muhammad; AHMAD, Khalil; AKHTAR, Muhammad Arslan; MAQBOOL, Muhammad Amir. Salinity stress in crop plants: effects of stress, tolerance mechanisms and breeding strategies for improvement. **Journal of Agriculture and Basic Sciences**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 1-13, 2017.
- BALASUBRAMANIAM, T. *et al.* Plants' Response Mechanisms to Salinity Stress. **Plants**, v.

12, art. 2253, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants12122253>. Acesso em: 13 dez. 2025.

BARRETT-LENNARD, E. G. Restoration of saline land through revegetation. **Agricultural Water Management**, [s. l.], v. 53, n. 1-3, p. 13-26, 2002.

BARROSO, F. R. G. *et al.* Socioeconomic and environmental impacts in the carnaúba production chain by invasions of devil's claw (*Cryptostegia madagascariensis*). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 17, n. 2, p. 1412-1433, 2024.

BEGNA, T.; WAKWEYA, R. B. Climate-smart agriculture: effect of climate change on food security and its mitigation strategies. **International Journal of Agronomy**, v. 2025, ID do artigo 9972955, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2025/9972955>. Acesso em: 6 dez. 2025.

BERNARDO, S. *et al.* **Manual de irrigação**. 9. ed. Viçosa, MG:UFV, 2019. 545 p.

BEZERRA, E. **A salinização de solos aluviais em perímetros irrigados no Estado do Ceará**. Fortaleza: DNOCS, 2006. 136 p.

BRADFORD, K. J. Effects of soil flooding on leaf gas exchange of tomato plants. **Plant Physiology**, [s. l.], v. 73, n. 2, p. 475-479, 1983.

BROSCHAT, T.K.; MEEROW, A. W.; Ornamental Palm Horticulture. 1ed., **Gainesville: University Press of Florida**, 2000. 255p.

CARVALHO, J. N.; F. de; GOMES, J. M. A. Pobreza, emprego e renda na economia da carnaúba. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 40, n. 2, p. 361-378, abr./jun. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.61673/ren.2009.357>. Acesso em: 19 dez. 2025.

CEARÁ. Secretaria do Desenvolvimento Econômico. **Ceará: perfil da cadeia da carnaúba**. Elaboração: José Sergio Baima Magalhães; João Gurgel Romero. Fortaleza, CE: SDE, 2025.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v. 103, p. 551–560, 2009.

CHHABRA, R. **Soil salinity and water quality**. Rotterdam: A. A. Balkema Publishers, 1996. 283 p.

CORREIA, B.; PINTÓ-MARIJUAN, M.; NEVES, L.; BROSSA, R.; DIAS, M. C.; COSTA, A.; CASTRO, B. B.; ARAÚJO, C.; SANTOS, C.; CHAVES, M. M.; PINTO, G. . Water stress and recovery in the performance of two *Eucalyptus globulus* clones: physiological and biochemical profiles. **Physiologia Plantarum**, v. 150, n. 4, p. 580-592, 2014.

CORWIN, D. L. Climate change impacts on soil salinity in agricultural areas. **European Journal of Soil Science**, [s. l.], v. 72, n. 6, p. 842-862, 2021.

COSTA, R. N. T. *et al* Indicadores econômicos da recuperação de um solo sódico em condições de drenagem subterrânea no Vale do Curu, CE. **Irriga**, v. 10, n. 3, p. 272-278, 2005.

CRIMMINS, A. R. *et al.* (Eds.). **Fifth National Climate Assessment**. Washington, DC, USA: U.S. Global Change Research Program, 2023. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/redacao/o-relatorio.htm>. Acesso em: 6 dez. 2025.

DERIBE, H. Review on Effects of Drought Stress on Maize Growth, Yield and Its Management Strategies. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 56, n. 1, p. 123–143, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00103624.2024.2404663>. Acesso em: 11 dez. 2025.

DISASA, K. N.; YAN, H.; ZHANG, J.; WANG, G.; ZHANG, C.; ZHANG, D.; WANG, B.; HAO, B. Comprehensive review of drought characteristics and intensification under climate change: implications for agriculture and water resources. **Journal of Hydrology**, v. 664, part C, 2026.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Sistema de Produção de Informação, 1999. 412p.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 6. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2025. 393 p.

FERREIRA, C. D. S.; PIEDADE, M. T. F.; TINÉ, M. A. S.; ROSSATTO, D. R.; PAROLIN, P.; BUCKERIDGE, M. S. The role of carbohydrates in seed germination and seedling establishment of *Himatanthus sucuuba*, an Amazonian tree with populations adapted to flooded and non-flooded conditions. **Annals of Botany**, [s. l.], v. 104. p. 1111–1119, 2009.

FERREIRA, P. A.; SILVA, E. F. F.; RUIZ, H. A. Aspectos físicos e químicos de solos em regiões áridas e semiáridas. In: GHEYI, H. R. *et al.* (org.). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. 2. ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. cap. 3,

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Water in agriculture: opportunity untapped**. Rome: FAO, 2006.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Status of the World's Soil Resources (SWSR): main report**. Rome: FAO, 2015.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The future of food and agriculture: trends and challenges**. Rome: FAO, 2017. Disponível em: <https://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf>. Acesso em: 6 dez. 2025.

FRANCIOLI, D. *et al.* Flooding causes dramatic compositional shifts and depletion of putative beneficial bacteria on the spring wheat microbiota. **Frontiers in Microbiology**, v. 12, p. 773116, 2021.

GEBRECHORKOS, S. H.; SHEFFIELD, J.; VICENTE-SERRANO, S. M.; FUNK, C.; MIRALLES, D. G.; PENG, J.; DYER, E.; TALIB, J.; BECK, H. E.; SINGER, M. B.; DADSON, S. J. Warming accelerates global drought severity. **Nature**, v. 642, n. 8068, p. 628–635, 2025.

GILL, S. S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress

tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 48, p. 909–930, 2010.

GLENN, E. P.; BROWN, J. J.; BLUMWALD, E. Salt tolerance and crop potential of halophytes. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 18, n. 2, p. 227–255, 1999.

GOVAERTS, R. *et al.* **World Checklist of Areaceae**. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. Kew: 2021.

GRATTAN, S. R.; GRIEVE, C. M. Mineral nutrient acquisition and response by plants in saline environment. *In*: PESSARAKLI, M. (Ed.). **Handbook of Plant and Crop Stress**. New York, NY, USA: Marcel Dekker, Inc., 1999. p. 203–266.

HEGERL, G. C. *et al.* Detecting Greenhouse-Gas-Induced Climate Change with an Optimal Fingerprint Method. **Journal of Climate**, Boston, v. 9, n. 10, p. 2281–2306, 1996. Disponível em: https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/9/10/1520-0442_1996_009_2281_dggicc_2_0_co_2.xml. Acesso em: 6 dez. 2025.

HERZOG, M. *et al.* Mechanisms of waterlogging tolerance in wheat - a review of root and shoot physiology. **Plant, Cell & Environment**, v. 39, n. 5, p. 1052–1066, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/pce.12702>. Acesso em: 12 dez. 2025.

HEUPERMAN, A. F. *et al.* **Biodrainage – Principles, Experiences and Applications**. Knowledge Synthesis Report No. 6. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2002. 79 p.

HOLANDA, S.J.; ARAÚJO, F.S.D.; GALLÃO, M.I.; MEDEIROS FILHO, S. Impacto da salinidade no desenvolvimento e crescimento de mudas de carnaúba (*Copernicia prunifera* (Miller) HE Moore). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola E Ambiental** 2011, 15, 47–52.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Technical Summary**. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2021. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/technical-summary/>. Acesso em: 6 dez. 2025.

JAMIL, A.; RIAZ, S.; ASHRAF, M.; FOOLAD, M. R. Gene expression profiling of plants under salt stress. **Critical Reviews in Plant Sciences**, [s. l.], v. 30, n. 5, p. 435–458, 2011.

JANICK, J.; PAULL, R. E. **The Encyclopedia of Fruit & Nuts**. Cambridge: Cambridge University, 2006. 160p.

KAUR, G.; SINGH, G.; MOTAVALLI, P. P.; NELSON, K. A.; ORLOWSKI, J. M.; GOLDEN, B. R. Impacts and management strategies for crop production in waterlogged or flooded soils: a review. **Agronomy Journal**, [s. l.], v. 112, n. 3, p. 1475–1501, 2020.

KHEIR, A. M.; EL BAROUDY, A.; AIAD, M. A.; ZOGHDAN, M. G.; EL-AZIZ, M. A. A.; ALI, M. G.; FULLEN, M. A. Impacts of rising temperature, carbon dioxide concentration and sea level on wheat production in North Nile delta. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 651, p. 3161–3173, 2019.

KITZKE, E. D.; WILDER, E. A. The cuticle wax of the Cuban palm, *Copernicia hospita*. **Journal of the American Oil Chemists Society**, v. 38, p. 699–700, 1961.

KROHLING, C.A.; EUTRÓPIO, F.J.; BERTOLAZI, A.A.; DOBBSS, L.B.; CAMPOSTRINI, E.; DIAS, T.; RAMOS, A.C. Ecophysiology of iron homeostasis in plants. **Soil Science and Plant Nutrition**, [s. l.], v. 62, p. 39–47, 2016.

KUMAR, P.; SHARMA, P. K. Soil salinity and food security in India. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, [s. l.], v. 4, art. 533781, p. 1-14, 2020.

LACERDA, C. F. de; OLIVEIRA, E. V. de; NEVES, A. L. R.; GHEYI, H. R.; BEZERRA, M. A.; COSTA, C. A. G. Morphophysiological responses and mechanisms of salt tolerance in four ornamental perennial species under tropical climate. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 24, n. 10, p. 656-663, 2020.

LEACH, Kristen A. *et al.* Primary root elongation rate and abscisic acid levels of maize in response to water stress. **Crop Science**, v. 51, n. 1, p. 157-172, 2011.

LEE, S. C.; LUAN, S. ABA signal transduction at the crossroad of biotic and abiotic stress responses. **Plant, Cell & Environment**, v. 35, n. 1, p. 53–60, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2011.02426.x>. Acesso em: 11 dez. 2025.

LEMONS, J. J. S.; BEZERRA, F. N. R.. Interferência da instabilidade pluviométrica na previsão da produção de grãos no semiárido do Ceará, Brasil. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n. 9, p. 15632-15652, set. 2019.

LI, S.; LIBER, K. Influence of different revegetation choices on plant community and soil development nine years after initial planting on a reclaimed coal gob pile in the Shanxi mining area. **Science of the Total Environment**, [s. l.]: Elsevier, v. 618, p. 1314-1323, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.252>. Acesso em: 7 dez. 2025.

LIU, X. Y.; LUO, Y. P.; SHI, Y. C. The stimulating effects of rewatering in subjecting to water stress on leaf area of winter wheat. **Scientia Agricultura Sinica**, Beijing, v. 34, n. 4, p. 422-428, 2001.

LORENZI, H.; SOUZA, H. M. de; MEDEIROS-COSTA, J. T. de.; CERQUEIRA, L. S. C. de; FERREIRA, E. J. L. **Palmeiras Brasileiras e Exóticas Cultivadas** Nova Odessa: Plantarum, 2004. 416p.

LORENZI, H. *et al.* Flora brasileira. Arecaceae (palmeiras). **Instituto Plantarum**, Nova Odessa, 2010.

LORETI, E.; VAN VEEN, H.; PERATA, P. Plant responses to flooding stress. **Current Opinion in Plant Biology**, [s. l.], v. 33, p. 64-71, 2016.

MAES, Wouter H. *et al.* Plant–water relationships and growth strategies of *Jatropha curcas* L. seedlings under different levels of drought stress. **Journal of Arid Environments**, v. 73, n. 10, p. 877-884, 2009.

MANGHWAR, H. *et al.* Waterlogging stress in plants: Unraveling the mechanisms and

impacts on growth, development, and productivity. **Environmental and Experimental Botany**, p. 105824, 2024.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Seca no nordeste brasileiro: passado, presente e futuro. **Teor. Appl. Climatol** , v. 129 , p. 1189–1200, 2017.

MEDEIROS, J.F. de. **Qualidade de água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo GAT nos Estados do RN, PB e CE**. Campina Grande: UFPB, 173p. Dissertação Mestrado, 1992.

MEDEIROS, W. J. F.; OLIVEIRA, F. I. F.; LACERDA, C. F.; SOUSA, C. H. C.; CAVALCANTE, L. F.; SILVA, A. R. A.; FERREIRA, J. F. S. Isolated and combined effects of soil salinity and waterlogging in seedlings of ‘Green Dwarf’ coconut. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 39, n. 4, p. 1459-1468, 2018.

MEDEIROS, W. J. F. **Impactos de fatores do solo e da competição com *Cryptostegia madagascariensis* sobre as respostas ecofisiológicas de plantas jovens e adultas de *Copernicia prunifera***. 2021. 109 f. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

MEDEIROS, W. J. F. *et al.* The ecophysiological responses of *Copernicia prunifera* palm trees to soil constraints and competition with invasive *Cryptostegia madagascariensis* in tropical dryland. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 45, n. 3, p. 41, 2023.

MESSCHMIDT, A. A.; BIANCHI, V. J.; ZANANDREA, I.; MARTINAZZO, E. G.; RADMANN, E. B.; BACARIN, M. A. Gas exchange and antioxidant activity of *Prunus* spp. rootstocks submitted to drought and waterlogging. **Revista de la Facultad de Agronomía**, La Plata, v. 114, n. 1, p. 71-81, 2015.

MORO, M. F.; MACEDO, M. B.; MOURA-FÉ, M. M.; CASTRO, A. S. F.; COSTA, R. C. Vegetação, unidades fitoecológicas e diversidade paisagística do estado do Ceará. **Rodriguésia**, v.66, p.717-743, 2015.

MUNNS, R.; TERMAAT, A. Whole-plant responses to salinity. **Functional Plant Biology**, v. 13, p. 143–160, 1986. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/PP9860143>. Acesso em: 13 dez. 2025.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 651–681, 2008.

MUSTROPH, A. *et al.* Cross-kingdom comparison of transcriptomic adjustments to low-oxygen stress highlights conserved and plant-specific responses. **Plant Physiology**, v. 152, p. 1484–1500, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.109.151845>. Acesso em: 12 dez. 2025.

MYERS, B. J.; THEIVEYANATHAN, S.; O'LOUGHLIN, E. M.; PRENDERGAST, A. K. Physiological responses of *Eucalyptus grandis* to soil water deficits. **Tree Physiology**, v. 18, n. 1, p. 35-43, 1998.

NEUMANN, P. M. Coping mechanisms for crop plants in drought-prone environments.

Annals of Botany, [s. l.], v. 101, n. 7, p. 901-907, 2008.

NGUMBI, E. N. Could flooding undermine progress in building climate resilient crops? **Trends in Plant Science**, 2024.

OLIVEIRA, A. B.; MEDEIROS FILHO, S.; BEZERRA, A. M. E. Efeito do tamanho da semente, substrato e ambiente na produção de mudas de *Copernicia hospita* Martius. **Ciência e Agrotécnica**, Lavras, v. 33, n. 6, p. 1527-1533, 2009.

OLIVEIRA PAULA, E. A. *et al.* Propriedades mecânicas do talo de carnaúba (*Copernicia prunifera*) obtidas através de ensaios de tração. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 16, p. 122–125, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.30969/acsa.v16i2.1554>. Acesso em: 14 dez. 2025.

ORZECZOWSKA, A. *et al.* Thermal analysis of stomatal response under salinity and high light. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, art. 4663, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms22094663>. Acesso em: 13 dez. 2025.

PAMPANA, S.; MASONI, A.; ARDUINI, I. Grain yield of durum wheat as affected by waterlogging at tillering. **Cereal Research Communications**, [s. l.], v. 44, n. 4, p. 706-716, 2016.

PAZ, A.; CASTANHEIRA, N.; SOARES, P. M.; FARZAMIAN, M.; PAZ, M. C.; GONÇALVES, M. C. O impacto das alterações climáticas na salinidade do solo: caso de estudo de uma pastagem mediterrânica com água subterrânea salina. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 45, n. 4, p. 532-536, 2022

POLASH, M. A. S.; SAKIL, M. A.; HOSSAIN, M. A. Plants responses and their physiological and biochemical defense mechanisms against salinity: A review. **Tropical Plant Research**, [s. l.], v. 6, n. 2, p. 250-274, 2019.

PEREIRA, D. S.; SOUSA, J. E. S.; PEREIRA, M. DE S.; GONÇALVES, N. R.; BEZERRA, A. M. E. Influência da maturação dos frutos na emergência e crescimento inicial de *Copernicia hospita* Mart. – Arecaceae. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 45, n. 1, p. 214-220, jan-mar, 2014b.

PEREIRA, D. S. *et al.* Emergence and initial growth of *Copernicia prunifera* (Arecaceae) as a function of fruit maturation. **Journal of Seed Science**, v. 36, p. 9–14, 2014a. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2317-1545v36n1893>. Acesso em: 14 dez. 2025.

QADIR, M.; OSTER, J. D. Crop and irrigation management strategies for saline-sodic soils and waters aimed at environmentally sustainable agriculture. **Science of the Total Environment**, v. 323, p. 1–19, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2003.10.012>. Acesso em: 14 dez. 2025.

QIN, C. *et al.* Beneficial role of acetylcholine in chlorophyll metabolism and photosynthetic gas exchange in *Nicotiana benthamiana* seedlings under salinity stress. **Plant Biology**, v. 22, p. 357–365, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/plb.13076>. Acesso em: 13 dez. 2025.

- REISCH, R. D. N. O potencial brasileiro para gerar créditos de carbono através da conservação florestal, reflorestamento e produção agrícola sustentável. **Humboldt - Revista de Geografia Física e Meio Ambiente**, [s. l.], v. 1, n. 3, e61662, p. 1-15, 2021.
- REN, B.; ZHANG, J.; DONG, S.; LIU, P.; ZHAO, B. Effects of waterlogging on leaf mesophyll cell ultrastructure and photosynthetic characteristics of summer maize. **PLoS One**, [s. l.], v. 11, n. 9, p. 1-22, 2016.
- RENGASAMY, P. Soil processes affecting crop production in salt-affected soils. **Functional Plant Biology**, v. 37, n. 7, p. 613–620, 2010.
- RENGASAMY, P.; DE LACERDA, C. F.; GHEYI, H. R. Salinity, Sodicity and Alkalinity. In: OLIVEIRA, T. S. de; BELL, R. W. (eds.). **Subsoil Constraints for Crop Production: a guide to diagnosis and management**. [s. l.]: Springer, 2022. p. 115-139.
- RIBEIRO, M. R.; FREIRE, F. J.; MONTENEGRO, A. A. A. Solos halomórficos no Brasil: ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável. In: CURI, N. *et al.* (ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v. 3, p. 165-208.
- RIBEIRO, M. R.; RIBEIRO FILHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T. Origem e classificação dos solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R. *et al.* (org.). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. 2. ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. cap. 2, p. 9-16.
- ROCHA, E. L. B.; ARAÚJO, P. C. D. Initial growth of carnauba (*Copernicia prunifera*) progenies under saline water. **Australian Journal of Crop Science**, [s. l.], v. 13, n. 4, p. 556-564, 2019.
- RODRIGUES, L.C.; SILVA, A.A.D.; SILVA, R.B.D.; OLIVEIRA, A.F.M.D.; ANDRADE, L.D.H.C. Conhecimento e uso da carnaúba e da algaroba em comunidades do Sertão do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil. **Revista Árvore** 2013, 37, 451–457
- RODRIGUES, H. J. B.; COSTA, R. F.; RIBEIRO, J. B. M.; SILVA FILHO, J. D. C.; RUIVO, M. L. P.; JÚNIOR, J. A. Variabilidade sazonal da condutância estomática em um ecossistema de manguezal amazônico e suas relações com variáveis meteorológicas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [s. l.], v. 26, n. 2, p. 189-196, 2011.
- RUEHR, N. K.; GROTE, R.; MAYR, S.; ARNETH, A. Beyond the extreme: recovery of carbon and water relations in woody plants following heat and drought stress. **Tree Physiology**, Oxford, v. 39, n. 8, p. 1285-1299, ago. 2019.
- SAIRAM, R. K.; DHARMAR, K.; CHINNUSAMY, V.; MEENA, R. C. Waterlogging-induced increase in sugar mobilization, fermentation, and related gene expression in the roots of mung bean (*Vigna radiata*). **Journal of Plant Physiology**, [s. l.], v. 166, n. 6, p. 602-616, 2009.
- SASIDHARAN, R. *et al.* Community recommendations on terminology and procedures used in flooding and low oxygen stress research. **New Phytologist**, v. 214, p. 1403–1407, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/nph.14519>. Acesso em: 12 dez. 2025.
- SANGTARASH, M. H. *et al.* Differential sensitivity of canola (*Brassica napus*) seedlings to

ultraviolet-B radiation, water stress and abscisic acid. **Environmental and Experimental Botany**, v. 66, n. 2, p. 212-219, 2009.

SANTOS, K. C. F. *et al.* Biological activity in saline-sodic soil saturated by water under cultivation of *Atriplex nummularia* L. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 3, p. 619-627, 2011.

SCHMIDT, F.; FORTES, M. Á.; WESZ, J.; BUSS, G. L.; SOUSA, R. O. Impacto do manejo da água na toxidez por ferro no arroz irrigado por alagamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 37, n. 5, p. 1226-1235, 2013.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v.11, p.3733-3740, 2016.

SINGH, A. Soil salinization and waterlogging: A threat to environment and agricultural sustainability. **Ecological Indicators**, [s. l.], v. 57, p. 128-130, 2015a.

SINGH, A. Poor quality water utilization for agricultural production: an environmental perspective. **Land Use Policy**, v. 43, p. 259–262, 2015b.

SINGH, D. *et al.* Transcriptome analysis of lentil (*Lens culinaris* Medikus) in response to seedling drought stress. **BMC Genomics**, v. 18, art. 206, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12864-017-3596-7>. Acesso em: 7 dez. 2025.

SIOPONGCO, J. D. L. C.; YAMAUCHI, A.; SALEKDEH, H.; BENNETT, J.; WADE, L. J. Growth and water use response of doubledhaploid rice lines to drought and rewatering during the vegetative stage. **Plant Production Science**, [s. l.], v. 9, n. 2, p. 141-151, 2006.

SOFO, A.; TUZIO, A. C.; DICHIO, B.; XILOYANNIS, C. Influence of water deficit and rewatering on the components of the ascorbate–glutathione cycle in four interspecific *Prunus* hybrids. **Plant Science**, [s. l.], v. 169, n. 2, p. 403-412, 2005.

SOUSA, R. F.; SILVA, R. A. R.; ROCHA, T. G. F.; SANTANA, J. A. S.; VIEIRA, F. A. Etnoecologia e etnobotânica da palmeira carnaúba no semiárido brasileiro. **Cerne**, v.21, n.4, p.587-594, 2015.

SUN, L. *et al.* AtRbohD functions downstream of ROP2 and positively regulates waterlogging response in Arabidopsis. **Plant Signaling & Behavior**, v. 13, n. 9. 2018.

TAHJIB-UL-ARIF, M.; HASAN, M. T.; RAHMAN, M. A.; NURUZZAMAN, M.; RAHMAN, A. M. S.; HASANUZZAMAN, M.; HAQUE, M. R.; HOSSAIN, M. A.; LATEF, A. A. H. A.; MURATA, Y.; BRESTIC, M. Plant response to combined salinity and waterlogging stress: current research progress and future prospects. **Plant Stress**, [s. l.], v. 7, art. 100137, p. 1-18, 2023.

TAIZ, L; ZEIGER, E; MOLLER, IM; MURPHY, A. 2024. **Fundamentos de Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre, BR: Artmed. 864p.

TOPA, M. A.; CHEESEMAN, J. M. Effects of root hypoxia and low P supply on relative growth, carbon dioxide exchange rates and carbon partitioning in *Pinus serotina* seedlings.

Physiologia Plantarum, [s. l.], v. 86, n. 1, p. 136-144, 1992.

UMEZAWA, T.; FUJITA, M.; FUJITA, Y.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K.; SHINOZAKI, K. Engineering drought tolerance in plants: discovering and tailoring genes to unlock the future. **Current Opinion in Biotechnology**, [s. l.], v. 17, n. 2, p. 113-122, 2006.

UNITED STATES SALINITY LABORATORY STAFF (USSL STAFF). **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: U.S. Department of Agriculture, 1954. 160 p. (Handbook, 60).

VALIPOUR, M. Drainage, waterlogging, and salinity. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 60, n. 12, p. 1625–1640, 2014.

VIANA, E. O.; BEZERRA, A. M. E.; PEREIRA, D. S.; LACERDA, C. F.; MEDEIROS FILHO, S. Crescimento e qualidade de mudas de três espécies de *Copernicia* sob diferentes condições de sombreamento. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 32, n. 4, p. 2094-2112, 2022.

WANG, L. *et al.* The effects of plastic-film mulch on the grain yield and root biomass of maize vary with cultivar in a cold semiarid environment. **Field Crops Research**, v. 216, p. 89-99, 2018.

WANG, P. *et al.* Chitin/Ca solvent-based conductive and stretchable organohydrogel with anti-freezing and anti-drying. **Carbohydrate Polymers**, v. 297, ID do artigo 119992, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119992>. Acesso em: 7 dez. 2025.

XU, Z. Z.; ZHOU, G. S. Photosynthetic recovery of a perennial grass *Leymus chinensis* after different periods of soil drought. **Plant Production Science**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 277-285, 2007.

XU, Z.; ZHOU, G.; SHIMIZU, H. Plant responses to drought and rewatering. **Plant Signaling & Behavior**, [s. l.], v. 5, n. 6, p. 649-654, 2010.

YUVARAJ, Muthuraman *et al.* Soil salinity and its management. In: TAWFIK, Eman (org.). **Soil Moisture**. London: IntechOpen, 2020. cap. 6, p. 73-88.

ZHENG, C. F. *et al.* Effects of salt and waterlogging stresses and their combination on leaf photosynthesis, chloroplast ATP synthesis, and antioxidant capacity in wheat. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 195, n. 6, p. 427–441, 2009.

ZHANG, R.; YUE, Z.; CHEN, X.; CHEN, Y.; LI, J.; XU, W. Effects of waterlogging at different growth stages on the photosynthetic characteristics and grain yield of sorghum (*Sorghum bicolor* L.). **Scientific Reports**, [s. l.], v. 13, n. 1, art. 7212, p. 1-13, 2023.

ZHU, J.-K. Salt and drought stress signal transduction in plants. **Annual Review of Plant Biology**, [s. l.], v. 53, p. 247-273, 2002.

APÊNDICE A – CROQUI EXPERIMENTAL

