



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**



TESE DE DOUTORADO

**ESTRATÉGIAS DE MANEJO DE IRRIGAÇÃO COM ÁGUAS SALINIZADAS PARA
PRODUÇÃO DA LIMEIRA-ÁCIDA 'TAHITI' EM DIFERENTES PORTA-ENXERTOS**

BENEDITO FERREIRA BONIFÁCIO

**Campina Grande – Paraíba
Dezembro de 2023**

BENEDITO FERREIRA BONIFÁCIO
Engenheiro Agrônomo

**ESTRATÉGIAS DE MANEJO DE IRRIGAÇÃO COM ÁGUAS SALINIZADAS PARA
PRODUÇÃO DA LIMEIRA-ÁCIDA ‘TAHITI’ EM DIFERENTES PORTA-ENXERTOS**

Tese apresentada à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Irrigação e Drenagem, do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande - Campus de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola.

Orientadores: Prof. Ph. D. Hugo Orlando Carvalho Guerra
Prof. D. Sc. Pedro Dantas Fernandes

Campina Grande – Paraíba
Dezembro de 2023

B715e

Bonifácio, Benedito Ferreira.

Estratégias de manejo de irrigação com águas salinizadas para produção da limeira-ácida 'tahiti' em diferentes porta-enxertos / Benedito Ferreira Bonifácio. – Campina Grande, 2024.

79 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2024.

"Orientação: Prof. Dr. Hugo Orlando Carvalho Guerra, Prof. Dr. Pedro Dantas Fernandes".

Referências.

1. Irrigação e Drenagem. 2. Citricultura Brasileira. 3. Limão – Cultura. 4. Estresse Salino. 5. *Citrus spp* - Citrandarins 'Indio' - 'San Diego'. 6. Híbrido TSKC x CTARG-019. 7. Limoeiro Cravo Santa Cruz e BRS 'Bravo' – [TSKC x (LCR x TR) – 059. 8. Trocas Gasosas. I. Guerra, Hugo Orlando Carvalho. II. Fernandes, Pedro Dantas. III. Título.

CDU 631.62/.67:634.334(043)



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA TESE

BENEDITO FERREIRA BONIFÁCIO

ESTRATÉGIAS DE MANEJO DE IRRIGAÇÃO COM ÁGUAS SALINIZADAS PARA
PRODUÇÃO DA LIMEIRA-ÁCIDA 'TAHITI' EM DIFERENTES PORTA-ENXERTOS

BANCA EXAMINADORA:

PARECER:

Prof. Ph. D. Hugo Orlando Carvalho Guerra – Orientador
UAEA/CTRN/UFCG

Prof. D. Sc. Pedro Dantas Fernandes – Orientador
UAEA/CTRN/UFCG

Prof. D. Sc. José Dantas Neto – Examinador
UAEA/CTRN/UFCG

Prof^a. D. Sc. Vera Lúcia Antunes de Lima – Examinadora
UAEA/CTRN/UFCG

D.Sc. Luderlândio Andrade da Silva – Examinador
UAEA/CTRN/UFCG/PDJ/CNPq

Prof. D. Sc. Marcos Eric Barbosa Brito – Examinador
DEAS/CCAS/UFS

**Campina Grande – PB
Dezembro de 2023**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA AGRICOLA
Rua Aprígio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES

BENEDITO FERREIRA BONIFACIO

"ESTRATÉGIAS DE MANEJO DE IRRIGAÇÃO COM ÁGUAS SALINIZADAS PARA PRODUÇÃO DA LIMEIRA-ÁCIDA 'TAHITI' EM DIFERENTES PORTA-ENXERTOS"

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola como pré-requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola.

Aprovada em: 05/12/2023

Pedro Dantas Fernandes - Orientador(a) - PPGEA/CTRNU/UFMG

Jose Dantas Neto - Examinador(a) Interno(a) - PPGEA/CTRNU/UFMG

Vera Lucia Antunes de Lima - Examinador(a) Interno(a) - PPGEA/CTRNU/UFMG;

Luderlândio de Andrade Silva - Examinador(a) Externo(a) - PDJ/CNPq/UFMG

Marcos Eric Barbosa Brito - Examinador(a) Externo(a) - NEAS/CCAS/UFMG



Documento assinado eletronicamente por **LUDERLANDIO DE ANDRADE SILVA, Usuário Externo**, em 06/12/2023, às 12:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **PEDRO DANTAS FERNANDES, Usuário Externo**, em 06/12/2023, às 19:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOSÉ DANTAS NETO, Usuário Externo**, em 14/12/2023, às 11:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marcos Eric Barbosa Brito, Usuário Externo**, em 16/12/2023, às 11:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **VERA LUCIA ANTUNES DE LIMA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 14/02/2024, às 16:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **4046223** e o código CRC **49E815CF**.

*A memória dos meus pais, Manoel Bonifácio
Sobrinho e Francisca Ferreira dos Santos, pela
educação, formação do meu caráter e por
acreditarem em mim.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Gratidão a Deus, que me protegeu e conduziu para essa vitória;

À minha esposa, Aldineide Alves de Oliveira, e às nossas filhas, Luna Oliveira Bonifácio e Luísa Oliveira Bonifácio, pela compreensão nos momentos de ausência e estímulo constante;

Aos meus irmãos, Ana, Adriana, Antônio, Francisco, Jorgiana, Luciana e Maria, pelo incentivo e reconhecimento da importância dessa conquista;

Aos demais familiares que sempre acreditaram em mim;

Aos professores, Hugo Orlando Carvalho Guerra e Pedro Dantas Fernandes, pela orientação, paciência, confiança e ensinamentos durante a pesquisa;

Aos professores: José Dantas Neto, Luderlandio Andrade da Silva, Marcos Eric Barbosa de Brito e Vera Lúcia Antunes de Lima, por se disporem à avaliação do trabalho e pelas valiosas sugestões para melhoria.

À Empresa Paraibana de Pesquisa, Extensão Rural e Regularização Fundiária, notadamente a Francisco de Assis Bernardino, que foi fundamental para realização deste curso;

À Universidade Federal de Campina Grande, em particular, à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do curso de doutorado e, ao Centro de Ciência e Tecnologia Agroalimentar, pela concessão do espaço para realizar a pesquisa;

À Coordenação e aos professores da Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pelos ensinamentos e excelente convivência durante o transcorrer do curso;

Aos funcionários da Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, em especial, a Roberto Roman, pelo apoio e paciência;

Ao Centro Nacional de Pesquisa Mandioca e Fruticultura Tropical, pelas sementes;

Aos amigos do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFCG, Francisco de Assis, Francisco Jean, Mirandy, Antônio Ramos, André Alisson, Robson e Marcus Damião pelo apoio, trocas de saberes e experiências durante o curso.

Aos amigos Allan Keis, Reynaldo Teodoro e Evandro Manoel, pela colaboração, ensinamentos e incentivo;

A Luderlandio Andrade da Silva, que se tornou mais que um amigo, um irmão que a vida me presenteou. Agradeço pela parceria, orientação, paciência e apoio durante a pesquisa.

BONIFÁCIO, B. F. **ESTRATÉGIAS DE MANEJO DE IRRIGAÇÃO COM ÁGUAS SALINIZADAS PARA PRODUÇÃO DA LIMEIRA-ÁCIDA ‘TAHITI’ EM DIFERENTES PORTA-ENXERTOS**. 2023. 79 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande, PB.

RESUMO

A citricultura brasileira ocupa posição de relevância no agronegócio mundial, com destaque para a produção e exportação de sucos, todavia, a irregularidade pluviométrica limita a produção, em especial na região Nordeste, onde se tem o menor índice de produtividade, sendo necessário usar a irrigação. Entretanto, na região, a disponibilidade hídrica é limitada em termos quantitativos e qualitativos, remetendo a se adotar práticas de manejo da água para resolver o problema da alta concentração de sais. Assim, objetivou-se, neste trabalho, avaliar o uso de diferentes estratégias de irrigação com águas salinizadas no crescimento e em aspectos fisiológicos e de produção de combinações da limeira-ácida ‘Tahiti’, com diferentes porta-enxertos de citros, durante o primeiro ano de produção. O experimento foi realizado em área, a céu aberto, do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA/UFCG), Campus de Pombal–PB, usando lisímetros de drenagem com capacidade de 150 L. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com 4 repetições, esquema fatorial 5 x 4, referente a plantas de limeira-ácida ‘Tahiti’ enxertadas em cinco genótipos de citros. As plantas enxertadas foram submetidas a quatro estratégias de irrigação (E) com águas de CEa de 0,3 dS m⁻¹ e 3,0 dS m⁻¹, a saber: E₁ = irrigação com água de 0,3 dS m⁻¹, do semeio ao final do primeiro ano de produção das plantas; E₂ = irrigação com água de 3,0 dS m⁻¹, com início aos 120 dias após a enxertia até o final do primeiro ano de produção; E₃ = irrigação com alternância de água de 0,3 dS m⁻¹, durante dois meses e irrigação com água de 3,0 dS m⁻¹, por mais dois meses, com início aos 120 dias após a enxertia até o final do primeiro ano de produção; E₄ = irrigação com alternância de água de 0,3 dS m⁻¹ durante quatro meses, seguidos de irrigação com água de 3,0 dS m⁻¹, por mais quatro meses, com início aos 120 dias após a enxertia, até o final do primeiro ano de produção das plantas. As combinações, ‘Tahiti’/porta-enxertos cítricos, foram avaliadas quanto ao crescimento, à fisiologia, à produção e produtividade da água. A combinação ‘Tahiti’/TSKC x CTARG-019 mesmo apresentando a maior fotossíntese, foi a pior em crescimento e produção, independentemente da estratégia de irrigação utilizada; a salinidade da água de irrigação reduz o crescimento das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos, principalmente, sob condutividade elétrica de 3,0 dS m⁻¹, a partir da enxertia até o final do primeiro ano de produção (E₂); as combinações ‘Tahiti’ genótipos cítricos sob estratégias de irrigação com alternância de água salinizada (E₃ e E₄) proporciona crescimento superior às combinações sob manejo da irrigação E₂; o aumento da fotossíntese não reflete em ganhos de produção dos genótipos cítricos; a eficiência fotoquímica, o teor de pigmentos fotossintéticos e o extravasamento de eletrólitos não são alterados pelas estratégias de irrigação com água salinizadas; a combinação ‘Tahiti’/limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ é a mais produtiva em número de frutos por planta, em todas as estratégias de manejo da irrigação e, em produção total de fruto por planta, nas estratégias de irrigação E₁ e E₃; a combinação de ‘Tahiti’/limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’, sob estratégia de manejo da irrigação E₂, produz frutos com maior teor de sólidos solúveis; as combinações ‘Tahiti’ / limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ e com TSKC x (LCR x TR) – 059 (BRS ‘Bravo’) são eficientes em relação à produtividade da água sob estratégias de irrigação E₃ e E₄, respectivamente.

Palavras-chave: *Citrus spp*; citrandarins ‘Indio’ e ‘San Diego’; híbrido TSKC x CTARG-019; limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’; BRS ‘Bravo’ – [TSKC x (LCR x TR) – 059; trocas gasosas; estresse salino.

BONIFACIO, B. F. **IRRIGATION MANAGEMENT STRATEGIES WITH SALINE WATER FOR THE PRODUCTION OF THE ‘TAHITI’ ACID LIME TREE ON DIFFERENT ROOTSTOCKS.** 2023. 79 p. Thesis (Doctorate in Agricultural Engineering) – Federal University of Campina Grande, Center for Technology and Natural Resources. Campina Grande, PB.

ABSTRACT

Brazilian citrus farming holds a significant position in global agribusiness, particularly for its production and export of juices. However, irregular rainfall limits production, especially in the Northeast region, where productivity is the lowest, thus necessitating irrigation. In this region, however, water availability is limited in both quantity and quality, prompting the need to adopt water management practices to address the high salt concentration problem. This study aimed to evaluate the use of different saline water irrigation strategies on the growth, physiological aspects, and production of combinations of the 'Tahiti' acid lime tree grafted onto different citrus rootstocks during the first year of production. The experiment was conducted in an open-air area at the Center for Agro-food Sciences and Technology (CCTA/UFCG), Pombal Campus, using 150 L drainage lysimeters. The experimental design was in randomized blocks with four replications in a 5 x 4 factorial scheme, for 'Tahiti' acid lime plants grafted onto five citrus genotypes. The grafted plants were subjected to four irrigation strategies (E) with water of electrical conductivity (ECa) levels of 0.3 dS m⁻¹ and 3.0 dS m⁻¹, as follows: E₁ = irrigation with water of 0.3 dS m⁻¹, from sowing until the end of the first year of plant production; E₂ = irrigation with water of 3.0 dS m⁻¹, starting 120 days after grafting and continuing until the end of the first year of production; E₃ = alternating irrigation with water of 0.3 dS m⁻¹ for two months and 3.0 dS m⁻¹ for another two months, beginning 120 days after grafting until the end of the first production year; E₄ = alternating irrigation with water of 0.3 dS m⁻¹ for four months, followed by 3.0 dS m⁻¹ for another four months, starting 120 days after grafting until the end of the first production year. The 'Tahiti'/citrus rootstock combinations were evaluated for growth, physiology, production, and water productivity. The 'Tahiti'/TSKC x CTARG-019 combination, despite showing the highest photosynthesis rate, exhibited the poorest growth and production, regardless of the irrigation strategy used. Salinity in irrigation water reduced growth in 'Tahiti'/citrus genotype combinations, especially under the electrical conductivity of 3.0 dS m⁻¹, from grafting until the end of the first production year (E₂). The 'Tahiti' citrus genotype combinations under irrigation strategies with alternating saline water (E₃ and E₄) showed superior growth compared to those under E₂ irrigation management. The increase in photosynthesis did not translate into production gains for citrus genotypes. Photochemical efficiency, photosynthetic pigment content, and electrolyte leakage were not affected by saline water irrigation strategies. The 'Tahiti'/'Cravo Santa Cruz' lemon tree combination was the most productive in terms of fruit count per plant across all irrigation management strategies and in total fruit production per plant in the E₁ and E₃ irrigation strategies. The 'Tahiti'/'Cravo Santa Cruz' lemon tree combination, under the E₂ irrigation management strategy, produced fruits with higher soluble solids content. The 'Tahiti'/'Cravo Santa Cruz' lemon tree combination and the TSKC x (LCR x TR) – 059 (BRS 'Bravo') were efficient in water productivity under E₃ and E₄ irrigation strategies, respectively.

Keywords: *Citrus spp*; citrandarins 'Indio' and 'San Diego'; hybrid TSKC x CTARG-019; lime 'Rangpur Santa Cruz'; BRS 'Bravo' – [TSKC x (LCR x TR) – 059; gas exchange; salt stress.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação dos cinco porta-enxertos utilizados para enxertia da limeira ácida ‘Tahiti’[<i>C.×latifolia</i> (Yu. Tanaka) Tanaka] provenientes do programa de melhoramento genético de Citros (PMG-Citros) da Embrapa Mandioca e Fruticultura.....	28
Tabela 2 – Características físicas e químicas do solo e químicas do esterco utilizado no experimento.....	30
Tabela 3 – Resumo da análise de variância relativo ao diâmetro do caule do porta-enxerto (DC_{PE}), diâmetro do caule acima da enxertia (DC_E), relação de compatibilidade de enxertia (DC_{PE}/DC_E), e diâmetro médio dos ramos secundários (DMRS) das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos aos 360 dias após início da aplicação das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023.....	42
Tabela 4 – Resumo da análise de variância para a concentração interna de CO_2 (Ci), transpiração (E), condutância estomática (gs), taxa de assimilação de CO_2 (A), eficiência intrínseca de uso da água (A/g_s) e eficiência instantânea da carboxilação (EiCI), das combinações lima ácida ‘Tahiti’ / genótipos cítricos aos 360 dias após o início da aplicação das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal/PB, 2023.....	48
Tabela 5 – Resumo da análise de variância relativa à fluorescência inicial (F_o), fluorescência máxima (F_m), fluorescência variável (F_v) e eficiência quântica fotoquímica máxima do Fotossistema II (F_v/F_m) das combinações ‘Tahiti’/ genótipos cítricos aos 360 dias após início da aplicação das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023.....	56
Tabela 6 – Resumo da análise de variância referente ao protocolo Yeld para a Fluorescência inicial antes do pulso de saturação (F'), fluorescência máxima após adaptação à luz saturante (F_m'), eficiência quântica do fotossistema II (Y_{II}), taxa de transporte de elétrons (ETR), fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado (F_o'), o rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada (Y_{NPQ}), o rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada (Y_{NO}) e coeficiente de extinção fotoquímico pelo modelo lake (qL), das combinações ‘Tahiti’/ genótipos cítricos aos 360 dias após início da aplicação das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023.....	59
Tabela 7 – Resumo da análise de variância para porcentagem de extravasamento de eletrólitos (%EE), clorofila <i>a</i> (Cl <i>a</i>), clorofila <i>b</i> (Cl <i>b</i>), relação clorofila <i>a</i> e <i>b</i> (<i>a/b</i>), clorofila total (Cl t) e carotenoides (Car) das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos aos 360 dias após início da aplicação das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023.....	60
Tabela 8 – Resumo da análise de variância para número de frutos por planta (NFP), peso total de frutos por planta (PTFPP) ($g\ planta^{-1}$), comprimento longitudinal (CL), comprimento transversal (CT), número de lóculos (NLOC), potencial hidrogeniônico (pH), sólidos solúveis totais (SST) de frutos, produtividade da água (PA) das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos durante o primeiro ano de produção sob estratégias de manejo de irrigação com água salinizada, Pombal/PB, 2023.....	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Imagem aérea do experimento relativo ao uso de estratégias de irrigação com águas salinizadas em combinações copa/porta-enxerto de citros cultivados em lisímetros no CCTA/UFCEG, Campus II, em Pombal – PB.....	26
Figura 2 – Precipitação pluviométrica (A), temperaturas máximas e mínimas (B), umidades relativas do ar máximas e mínimas (C), no período de setembro de 2019 a outubro de 2021, Pombal – PB, 2023.....	27
Figura 3 – Formação de porta-enxerto de citros em tubetes de 220 mL (A), porta-enxerto de citros em lisímetros de 150 L, com coletor de água de drenagem e cobertura morta (B), Pombal – PB, 2023.....	29
Figura 4 – Enxertia (A) e cobertura com sombrite 50% (B) de combinações copa/porta-enxerto de citros, Pombal – PB, 2023.....	32
Figura 5 – Planta conduzida em haste única podada a 50 cm de altura (A), distribuição de ramos laterais de combinações copa/porta-enxerto de citros (B), Pombal – PB, 2023...	32
Figura 6 – Medição de diâmetro do caule abaixo da enxertia (A), acima da enxertia (B) e ramos secundários (C) de combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos, Pombal – PB, 2023.	36
Figura 7 – Avaliação das trocas gasosas nas combinações copa/porta-enxerto de citros utilizando analisador de gás carbônico a infravermelho portátil (IRGA), modelo LCPro + Portable Photosynthesis System® (ADC Bio Scientific Limited, UK), Pombal – PB, 2023.....	37
Figura 8 – Avaliação da eficiência fotoquímica através da fluorescência da clorofila <i>a</i> , nas combinações copa/porta-enxerto de citros utilizando Fluorômetro de pulso modulado modelo OS5p da Opti Science, Pombal – PB, 2023.....	38
Figura 9 – Peso de frutos (A) e medição do diâmetro longitudinal (B) de frutos de limeira ácida ‘Tahiti’, enxertada em diferentes porta-enxerto e estratégias de irrigação com água salinizada, Pombal – PB, 2023.....	41
Figura 10 – Diâmetro do caule do porta-enxerto (DC_{PE}) das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos aos 360 dias após início da aplicação das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023.....	43
Figura 11 – Diâmetro do caule acima da enxertia (DC_E) das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos aos 360 dias após início da aplicação das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023.....	44
Figura 12 – Compatibilidade de enxertia (DC_{PE}/DC_E) das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos aos 360 dias após início da aplicação das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023.....	45
Figura 13 – Diâmetro médio dos ramos secundários (DMRS) das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos aos 360 dias após início da aplicação das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023.....	47
Figura 14 – Concentração interna de CO_2 (C_i) das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos aos 360 dias após início da aplicação das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023.....	49
Figura 15 – Transpiração (E) das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos aos 360 dias após início da aplicação das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023.....	50
Figura 16 – Condutância estomática (g_s) das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos aos 360 dias após início da aplicação das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023.....	51

Figura 17 – Taxa de assimilação de CO ₂ (A) das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos aos 360 dias após início da aplicação das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023.....	53
Figura 18 – Eficiência intrínseca de uso de água (A/g _s) das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos aos 360 dias após início da aplicação das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023.....	54
Figura 19 – Eficiência instantânea de carboxilação (EiCi) das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos aos 360 dias após início da aplicação das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023.....	55
Figura 20 – Fluorescência inicial (Fo) (A) e eficiência quântica do PSII (Fv/Fm) das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos aos 360 dias após início da aplicação das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023.....	57
Figura 21 – Fluorescência inicial (Fo) (A), fluorescência variável (Fv) (B) e eficiência quântica do PSII (Fv/Fm) (C) das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos aos 360 dias após início da aplicação das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023.....	58
Figura 22 – Carotenoides foliares das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos aos 360 dias após início da aplicação das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023.....	61
Figura 23 – Número de frutos por planta (A), peso médio de fruto por planta (B) das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos durante o primeiro ano de produção, em função das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023.....	63
Figura 24 – Comprimento longitudinal (A) e transversal (B) de frutos das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos durante o primeiro ano de produção, sob estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023.....	65
Figura 25 – Comprimento longitudinal (A) e transversal (B) de frutos das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos durante o primeiro ano de produção, sob estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023.....	65
Figura 26 – Teor de sólidos solúveis totais (SST) de frutos das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos durante o primeiro ano de produção, sob estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023.....	66
Figura 27 – Potencial hidrogeniônico (pH) de frutos das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos durante o primeiro ano de produção, sob estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023.....	67
Figura 28 – Produtividade da água (PA) de combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos referente ao primeiro ano de produção sob estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023.....	68

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 OBJETIVO GERAL.....	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3 REVISÃO DE LITERATURA	17
3.1 ÁGUA NA AGRICULTURA.....	17
3.2 ASPECTOS GERAIS DA CITRICULTURA.....	18
3.3 COMBINAÇÃO COPA/PORTA-ENXERTO DE CITROS.....	20
3.4 SALINIDADE EM CITROS.....	22
3.5 ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO COM ÁGUA SALINA.....	23
4 MATERIAL E MÉTODOS	26
4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	26
4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS.....	28
4.3 FORMAÇÃO DOS PORTA-ENXERTOS.....	29
4.4 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO EM ÁREA ABERTA.....	31
4.5 PREPARO DAS ÁGUAS DE IRRIGAÇÃO.....	35
4.6 VARIÁVEIS ANALISADAS.....	35
4.6.1 Variáveis de crescimento	35
4.6.2 Variáveis fisiológicas	36
4.6.2.1 Trocas gasosas.....	36
4.6.2.2 Fluorescência da clorofila <i>a</i>	37
4.6.2.3 Pigmentos fotossintéticos.....	39
4.6.2.4 Porcentagem de dano na membrana celular das folhas.....	39
4.6.3 Componentes de produção, qualidade de frutos e produtividade da água	40
4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	41
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1 VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO.....	42

5.2 VARIÁVEIS FISIOLÓGICAS.....	47
5.2.1 Trocas gasosas.....	47
5.2.2 Fluorescência da clorofila <i>a</i>.....	56
5.2.3 Pigmentos fotossintéticos e porcentagem de dano na membrana celular das folhas.....	60
5.2.4 Componentes de produção, qualidade de frutos e produtividade da água.....	61
6 CONCLUSÕES.....	69
REFERÊNCIAS.....	70
APÊNDICES.....	78

1 INTRODUÇÃO

As plantas de citros pertencem à família *Rutaceae*, amplamente cultivadas em regiões tropicais e subtropicais de muitos países. O interesse pelas plantas se deve à riqueza dos frutos em compostos fenólicos, flavonoides, ácido ascórbico, ácido cítrico, minerais, sabor, aroma agradável e óleos essenciais importantes para saúde, segurança alimentar e nutricional da população; tais atributos são relevantes e despertam a atenção das indústrias de alimentos, cosméticos e farmacêuticas (Rossi; Pandolfi, 2019; Denaro *et al.*, 2020).

Na citricultura, a limeira ácida ‘Tahiti’ (*Citrus ×latifolia* Yu. Tanaka Tanaka) vem se destacando, tanto no mercado interno quanto externo, sendo explorada, principalmente, por pequenos e médios produtores, visando ao atendimento do mercado da fruta “*in natura*”, proporcionando-lhes elevada rentabilidade (Prevideli; Almeida, 2020).

O continente asiático, centro de origem das plantas cítricas (Wu *et al.*, 2018), e a América do Sul, segundo dados da FAO de 2019 (FAO, 2021), foram os principais produtores de frutas cítricas, representando 69,29% da produção global. Entre os países, a China e o Brasil são os maiores produtores mundiais, sendo, nesse último, cultivado em todas as regiões geográficas, com destaque para o Sudeste e o Nordeste, as maiores produtoras. A produção nacional de limão, em 2022, foi de 1.632.109 toneladas, numa área colhida de 62.867 hectares, com rendimento médio de 25,961 t ha⁻¹ (IBGE, 2023).

No Nordeste do Brasil, há uma tendência para expansão da citricultura, impulsionada pelas condições favoráveis de clima e solo, quando associadas à irrigação. Entretanto, apesar de possuir relevância socioeconômica, os pomares de citros da região apresentam baixa produtividade média, pois, segundo dados do IBGE (2023), a produtividade foi de 11,23 t ha⁻¹ na região Nordeste e de 6,36 t ha⁻¹ na Paraíba, em 2022.

O baixo rendimento pode ser atribuído ao uso de combinações copa/porta-enxerto pouco produtivas e/ou com baixa tolerância a fatores abióticos (Almeida *et al.*, 2018), considerando que a qualidade da água das fontes hídricas utilizadas na irrigação, em geral, é baixa, em virtude da concentração de sais solúveis (sulfatos, bicarbonatos, cloretos, sódio, magnésio e cálcio), o que pode afetar negativamente o crescimento, as trocas gasosas (Silva *et al.*, 2019a) e a produção das plantas cítricas (Martins *et al.*, 2022a), que são moderadamente sensíveis ao estresse salino (Mass, 1993).

A utilização de águas salinas para irrigação das culturas é comum entre os produtores de diversos países do mundo, notadamente, em áreas com pouca disponibilidade de água de

melhor qualidade. Contudo, o sucesso da exploração comercial depende da espécie e do genótipo, dos níveis salinos, da intensidade e duração do estresse, da combinação copa/porta enxerto, do manejo da irrigação e das condições edafoclimáticas (Brito *et al.*, 2014; Soares *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2019a). Assim, faz-se necessário, a utilização de estratégias de cultivos que minimizem os efeitos deletérios do excesso de sais sobre as plantas e o solo, para favorecer a produção agrícola em regiões semiáridas.

Na citricultura, uma alternativa que pode viabilizar o uso de água com condutividade elétrica elevada, pode ser a utilização de genótipos com tolerância a esse fator abiótico, como é observado nos resultados obtidos em pesquisas em que foram avaliados o crescimento e a fisiologia (Silva *et al.*, 2019a), o crescimento e a fluorescência (Silva *et al.*, 2019b) da limeira ácida ‘Tahiti’ enxertada em híbridos de Tangerina Sunki, sob estresse salino até a fase de pré-floração. Entretanto, deve-se considerar a necessidade de estudos que contemplem a produção das plantas cítricas, de modo a consolidar as recomendações técnicas para exploração comercial dessa cultura, uma vez que a estabilização da produção das plantas só ocorre com cinco anos após o plantio.

Os efeitos deletérios do estresse salino, oriundo da água de irrigação sobre as plantas cítricas, podem ser minimizados com o uso cíclico de águas com distintas salinidades, a exemplo do que foi verificado em pesquisas realizadas na cultura do gergelim (Lima *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2021a) e do maracujazeiro amarelo (Pinheiro *et al.*, 2022). Segundo Rodes *et al.* (1989), as plantas podem ser sensíveis à salinidade durante a germinação, razão de não serem irrigadas com água salina nessa fase; todavia, quando estiverem com o sistema radicular formado, podem receber irrigação com água salina; águas, que apresentam baixa condutividade elétrica, podem ser usadas, novamente, ao final da temporada de crescimento, para lixiviar o excesso de sais acumulados na zona radicular.

Destaque-se, entretanto, que os citros são compostos por uma variedade copa, responsável pela produção, e uma variedade de porta-enxerto, responsável pelo sistema radicular da planta, com interações entre elas; o sucesso da combinação vai depender da compatibilidade entre os indivíduos, que possuem carga genética diferente. Assim, características como tamanho da árvore, precocidade da produção, resistência a fitopatógenos e capacidade de absorção de água (Almeida *et al.*, 2018) e a própria tolerância à salinidade (Silva *et al.*, 2019a; Martins *et al.*, 2022a), são afetadas em função da combinação copa/porta-enxerto.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar diferentes estratégias de irrigação com águas salinizadas quanto ao crescimento, aspectos fisiológicos e produção de combinações da limeira ácida ‘Tahiti’ com diferentes porta-enxertos de citros.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar as alterações fisiológicas nas combinações entre a limeira ácida ‘Tahiti’ e os porta-enxertos de citros sob diferentes estratégias de irrigação com águas salinizadas, por meio da análise de trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a* e pigmentos fotossintéticos;
- Analisar a integridade da membrana celular, por meio do extravasamento de eletrólitos em folhas da limeira-ácida ‘Tahiti’ enxertada em diferentes porta-enxertos e sob estratégias de irrigação com água salinizada;
- Identificar as estratégias de manejo de águas salobras mais apropriadas para a irrigação da limeira-ácida ‘Tahiti’, quando enxertada em diferentes porta-enxertos, por meio de avaliações de crescimento, parâmetros fisiológicos, produção de frutos e produtividade da água.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 ÁGUA NA AGRICULTURA

A água é essencial para a vida na Terra e o recurso natural mais abundante na superfície terrestre, perfazendo cerca de 75% do planeta. No entanto, conforme Silva e Pereira (2019), 97,5% desse total é constituído por água salgada e apenas 2,5% por água doce, sendo que a maior parte (69%) é de difícil acesso, pois está concentrada em geleiras, 29,9% são águas subterrâneas (armazenadas em aquíferos), 0,8% estão em pântanos e na umidade do solo, e apenas 0,3% é água superficial, encontrada em rios, lagos e açudes. Dessa forma, esse recurso valioso deve ser utilizado com racionalidade e eficiência para garantir a sustentabilidade socioeconômica das populações e o equilíbrio ambiental (ANA, 2021).

O Brasil possui a maior disponibilidade de água doce do mundo, com cerca de 12% do total, embora as maiores concentrações estejam em locais menos habitados. A maior parte dessa água encontra-se na região Norte do país, área menos povoada e com solos pouco agricultáveis. As regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste dividem o restante, sendo esta última a que mais enfrenta problemas de limitação hídrica, pois é a segunda região mais populosa, com 57,60 milhões de pessoas (IBGE, 2022), e apresenta balanço hídrico negativo, ou seja, a evapotranspiração supera a precipitação na maior parte do ano (INMET, 2023).

A agricultura no semiárido nordestino, dada as limitações impostas pelos regimes de chuvas e a necessidade de aumentar a produtividade agrícola para garantir a segurança alimentar e nutricional da população, precisa adotar técnicas como a irrigação para promover a produção de alimentos (Lima *et al.*, 2020). Essa atividade é responsável por cerca de 70% do uso consuntivo dos recursos hídricos em nível global e 50% em nível nacional (ANA, 2021). Ressalta-se que, apesar do consumo elevado de água, a irrigação é imprescindível para a produção agrícola, especialmente em regiões de clima semiárido.

Conforme o Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos da ANA (2021), a agricultura irrigada vem se expandindo no Brasil, em particular na região Nordeste. Contudo, essa expansão em bacias hidrográficas com baixa disponibilidade de água torna o sistema de produção vulnerável, sendo necessária a racionalização do uso da água para evitar conflitos com as demais categorias de usuários, sobretudo no abastecimento humano e industrial.

O Brasil possui 8,5 milhões de hectares (Mha) equipados para irrigação, dos quais 35% são áreas de fertirrigação com água de reuso (2,9 Mha), como a utilização da vinhaça (Costa et

al., 2021), e 65% usam água de mananciais (5,5 Mha). Estima-se um aumento na demanda de água para irrigação de 15% nos próximos 20 anos, em relação à demanda tendencial baseada no clima atual (ANA, 2021).

Outro aspecto relevante do uso da água na agricultura, especialmente na região semiárida do Brasil, refere-se à sua qualidade para irrigação, conforme Ayers e Westcot (1999). Morais *et al.* (1998), ao analisar um banco de dados com 1.077 amostras de água coletadas de Maranhão a Pernambuco, observaram que 52,73% das amostras, provenientes de poços tubulares, poço Amazonas, rios, açudes, lagoas, entre outros, apresentam restrições de uso devido a condutividades elétricas superiores a 3,0 dS m⁻¹, o que representa alto risco de salinização. Ademais, 60% das amostras indicam perigo de toxidez por sódio ou cloreto, conforme a classificação de Richards (1954).

Os sais solúveis presentes na água de irrigação são incorporados ao solo e, assim, absorvidos pelas plantas, podendo causar alterações morfológicas, estruturais e metabólicas (Pompeu Junior, 2005; Lima *et al.*, 2016), principalmente quando as concentrações de sais no solo e na água de irrigação excedem o nível de salinidade tolerado pela cultura (Ayers; Westcot, 1999). Desse modo, deve-se dar ênfase a realização de estudos que busquem alternativas viáveis para o uso de águas salinas na irrigação em regiões semiáridas, especialmente na citricultura.

3.2 ASPECTOS GERAIS DA CITRICULTURA

As principais cultivares do gênero *Citrus* incluem plantas do grupo das laranjeiras doces (*C. ×sinensis* (L.) Osbeck); tangerineiras (*C. reticulata* Blanco e *C. clementina* Hort. ex Tanaka); mexeriqueiras (*C. deliciosa* Ten.); limoeiros verdadeiros (*C. ×limon* (L.) Burm. F. e *C. aurantiifolia* (Christm) Swingle); limeiras ácidas; limeiras doces (*C. limettioides* Tanaka); pomeleiros (*C. ×paradisi* Macfad.) e cidras (*C. medica* L.). Ressalta-se que o grupo das laranjeiras doces é o mais expressivo nos pomares de países citrícolas, representando aproximadamente dois terços dos plantios, seguido das tangerineiras, dos limoeiros e das limeiras ácidas (IBGE, 2023).

A limeira-ácida ‘Tahiti’ é uma planta vigorosa, com pequenos espinhos nas inserções foliares, porte médio a alto e folhagem exuberante de coloração verde-escura. Em plantios irrigados, a floração ocorre praticamente o ano todo, podendo ser induzida pelo manejo da irrigação; assim, é possível obter frutos no período de entressafra, quando os preços são mais vantajosos. As flores possuem cinco pétalas brancas e aromáticas, com grande número de

estames contendo pólen inviável. Os frutos, geralmente desenvolvidos sem sementes, são de tamanho médio, com casca lisa e fina, apresentando coloração esverdeada ao amadurecer (cerca de 120 dias após a antese). Possuem polpa succulenta e suco ácido, representando cerca de 50% do peso do fruto (Mattos Junior *et al.*, 2005).

Segundo Passos *et al.* (2010), a limeira ácida ‘Tahiti’ é adaptada às condições edafoclimáticas do semiárido brasileiro. As frutas dessa espécie apresentam boa coloração da casca e polpa, além de equilíbrio entre açúcar e acidez, atributos de qualidade exigidos pelos consumidores. Destaca-se entre as espécies cítricas com maior precocidade de produção, sendo bastante apreciada no mercado interno e externo para consumo in natura e também na indústria para processamento de suco e extração de óleos essenciais (Denaro *et al.*, 2020).

Entre os fatores climáticos, a temperatura exerce grande influência sobre as plantas cítricas. Conforme Mattos Júnior *et al.* (2005), a temperatura influencia o crescimento e o desenvolvimento das plantas cítricas, sendo que as faixas ideais para frutificação, coloração, sabor e tamanho dos frutos variam entre 25 a 30 °C durante o dia e 15 a 20 °C à noite. Coelho *et al.* (1993) enfatizam que, sob temperaturas constantes entre 12 e 13 °C, a maioria das espécies do gênero *Citrus* apresentam paralisação no crescimento.

Ávila *et al.* (2019), ao estudarem a dinâmica de germinação de sementes de limão-cravo sob diferentes temperaturas e lotes (25, 30 e 35°C na condução do teste de germinação e cinco lotes de sementes), concluíram que a temperatura mais favorável para germinação foi 30°C, com a primeira contagem aos 21 dias e a última aos 30 dias após a instalação do teste.

Os citros apresentam boa adaptação a diferentes características de solo, variando de texturas arenosas a argilosas. No entanto, a escolha de porta-enxertos adequados é essencial para o sucesso da citricultura (Azevedo, 2003). Segundo Coelho *et al.* (1993), solos com impedimentos, pouca profundidade e problemas de drenagem devem ser evitados, especialmente em áreas irrigadas do semiárido. Os solos mais indicados são os areno-argilosos, permeáveis, com boa fertilidade natural, ricos em matéria orgânica e que favoreçam o desenvolvimento do sistema radicular.

As plantas cítricas comerciais são formadas pelo porta-enxerto (ou cavalo) e o enxerto (ou copa), que crescem e se desenvolvem formando uma única planta. Essa combinação pode aumentar a produtividade, a longevidade do pomar, mitigar os efeitos adversos da salinidade do solo e da água de irrigação, bem como aumentar a resistência a doenças e pragas em plantios comerciais (Rezende *et al.*, 2010).

No Nordeste brasileiro, especialmente nos últimos anos, o cultivo de citros tem despertado o interesse de produtores, principalmente nos estados da Bahia, Sergipe e Paraíba (IBGE, 2023), onde apresenta relevância socioeconômica inegável devido à geração de emprego e renda. No entanto, o rendimento do Nordeste é inferior ao das regiões Sudeste e Nacional, sendo essa baixa produtividade atribuída ao estresse hídrico e osmótico nas plantas, em razão da irregularidade das chuvas e presença de sais solúveis na água de irrigação (Medeiros *et al.*, 2003). Além disso, combinações inadequadas de copa/porta-enxerto impõem limitações ao crescimento, desenvolvimento, qualidade e produtividade dos frutos em plantas cítricas (Soares *et al.*, 2015). Assim, a irrigação torna-se essencial para alcançar maiores rendimentos na citricultura.

3.3 COMBINAÇÃO COPA/PORTA-ENXERTO DE CITROS

O cultivo de uma única combinação copa/porta-enxerto é predominante na maioria dos estados produtores de citros. Essa baixa diversidade de porta-enxertos constitui uma das maiores ameaças à citricultura brasileira, devido à exposição a estresses bióticos e abióticos (Brito *et al.*, 2014). Predomina, por exemplo, o porta-enxerto limão ‘Cravo’ (*Citrus ×limonia* Osbeck), devido sua adaptação às condições edafoclimáticas, facilidade de formação de mudas (número de sementes por fruto), compatibilidade com a maioria das copas, produção precoce, alta produção de frutos de boa qualidade e resistência à seca e a doenças (Pompeu Júnior, 2005; Barbosa; Rodrigues, 2015). Contudo, apesar desses atributos culturais desejáveis, a uniformidade nos plantios cítricos aumenta o risco de insucessos, sendo necessário fomentar a diversificação de combinações, principalmente com porta-enxertos resistentes ou tolerantes a fatores abióticos, como salinidade do solo e da água de irrigação, considerando o aumento das áreas irrigadas da cultura.

Nesse sentido, Azevedo (2003) recomenda alguns porta-enxertos para a limeira ácida ‘Tahiti’, como alternativas ao limão ‘Cravo’, incluindo o limoeiro ‘Volkameriano’, o citrumelo ‘Swingle’ e a tangerineira ‘Cleópatra’. Segundo Brito *et al.* (2020), os híbridos de tangerineira Sunki da Flórida (TSKFL) e comum (TSKC), combinados aos citrangeres Troyer (CTTR) e da Argentina (CTARG), formando as combinações TSKFL x CTTR - 013 e TSKC x CTARG - 019, são menos sensíveis à salinidade quando enxertados com a limeira ácida ‘Tahiti’ do que quando a variedade copa é o pomelo ‘Star Ruby’. Carvalho *et al.* (2016) apontam como alternativas promissoras para a produção de laranja ‘Pera’, nas condições dos Tabuleiros

Costeiros, os porta-enxertos: BRS 'Bravo' (híbrido TSKC x (LCR x TR) – 059); os citrandarins 'Indio', 'Riverside' e 'San Diego'; os limoeiros 'Rugoso Vermelho' e 'Cravo CNPMF 03'; e os híbridos TSKC x CTRK 001, TSKFL x CTC13 012, TSKC x (LCR x TR) 040, TSKC x LHA 006, TSKC x CTQT1434 001, TSKC x CTSW 058 e TSKFL x CTARG 028.

Machado *et al.* (2017), ao estudarem a influência de diferentes variedades de porta-enxertos sobre o desenvolvimento e a qualidade dos frutos da limeira ácida 'Tahiti' em Jaíba-MG, observaram que a qualidade dos frutos não foi afetada pelo uso dos porta-enxertos. Todavia, as plantas originadas de 'Tahiti' enxertadas no híbrido de limoeiro 'Volkameriano' e tangerineira 'Cleópatra', bem como no híbrido Citrandarin '1707', 'Cravo 1710' e citrumelo 'Swingle', apresentaram maior vigor vegetativo e, conseqüentemente, maior produtividade. Isso ocorre porque a limeira ácida 'Tahiti' produz flores e frutos em ramos novos em crescimento, de modo que a produção está diretamente associada ao desenvolvimento vegetativo das plantas.

Na região Nordeste do Brasil, devido à presença de sais na água utilizada para irrigação, estão sendo realizados estudos para a seleção de genótipos tolerantes ao estresse salino (Barbosa *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2019a; Brito *et al.*, 2021). Entretanto, para recomendar uma nova combinação copa/porta-enxerto, é necessário verificar a viabilidade de uso dos materiais genéticos, avaliar a compatibilidade entre eles e a produtividade das plantas, pois as interações variam conforme o tipo de combinação genética. Tais observações foram extraídas de Martins *et al.* (2022), que estudaram o desempenho produtivo inicial da limeira ácida 'Tahiti' em distintos porta-enxertos e níveis de salinidade da água.

Embora os porta-enxertos influenciem várias características dos citros, como uso de nutrientes, tamanho, maturação, peso, cor da casca e do suco, produtividade e qualidade dos frutos (Pompeu Júnior *et al.*, 2013), é importante considerar a variedade copa quanto à tolerância à salinidade (Brito *et al.*, 2021). Segundo Azevedo (2003), a escolha da variedade copa deve considerar diferentes épocas de maturação dos frutos (variedades precoces, de meia-estação e tardias), com o objetivo de ampliar o período de colheita do pomar. Para Bastos *et al.* (2014), os frutos devem apresentar coloração intensa e uniforme da casca, ausência ou número reduzido de sementes, epicarpo ou casca com espessura fina para facilitar o descascamento, e gomos com parede delicada.

Nos parâmetros de qualidade de frutos para a limeira ácida 'Tahiti', busca-se rendimento de suco de 40%, teor de sólidos solúveis (SST) de aproximadamente 7,6 °Brix, acidez total (AT) de 6,5% e uma relação sólidos solúveis/acidez titulável acima de 1,2 (EMBRAPA, 2012). Nas

características agronômicas, o porte da planta é um parâmetro fundamental, pois plantas altas dificultam os tratos culturais, impossibilitam o estabelecimento de plantios adensados e complicam a colheita dos frutos (Bastos *et al.*, 2014).

3.4 SALINIDADE EM CITROS

Os citros são moderadamente sensíveis aos sais (Ayers; Westcot, 1999), tolerando, segundo Maas (1993), uma salinidade limiar (rendimento potencial de 100%) de $1,4 \text{ dS m}^{-1}$ no extrato de saturação do solo. Vale ressaltar, no entanto, que a tolerância dos citros à salinidade depende, entre outros fatores, do porta-enxerto utilizado (Brito *et al.*, 2016a). Estes autores avaliaram a resposta ao estresse salino em variedades de porta-enxertos de citros, usando trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a* em um sistema hidropônico, aos 90 dias após a semeadura. Os resultados mostraram que a tangerineira ‘Sunki Comum’ e o limoeiro ‘Rugoso da Flórida’ são mais sensíveis ao estresse salino, enquanto o limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ e o limoeiro ‘Volkameriano’ apresentaram maior tolerância.

Brito *et al.* (2014) avaliaram a sensibilidade de genótipos de citros à salinidade na fase de formação dos porta-enxertos, considerando variedades e híbridos selecionados pelo Programa de Melhoramento Genético de Citros da Embrapa Mandioca e Fruticultura (PMG Citros), incluindo os limoeiros ‘Cravo Santa Cruz’ e ‘Volkameriano’, a tangerineira ‘Sunki Tropical’, o citrange ‘Troyer’ e os híbridos trifoliados HTR-051 e HTR-069. Os resultados indicaram que é possível usar águas com CEa de até $2,0 \text{ dS m}^{-1}$, com leves restrições de crescimento para o limoeiro ‘Volkameriano’, a tangerineira ‘Sunki Tropical’, o limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ e o HTR-069.

Barbosa *et al.* (2017) observaram uma redução na condutância estomática dos híbridos de tangerineira ‘Sunki Comum’ (TSKC) e do citrumelo ‘Swingle’, identificados como TSKC x CTSW-033 e TSKC x CTSW-041. A redução foi linear, com diminuições de 22,20% e 13,12%, respectivamente, para cada incremento unitário na salinidade da água de irrigação; isso resultou em quedas de 71% e 42%, respectivamente, nas plantas irrigadas com água de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ em comparação às irrigadas com $0,8 \text{ dS m}^{-1}$. Os autores também relataram uma diminuição na taxa de assimilação de CO_2 devido à redução na atividade da enzima ribulose-1,5-bifosfato carboxilase/oxigenase (RuBisCO).

Silva *et al.* (2019a), em estudos sobre o crescimento e a fisiologia de 10 combinações copa/porta-enxerto de citros irrigados com água salina até a fase de pré-floração, concluíram

que a irrigação com água de $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ não afeta a atividade fotossintética das combinações testadas até essa fase. Os autores destacaram o limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ (LCRSTC) como o mais sensível à salinidade da água de irrigação quanto ao crescimento, e os híbridos TSKFL x (LCR x TR)-018, TSKFL x TRBK-011 e TSKFL x TRBK-030 como menos sensíveis, todos quando enxertados com a limeira ácida ‘Tahiti’.

Em estudo subsequente, Silva *et al.* (2019b) avaliaram o crescimento e a fluorescência da clorofila *a* da limeira ácida ‘Tahiti’, enxertada em híbridos de tangerina ‘Sunki’, durante a fase de pré-floração sob estresse salino. Constatou-se que a salinidade não afetou a fase bioquímica da fotossíntese nas combinações copa/porta-enxerto. Segundo os autores, é viável o uso de água salina com até $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ no cultivo de citros, desde que sejam empregadas combinações menos sensíveis à salinidade, como aquelas com os porta-enxertos TSKC x (LCR x TR) – 017, TSKFL x (LCR x TR) – 018, TSKFL x TRBK – 011 e TSKFL x TRBK – 030.

No que diz respeito à produção, Martins *et al.* (2022a), ao avaliarem o desempenho produtivo da limeira ácida ‘Tahiti’ em combinação com diferentes porta-enxertos irrigados com águas de variados níveis de salinidade durante o primeiro ano de produção, constataram que águas com até $2,4 \text{ dS m}^{-1}$ podem ser utilizadas na irrigação de citros sem comprometer significativamente a produção inicial da limeira ácida ‘Tahiti’ quando enxertada na tangerineira ‘Sunki Tropical’, no citrandarin ‘Riverside’ e nos híbridos TSKC x TRBK - 007, TSKC x CTTR - 012, HTR - 069, TSKC x (LCR x TR) - 040 e BRS Bravo (TSKC x (LCR x TR) – 059), com aumento na precocidade da produção. Ainda, segundo os autores, ao usar águas de $4,8 \text{ dS m}^{-1}$, a limeira ácida ‘Tahiti’ apresentou maior produtividade e menor sensibilidade à salinidade nas combinações com a tangerineira ‘Sunki Tropical’ e os híbridos TSKC x TRBK - 007, TSKC x CTTR - 012, HTR - 069 e TSKC x (LCR x TR) - 040.

3.5 ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO COM ÁGUA SALINA

A utilização de águas com altos teores de sais na irrigação é um desafio para pesquisadores, técnicos de extensão e produtores rurais, tornando essencial o desenvolvimento de estratégias que possibilitem seu uso sustentável, especialmente na cultura dos citros. Estudos demonstram que os citros possuem tolerância variável à salinidade (Mass, 1993; Sá *et al.*, 2017; Brito *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2021b; Martins *et al.*, 2022a). A divergência de resultados na literatura indica que a resposta à salinidade pode variar dependendo do porta-enxerto, da combinação copa/porta-enxerto e da estratégia de irrigação adotada. Nesse contexto, o uso

intermitente de águas com diferentes níveis de salinidade pode ser uma alternativa técnica e economicamente viável (Cordão Terceiro Neto *et al.*, 2018).

Vários estudos concluíram que é possível usar água salina na agricultura (Lima *et al.*, 2020; Magalhães *et al.*, 2021; Andrade *et al.*, 2022; Veloso *et al.*, 2022; Ramos *et al.*, 2022), especialmente quando se alternam irrigações com água de baixa condutividade elétrica. Contudo, na cultura dos citros, ainda há poucas informações sobre esse tipo de estratégia de irrigação, embora seja mais comum em outras culturas. Por exemplo, Costa *et al.* (2013) investigaram estratégias de manejo de água salina na cultura da mamona, ajustando a irrigação conforme a fase de desenvolvimento e níveis de condutividade elétrica (CEa de 0,53; 2,09 e 3,66 dS m⁻¹). Concluíram que o início do estresse salino aos 45 dias após o semeio não afetou variáveis de crescimento e produção, minimizando efeitos adversos da salinidade e da sodicidade do solo ao final do cultivo.

Em estudos com gergelim, Lima *et al.* (2020) observaram que a produção não foi comprometida quando as plantas foram irrigadas com água de 2,7 dS m⁻¹ durante as fases vegetativa, de floração e de frutificação. Já Silva *et al.* (2021a) investigaram o uso alternado de água com alta salinidade (2,7 dS m⁻¹) e água de baixa salinidade (0,3 dS m⁻¹) em fases diferentes do ciclo do gergelim. Concluíram que a irrigação com água de 2,7 dS m⁻¹ nas fases de floração e vegetativa/floração não comprometeu a condutância estomática, a transpiração e a taxa de assimilação de CO₂. No entanto, a aplicação de água salina nas fases vegetativa/floração reduziu o acúmulo de fitomassa nas plantas.

Pinheiro *et al.* (2022) avaliaram as trocas gasosas e a produção do maracujazeiro amarelo sob estratégias de irrigação com águas salobras, ajustando a fase fenológica e doses de potássio. Concluíram que a irrigação com água de 4,0 dS m⁻¹ reduziu o potencial hídrico e osmótico foliar, a condutância estomática, a transpiração e a taxa de assimilação de CO₂, independentemente da estratégia de irrigação. O estresse salino contínuo nas fases vegetativa e de floração comprometeu a produção de frutos.

Estudo similar de Lima *et al.* (2022) examinou o impacto da irrigação com água salina e doses de potássio sobre pigmentos fotossintéticos, trocas gasosas e produção do maracujazeiro amarelo 'BRS GA1' em diferentes fases fenológicas. Os autores constataram que a irrigação com água de 4,0 dS m⁻¹ em todas as estratégias testadas reduziu a síntese de clorofila *a* e *b*, a condutância estomática, a eficiência instantânea de carboxilação e a eficiência no uso da água. A aplicação de água salina nas fases vegetativa/floração e de floração comprometeu a produtividade.

No algodoeiro, Soares *et al.* (2018) analisaram o efeito de águas com baixa ($0,8 \text{ dS m}^{-1}$) e alta salinidade ($9,0 \text{ dS m}^{-1}$) em diferentes fases fenológicas sobre o crescimento e a qualidade da fibra de três cultivares de algodoeiro colorido. Verificaram que a irrigação com água salina nas fases vegetativa e de floração resultou em menores perdas de crescimento, fitomassa e qualidade de fibra, enquanto a salinidade na fase de formação da produção prejudicou a qualidade das fibras. O genótipo BRS Topázio mostrou melhor qualidade de fibra com irrigação salina comparado a outros cultivares.

Silva *et al.* (2021c) estudaram o rendimento quântico, pigmentos fotossintéticos e acúmulo de fitomassa da mini-melancia cv. Sugar Baby sob irrigação com águas salinas e adubação potássica. Constatou-se que a irrigação contínua com água de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ nas fases vegetativa e de floração aumentou a fluorescência inicial e reduziu a eficiência quântica do fotossistema II, especialmente com adubações de 100 a 150% da recomendação de potássio. A síntese de clorofila *a* foi inibida pelo estresse salino nas fases vegetativa/floração e floração/frutificação, exceto na fase de floração. Além disso, a irrigação salina nas fases de floração, frutificação/maturação e maturação resultou em maior acúmulo de fitomassa na mini-melancia.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido a céu aberto, entre 05 de setembro de 2019 e 04 de outubro de 2021, com plantas cítricas cultivadas em vasos de 150 litros, adaptados para funcionar como lisímetros. A área experimental está localizada no Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), no município de Pombal – PB, Brasil. As coordenadas geográficas são -06°47'20" de latitude sul e -37°48'01" de longitude oeste, a uma altitude de 194 metros (Figura 1).

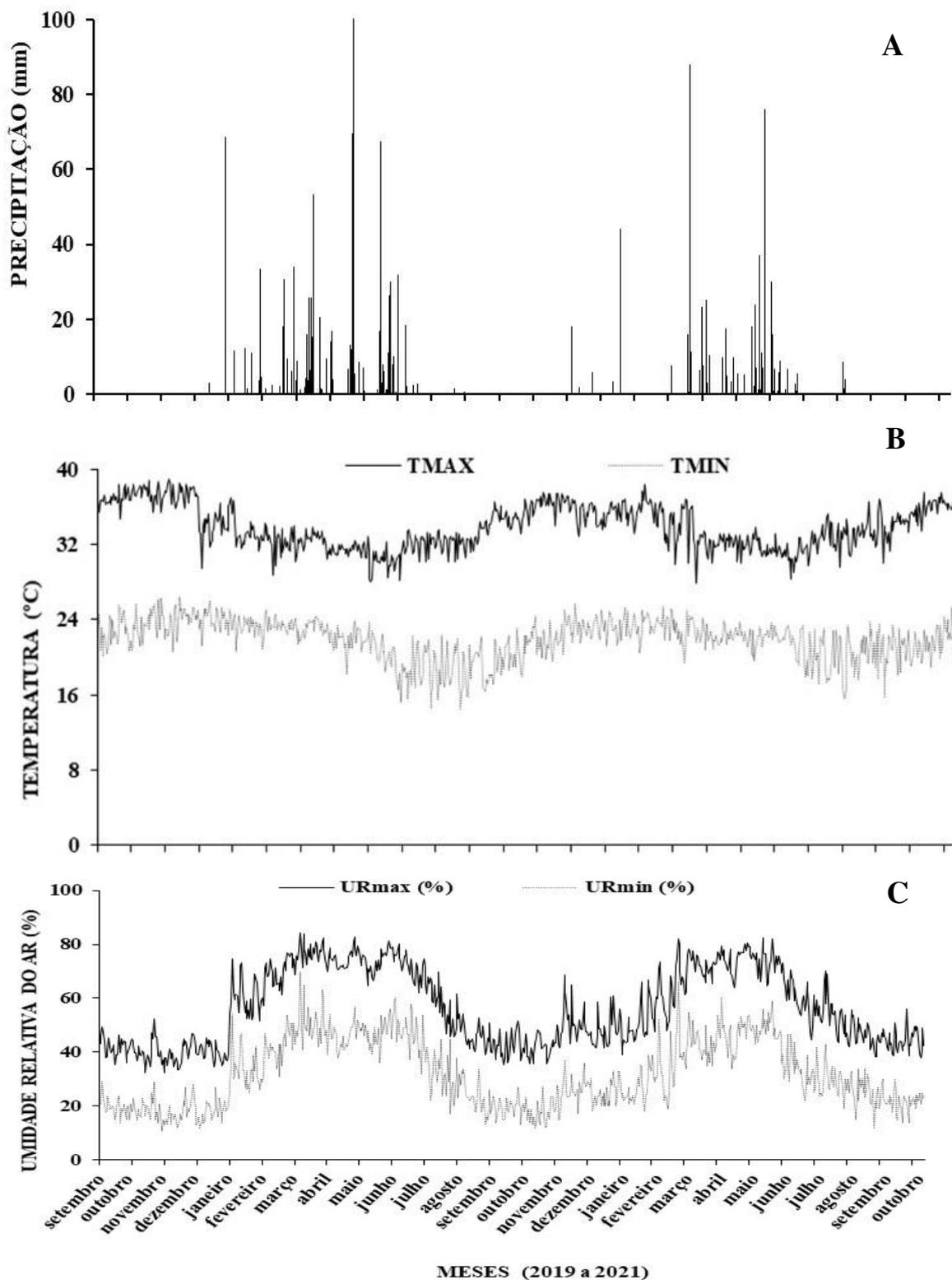
Figura 1 – Imagem aérea do experimento relativo ao uso de estratégias de irrigação com águas salinizadas em combinações copa/porta-enxerto de citros cultivados em lisímetros no CCTA/UFCG, Campus II, Pombal – PB



Fonte: Dados da pesquisa (2023).

O clima da região de localização da pesquisa, segundo a classificação de Köppen adaptada ao Brasil, é do tipo BSh, caracterizado como semiárido quente (COELHO; SONCIN, 1982). Os dados de precipitação foram obtidos por um pluviômetro instalado próximo ao local do experimento e estão ilustrados na Figura 2A. As informações sobre temperatura (Figura 2B) e umidade relativa (Figura 2C) foram coletadas pela estação agrometeorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet), localizada no Acampamento Federal de São Gonçalo, no município de Sousa – PB. Esses dados estão disponíveis no site oficial do Inmet (www.inmet.gov.br) (INMET, 2023).

Figura 2 – Precipitação pluviométrica (A), temperaturas máximas e mínimas (B), umidades relativas do ar máximas e mínimas (C), no período de setembro de 2019 a outubro de 2021, Pombal – PB, 2023



Fonte: Adaptada do INMET (2023).

4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O delineamento experimental adotado foi de blocos casualizados, com os tratamentos configurados a partir de um esquema fatorial 5 x 4. Esse esquema envolveu a limeira ácida ‘Tahiti’ seleção “CNPMF 01”, enxertada em cinco genótipos de citros usados como porta-enxertos, todos oriundos do Programa de Melhoramento Genético de Citros (PMG-Citros) da Embrapa Mandioca e Fruticultura. A Tabela 1 apresenta a relação dos porta-enxertos utilizados.

Tabela 1 – Relação dos cinco porta-enxertos utilizados para enxertia da limeira-ácida ‘Tahiti’ [*C. ×latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka] provenientes do programa de melhoramento genético de Citros (PMG-Citros) da Embrapa Mandioca e Fruticultura

Ordem	Genótipo
1	Citrândarin ‘Indio’
2	Citrândarin ‘San Diego’
3	[(TSKC x CTARG –019)]
4	Limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’
5	BRS ‘Bravo’ [TSKC x (LCR x TR) – 059]

Limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ - *Citrus ×limonia* L. Osbeck; Citrândarin [*C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.]; - TSKC - Tangerineira Sunki Comum; CTARG - Citrange ‘Argentina’; BRS Bravo [TSKC x (LCR x TR) – 059]

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

As combinações ‘Tahiti’/porta-enxertos de citros foram estudadas sob quatro estratégias de manejo da irrigação com água salinizada, formadas a partir de águas com dois níveis de salinidade (CEa), S1 = 0,3 dS m⁻¹ e S2 = 3,0 dS m⁻¹, quais sejam: E₁ = irrigação com água de CEa 0,3 dS m⁻¹ do semeio ao final do primeiro ano de produção das plantas; E₂ = irrigação com água de CEa 3,0 dS m⁻¹, com início aos 120 dias após a enxertia (DAE) até o final do primeiro ano de produção das plantas; E₃ = irrigação com alternância de água de CEa 0,3 dS m⁻¹ durante dois meses e irrigação com água de CEa 3,0 dS m⁻¹ durante dois meses, com início aos 120 dias após a enxertia (DAE) até o final do primeiro ano de produção das plantas; e E₄ = irrigação com alternância de água de CEa 0,3 dS m⁻¹ durante quatro meses e irrigação com água de CEa 3,0 dS m⁻¹ durante quatro meses, com início aos 120 dias após a enxertia (DAE) até o final do primeiro ano de produção das plantas.

Ao se combinar os fatores, obteve-se 20 tratamentos (cinco combinações copa/porta-enxerto x quatro estratégias de manejo da irrigação com água salina), que foram repetidos em quatro blocos, usando-se uma planta por parcela, totalizando 80 unidades experimentais. Ressalta-se que os níveis de condutividades elétricas da água de irrigação foram definidos com base em estudos desenvolvidos por Ferguson e Grattan (2005), que verificaram para plantas

de citros tolerância à salinidade entre 1,2 e 1,5 dS m⁻¹, com redução no crescimento e na produção das plantas a partir desse valor.

4.3 FORMAÇÃO DOS PORTA-ENXERTOS

A sementeira e o início de crescimento das plantas dos distintos genótipos ocorreram em tubetes (Figura 3A), com capacidade de 220 mL de substrato, no interior de um viveiro telado. As plantas produzidas em tubetes, após germinação e crescimento inicial (90 dias após a sementeira - DAS), foram transplantadas para lisímetros com capacidade de 150 L, colocando-se duas plantas por recipiente (Figura 3B), para a posterior realização da enxertia em campo.

Figura 3 – Formação de porta-enxerto de citros em tubetes de 220 mL (A), porta-enxerto de citros em lisímetros de 150 L, com coletor de água de drenagem e cobertura morta (B), Pombal – PB, 2023



Fonte: Dados da pesquisa (2023).

As sementes de cada genótipo de citros foram fornecidas pelo Programa de Melhoramento Genético de Citros da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical - PMG, em Cruz das Almas – BA, as quais foram semeadas na razão de duas por tubete, preenchidos com substrato preparado com duas partes de Neossolo Flúvico Ta Eutrófico (EMBRAPA, 2013) e uma parte de esterco bovino, cujos atributos físico-químicos encontram-se na Tabela 2, determinados conforme a metodologia recomendada por Claessen (1997).

Tabela 2 – Atributos físicos e químicos do solo e químicos do esterco utilizado no experimento.

Complexo sortivo										
T	S	M.O	N	P assimilável	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	H ⁺	Al ³⁺
(cmol _c /dm ³)	(cmol _c /dm ³)	g kg ⁻¹	(%)	(mg/dm ³)	(cmol _c /dm ³ de solo)					
14,6	10,2	0,158	0,09	48,17	3,73	4,66	0,19	1,62	4,44	0,00
Extrato de saturação										
pHes	CEes	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Saturação do solo
	dS m ⁻¹	(mmol _c L ⁻¹)								%
6,55	1,64	187,5	481,2	55,4	24,8	27,5	Ausente	0,00	41	26,66
RAS (mmol _c L ⁻¹) ^{0,5}		PST (%)		Salinidade				Classe de solo		
0,43		1,30		Não salino				Normal		
Atributos Físicos do solo										
Umidade		Da	Dens. real	Pt	Argila	Silte	Areia	Classif. Textural		
0,01		0,033	1,5							
g kg ⁻¹		g cm ⁻³	g cm ⁻³	m ³ m ⁻³	g kg ⁻¹					
129		102	55	1,42	2,74	0,48	635	175	190	FA
Atributos Químicos do esterco										
Ph	CEes	P	N	K	Na	Ca	Mg	SB	T	MO
CaCl ₂	dS m ⁻¹	mg/dm ³	%			(cmol _c /dm ³)				g kg ⁻¹
6,47	1,09	98	2,44	3,82	1,54	4,52	2,63	12,51	10,97	40

Da = Densidade aparente; Pt = Porosidade total; M.O = Matéria orgânica; pHes = pH do extrato de saturação, CEes = condutividade elétrica do extrato de saturação a 25 °C; RAS: Razão de adsorção de sódio; PST = Percentagem de sódio trocável; FA: Franco arenoso P, K⁺ e Na⁺ extraído com extrator Mehlich-1; Ca²⁺ e Mg²⁺ extraído com extrator KCl 1,0 M a pH; M.O: digestão Úmida Walkley-Black.

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Após a emergência das plântulas, eliminou-se a de menor vigor em cada recipiente. Nesse processo de seleção, descartaram-se indivíduos de origem sexuada, mantendo-se somente aqueles de origem apogâmica (nucelares), seguindo recomendações para a produção de mudas certificadas.

As adubações, na fase de formação do porta-enxerto, foram realizadas considerando o volume dos tubetes e a recomendação disposta em Novais, Neves e Barros (1991), com base nos dados das análises (solo e esterco), visando atender às necessidades da planta após a germinação. Foram aplicados 100, 300 e 150 mg kg⁻¹ de solo de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente, utilizando como fonte de N a ureia, P o superfosfato simples e K o cloreto de potássio.

A irrigação foi realizada com água de CEa 0,3 dS m⁻¹, com volume uniforme às plantas, obtido pelo processo de lisimetria de drenagem, sendo aplicado diariamente o volume retido no tubete, determinado pela diferença entre o volume aplicado e o volume drenado da irrigação anterior. As irrigações foram feitas uma vez ao dia, no início da manhã.

Os tratos culturais consistiram em retirar manualmente as ervas daninhas que surgiram nos tubetes e realizar o controle fitossanitário preventivo, mediante pulverizações quinzenais de cúpricos e abamectina (Rodrigues *et al.*, 2016).

4.4 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO EM ÁREA ABERTA

O experimento foi conduzido em caixas d'água de 150 L, preparadas para funcionarem como lisímetros de drenagem. Previamente, receberam pintura na cor branca, de modo a aumentar a reflectância da luz solar e reduzir a temperatura em seu interior. Em seguida, instalou-se uma mangueira de 18 mm de diâmetro na base do lisímetro, acoplada a um balde com capacidade para 18 L (Figura 3B), garantindo o escoamento do excesso de água do solo e a estimativa do consumo de água pela planta.

Os lisímetros foram preenchidos com 2 L de brita nº 1 e, em seguida, 13 L de areia até formar uma camada de 5 cm de altura na base, visando facilitar a drenagem da água. Acima da brita, adicionou-se o solo e, no centro, foi colocado um cilindro com 40 cm de diâmetro, simulando uma cova, o qual foi preenchido com uma mistura de solo (110 L) e matéria orgânica (20 L de esterco bovino curtido) e a adubação fosfatada. O solo foi retirado de uma área experimental da UFCG, no município de Pombal – PB, até 40 cm de profundidade, com cuidados para se seguir a distribuição dos seus horizontes. Os lisímetros ficaram a 20 cm da superfície do solo, sobre tijolos cerâmicos e estrado de madeira, espaçados em 2 x 2 m, entre plantas e entre linhas de plantio.

Após o preenchimento dos recipientes, semeou-se milho (*Zea mays* L.) (cv. Rasga Palha), utilizado pelos produtores locais por produzir elevado volume de biomassa. As plantas de milho, ao atingirem a floração, foram cortadas e trituradas, sendo o material vegetal incorporado ao solo dos respectivos lisímetros para servir de cobertura morta, visando diminuir a evaporação da água do solo e o surgimento de plantas espontâneas. No espaço entre lisímetros, foi plantada grama de jardim para amenizar a temperatura do local.

Aos 180 dias após o transplântio (DAT) dos porta-enxertos para os lisímetros, quando as plantas tinham caule com diâmetro entre 8 e 10 mm e estavam “dando casca”, realizou-se a enxertia (Figura 4A) da limeira ácida 'Tahiti' CPMF 01, cujas borbulhas foram obtidas na Fazenda Experimental localizada no município de São Domingos/PB, pertencente ao CCTA/UFCG. As combinações copa/porta-enxerto foram cobertas com sombrite 50% (Figura 4B), durante 20 dias, visando minimizar os efeitos negativos da radiação solar sobre as

borbulhas. Com o objetivo de forçar a brotação da borbulha, realizou-se curvatura do porta-enxerto, sem corte, amarrando-se a extremidade da haste a seu próprio colo.

Figura 4 – Enxertia (A) e cobertura com sombrite 50% (B) de combinações copa/porta-enxerto de citros, Pombal – PB, 2023



Fonte: Dados da pesquisa (2023).

A enxertia foi feita em todos os porta-enxertos e, quando houve brotação das borbulhas, caracterizando o “pegamento” do enxerto, eliminou-se a muda menor no lisímetro, mediante corte rente ao solo, deixando-se a mais vigorosa. Como tutores, foram utilizadas hastes de madeira com 80 cm de altura para sustentação das plantas, de modo a permitir o crescimento ereto e evitar o tombamento das mudas.

A planta do enxerto foi conduzida com fuste único e, ao atingir 50 cm de comprimento, foi podada (Figura 5A), deixando-se brotar 3 ramos secundários nos 20 cm terminais da haste principal, distribuídos simetricamente e em espiral para formar a futura copa (Figura 5B).

Figura 5 – Planta conduzida em haste única podada a 50 cm de altura (A), distribuição de ramos laterais de combinações copa/porta-enxerto de citros (B), Pombal – PB, 2023



Fonte: Dados da Pesquisa (2023).

Os três ramos secundários foram podados quando atingiram 30 cm de comprimento, de modo a estimular a brotação de ramos terciários, lateralmente, e formar a estrutura básica da copa, adequando-a ao espaçamento entre as plantas no pomar. Durante o processo de poda de formação, foram eliminados os ramos ladrões, mal localizados e/ou com problemas fitossanitários, especialmente os que se direcionaram para o solo e o interior da copa.

Foi feita a eliminação manual das flores que surgiram até 11 meses após a enxertia (março de 2021), ou seja, até seis meses após o início da irrigação com água salinizada, período necessário para uniformização das parcelas experimentais e efeito da aplicação dos tratamentos. A partir desse período (abril de 2021), foi considerado o início da floração e da fase produtiva da cultura.

O solo foi mantido com umidade próxima à da capacidade de campo, e as plantas foram irrigadas com água de baixo nível de CEa ($0,3 \text{ dS m}^{-1}$) até o início da aplicação das estratégias de irrigações com água salinizada, ou seja, 120 dias após a realização da enxertia (DAE), que correspondeu a outubro de 2020, com o propósito de promover a sua aclimatação às condições de campo.

Para irrigação das plantas, usou-se um sistema de irrigação localizada do tipo gotejamento, com gotejadores de fluxo turbulento, pelos quais as águas de distintas salinidades eram aplicadas através de um conjunto motor-bomba de 1,0 CV de potência. Foram usados três emissores autocompensantes por planta, com vazão nominal de 10 L h^{-1} .

A lâmina de irrigação foi determinada pelo método do balanço hídrico, visando repor o consumo médio diário das plantas, adotando-se um turno de rega de dois dias. Semanalmente, o consumo de água foi acrescido de uma fração de lixiviação, correspondente à divisão do valor do volume consumido durante a semana (L) por 0,9, a fim de se obter uma fração de lixiviação correspondente a 10%, com base em experimento realizado anteriormente por Silva *et al.* (2019a). Com tais cuidados, visou-se reduzir parte dos sais acumulados na zona radicular das plantas, provenientes da água de irrigação (Eq. 1). Em cada coleta da água de drenagem, a condutividade elétrica foi aferida com o auxílio de um condutivímetro de bancada. As irrigações foram realizadas com base nos componentes da equação 1.

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

Em que: VI = volume a ser irrigado no próximo evento de irrigação (L); Va = volume aplicado no evento de irrigação anterior (L); Vd = volume drenado (L), e FL = coeficiente usado para se obter uma fração de lixiviação de aproximadamente 10% (1 - 0,10).

Realizou-se o manejo nutricional das plantas nos respectivos lisímetros, com base em recomendações propostas por Mattos Junior *et al.* (2005), levando-se em consideração os resultados das análises do solo e do esterco (Tabela 2), realizadas antes da instalação do experimento. No primeiro ano de cultivo (365 DAT), a adubação fosfatada foi feita aplicando-se 40 g de P₂O₅ por planta, utilizando superfosfato simples (18% P₂O₅, 18% Ca²⁺, 12% S), na proporção de 50% no momento do transplantio; as demais adubações fosfatadas (50%) foram realizadas semanalmente com MAP (10% de N e 50% de P₂O₅). Aplicaram-se 100 g de N por planta, divididos em aplicações semanais, cujas fontes foram MAP (5% da recomendação), nitrato de cálcio (14% de N e 16% de cálcio), representando 30% da recomendação, mais ureia (45% de N) na proporção de 65% da recomendação. A adubação potássica consistiu na aplicação de 40 g por planta de K₂O, em adubações semanais, cujas fontes foram cloreto de potássio (60% K₂O), representando 50% da recomendação, e sulfato de potássio (50% K₂O), 50% da recomendação, diluídos em água de CEa 0,3 dS m⁻¹.

No segundo ano de cultivo, foram aplicados 220, 100 e 90 g de NPK por planta, cuja quantidade foi fracionada semanalmente, utilizando-se as mesmas fontes de adubos e proporções realizadas no primeiro ano de cultivo. A cada 15 dias foram feitas aplicações via pulverização foliar com macro e micronutrientes, conforme recomendações para citros, com a seguinte composição: 25% de potássio (K₂O), 2,5% de magnésio; 6,0% de enxofre; 2,0% de boro; 0,5% de cobre; 0,3% de molibdênio e 5,0% de zinco.

As plantas invasoras foram erradicadas manualmente dentro dos lisímetros e com uso de roçadeira motorizada nas linhas e entrelinhas da cultura. Durante a condução do experimento, foi feito o monitoramento do surgimento de pragas e doenças, sendo observadas incidências de pulgões (*Toxoptera citricida* Kirkaldy), cochonilhas (*Orthezia praelonga*) e minador das folhas dos citros (*Phyllocnistis citrella*), combatidas seguindo os tratamentos fitossanitários recomendados para a cultura, por meio de controle químico (Mattos Junior *et al.*, 2005).

4.5 PREPARO DAS ÁGUAS DE IRRIGAÇÃO

Como foram dois níveis de CEa, ou seja, 0,3 e 3,0 dS m⁻¹, apenas a água de nível 3,0 dS m⁻¹ foi preparada mediante a adição de NaCl, já que a água de 0,3 dS m⁻¹ foi proveniente do sistema de abastecimento local. Assim, no tocante ao preparo da água de irrigação com nível de salinidade 3,0 dS m⁻¹, a quantidade de sais (Q) foi determinada com base em Richards (1954), válida para CEa de 0,1 a 5,0 dS m⁻¹, em que se enquadra a CE da água utilizada na pesquisa, conforme Eq. 2.

$$Q \text{ (mg L}^{-1}\text{)} = 640 \times \text{CEa} \dots\dots\dots \text{Eq. 2.}$$

Em que: Q = quantidade de sais a ser aplicado (NaCl);

CEa = condutividade elétrica da água que se deseja obter no tratamento (dSm⁻¹);

O NaCl foi pesado e adicionado à água de abastecimento local até atingir o nível desejado de CEa (3,0 dS m⁻¹), conferindo-se os valores com um condutímetro portátil, com condutividade elétrica ajustada à temperatura de 25 °C. Após preparação, as águas foram armazenadas em recipientes plásticos de 500 L, um para cada nível de CEa estudado, devidamente protegidos, evitando-se a evaporação, a entrada de água de chuva e a contaminação com materiais capazes de comprometer sua qualidade.

4.6 VARIÁVEIS ANALISADAS

4.6.1 Variáveis de crescimento

O crescimento das combinações copa/porta-enxerto de citros foi avaliado aos 360 dias após o início da aplicação das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), ou seja, em outubro de 2021, com mensuração do diâmetro do caule do porta-enxerto - DCPE (mm), obtido a uma altura de 2 cm do colo da planta (Figura 6A). O diâmetro do caule da copa ou do enxerto – DCE (mm) foi realizado a 3 cm acima da enxertia (Figura 6B); a relação de compatibilidade de enxertia foi obtida pela razão entre os diâmetros dos caules dos porta-enxertos e dos enxertos (DCPE/DCE); mensurou-se também o diâmetro médio dos ramos secundários – DMRS (mm),

a 2,0 cm do ponto de inserção do ramo no caule da planta (Figura 6C), usando-se um paquímetro digital.

Figura 6 – Medição de diâmetro do caule abaixo da enxertia (A), acima da enxertia (B) e ramos secundários (C) de combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos, Pombal – PB, 2023



Fonte: Dados da pesquisa (2023).

4.6.2 Variáveis fisiológicas

4.6.2.1 Trocas gasosas

As trocas gasosas das plantas foram avaliadas aos 360 dias após o início das irrigações com água salina (DAIE), entre 6h00 e 9h00, na terceira folha totalmente expandida, do ápice para a base do ramo (Figura 7). Determinaram-se os seguintes parâmetros: taxa de assimilação de CO₂ (A) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiração (E) ($\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática (gs) ($\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e concentração interna de CO₂ (Ci) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$). Estas variáveis foram avaliadas com analisador de gás carbônico a infravermelho portátil (IRGA), modelo LCPro + Portable Photosynthesis System® (ADC Bio Scientific Limited, UK), operando com temperatura a 25 °C, irradiação de 1200 $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$, fluxo de ar de 200 mL min^{-1} e concentração de CO₂ atmosférico. Com esses dados, quantificou-se a eficiência intrínseca de uso da água (A/gs) e a eficiência instantânea de carboxilação (EiCi) - (A/Ci) (Silva *et al.*, 2019a).

Figura 7 – Avaliação das trocas gasosas nas combinações copa/porta-enxerto de citros utilizando analisador de gás carbônico a infravermelho portátil (IRGA), modelo LCPro + Portable Photosynthesis System® (ADC Bio Scientific Limited, UK), Pombal – PB, 2023



Fonte: Dados da pesquisa (2023).

4.6.2.2 Fluorescência da clorofila *a*

A eficiência fotoquímica foi determinada aos 360 dias após o início da aplicação das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), na terceira folha totalmente expandida, do ápice para a base do ramo (Figura 8), com o fluorômetro de pulso modulado, modelo OS5p da Opti Science. Obtiveram-se os parâmetros de fluorescência da clorofila *a*: fluorescência inicial (F_o), máxima (F_m), fluorescência variável ($F_v = F_m - F_o$) e máxima eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m) (Silva *et al.*, 2019b).

Com o uso do protocolo F_v/F_m , foram determinadas as variáveis de indução de fluorescência; esse protocolo foi realizado após adaptação das folhas ao escuro por um período de 30 min, usando um clipe do equipamento, de modo a garantir que todos os aceptores estivessem oxidados, ou seja, com os centros de reação abertos.

Figura 8 – Avaliação da eficiência fotoquímica através da fluorescência da clorofila *a*, nas combinações copa/porta-enxerto de citros utilizando Fluorômetro de pulso modulado modelo OS5p da Opti Science, Pombal – PB, 2023



Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Ainda com o uso do fluorômetro de pulso modulado, foram realizadas, no mesmo dia, avaliações em condições de luz, utilizando o protocolo *Yield*. Esse procedimento incluiu a aplicação de uma fonte de iluminação actínica com pulso multi flash saturante, acoplada a um clipe de radiação fotossinteticamente ativa (PAR-Clip), com determinação das seguintes variáveis: fluorescência inicial antes do pulso de saturação (F'); fluorescência máxima após adaptação à luz saturante (F_m'); taxa de transporte de elétrons (TRE); e eficiência quântica do fotossistema II (YII).

A partir desses resultados, foram calculados a fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado (F_o'), usando a equação 3; o coeficiente de extinção fotoquímica pelo modelo *lake* (qL), usando a equação 4; o rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada (YNPQ), usando a equação 5; e o rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada (YNO) com uso da equação 6.

$$F_o' = [F_o/(F_m - F_o)/F_m + (F_o/F_m')] \dots\dots\dots (\text{Oxborough; Baker, 1997}) \dots\dots\dots (\text{eq. 3})$$

$$qL = (F_m' - F')/(F_m' - F_o')*(F_o'/F') \dots\dots\dots (\text{Kramer et al., 2004}) \dots\dots\dots (\text{eq. 4})$$

$$Y (\text{NPQ}) = (F'/F_m') - (F'/F_m) \dots\dots\dots (\text{Kramer et al., 2004}) \dots\dots\dots (\text{eq. 5})$$

$$Y (\text{NO}) = F'/F_m \dots\dots\dots (\text{Kramer et al., 2004}) \dots\dots\dots (\text{eq. 6})$$

4.6.2.3 Pigmentos fotossintéticos

Os pigmentos fotossintéticos foram avaliados aos 360 dias após o início das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), determinando-se os teores de clorofila *a* (CLa), clorofila *b* (CLb), clorofila total (CLtotal) e carotenoides (CAR), de acordo com a metodologia de Lichtenthäler (1987). Utilizou-se um vazador circular de 19 mm de diâmetro para retirar um disco do tecido vegetal, coletado do terço médio do terceiro par de folhas de um ramo localizado na região mediana da copa. Em seguida, esse material foi imerso em 4 cm³ de acetona a 80%, colocada em recipientes de vidro com capacidade para 10 cm³, onde as amostras permaneceram totalmente no escuro por 48 horas em refrigerador a 8 °C para extração dos pigmentos do sobrenadante.

Os teores de clorofila *a*, *b*, total e carotenoides foram quantificados usando um espectrofotômetro de absorvância (A), nos comprimentos de onda de 663, 646 e 470 nm, respectivamente, com acetona a 80% como branco, conforme as equações 7, 8, 9 e 10. Com os resultados, foram obtidos os valores das relações entre clorofila *a* e clorofila *b* (*a/b*) das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos.

$$CLa = 12,25 A_{663} - 2,79 A_{646} \dots\dots\dots \text{Eq. 7}$$

$$CLb = 21,50 x A_{646} - 5,10 x A_{663} \dots\dots\dots \text{Eq. 8}$$

$$CLtotal = 17,3 A_{646} + 7,18 A_{663} \dots\dots\dots \text{Eq. 9}$$

$$CAR = (1000 A_{470} - 1,82 CLa - 85,02 CLb)/198 \dots\dots\dots \text{Eq. 10}$$

Em que: A = Absorvância

Os teores de CLa, CLb e CAR nas folhas foram expressos em mg g⁻¹ de matéria fresca (mg g⁻¹ MF).

4.6.2.4 Porcentagem de dano na membrana celular das folhas

Os danos na membrana celular foram determinados através do extravasamento de eletrólitos, conforme a metodologia de Bajji *et al.* (2002). Coletaram-se cinco discos foliares, com 283 mm² de área cada, de quatro folhas localizadas no terço intermediário do ramo, na região mediana da copa. Os discos foram imediatamente lavados com água destilada para retirar o conteúdo das células rompidas durante a remoção, bem como outros eletrólitos aderidos às

folhas. Após a lavagem, os discos foram secos em papel absorvente e colocados em beakers contendo 50 mL de água destilada a 25 °C, os quais foram fechados hermeticamente com papel alumínio por 4 horas. A condutividade elétrica inicial (CEi), em $\mu\text{S cm}^{-1}$, foi então medida com um condutivímetro de bancada Mca 150. Logo após, os beakers contendo os discos foram levados à estufa a 90 °C por 2 horas; após o equilíbrio térmico, mediu-se a condutividade elétrica final (CEf), também em $\mu\text{S cm}^{-1}$. O extravasamento de eletrólitos (EE) foi calculado conforme a Eq. 12.

$$\%EE = \frac{(CEi)}{CEf} \times 100 \quad \dots\dots\dots \text{Eq. 12}$$

Em que: EE = extravasamento de eletrólitos (%);

CEi = Condutividade elétrica inicial – ($\mu\text{S cm}^{-1}$);

CEf = condutividade elétrica final - ($\mu\text{S cm}^{-1}$)

4.6.3 Componentes de produção, qualidade de frutos e produtividade da água

As variáveis de produção foram avaliadas em frutos fisiologicamente maduros de cada parcela, com coloração da casca verde oliva, brilhante e superfície lisa, colhidos semanalmente durante o primeiro ano de cultivo. Foram analisadas as seguintes variáveis: número de frutos por planta (NFP), peso total de frutos por planta (PTFPP), em g planta^{-1} , comprimento transversal (CT), comprimento longitudinal (CL), número de lóculos, pH e teor de sólidos solúveis (°Brix). Além disso, estimou-se a produtividade da água (PA), conforme a equação 13.

$$PA = \frac{P}{LB} \quad \dots\dots\dots \text{Eq. 13}$$

Em que: PA – Produtividade da água de irrigação (g L^{-1});

P – Produção total de frutos (g planta^{-1});

LB – Lâmina bruta de irrigação aplicada por planta (L planta^{-1}).

O NFP foi obtido pela contagem de todos os frutos colhidos; o peso total de frutos por planta (PTFPP) refere-se ao peso total dos frutos colhidos por planta, somando todas as colheitas, com auxílio de balança analítica de precisão de 0,0001 g (Figura 9A). Foram também mensurados o comprimento longitudinal (mm), do ápice à base do fruto (Figura 9B), e o

comprimento transversal (mm), na região equatorial de todos os frutos colhidos por parcela, utilizando-se um paquímetro digital.

Após a colheita, os frutos foram lavados e cortados ao meio para contagem do número de lóculos. Em seguida, o sumo foi coletado com o auxílio de um espremedor de limão e um becker de vidro, para análise imediata do teor de sólidos solúveis (SS), expresso em °Brix, usando um refratômetro portátil (resolução de 0,2). Para a medição do pH, utilizou-se um pHmetro digital com eletrodo de membrana de vidro (resolução de 0,01).

Figura 9 – Peso de frutos (A) e medição do diâmetro longitudinal (B) de frutos de lima ácida ‘Tahiti’, enxertada em diferentes porta-enxertos e estratégias de irrigação com água salinizada, Pombal – PB, 2023



Fonte: Dados da pesquisa (2023).

4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos ao teste de homogeneidade das variâncias e, quando apresentaram distribuição normal, foram analisados por meio da análise de variância com o teste F. A significância dos tratamentos foi determinada pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), utilizando o software estatístico Sisvar (Ferreira, 2019).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO

Na Tabela 3, observa-se que houve interação significativa ($p < 0,05$) entre as combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos e as estratégias de manejo de irrigação aos 360 dias após o início das irrigações com água salinizada (DAIE) para o diâmetro médio dos ramos secundários (DMRS). Verifica-se, também, que ocorreram diferenças significativas entre as combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos e entre as estratégias de manejo de irrigação quanto ao diâmetro do caule do porta-enxerto (DCPE) e ao diâmetro do caule acima da enxertia (DCE). Em relação à compatibilidade de enxertia (DCPE/DCE), observou-se diferença significativa entre as combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos.

Tabela 3 – Resumo da análise de variância relativo ao diâmetro do caule do porta-enxerto (DCPE), diâmetro do caule acima da enxertia (DCE), relação de compatibilidade de enxertia (DCPE/DCE), e diâmetro médio dos ramos secundários (DMRS) das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos aos 360 dias após início da aplicação das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023

Variáveis	Quadrado Médio						
	Genótipos (G)	Manejos (M)	G X M	BLOCO	ERRO	MÉDIA	CV (%)
DCPE	195,31**	397,83**	16,66 ^{ns}	16,66 ^{ns}	9,01	37,79	7,94
DCE	340,00**	466,19**	15,09 ^{ns}	35,81*	11,93	32,96	10,48
DCPE/DCE	0,041**	0,015 ^{ns}	0,006 ^{ns}	0,008 ^{ns}	0,005	0,86	8,61
DMRS	205,17**	103,01**	7,68*	0,80 ^{ns}	3,38	18,24	10,09
GL	-	4	3	12	3	57	-

** = significativo 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * = significativo 5% de probabilidade ($p < 0,05$); ns = não significativo; GL grau de liberdade; CV = coeficiente de variação.

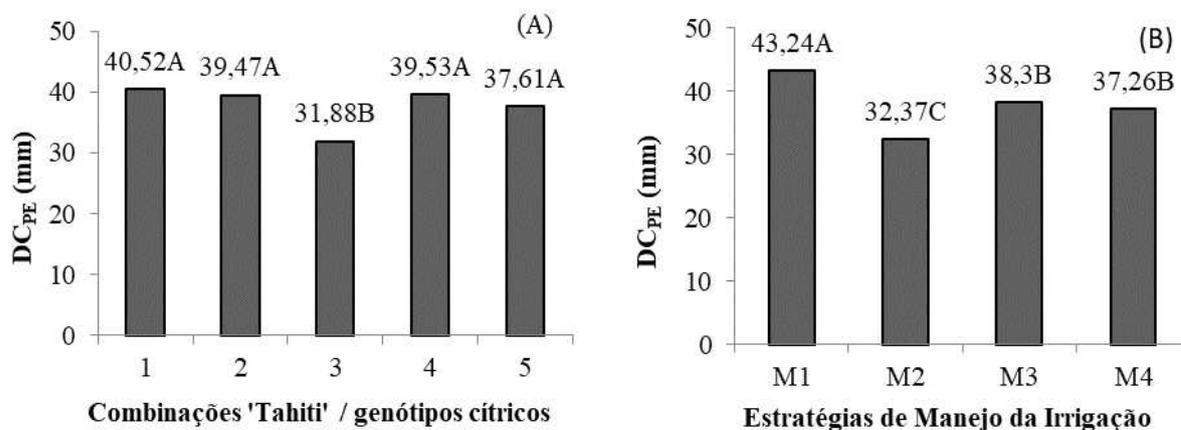
Fonte: Dados da pesquisa (2023).

O diâmetro do porta-enxerto após a enxertia é um indicativo da adaptação da variedade copa ao porta-enxerto, conforme se observa na comparação de médias (Figura 10A), na combinação ‘Tahiti’ com o TSKC x CTARG-019 obteve-se o menor crescimento em diâmetro do caule do porta-enxerto (31,88 mm) aos 360 DAIE, o que pode estar relacionado as características genéticas do porta-enxerto [(TSKC x CTARG-019)] e suas relações com a variedade copa de limeira-ácida ‘Tahiti CNPMF 01’. Diferenças no crescimento entre

indivíduos pertencentes a mesma espécie foram constatadas por Brito *et al.* (2014) e por Silva *et al.* (2019b), ao estudarem o crescimento de diversos porta-enxertos de citros sob estresse salino, tendo atribuído tais diferenças as características genéticas dos materiais estudados, ou seja, há indivíduos com potencial intrínseco de alcançar maior crescimento vegetativo que outros.

Verifica-se, na Figura 10B, que as combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos sob irrigação com água de baixo nível de condutividade elétrica (manejo E₁) apresentaram os maiores valores médios para diâmetro do caule do porta-enxerto, enquanto a irrigação contínua com água salinizada (manejo E₂) resultou no menor valor do DCPE (32,37 mm), valor 25,14% menor que o obtido no manejo E₁, comportamento que está relacionado a sensibilidade das plantas cítricas à salinidade, que ocasiona restrições no crescimento devido ao acúmulo de íons tóxicos no caule e ao estresse osmótico restringindo a absorção de água pelas raízes (Brito *et al.*, 2021), porém, mesmo os manejos intercalados apresentarem valores inferiores ao manejo E₁, ao serem comparados ao manejo E₂, resultaram em aumento de 18,32% no manejo E₃ e 15,11% no manejo E₄. Tais resultados reforçam a teoria de que plantas, quando passam por estresse, nesse caso, de natureza salina, após cessado esse período, expressam maior tolerância quando são estressadas novamente; este fato pode estar relacionado ao desenvolvimento de mecanismos de tolerância que permitam manter o turgor celular e garantir o movimento estomático necessário as trocas gasosas (Figura 16).

Figura 10 – Diâmetro do caule do porta-enxerto (DC_{PE}) das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos aos 360 dias após início da aplicação das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023



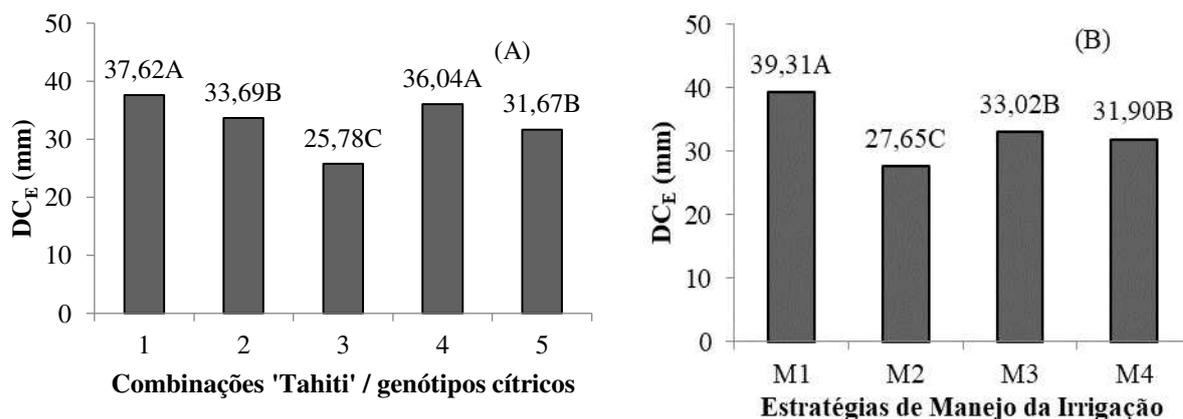
Nota: 1- Citrandarin ‘Indio’, 2 - Citrandarin ‘San Diego’, 3 - [(TSKC x CTARG –019)], 4 - Limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’, 5 - BRS ‘Bravo’ [TSKC x (LCR x TR) – 059]. Letras maiúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Verifica-se, na Figura 11A, que as combinações entre a limeira ‘Tahiti’ e o citrandarin ‘Indio’ (1) e o limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ (4) apresentaram maior valor para crescimento do diâmetro do caule acima da enxertia 37,62 mm e 36,04 mm, respectivamente, enquanto, o genótipo TSKC X CTARG-019 apresentou o menor crescimento em diâmetro do caule acima da enxertia (25,78 mm), entre os genótipos estudados. Esses resultados, demonstram melhor compatibilidade do citrandarin ‘Indio’ e do limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ a copa de ‘Tahiti CNPMF 01’ (Figura 12), onde, nessa relação, o porta-enxerto terá a função de fornecer a sustentação, aporte de água e nutrientes absorvidos no solo, enquanto, a copa promoverá a formação de compostos orgânicos que serão translocados para outros órgãos como as raízes (Pompeu Júnior, 2005; Silva *et al.*, 2012).

Observa-se, na Figura 11B, os efeitos das estratégias de irrigação com água salinizada sob o crescimento do diâmetro do caule acima da enxertia das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos, onde se constatou o maior valor do diâmetro do caule acima da enxertia nas plantas sob manejo 1. Tal resultado, pode-se considerar esperado, visto que as glicófitas, como os citros, quando irrigadas com água contendo elevadas concentrações de sais, são inibidas quanto ao crescimento (Pompeu Júnior, 2005; Brito *et al.*, 2014; Brito *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2019a).

Figura 11 – Diâmetro do caule acima da enxertia (DC_E) das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos aos 360 dias após início da aplicação das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023.



Nota: 1- Citrandarin ‘Indio’, 2 - Citrandarin ‘San Diego’, 3 - [(TSKC x CTARG –019)], 4 - Limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’, 5 - BRS ‘Bravo’ [TSKC x (LCR x TR) – 059]. Letras maiúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

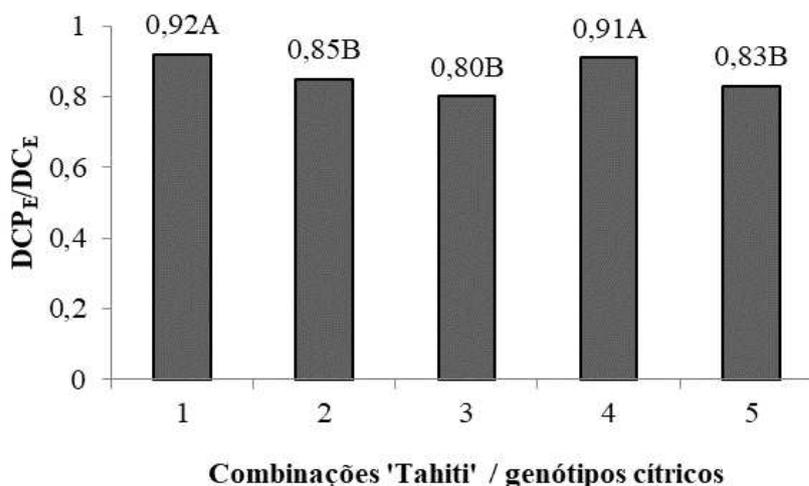
Fonte: Dados da pesquisa (2023).

De forma geral, as plantas que estavam sob manejos da irrigação 3 e 4, embora tenham apresentado diâmetro do caule do porta-enxerto e crescimento do diâmetro do caule acima da enxertia inferiores às plantas sob irrigação com água de 0,3 dS m^{-1} (manejo 1), foram estatisticamente superiores às plantas sob irrigação com água de elevada condutividade elétrica

3,0 dS m⁻¹ (manejo 2), demonstrando a viabilidade técnica da utilização dessas estratégias de irrigação para cultura dos citros. Uma explicação para o ocorrido reside no fato dos efeitos dos sais sobre o crescimento das plantas variarem com a intensidade e duração do estresse (Barbosa *et al.*, 2017), além do manejo/estratégia de irrigação com água salina utilizada (Costa *et al.*, 2013; Soares *et al.*, 2018), portanto, a inibição do crescimento do caule do porta-enxerto e da copa da limeira ácida ‘Tahiti’ pode estar relacionada à acumulação progressiva de sais presentes na zona radicular, devido as sucessivas irrigações com água salinizada, conforme se observa no Apêndice 2, através da condutividade elétrica da água de drenagem.

Em análise das médias para relação de compatibilidade de enxertia (DC_{PE}/DC_E) das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos sob estratégias de irrigação com água salinizada (Figura 12), verificou-se que as combinações entre ‘Tahiti’ e o citrandarin ‘Indio’ e o limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ alcançaram os melhores desempenhos para a relação DC_{PE}/DC_E , cujas razões foram respectivamente, 0,92 e 0,91. Todavia, embora as demais combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos tenham apresentado menor relação de compatibilidade, os resultados obtidos são considerados satisfatórios e/ou próximos ao equilíbrio perfeito (1,0), conforme Rodrigues *et al.* (2018).

Figura 12 – Compatibilidade de enxertia (DC_{PE}/DC_E) das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos aos 360 dias após início da aplicação das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023



Nota: 1- Citrandarin ‘Indio’, 2 - Citrandarin ‘San Diego’, 3 - [(TSKC x CTARG –019)], 4 - Limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’, 5 - BRS ‘Bravo’ [TSKC x (LCR x TR) – 059]. Letras maiúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Ademais, observou-se, ao longo do período de estudo, ausência de anomalias na linha de enxertia ou exsudação de goma, necrose de tecidos, hipertrofia ou descascamento do tronco,

indicativo da ocorrência de compatibilidade entre os porta-enxertos e a copa de limeira-ácida ‘Tahiti CNPMF 01’ (Mattos Junior *et al.*, 2005; Moraes *et al.*, 2011; Soares *et al.*, 2015).

Segundo Silva *et al.* (2012), o resultado da razão dos diâmetros de caule do porta-enxerto e do caule do enxerto (acima da enxertia) é um indicativo da expressão de compatibilidade genética entre os materiais enxertados, conforme evidenciado nesse trabalho; requisito tão importante quanto as características agrônômicas, a tolerância e/ou resistência a estresses de natureza biótica e abiótica norteiam a seleção de combinações copa/porta-enxertos (Emmanouilidou; Kyriacou, 2017), essenciais para o sucesso de um pomar comercial de citros.

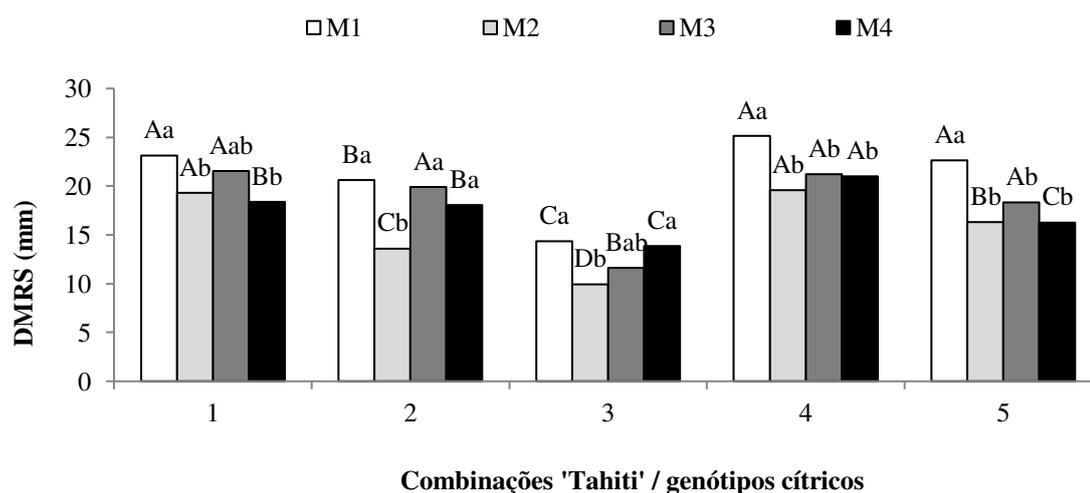
Analisando os resultados do diâmetro médio dos ramos secundários (DMRS) das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos sob estratégias de irrigação com água salinizada (Figura 13), verifica-se que o maior crescimento dos ramos secundários foi obtido pelas combinações ‘Tahiti’ com o limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’, o citrandarim ‘Índio’ e o BRS ‘Bravo’ sob estratégia de manejo de irrigação 1; por outro lado, o menor crescimento dos ramos secundários foi verificado na combinação ‘Tahiti’/TSKC x CTARG-019, independentemente da estratégia de irrigação utilizada. Nesse sentido, ressalta-se que a salinidade (manejo 2), afetou negativamente o crescimento dos ramos secundários de todas as combinações ‘Tahiti’/porta-enxertos estudados; dessa forma, embora as combinações ‘Tahiti’ com o limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’, Citrandarin ‘Índio’ e BRS ‘Bravo’ sob estratégia de manejo de irrigação 1, representem o grupo de maiores médias, quando irrigados com água de condutividade elétrica elevada CEa 3,0 dS m⁻¹ (manejo 2), notam-se decrementos na ordem de 16,60%, 22,16% e 27,93% respectivamente nos valores do crescimento dos ramos secundários, denotando sensibilidade ao estresse salino sob o mencionado manejo.

Ressalta-se que a combinação ‘Tahiti’/citrandarin ‘San Diego’ sob estratégias de manejos da irrigação 3 e 4, apresentou crescimento dos ramos secundários semelhante às plantas sob estratégia de manejo de irrigação 1, observando-se médias estatisticamente semelhantes ao grupo de maiores médias sob manejo da irrigação 3, denotando a tolerância à salinidade da referida combinação quando submetida a tais estratégias de irrigação, o que pode estar relacionado a algum processo de aclimação das plantas ao estresse, devido ao aumento gradual da concentração de sais solúveis no solo (Syvertsen; Garcia-Sanchez, 2014).

Quanto a redução do crescimento dos ramos secundários das distintas combinações ‘Tahiti’/porta-enxertos cítricos, sob estratégia de irrigação 2, podem ser relacionados efeitos de natureza osmótica ou iônica, em especial por toxidez pelo Na⁺ ou desordem nutricional pela irrigação com água de elevada condutividade elétrica (Brito *et al.*, 2017), decorrente do maior

tempo de exposição a salinidade (Fernandes *et al.*, 2011; Brito *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2019a), conforme dados de condutividade elétrica da água de drenagem (Apêndice 2), onde íons tóxicos podem ter se acumulado excessivamente nos tecidos dos ramos secundários. Além disso, de acordo com Ayers e Westcot (1999), redução relativa de 10% pode ser considerada aceitável em plantas cultivadas sob salinidade. Assim, infere-se que o crescimento das plantas em diâmetro médio dos ramos secundários foi comprometido acima do nível aceitável, quando irrigadas com águas de CEa 3,0 dS m⁻¹, de maneira ininterrupta (manejo 2).

Figura 13 – Diâmetro médio dos ramos secundários (DMRS) das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos aos 360 dias após início da aplicação das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023



Nota: 1- Citrandarin ‘Indio’, 2 - Citrandarin ‘San Diego’, 3 - [(TSKC x CTARG –019)], 4 - Limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’, 5 - BRS ‘Bravo’ [TSKC x (LCR x TR) – 059]. Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa entre as combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos e letras minúsculas distintas indicam diferença significativa entre as estratégias de irrigação pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

5.2 VARIÁVEIS FISIOLÓGICAS

5.2.1 Trocas gasosas

Pelos resultados da análise de variância (Tabela 4), verifica-se que houve interação significativa entre as combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos e estratégias de manejos de irrigação com água salinizada aos 360 dias após início das irrigações com água salina (DAIE) para a concentração interna de CO₂ (Ci), transpiração (E), condutância estomática (gs), taxa de assimilação de CO₂ (A), eficiência intrínseca de uso da água (A/g) e a eficiência instantânea da carboxilação (EiCi).

Tabela 4 – Resumo da análise de variância para concentração interna de CO₂ (*Ci*), transpiração (*E*), condutância estomática (*gs*), taxa de assimilação de CO₂ (*A*), eficiência intrínseca de uso da água (*A/gs*) e eficiência instantânea da carboxilação (*EiCi*), das combinações ‘Tahiti’/ genótipos cítricos aos 360 dias após início da aplicação das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023

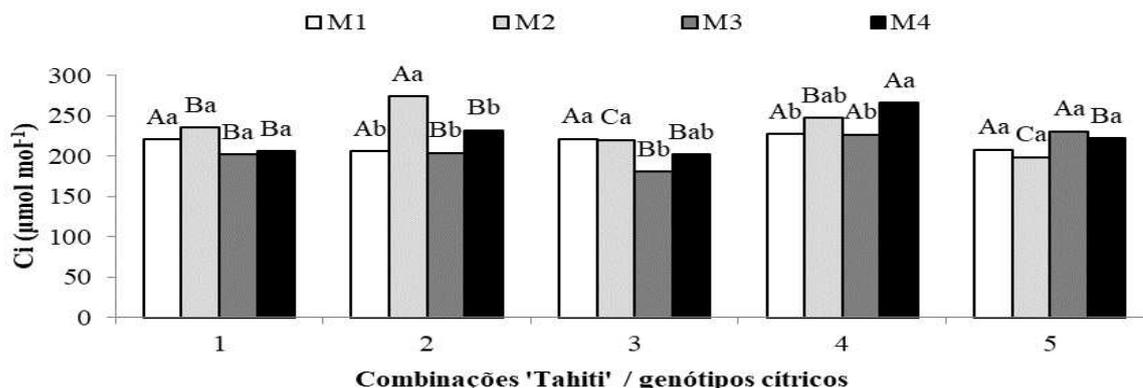
Variáveis	Quadrado Médio						
	Genótipos (G)	Manejos (M)	G X M	BLOCO	ERRO	MÉDIA	CV (%)
<i>Ci</i>	3129,50**	2587,77**	1582,88**	1447,54*	380,25	221,68	8,80
<i>E</i>	0,443 ^{ns}	0,398 ^{ns}	0,484**	0,068 ^{ns}	0,182	2,66	16,01
<i>Gs</i>	0,001 ^{ns}	0,002*	0,001*	0,001 ^{ns}	0,0007	0,11	22,97
<i>A</i>	10,64**	35,27**	11,36**	1,464 ^{ns}	2,325	9,71	15,69
<i>A/gs</i>	820,9**	387,9 ^{ns}	578,8**	532,2 ^{ns}	190,7	86,82	16,91
<i>EiCi</i>	0,0005**	0,001**	0,0005**	0,0001 ^{ns}	0,00008	0,045	20,32
GL	-	4	3	12	3	57	-

** = significativo 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * = significativo 5% de probabilidade ($p < 0,05$); ns = não significativo; GL grau de liberdade; CV = coeficiente de variação.

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Estudando a concentração interna de CO₂ (*Ci*), através do teste de médias (Figura 14), observa-se que a combinação ‘Tahiti’/citrandarin ‘San Diego’ submetida a estratégia de manejo da irrigação com água salinizada de CEa 3,0 dS m⁻¹ de maneira ininterrupta (manejo 2) e a combinação ‘Tahiti’/limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’, sob estratégia de manejo de irrigação com água salinizada de forma intermitente, a cada quatro meses (manejo 4), tiveram maiores incrementos na concentração intracelular de CO₂ (*Ci*), cujos valores foram 274,5 e 266,2 μmol mol⁻¹, respectivamente; já os menores valores para a concentração interna de CO₂ (*Ci*), foram expressos pelas combinações ‘Tahiti’ com BRS ‘Bravo’, quando se irrigou com água de CEa 3,0 dS m⁻¹, ininterruptamente (manejo 2), e a combinação ‘Tahiti’/TSKC x CTARG-019, quando submetido a estratégia de manejo da irrigação com água salinizada de forma intermitente, a cada dois meses (manejo 3), cujos valores foram, respectivamente, de 198,7 e 180,5 μmol de CO₂ mol⁻¹. Nota-se que, as combinações ‘Tahiti’ com Citrandarin ‘Indio’ e com o BRS ‘Bravo’, não apresentaram diferenças estatísticas em função das estratégias de irrigação utilizadas, indicando a tolerância das referidas combinações ao estresse salino e justificando a menor concentração interna de CO₂, apresentada pela cultivar BRS ‘Bravo’ sob estratégia de manejo E₂.

Figura 14 – Concentração interna de CO₂ (Ci) das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos aos 360 dias após início da aplicação das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023



Nota: 1- Citrandarin ‘Índio’, 2 - Citrandarin ‘San Diego’, 3 - [(TSKC x CTARG –019)], 4 - Limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’, 5 - BRS ‘Bravo’ [TSKC x (LCR x TR) – 059]. Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa entre as combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos e, letras minúsculas distintas indicam diferença significativa entre as estratégias de irrigação pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

A concentração de CO₂ na câmara subestomática em plantas de metabolismo C₃, como os citros, é considerada ideal quando está entre 200 e 250 μmol mol⁻¹ (Mattos Junior *et al.*, 2005; Taiz *et al.*, 2017), portanto, as maiores concentrações internas de CO₂ (Ci) expressadas pelas combinações ‘Tahiti’/citrandarin ‘San Diego’ e o limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’, podem ser atribuídas a redução na atividade da ribulose-1,5-bifosfato carboxilase /oxigenase (rubisco) na carboxilação do CO₂ em consequência do estresse salino (Barbosa *et al.*, 2017; Brito *et al.*, 2017), refletindo em menores taxas de assimilação de CO₂ (Figura 17) quando comparadas com o tratamento controle (manejo 1); por outro lado, embora a combinação ‘Tahiti’ /BRS ‘Bravo’ tenha apresentado concentração interna de CO₂ (Ci) abaixo do valor de referência sugerido pelos autores (Mattos Junior *et al.*, 2005; Taiz *et al.*, 2017), verificou-se, que a referida combinação não diferiu estatisticamente com a estratégia de manejo de irrigação, e, portanto, a taxa de assimilação de CO₂ não foi afetada negativamente (Figura 17); quanto ao resultado da (Ci) da combinação ‘Tahiti’ com o TSKC x CTARG-019 [180,5 (μmol mol⁻¹)], pode estar atrelado a metabolização do carbono que entrava na célula estomática, resultando em aumento da fotossíntese (Figura 17).

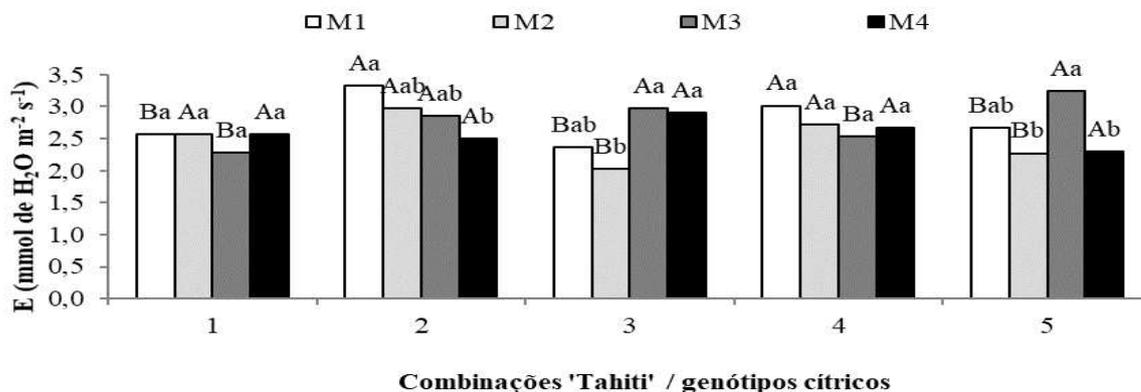
Verifica-se, na Figura 15, o desdobramento para transpiração (E) das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos dentro de cada estratégia de manejo da irrigação com água salinizada, em que as combinações ‘Tahiti’ com o citrandarin ‘San Diego’ e com o limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ foram as que obtiveram as maiores médias, 3,32 e 3,01 mmol de H₂O m⁻² s⁻¹, respectivamente, tanto sob estratégia de manejo de irrigação 1, quanto sob irrigação com água de CEa 3,0 dS m⁻¹, com início aos 120 DAE até o final do primeiro ano de produção das

plantas (manejo E₂), sendo que, sob estratégia de manejo 2, a combinação ‘Tahiti’ com citrandarin ‘Índio’ fez parte desse grupo de maiores médias; já sob estratégia de manejo da irrigação 3, observou-se que os maiores valores para transpiração ocorreram nas combinações ‘Tahiti’ com BRS ‘Bravo’, citrandarin ‘San Diego’ e TSKC x CTARG-019. Nota-se, ainda, nas combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos sob manejo 4, médias estatisticamente semelhantes.

Ressalta-se que ocorreu manutenção do potencial fisiológico das combinações ‘Tahiti’ com limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ e com o citrandarin ‘Índio’ sob estresse salino, em todas as estratégias de irrigação estudadas, tendência semelhante à observada na condutância estomática das referidas combinações (Figura 16), uma vez que, a perda de água, decorrente da abertura dos estômatos, é denominada transpiração (Taiz *et al.*, 2017).

De maneira geral, os resultados demonstram relação entre a *g_s* e *E*, pois a planta responde diretamente com aumento ou redução da transpiração conforme a abertura estomática. Denota-se, ainda, que os valores de transpiração das plantas obtidos nessa pesquisa são considerados baixos, valores inferiores a 6 mmol de H₂O m⁻² s⁻¹ (Matos Júnior, 2005) o que pode estar relacionado a um processo de aclimação as condições de estresse as quais as plantas foram submetidas, pois reduções na transpiração ocasionam menor perda de água para atmosfera e, conseqüentemente, manutenção no aporte hídrico para planta (Martins *et al.*, 2022b).

Figura 15 – Transpiração (E) das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos aos 360 dias após início da aplicação das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023



Nota: 1- Citrandarin ‘Índio’, 2 - Citrandarin ‘San Diego’, 3 - [(TSKC x CTARG –019)], 4 - Limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’, 5 - BRS ‘Bravo’ [TSKC x (LCR x TR) – 059]. Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa entre as combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos e, letras minúsculas distintas indicam diferença significativa entre as estratégias de irrigação pelo teste de Tukey (*p* < 0,05).

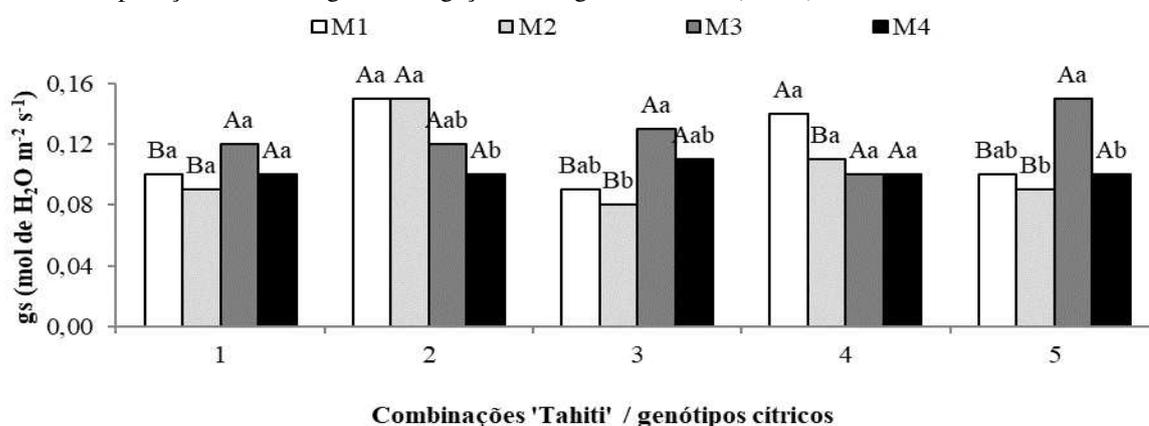
Fonte: Dados da pesquisa (2023).

As trocas gasosas dependem, substancialmente, do movimento estomático. Dessa forma, a abertura dos estômatos acontece para a captação de CO₂ atmosférico necessário à

fotossíntese. Ante o exposto, observa-se, na Figura 16, que os maiores valores para condutância estomática (gs) das plantas no tratamento controle (Manejo 1) foram obtidos pelas combinações entre ‘Tahiti’ com o Citrandarin ‘San Diego’ ($0,15 \text{ mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e o limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ ($0,14 \text{ mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Para os demais manejos, ou seja, quando submetido às irrigações com água salinizada, o porta-enxerto Citrandarin ‘San Diego’ apresentou os menores valores no manejo 4 ($0,10 \text{ mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), sendo que esse não diferiu dos demais porta-enxertos testados. Já a combinação com ‘Tahiti’ com Citrandarin ‘Indio’ e o limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ apresentaram condutância estomática estatisticamente semelhante, independentemente da estratégia de manejo utilizada, denotando seu potencial de tolerância ao estresse salino.

Por outro lado, o menor valor da gs ($0,08 \text{ mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi obtido pela combinação ‘Tahiti’ com o porta-enxerto TSKC x CTARG-019, além do Citrandarin ‘Indio’ e do BRS ‘Bravo’ ($0,09 \text{ mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) no manejo 2, sem, contudo, diferir estatisticamente das combinações 1 e 4. Desta forma, o manejo com água salinina (CEa $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ de maneira ininterrupta) resulta em diminuição na gs , o que está relacionado a redução do potencial osmótico do solo ocasionado pelo excesso de sais, sobretudo o sódio, dificultando a absorção de água pela planta, sinalizando o fechamento dos estômatos para reduzir a perda de água pelo fluxo transpiratório (Pinheiro *et al.*, 2022; Dourado *et al.*, 2022).

Figura 16 – Condutância estomática (gs) das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos aos 360 dias após início da aplicação das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023



Nota: 1- Citrandarin ‘Indio’, 2 - Citrandarin ‘San Diego’, 3 - [(TSKC x CTARG –019)], 4 - Limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’, 5 - BRS ‘Bravo’ [TSKC x (LCR x TR) – 059]. Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa entre as combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos e, letras minúsculas distintas indicam diferença significativa entre as estratégias de irrigação pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

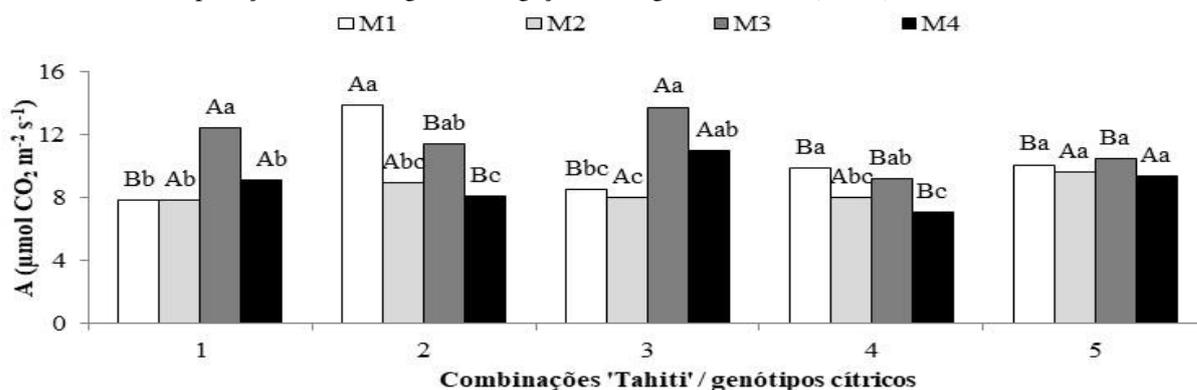
Conforme os dados de condutância estomática (gs) obtidos nessa pesquisa (Figura 16), os valores variaram entre $0,08$ e $0,15 \text{ mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, próximos aos estabelecidos por

Medina *et al.* (2005), que, segundo os autores, a (*gs*) em citros varia de 0,1 a 0,3 mol de H₂O m⁻² s⁻¹. Todavia, outras pesquisas realizadas com essa cultura, destacaram variações de 0,05 a 0,27 mol de H₂O m⁻² s⁻¹ (Brito *et al.*, 2016b), 0,05 a 0,1 mol de H₂O m⁻² s⁻¹ (Carvalho *et al.*, 2016) e 0,09 a 0,18 mol de H₂O m⁻² s⁻¹ (Brito *et al.*, 2017), estando condizentes com os valores encontrados no presente estudo, principalmente ao considerar que, embora o solo estivesse em capacidade de campo, as condições climáticas no período em que foram realizadas as avaliações de trocas gasosas, foi observado temperaturas elevadas e baixa umidade relativa do ar (Figura 1), que limitam a abertura estomática (Matos Junior *et al.*, 2005).

Estudando a taxa de assimilação de CO₂ (*A*) das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos sob diferentes estratégias de irrigação com águas salinizadas (Figura 17), verificou-se que a combinação ‘Tahiti’ com o citrandarin ‘San Diego’ apresentou o maior valor sob manejo 1 (13,84 μmol m⁻² s⁻¹), sendo que para o mesmo genótipo a irrigação com água salina (manejo 2) resultou em perdas de 35,62% na *A*; todavia, os manejos com alternância de irrigação apresentaram comportamentos distintos, com o manejo 3 (11,43 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹) apresentando valores 29,48% superiores ao manejo 4 (8,06 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹). A combinação ‘Tahiti’ com o porta-enxerto BRS ‘Bravo’ mesmo não apresentando diferença estatística para os demais genótipos sob manejo 1, não se constatou diferença na fotossíntese entre os manejos de irrigação, demonstrando manutenção na atividade fotossintética mesmo sob irrigação com água salina. Forma similar foi observada nas combinações com porta-enxerto Citrandarin ‘Indio’, porém apresentando ganhos na fotossíntese ao ser mantida no manejo 3 (12,40 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹), que juntamente com o porta-enxerto [(TSKC x CTARG – 019)] (13,74 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹) apresentaram os maiores valores encontrados no manejo 3. Ressalta-se, todavia, que tais resultados não refletiram em aumentos nos componentes de produção (Figura 23 A e B), inclusive, a combinação ‘Tahiti’/TSKC x CTARG – 019, apresentou o menor crescimento e não produziu frutos durante a pesquisa, assim, permite inferir que não houve correlação entre a taxa de assimilação de CO₂, o crescimento e a produção das plantas para a referida combinação.

Denota-se que as distintas combinações apresentaram taxa de assimilação de CO₂ (*A*) similares sob manejo 2, porém com os manejos de alternância de irrigação resultando em respostas variáveis sobre os genótipos, confirmando o argumento de que a tolerância à salinidade é variável entre espécies e, em uma mesma espécie, entre diferentes estádios de desenvolvimento da planta (Brito *et al.*, 2014), com a intensidade e duração do estresse (Barbosa *et al.*, 2017) e pela estratégia de irrigação utilizada.

Figura 17 – Taxa de assimilação de CO₂ (A) das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos aos 360 dias após início da aplicação das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023



Nota: 1- Citrandarin ‘Indio’, 2 - Citrandarin ‘San Diego’, 3 - [(TSKC x CTARG -019)], 4 - Limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’, 5 - BRS ‘Bravo’ [(TSKC x (LCR x TR) - 059)]. Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa entre as combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos e, letras minúsculas distintas indicam diferença significativa entre as estratégias de irrigação pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

A taxa de fotossíntese líquida de todas as combinações, independente do manejo de água salina adotado, pode ser considerada normal, conforme Matos Júnior *et al.* (2005), que segundo os autores, os valores da taxa de assimilação de CO₂ (A) de plantas cítricas varia de 4 a 12 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ com abertura estomática entre 0,1 a 0,3 mol de H₂O $\text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Segundo Taiz *et al.* (2017), assimilam entre 1 e 20 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; Brito *et al.* (2016b), varia de 2,66 a 13,38 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, estando em consonância com os resultados obtidos nesse estudo. Já Silva *et al.* (2019a), estudando a morfofisiologia da limeira ácida ‘Tahiti’ enxertada em híbridos de tangerina Sunki sob estresse salino até a fase de pré-floração, concluíram que a irrigação com água salina de 3,0 dS m^{-1} não influencia a atividade fotossintética das combinações copa/porta-enxerto de citros estudadas aos 180 dias após aplicação do estresse, cuja média foi 4,87 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

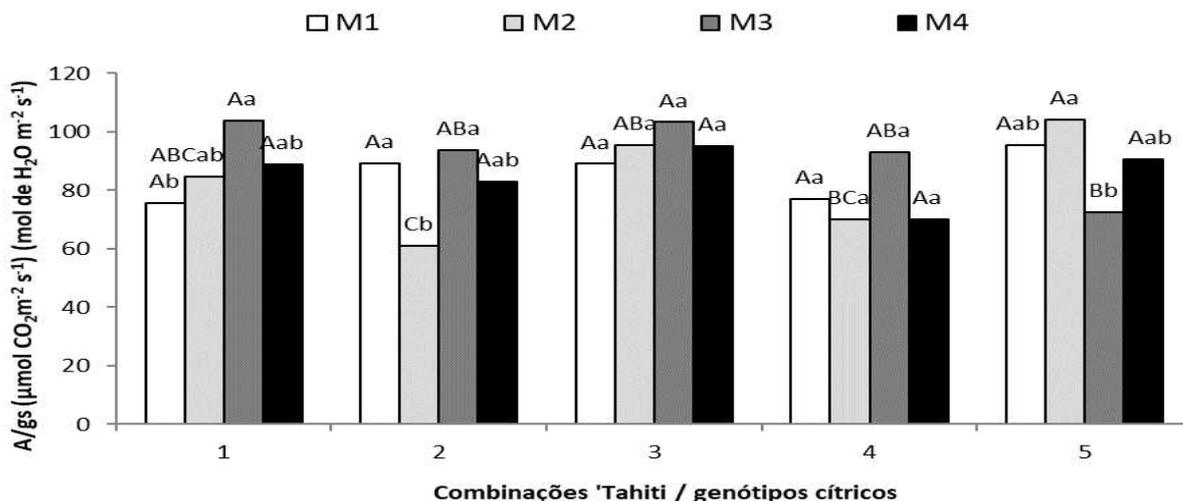
Estudando a eficiência intrínseca do uso da água (Figura 18), observa-se que a limeira ácida ‘Tahiti’ enxertada em distintos porta-enxertos não apresentou diferença estatística sob estratégias de manejo da irrigação 1 e 4. Entretanto, a combinação ‘Tahiti’ com BRS ‘Bravo’ apresentou o melhor resultado para eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) 104,07 ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (mol de H₂O $\text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) sob estratégia de manejo da irrigação 2, sofreu redução de 30,44% nos valores de A/g_s ao ser submetida a estratégia de manejo da irrigação 3.

Verifica-se que a eficiência intrínseca do uso da água das combinações ‘Tahiti’ com TSKC x CTARG-019 e limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ foram semelhantes, independentemente das estratégias de irrigação utilizadas (Figura 18). Quanto ao aumento da eficiência intrínseca do uso da água sob estresse salino, significa ter ocorrido menor redução da taxa de assimilação

de CO₂ (A) (Figura 17) do que diminuições na condutância estomática (Figura 16), conforme Gandonou *et al.* (2018), ou seja, a quantidade de dióxido de carbono fixado durante a fotossíntese por cada molécula de água perdida nesse processo, podendo ser um mecanismo de aclimação das plantas ao estresse salino, o que permite deduzir que a referida combinação ('Tahiti' BRS 'Bravo') possui tolerância à salinidade da água de irrigação.

Figueredo *et al.* (2020), estudando a morfofisiologia de mudas de maracujazeiro amarelo sob aplicação de nitrogênio e potássio e irrigadas com águas salinas, verificaram que a eficiência intrínseca do uso da água (*A/g_s*) aumentou linearmente com o aumento da salinidade da água de irrigação, cujos valores foram 9,01 e 22,36, quando as plantas foram irrigadas com água de condutividade elétrica de 0,5 dS m⁻¹ e 3,8 dS m⁻¹, respectivamente. Por outro lado, Souza *et al.* (2023a), estudando a morfofisiologia e produção de aceroleira sob estresse salino e adubação com nitrogênio-fósforo-potássio, não observaram efeito significativo da salinidade da água de irrigação sobre a eficiência intrínseca do uso da água (*A/g_s*) aos 260 dias após o transplantio.

Figura 18 – Eficiência intrínseca de uso de água (*A/g_s*) das combinações 'Tahiti'/genótipos cítricos aos 360 dias após início da aplicação das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023



Nota: 1- Citrandarin 'Indio', 2 - Citrandarin 'San Diego', 3 - [(TSKC x CTARG -019)], 4 - Limoeiro 'Cravo Santa Cruz', 5 - BRS 'Bravo' [(TSKC x (LCR x TR) - 059)]. Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa entre as combinações 'Tahiti'/genótipos cítricos e, letras minúsculas distintas indicam diferença significativa entre as estratégias de irrigação pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

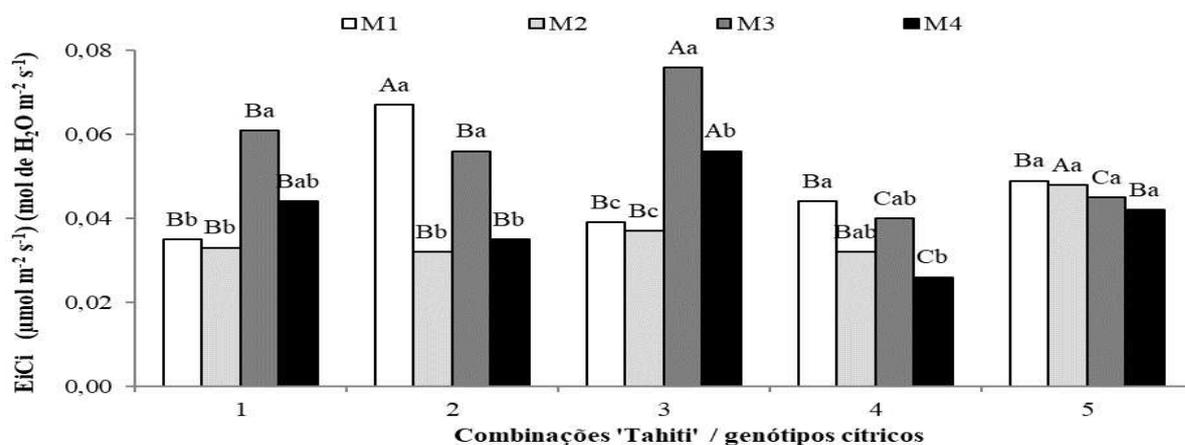
A eficiência instantânea da carboxilação (*EiCi*) (*A/Ci*) representa a quantidade de carbono que a planta fixa para realização da fotossíntese por unidade de carbono que não é fixado e acumulado no interior das folhas (Taiz *et al.*, 2017). Desta forma, analisando a *EiCi*, disposta na Figura 19, afirma-se que a maior eficiência de fixação de carbono ocorreu nas

combinações entre ‘Tahiti’ com o híbrido TSKC x CTARG-019 sob estratégia de manejo da irrigação 3 e no ‘Tahiti’ com o citrandarin ‘San Diego’ sob estratégia de irrigação 1 (controle), favorecendo maior taxa de assimilação de CO₂ (Figura 17); comportamento similar foi observado para essa combinação (‘Tahiti’ com o Citrandarin ‘San Diego’) sob estratégia de irrigação 3, havendo, portanto, redução da (*EiCi*) destas combinações em função das estratégias de irrigação utilizadas.

O menor valor da eficiência instantânea da carboxilação (*EiCi*) foi obtido na combinação ‘Tahiti’ com limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ sob manejo da irrigação 4; ressalta-se que a combinação ‘Tahiti’ com BRS ‘Bravo’ apresentou comportamento estatisticamente igual para eficiência instantânea da carboxilação (*EiCi*), independentemente da estratégia de irrigação utilizada, denotando tolerância a salinidade da água de irrigação, tendência semelhante a observada para concentração interna de CO₂ (*Ci*) e taxa de assimilação de CO₂ (A).

A eficiência instantânea de carboxilação está intimamente relacionada à abertura e fechamento dos estômatos. Contudo, neste estudo, a condutância estomática não afetou o influxo de CO₂ para a câmara subestomática (Figura 16). Dessa forma, o menor valor de eficiência instantânea de carboxilação (*EiCi*), encontrado nas combinações ‘Tahiti’ com limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ pode estar associado ao aumento na atividade de oxigenase da enzima rubisco em detrimento da carboxilase, resultando em menores taxas de assimilação de carbono (Voss *et al.*, 2013; Silva *et al.*, 2020).

Figura 19 – Eficiência instantânea de carboxilação (*EiCi*) das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos aos 360 dias após início da aplicação das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023



Nota: 1- Citrandarin ‘Indio’, 2 - Citrandarin ‘San Diego’, 3 - [(TSKC x CTARG –019)], 4 - Limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’, 5 - BRS ‘Bravo’ [(TSKC x (LCR x TR) – 059)]. Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa entre as combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos e, letras minúsculas distintas indicam diferença significativa entre as estratégias de irrigação pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

5.2.2 Fluorescência da clorofila *a*

Conforme o resumo da análise de variância (Tabela 5), nenhuma das variáveis de fluorescência da clorofila *a* respondeu de maneira significativa ($p > 0,05$) à interação entre as combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos e as estratégias de manejos de irrigação com água salinizada. De forma isolada, as combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos foram diferentes, significativamente, quanto a fluorescência inicial (F_o) e a eficiência quântica fotoquímica do Fotossistema II (F_v/F_m), enquanto as estratégias de manejos de irrigação com água salinizada influenciaram a fluorescência inicial (F_o), fluorescência variável (F_v) e eficiência quântica fotoquímica máxima do Fotossistema II (F_v/F_m) aos 360 dias após início da aplicação das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE).

Tabela 5 – Resumo da análise de variância relativa à fluorescência inicial (F_o), fluorescência máxima (F_m), fluorescência variável (F_v) e eficiência quântica fotoquímica máxima do Fotossistema II (F_v/F_m) das combinações ‘Tahiti’/ genótipos cítricos aos 360 dias após início da aplicação das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023

Variáveis	Quadrado Médio						Média	CV%
	Genótipo (G)	Manejo (M)	G x M	Bloco	Erro			
F_o	20820,4**	31239,9**	6025,4 ^{NS}	2217,1 ^{NS}	4745,4	567,6	12,14	
F_m	49576,8 ^{NS}	53820,4 ^{NS}	53496,8 ^{NS}	214254,5 ^{NS}	79204,3	1712,6	16,43	
F_v	59359,9 ^{NS}	188431,2*	52621,2 ^{NS}	248481,9*	62970,8	1138,8	22,03	
F_v/F_m	0,0099*	0,0299**	0,0038 ^{NS}	0,0128*	0,0032	0,6593	8,59	
GL	4	3	12	3	57	-	-	

** = significativo 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * = significativo 5% de probabilidade ($p < 0,05$); ns = não significativo FV = fonte de variação; GL grau de liberdade; CV = coeficiente de variação.

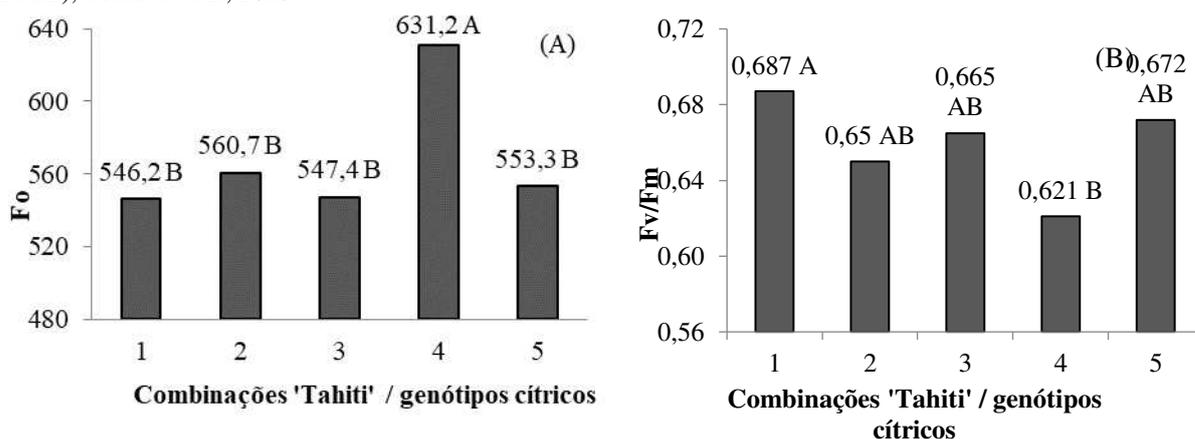
Fonte: Dados da pesquisa (2023).

A fluorescência da clorofila pode ser utilizada para selecionar genótipos de citros tolerantes a salinidade da água de irrigação (Brito *et al.*, 2016a), dessa forma, analisando os dados referentes as combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos (Figura 20A), nota-se maior fluorescência inicial (F_o) na combinação ‘Tahiti’ com o porta-enxerto limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’, conferindo diminuição na capacidade de transferência da energia de excitação do P680 para a plastoquinona, sendo indicativo da degradação do centro de reação (Veloso *et al.*, 2021). A resposta observada por esses autores corrobora com o declínio na eficiência quântica do PSII (F_v/F_m) notado na combinação ‘Tahiti’ ‘Cravo Santa Cruz’ (Figura 20B), em comparação com a combinação 1, que pode estar relacionado as interações entre as combinações ‘Tahiti’/ genótipos cítricos e o ambiente onde foi realizada a pesquisa, uma vez que ocorreram

temperaturas elevadas e baixa umidade relativa do ar (Figura 2B e 2C), prejudicando o processo de dissipação de energia no fotossistema (Martins *et al.*, 2022b).

Os resultados de fluorescência da clorofila *a* estão em consonância com Silva *et al.* (2014), ao estudarem indicadores fisiológicos de percepção do estresse salino em mudas de citros, verificaram efeito significativo nas variáveis de fluorescência, relacionando essa resposta a danos no fotossistema.

Figura 20 – Fluorescência inicial (Fo) (A) e eficiência quântica do PSII (Fv/Fm) (B) das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos aos 360 dias após início da aplicação das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023



Nota: 1- Citrandarin ‘Indio’, 2 - Citrandarin ‘San Diego’, 3 - [(TSKC x CTARG –019)], 4 - Limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’, 5 - BRS ‘Bravo’ [TSKC x (LCR x TR) – 059]. Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa entre as combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

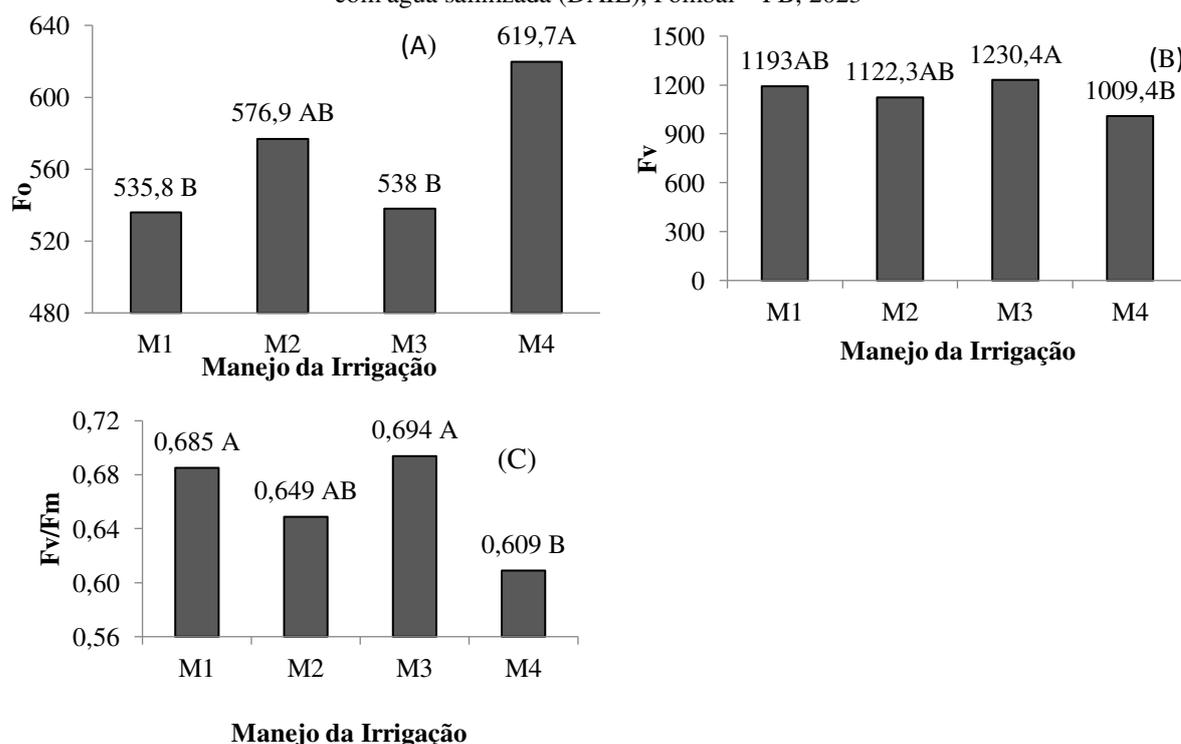
Ao analisar o fator manejo da irrigação com água salinizada sobre a fluorescência inicial (Fo) das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos, observa-se que as plantas sob manejo 4 obtiveram maior média (619,7 elétrons quantum⁻¹), seguidas pelo manejo 2 com média 576,9 elétrons quantum⁻¹ (Figura 21A). Ressalta-se, entretanto, que tais incrementos na fluorescência inicial (Fo) das combinações ‘Tahiti’/ porta enxertos cítricos não são benéficos para as plantas, sendo indicativo de dano ao aparelho fotossintético ocasionado pelo maior tempo de exposição ao estresse salino, devido à perda de energia fotoquímica liberada pelas moléculas de clorofila *a*, situação típica de um estado de oxidação da quinona (receptora primária de elétrons) no centro de reação (P680), dificultando a transferência de energia do fotossistema II (Akhter *et al.*, 2021; Veloso *et al.*, 2021).

Conforme se observa na Figura 21B, a fluorescência variável (Fv) das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos sob manejo da irrigação 3, obtiveram melhores resultados, com média 1230,4 elétrons quantum⁻¹, seguidas pelo manejo 1, com média 1193,0 elétrons quantum⁻¹.

¹, embora estatisticamente semelhantes; entretanto, sob manejo 4, apresentaram média 1009,4 elétrons quantum⁻¹, cujos decrementos na Fv representaram 17,96%, em comparação com as plantas sob manejo 3. Diminuição de Fv está associada a perda da capacidade da planta transferir a energia dos elétrons ejetados das moléculas de clorofila *a* do fotossistema II, contribuindo para redução na síntese de ATP e NADPH, conseqüentemente, menor capacidade de assimilação do CO₂ na fase bioquímica da fotossíntese (Lima *et al.*, 2019; Pshybytko, 2023), podendo estar associado ao aumento do estresse salino (APÊNDICE 2).

Em relação ao rendimento quântico do fotossistema II, estimado pela relação Fv/Fm das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos, observa-se nos manejos da irrigação 3 e 1 os maiores valores médios, 0,694 e 0,685 elétrons quantum⁻¹, respectivamente, ressalta-se não ter havido diferença significativa entre esses manejos e as plantas sob manejo 2; entretanto, as plantas sob manejo 4 obtiveram média 0,609 elétrons quantum⁻¹ (Figura 21C), inferior ao manejo 3. Os menores resultados observados nas distintas combinações sob estratégias de manejo 4 indicam que a luz solar absorvida não foi convertida em energia fotoquímica, sendo, possivelmente, dissipada na forma de calor (Najar *et al.*, 2018).

Figura 21 – Fluorescência inicial (Fo) (A), fluorescência variável (Fv) (B) e eficiência quântica do PSII (Fv/Fm) (C) das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos aos 360 dias após início da aplicação das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023



Nota: Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa entre as estratégias de irrigação pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

No tocante a eficiência fotoquímica das combinações ‘Tahiti’/ genótipos cítricos nas avaliações em condições de claro, constatou-se, com base nos resultados do resumo da análise de variância (Tabela 6), que não houve influência significativa dos fatores nas variáveis de fluorescência da clorofila *a*, seja por meio da interação ou de forma isolada, o que significa dizer que as reações fotoquímicas da fotossíntese após saturação luminosa não foram prejudicadas (Zhao *et al.*, 2019; Moghadam *et al.*, 2020), corroborando com os resultados dos teores de clorofilas (Tabela 7). Deduzindo-se que pode haver algum mecanismo de aclimação das distintas combinações ao estresse salino, já que na literatura, pesquisas relatam o efeito nocivo do excesso de sais da água de irrigação sobre as funções fisiológicas das plantas de citros, que comprometem o crescimento, o desenvolvimento e a produção (Brito *et al.*, 2021; Martins *et al.*, 2022a; Silva *et al.*, 2022).

De maneira geral, a fluorescência da clorofila *a* é utilizada para aferição da eficiência das reações fotoquímicas da fotossíntese, como a recepção primária de elétrons do fotossistema II antes da oxidação da água mediada pela luz, com o fluxo desses elétrons entre os fotossistema II e I na membrana dos tilacoides e a eficiência quântica da transferência de elétrons para formação do NADPH e ATP, utilizados na fase bioquímica da fotossíntese (Taiz *et al.*, 2017).

Tabela 6 – Resumo da análise de variância referente ao protocolo Yeld para a Fluorescência inicial antes do pulso de saturação (F’), fluorescência máxima após adaptação à luz saturante (Fm’), eficiência quântica do fotossistema II (Y_{II}), taxa de transporte de elétrons (ETR), fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado (Fo’), o rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada (Y_{NPQ}), o rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada (Y_{NO}) e coeficiente de extinção fotoquímico pelo modelo lake (qL), das combinações ‘Tahiti’/ genótipos cítricos aos 360 dias após início da aplicação das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023

Variáveis	Quadrado Médio						
	Genótipo (G)	Manejo (M)	G x M	Bloco	Erro	Média	CV%
F’	1300,1 ^{NS}	529,2 ^{NS}	535,9 ^{NS}	2522,1 ^{NS}	984,0	136,3	23,02
Fm’	4517,0 ^{NS}	1960,4 ^{NS}	2745,9 ^{NS}	3038,2 ^{NS}	2772,6	242,1	21,74
Y _{II}	0,0254 ^{NS}	0,0215 ^{NS}	0,0067 ^{NS}	0,0383 ^{NS}	0,0195	0,422	33,11
ETR	403,42 ^{NS}	908,26 ^{NS}	865,87 ^{NS}	2227,25*	733,75	49,74	54,46
Fo’	1890,6 ^{NS}	1944,1 ^{NS}	1028,0 ^{NS}	600,1 ^{NS}	1104,1	186,6	17,80
Y _(NPQ)	0,0247 ^{NS}	0,0222 ^{NS}	0,0069 ^{NS}	0,0299 ^{NS}	0,0166	0,497	25,96
Y _(NO)	0,0004 ^{NS}	0,0005 ^{NS}	0,0002 ^{NS}	0,0009 ^{NS}	0,0004	0,081	25,59
qL	4,7852 ^{NS}	3,5453 ^{NS}	0,8774 ^{NS}	4,4252 ^{NS}	2,2465	2,95	50,64
GL	4	3	12	3	57	-	-

** = significativo 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * = significativo 5% de probabilidade ($p < 0,05$); ns = não significativo FV = fonte de variação; GL grau de liberdade; CV = coeficiente de variação.

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

5.2.3 Pigmentos fotossintéticos e porcentagem de dano na membrana celular das folhas

Constata-se, conforme o resumo da análise de variância (Tabela 7), que houve diferenças significativas entre as combinações Tahiti'/genótipos cítricos em relação ao teor de carotenoides (Car) foliares; por outro lado, não se observou diferenças entre os manejos ou as combinações seja por meio da interação ou de forma isolada na porcentagem de extravasamento de eletrólitos (%EE), a clorofila *a* (Cl *a*), a clorofila *b* (Cl *b*), a relação clorofila *a* e *b* (*a/b*) e a clorofila total (Cl *t*).

Nessas condições, ou seja, ausência de significância dos fatores estudados sobre as mencionadas variáveis, indica que houve eficiência de captação de luz e fotoproteção do fotossistema II, corroborando com os resultados da fluorescência da clorofila *a* (Tabelas 6 e 7), onde, igualmente, não se observou efeito da interação dos fatores, vez que esses pigmentos fotossintéticos captam energia nos diferentes comprimentos de onda e a transfere para o centro de reação, que efetivamente atua nas reações fotoquímicas da fotossíntese (Taiz *et al.*, 2017), portanto, torna-se evidente que as condições de estresse salino que foram submetidas as combinações 'Tahiti'/genótipos cítricos não ocasionaram danos no aparato fotossintético, já que não houve destruição dos pigmentos de clorofila ou instabilidade do complexo pigmento-proteína (Souza *et al.*, 2023b) ou danos às membranas e organelas celulares (Nobrega *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2021d), embora tenha ocorrido significância do fator genótipo sobre o teor de carotenoides, pigmento acessório que participa da absorção e transferência de luz para a clorofila e dissipação da energia excedente (Dias *et al.*, 2019).

Tabela 7 – Resumo da análise de variância para porcentagem de extravasamento de eletrólitos (%EE), clorofila *a* (Cl *a*), clorofila *b* (Cl *b*), relação clorofila *a* e *b* (*a/b*), clorofila total (Cl *t*) e carotenoides (Car) das combinações 'Tahiti'/genótipos cítricos aos 360 dias após início da aplicação das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023

Variáveis	Quadrado Médio						Média	CV%
	Genótipo (G)	Manejo (M)	G x M	Bloco	Erro			
%EE	66,029 ^{NS}	58,525 ^{NS}	62,699 ^{NS}	34,279 ^{NS}	60,168	66,30	11,69	
Cl <i>a</i>	24,898 ^{NS}	2,251 ^{NS}	19,375 ^{NS}	18,420 ^{NS}	11,741	13,98	24,51	
Cl <i>b</i>	3,186 ^{NS}	1,779 ^{NS}	4,335 ^{NS}	3,616 ^{NS}	2,855	30,96	5,45	
Cl <i>a/b</i>	0,186 ^{NS}	0,116 ^{NS}	0,080 ^{NS}	0,017 ^{NS}	0,109	12,66	2,61	
Cl <i>t</i>	44,815 ^{NS}	7,652 ^{NS}	41,146 ^{NS}	38,174 ^{NS}	24,745	25,59	9,44	
Car	2,377*	1,393 ^{NS}	0,726 ^{NS}	1,567 ^{NS}	0,728	23,26	3,67	
GL	4	3	12	3	57	-	-	

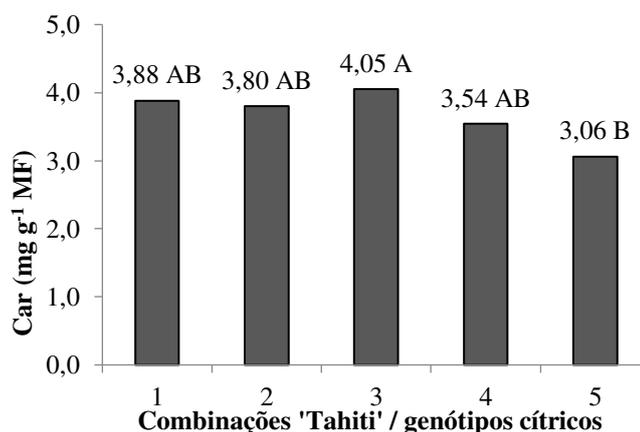
** = significativo 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * = significativo 5% de probabilidade ($p < 0,05$); ns = não significativo FV = fonte de variação; GL grau de liberdade; CV = coeficiente de variação.

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Em relação ao conteúdo de carotenoides foliares, os quais são pigmentos acessórios que exercem ação fotoprotetora ao aparato fotoquímico nas plantas, prevendo danos foto-oxidativos às moléculas de clorofila (Barbosa *et al.*, 2014; Simkin *et al.*, 2022), verifica-se, através do teste de comparação de médias (Figura 23), que a combinação de ‘Tahiti’ com o TSKC x CTARG-019 produziu maior concentração do pigmento, 4,05 mg g⁻¹ de matéria fresca, todavia, não diferiu das combinações 1, 2 e 4. Por outro lado, o menor teor de carotenoide (3,06 mg g⁻¹ MF) foi observado na combinação ‘Tahiti’ com BRS ‘Bravo’, sem, contudo, diferir das combinações de ‘Tahiti’ com o ‘Indio’, o ‘San Diego’ e o ‘Cravo Santa Cruz’.

O menor teor de carotenoides apresentado pela referida combinação em relação à combinação 3, pode estar relacionado as características genéticas do porta-enxerto BRS ‘Bravo’ e suas interações com a variedade copa de limeira ácida ‘Tahiti CNPMF 01’, visto que, as diferenças entre as combinações em relação aos teores de carotenoides, em nada afetaram suas funções de proteção das clorofilas em função dos manejos de irrigação (Tabela 7). Ademais, a mencionada combinação, manteve a eficiência quântica do fotossistema II entre os maiores valores, Fo entre os menores, a eficiência na carboxilação e a produção estáveis entre os tratamentos.

Figura 22 – Carotenoides foliares das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos aos 360 dias após início da aplicação das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023



Nota: 1 - Citrandarin ‘Indio’, 2 - Citrandarin ‘San Diego’, 3 - [(TSKC x CTARG –019)], 4 - limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’, 5 - BRS ‘Bravo’ [TSKC x (LCR x TR) – 059]. Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa entre as combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

5.2.4 Componentes de produção, qualidade de frutos e produtividade da água

Verifica-se que houve interação significativa ($p < 0,01$) entre as combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos e as estratégias de manejos de irrigação com água salinizada para o

número de frutos por planta (NFP), o peso total de frutos por planta (PTFPP), o potencial hidrogeniônico (pH), os sólidos solúveis totais (SST) e a produtividade da água (PA) (Tabela 8); observa-se, ainda, que houve efeito significativo isolado dos fatores combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos e estratégias de manejo da irrigação sobre os comprimentos longitudinal (CL) e transversal (CT) de frutos; já em relação ao número de lóculos (NLOC), não se notou efeito significativo das estratégias de manejo da irrigação com água salina ou diferenças entre as distintas combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos durante o primeiro ano de produção.

Tabela 8 – Resumo da análise de variância para número de frutos por planta (NFP), peso total de frutos por planta (PTFPP) (g planta⁻¹), comprimento longitudinal (CL), comprimento transversal (CT), número de lóculos (NLOC), potencial hidrogeniônico (pH), sólidos solúveis totais (SST) de frutos e produtividade da água (PA) das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos aos 360 dias após início da aplicação das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023

Variáveis	Quadrado Médio						
	Genótipo (G)	Manejo (M)	G x M	Bloco	Erro	Média	CV%
NFP	11352,47**	112,34 ^{NS}	638,63**	860,07**	107,69	49,28	21,06
PTFPP	27723278,2**	5710238,3**	6112098,7**	362523,3**	94409,6	2277,0	13,49
CL	23,7619**	16,2461*	8,8958 ^{NS}	0,0459 ^{NS}	4,6274	49,77	49,77
CT	40,5008**	19,2253**	4,0443 ^{NS}	5,3300 ^{NS}	3,2941	46,34	4,32
NLOC	0,3639 ^{NS}	0,0225 ^{NS}	0,1881 ^{NS}	0,2107**	0,1305	10,46	3,42
pH	0,0221 ^{NS}	0,0371 ^{NS}	0,0273**	0,0084 ^{NS}	0,0090	2,18	4,36
SST (°BRIX)	1,0801 ^{NS}	7,5274**	0,8578**	0,0372 ^{NS}	0,2606	10,14	5,03
PA	5,1398**	1,1221**	3,4757**	0,0808 ^{NS}	0,0422	1,5577	13,19
GL	3	3	9	3	45	-	-

** = significativo 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * = significativo 5% de probabilidade ($p < 0,05$); ns = não significativo; FV = fonte de variação; GL grau de liberdade; CV = coeficiente de variação.

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

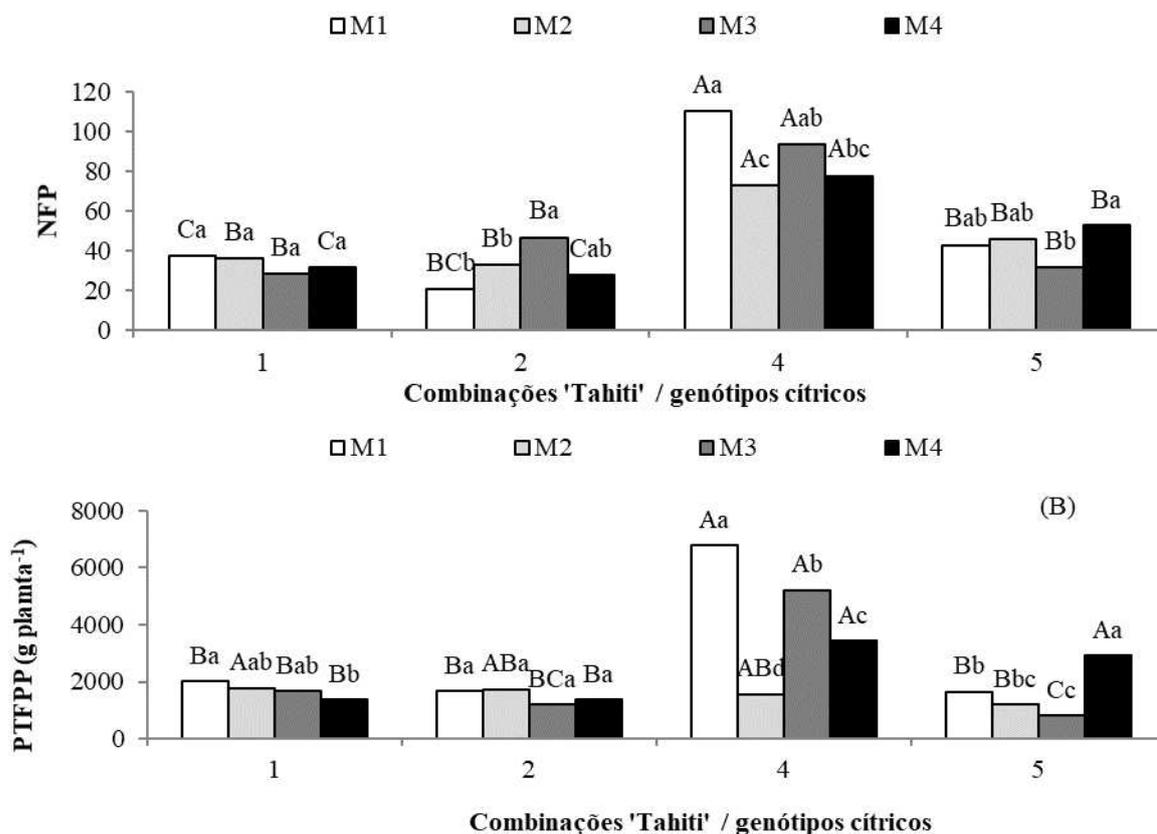
Ressalta-se que a combinação de ‘Tahiti’ com o TSKC x CTARG-019 não produziu frutos durante o período do estudo, independentemente da estratégia de irrigação utilizada. Tal situação pode ter ocorrido possivelmente, devido o material ser tardio, ao apresentar boas respostas nas variáveis fisiológicas ou à falta de adaptação às condições de realização da pesquisa, sobretudo as relacionadas ao clima, a exemplo da temperatura e umidade relativa do ar (Figura 1), que conforme Mattos Júnior *et al.* (2005), em parte do período do estudo ficaram acima do ideal para a cultura dos citros.

Diferentemente do que ocorreu nesse estudo, Martins *et al.* (2022a), ao estudarem o desempenho produtivo inicial da limeira ácida ‘Tahiti’ em distintos porta-enxertos e níveis de

águas salinas (0,14, 2,4 e 4,8 dS m⁻¹), em campo aberto, sob condições climáticas ideais para o pleno desenvolvimento e produção dos citros, observaram que a referida combinação iniciou sua produção aos 300 dias após o transplante, embora, já na salinidade de 2,4 dS m⁻¹, fez parte do grupo de menor média em relação ao número de frutos por planta.

No tocante ao estudo das variáveis de produção, observam-se os maiores valores para número de frutos por planta (NFP) na combinação ‘Tahiti’/limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ (Figura 23 A), independentemente da estratégia de manejo da irrigação utilizada; tendência semelhante, pode-se verificar em relação ao peso total de fruto por planta (PTFPP) (Figura 23 B), entretanto, sob manejo 2, não se notou distinção entre as combinações ‘Tahiti’ com os citrandarins ‘Índio’ e ‘San Diego’ e, sob manejo 4, apresentou produção semelhante à combinação com BRS ‘Bravo’.

Figura 23 – Número de frutos por planta (A), peso total de frutos por planta (B) das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos durante o primeiro ano de produção, em função das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023



Nota: 1- Citrandarin ‘Índio’, 2 - Citrandarin ‘San Diego’, 4 - Limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’, 5 - BRS ‘Bravo’ [TSKC x (LCR x TR) – 059]. Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa entre as combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos e, letras minúsculas distintas indicam diferença significativa entre as estratégias de irrigação pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Destaca-se que a salinidade ocasionou redução na produção de ‘Tahiti’ / Limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’, com reduções no número de frutos por planta que variaram de 34,01% e 15,19%, ao comparar o valor obtido nos manejos 2 e 3, respectivamente, com o número de frutos das plantas irrigadas com água de baixa salinidade (manejo 1); já em relação ao peso de frutos por planta, a redução foi 76,87% e 23,04%, ao se comparar o valor obtido no manejo 2 e 3, respectivamente, com o tratamento controle (manejo 1).

Ao relacionar os resultados na produção com as alterações observadas na taxa de assimilação de carbono (Figura 17), verifica-se que as reduções obtidas na produção ultrapassam o obtido na fotossíntese, que quando associado a falta de efeitos negativos ao fotossistema, corroboram para que a produção de fotoassimilados tenham sido destinados à produção de metabólitos secundários e defesa antioxidantes contra a produção de espécies reativas de oxigênio, normalmente associados as condições de estresse abiótico na presente pesquisa, que além do estresse salino induzidos pelos tratamentos, são sujeitos ao estresse térmico presente durante a condução do experimento (Abdalla *et al.*, 2020; Esmaeili *et al.*, 2021).

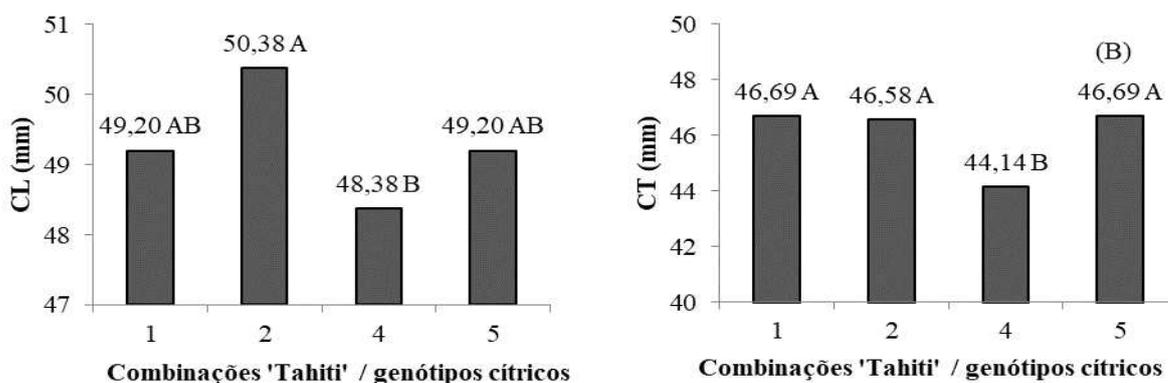
A salinidade provoca redução de produtividade nas plantas de citros (Martins *et al.*, 2022a), devido ao efeito osmótico que restringe a disponibilidade de água para as plantas, todavia, considerando que o limite para a condutividade elétrica no extrato de saturação é de 1,4 dS m⁻¹, conforme Maas (1993), que a salinidade é variável com o porta-enxerto (Brito *et al.*, 2016; Barbosa *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2019a), Ayers e Westcot (1999) que consideram aceitável diminuição no rendimento potencial de até 10%, observa-se que a produção das plantas sob manejo 3, mesmo com decremento na produção superior a 10%, apresenta-se satisfatória quando comparadas às plantas do manejo 1, tendo como base os resultados da pesquisa realizada por Martins *et al.* (2022a), que avaliaram o desempenho produtivo inicial da limeira ácida ‘Tahiti’ em distintos porta-enxertos e níveis de águas salinas (0,14, 2,4 e 4,8 dS⁻¹).

Salienta-se, no entanto, que tais resultados podem estar atrelados ao menor valor da condutividade elétrica da água de drenagem (apêndice 2) resultante da estratégia de manejo da irrigação 3, embora tenha ocorrido condição de salinidade no solo superior à salinidade limiar da cultura durante um período maior de realização da pesquisa.

Em relação aos comprimentos longitudinal e transversal dos frutos (Figura 24A e 24B), constata-se que a combinação ‘Tahiti’ com limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ apresentou crescimento longitudinal estatisticamente semelhante às combinações 1 e 5; todavia, obteve o

menor valor, 44,14 mm para o crescimento transversal, denotando a variação genética dos materiais estudados. Tais resultados estão próximos aos encontrados por Martins *et al.* (2022a), ao avaliarem o desempenho produtivo inicial da limeira ácida ‘Tahiti’ em distintos porta-enxertos e níveis de águas salinas, obtiveram valores médios dos comprimentos longitudinal e transversal 46,06 e 43,2 mm respectivamente.

Figura 24 – Comprimento longitudinal (A) e transversal (B) de frutos das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos, sob estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023.

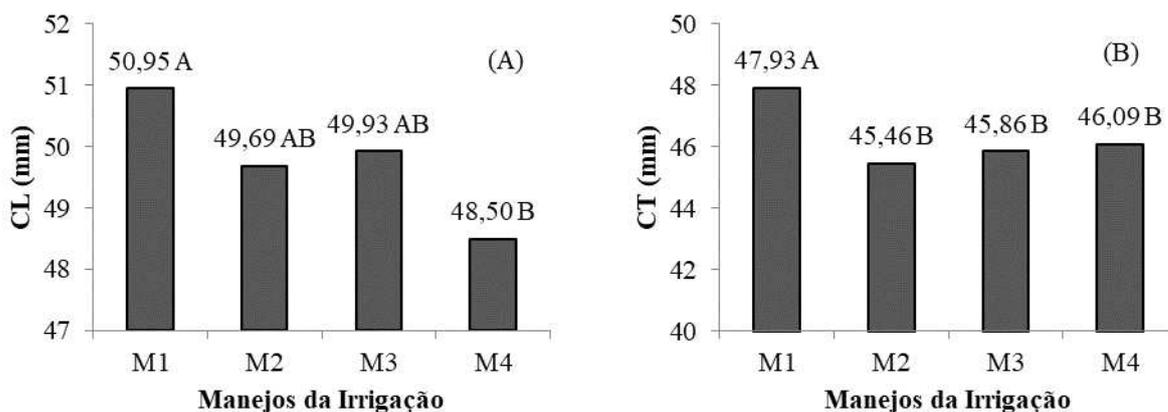


Nota: 1- Citrandarin ‘Índio’, 2 - Citrandarin ‘San Diego’, 4 - Limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’, 5 - BRS ‘Bravo’ [TSKC x (LCR x TR) – 059]. Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa entre as combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Verifica-se, na Figura 25A e 25B, que as combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos sob irrigação com água de baixo nível de condutividade elétrica (manejo 1) apresentaram diâmetro longitudinal superior às plantas sob manejo 4 e, diâmetro transversal dos frutos superior as demais estratégias de manejos da irrigação.

Figura 25 – Comprimento longitudinal (A) e transversal (B) de frutos das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos, sob estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023



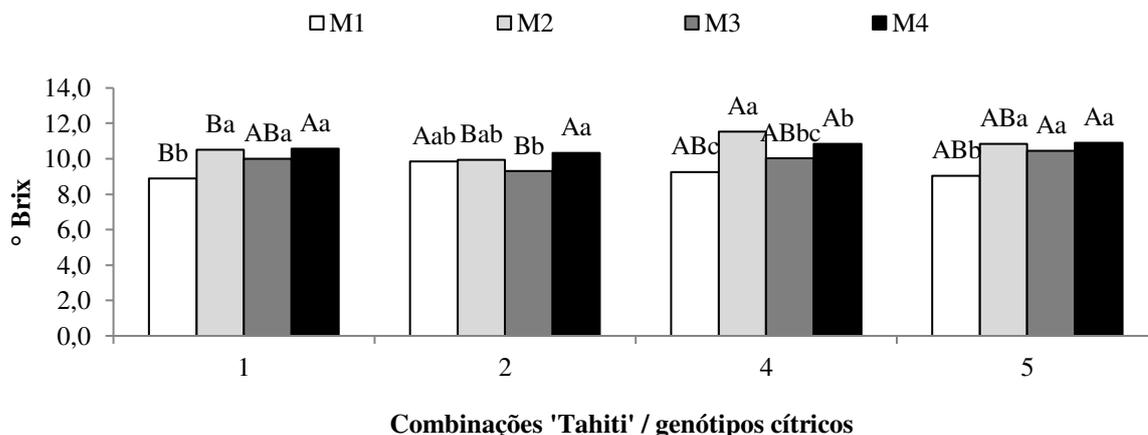
Nota: Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa entre as estratégias de irrigação pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

O tamanho dos frutos está diretamente relacionado à disponibilidade hídrica do solo e, dessa forma, os sais resultantes das sucessivas irrigações com água salinizada, aumentaram o potencial osmótico do solo, conforme se observa no apêndice 2, impondo limitações a absorção de água pelas raízes (Brito *et al.*, 2021). Contudo, segundo o postulado de Ayers e Westcot (1991), para escolha de uma cultura, quanto à tolerância à salinidade, pode ser aceita a diminuição no rendimento potencial de até 10%, portanto, pode-se afirmar que as estratégias de irrigação com água salinizada podem ser utilizadas no cultivo das combinações ‘Tahiti’/porta-enxertos de citros sem causar maiores restrições aos comprimentos dos frutos.

A combinação da limeira ácida ‘Tahiti’ / porta-enxerto de limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ sob a estratégia de manejo da irrigação 2 produziu frutos com maior teor de sólidos solúveis (11,525 °Brix) (Figura 26). Já a menor concentração de sólidos solúveis totais (SST) (8,875 °Brix) foi obtida pela copa da limeira ácida ‘Tahiti’ enxertada no porta-enxerto citrandarin ‘Indio’, sob manejo 1.

Figura 26 – Teor de sólidos solúveis totais (SST) de frutos das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos sob estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023.



Nota: 1- Citrandarin ‘Indio’, 2 - Citrandarin ‘San Diego’, 4 - Limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’, 5 - BRS ‘Bravo’ [TSKC x (LCR x TR) – 059]. Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa entre as combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos e, letras minúsculas distintas indicam diferença significativa entre as estratégias de irrigação pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

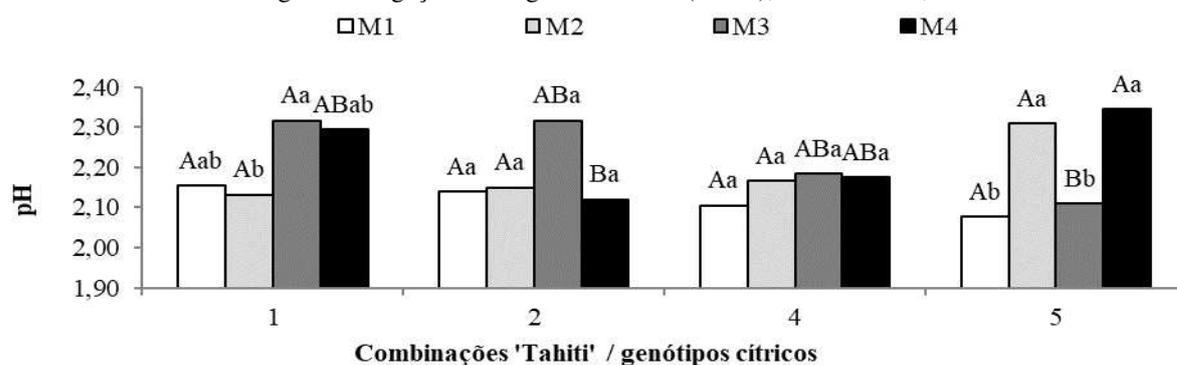
Fonte: Dados da pesquisa (2023).

De maneira geral, as distintas combinações, quando irrigadas com águas contendo sais (manejo 2, 3 e 4), responderam com aumentos nos teores de sólidos solúveis totais, o que não é prejudicial, já que valores de °Brix mais elevados contribuem para maior preferência dos consumidores (Lima *et al.*, 2014). Ademais, os valores obtidos nessa pesquisa são superiores aos padrões de comercialização, sendo 7,6 °Brix (EMBRAPA, 2012).

Essa tendência de correlação positiva, ou seja, a maior concentração de sólidos solúveis totais expressados pelas combinações ‘Tahiti’/porta-enxertos sob irrigação com água salinizada, pode estar relacionada a restrição hídrica em decorrência dos sais presentes na água de irrigação (Nobre *et al.*, 2024), ocorrendo menor diluição desses sólidos solúveis nos frutos, conforme apresentado por Sousa *et al.* (2019), ao estudarem a qualidade pós-colheita de frutos da lima ácida ‘Tahiti’ enxertada no genótipo TSKC x (LCR x TR) – 017, sob estresse salino. Outros pesquisadores, Araújo *et al.* (2022), estudando o efeito da irrigação com déficit hídrico sustentado sobre a produtividade e qualidade da água dos frutos do coqueiro anão verde, verificaram que o déficit hídrico aumentou os sólidos solúveis totais da água de coco.

Os resultados de pH dos frutos da limeira-ácida ‘Tahiti’ enxertada em distintos porta-enxertos, não apresentaram diferença estatística sob estratégias de irrigação 1 e 2 (Figura 27). Verifica-se que as combinações ‘Tahiti’ com o citrandarin ‘Índio’ e com o limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ não apresentaram diferenças estatísticas em função das estratégias de irrigação utilizadas, indicando manutenção de tolerância das referidas combinações ao estresse salino.

Figura 27 – Potencial hidrogeniônico (pH) de frutos das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos sob estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023



Nota: 1- Citrandarin ‘Índio’, 2 - Citrandarin ‘San Diego’, 4 - Limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’, 5 - BRS ‘Bravo’ [TSKC x (LCR x TR) – 059]. Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa entre as combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos e, letras minúsculas distintas indicam diferença significativa entre as estratégias de irrigação pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

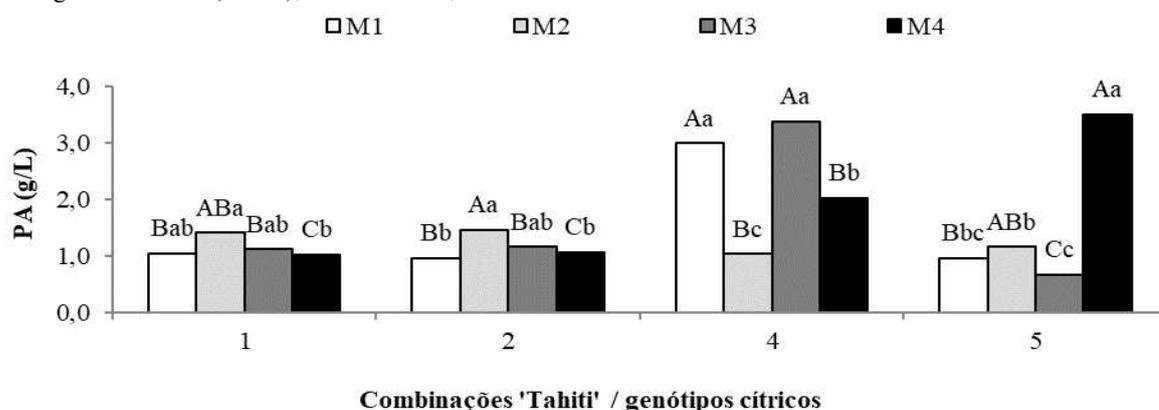
Fonte: Dados da pesquisa (2023).

O pH é um fator importante para a preservação da polpa dos frutos, pois valores baixos são desejáveis, como destacado por Benevides *et al.* (2008), uma vez que ajudam a evitar a perda da qualidade nutricional da fruta (Nasser; Zonta, 2014). Os resultados deste estudo estão em consonância com os achados de Castricini *et al.* (2016), que, ao avaliarem a qualidade da lima ácida ‘Tahiti’ adubada com nitrogênio e potássio no semiárido de Minas Gerais, encontraram valores médios de pH de 2,23.

A produtividade da água (PA) ou eficiência no uso de água (EUA) é o resultado da razão entre o rendimento da cultura e a evapotranspiração ou consumo hídrico compreendido desde o semeio até a colheita (Araújo *et al.*, 2022; Akram *et al.*, 2023), ante o exposto, ao estudar o comportamento das distintas combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos dentro de cada estratégia de manejo da irrigação com água salinizada referente a produtividade da água (PA), observa-se, na Figura 28, que a combinação ‘Tahiti’/limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ sob estratégias de manejo da irrigação 1 e 3 foram mais eficientes, correspondendo a 65,65% e 69,57%, respectivamente, frente ao manejo 2, o que pode estar atrelado ao estresse osmótico que afetou negativamente a produção das plantas. Destaca-se, ainda, que a lima ácida ‘Tahiti’ enxertada no porta-enxerto BRS ‘Bravo’ [TSKC x (LCR x TR) – 059] apresentou o maior valor para a eficiência no uso da água sob estratégia de irrigação 4, podendo ter ocorrido maior aclimatação ao estresse, como a produção de osmólitos que atenuaram os efeitos deletérios dos sais sobre a produção das plantas e reduziram a absorção de água.

Tais resultados evidenciam que o efeito do estresse salino, sob a eficiência no uso da água, varia em função das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos e estratégia de irrigação. Ademais, Silva (2021), estudando a eficiência biofísica da água pela limeira Ácida ‘Tahiti’ em combinações com diferentes porta-enxertos de citros durante dois anos, irrigados com águas salinizadas (0,3 e 3,0 dS m⁻¹), verificou que os genótipos TSKC x (LCR x TR) – 017, TSKC x (LCR x TR) – 059 (BRS ‘Bravo’) e TSKFL x TRBK – 011 têm alta eficiência do uso da água, mas apenas os TSKC x (LCR x TR) – 059 (BRS ‘Bravo’) e o TSKFL X (LCR x TR) – 012 foram eficientes em condições de estresse salino, portanto mais tolerantes à salinidade.

Figura 28 – Produtividade da água (PA) de combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos sob estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), Pombal – PB, 2023.



Nota: 1- Citrandarin ‘Índio’, 2 - Citrandarin ‘San Diego’, 4 - Limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’, 5 - BRS ‘Bravo’ [TSKC x (LCR x TR) – 059]. Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa entre as combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos e, letras minúsculas distintas indicam diferença significativa entre as estratégias de irrigação pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

6 CONCLUSÕES

A combinação ‘Tahiti’/TSKC xCTARG-019 mesmo apresentando a maior fotossíntese, foi a pior em crescimento e produção, independentemente da estratégia de irrigação utilizada;

A salinidade da água de irrigação reduz o crescimento das combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos, principalmente, sob condutividade elétrica de $3,0 \text{ dS m}^{-1}$, a partir da enxertia até o final do primeiro ano de produção (E₂);

As combinações ‘Tahiti’ genótipos cítricos sob estratégias de irrigação com alternância de água salinizada (E₃ e E₄) proporciona crescimento superior às combinações sob manejo da irrigação E₂;

O aumento da fotossíntese não reflete em ganhos de produção dos genótipos cítricos.

A eficiência fotoquímica, o teor de pigmentos fotossintéticos e o extravasamento de eletrólitos não são alterados pelas estratégias de irrigação com água salinizada;

A combinação ‘Tahiti’/limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ é a mais produtiva em número de frutos por planta, em todas as estratégias de manejo da irrigação e, em produção total de fruto por planta, nas estratégias de irrigação E₁ e E₃;

A combinação de ‘Tahiti’/limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’, sob estratégia de manejo da irrigação E₂, produz frutos com maior teor de sólidos solúveis;

As combinações ‘Tahiti’ / limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ e com TSKC x (LCR x TR) – 059 (BRS ‘Bravo’) são eficientes em relação à produtividade da água sob estratégias de irrigação E₃ e E₄, respectivamente.

REFERÊNCIAS

ABDALLA, N. *et al.* Manejo do estresse térmico em mudas de tomate em regiões áridas e semiáridas: uma revisão. **Meio Ambiente, Biodiversidade e Segurança do Solo**, v. 4, n. 2020, p. 47-58, 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2021**. Disponível em <http://www.gov.br/ana/pt-br/centrais-de-conteudos/publicacoes/conjuntura-dos-recursos-hidricos>. Acesso em: 19 out. 2023.

AKHTER, M. S. *et al.* Influence of salinity stress on PSII in barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes, probed by chlorophyll-a fluorescence, **Journal of King Saud University - Science**, v. 33, n. 101239, 2021.

AKRAM, M. M. *et al.* Evaluation of Water Productivity and Yield of Citrus Reticulate Blanco under Different Soil Moisture Depletion Levels and Fertilizer Doses. **International Journal of Food Science and Agriculture**, v. 7, n. 1, p. 70-78, 2023.

ALMEIDA, K. S. S. A. de *et al.* Balanço de água em solo cultivado sob pomar adensado de laranja 'Pêra' enxertada em diferentes porta-enxertos. **Irriga**, v. 23, n. 2, p. 235-248, 2018.

ANDRADE, E. M. G. *et al.* Hydrogen peroxide as attenuator of salt stress effects on the physiology and biomass of yellow passion fruit. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 28, p. 571-578, 2022.

ARAÚJO, B. DE A. *et al.* Sustained deficit irrigation on yield and fruit water quality of dwarf green coconut. **Ciência Rural**, v. 52, n. 11, p. 4, 2022.

ÁVILA, M. R. *et al.* Weibull distribution and dynamics of germination of Rangpur lime seeds at different temperatures. **Journal of Seed Science**, v.41, n.3, p.328-335, 2019.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p. FAO. Estudos de Irrigação e Drenagem, 29, Revisado I.

AZEVEDO, C. L. L. **Sistema de produção de citros para o Nordeste**. Embrapa Mandioca e Fruticultura: Cruz das Almas, BA. Sistema de Produção, 16. Versão eletrônica, 2003. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Citros/CitrosNordeste.htm>. Acesso em 27/05/2022. Acesso em: 10 mai. 2023.

BAJJI, M.; KINET, J. M.; LUTTS, S. The use of the electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as a water stress tolerance test in durum wheat. **Plant Growth Regulation**, v.36, n.1, p. 61-70, 2002.

BARBOSA, R. C. A. *et al.* Gas exchange of citrus rootstocks in response to intensity and duration of saline stress. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 2, p. 725-738, 2017.

BARBOSA, C. J.; RODRIGUES, A. S. Citrus tristeza. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n.3, p. 525-770, 2015.

- BASTOS, D. C. *et al.* Cultivares copa e porta-enxertos para a citricultura brasileira. **Informe Agropecuário**, v. 35, n. 281, p. 36-45. 2014.
- BENEVIDES, S. D. *et al.* Quality of the sleeve and pulp of the Uba sleeve. **Food Science and Technology**, v. 28, n. 13, p. 571- 578, 2008.
- BRITO, M. E. B. *et al.* Screening of citrus scion-rootstock combinations for tolerance to water salinity during seedling formation. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 43, n. 1, e48163, 2021.
- BRITO, M. E. B. *et al.* Saline stress onto growth and physiology of trifoliolate citrus hybrids during rootstock formation. **Bioscience Journal**, v.33, p.1523-1534, 2017.
- BRITO, M. E. B. *et al.* Gas Exchange and fluorescence of citrus rootstocks varieties under saline stress. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 38, n. 2, p. 1-8, 2016a.
- BRITO, M. E. B. *et al.* Crescimento e trocas gasosas de porta-enxertos de citros em sistema hidropônico alternativo. **Irriga**, edição especial, p. 166-180, 2016b.
- BRITO, M. E. B. *et al.* Sensibilidade à salinidade de híbridos trifoliados e outros porta-enxertos de citros. **Revista Caatinga**, v. 27, p. 17-27, 2014.
- CARVALHO, S. A.; GRAF, C. C. D.; VIOLANTE, A. R. Produção de material básico e propagação. *In: MATTOS JUNIOR, D. et al. (Ed). Citros*. Campinas: Instituto Agrônomo e Fundag, 2005. p. 279-316.
- CARVALHO, L. M. *et al.* Porta-enxertos promissores, alternativos ao limoeiro 'Cravo', nos Tabuleiros Costeiros de Sergipe. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 2, p. 132-141, 2016.
- CASTRICINI, A. *et al.* Quality of 'tahiti' acid lime fertilized with nitrogen and potassium in the semiarid region of Minas Gerais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 39, n. 2: e-288, 2016.
- CLAESSEN, M. E. C. (org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. 212p. (Embrapa-CNPS. Documentos, 1).
- COELHO, Y. S. **Lima ácida 'Tahiti' para exportação: Aspectos Técnicos da Produção**. Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária, Secretaria de Desenvolvimento Rural. Programa de apoio à Produção e Exportação de Frutas, Hortaliças, Flores e Plantas Ornamentais. – Brasília: EMBRAPA-SPI, 1993. 35p. (Série Publicações Técnicas FRUPEX, 1).
- COELHO, M. A.; SONCIN, N. B. **Geografia do Brasil**. São Paulo: Moderna, 368 p. 1982.
- CORDÃO TERCEIRO NETO, C. P. *et al.* Viabilidad económica de la producción de melón regado con agua salina empleando estrategias de manejo. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 1, p. 209 - 217, 2018.

COSTA, M. E. *et al.* Estratégias de irrigação com água salina na mamoneira. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 1, p. 34-43, 2013.

COSTA, M. S. *et al.* Biometric responses of sugarcane under high doses of vinasse. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, n. 9, p. 641-647, 2021.

DENARO, M. *et al.* New insights into Citrus genus: From ancient fruits to new hybrids. **Food Frontiers**, v. 1, n. 3, p. 305–328, 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/fft2.38>. Acesso em: 12 abr. 2022.

DOURADO, P. R. M. *et al.* Stomatal Regulation and Osmotic Adjustment in Sorghum in Response to Salinity. **Agriculture**, v. 12, n. 5, p. 658, 2022.

EMMANOUILIDOU, M.G.; KYRIACOU, M.C. Rootstock-modulated yield performance, fruit maturation and phytochemical quality of 'Lane Late' and 'Delta' sweet orange. **Scientia Horticulturae**, v. 225, p. 112–121. 2017.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília, 2013. 353p.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura. **Lima ácida 'Tahiti CNPMF 01'**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/666/lima-acida-tahiti-cnpmf-01.2012>. Acesso em: 29 ago. 2023.

ESMAEILI, N. *et al.* Towards doubling fibre yield for cotton in the semiarid agricultural area by increasing tolerance to drought, heat and salinity simultaneously. **Plant biotechnology journal**, v. 19, n. 3, p. 462-476, 2021.

FERGUSON, L.; GRATTAN, S. R. How Salinity Damages Citrus: Osmotic Effects and Specific Ion Toxicities. **HortTechnology**, v.15, n.1, p. 95-99, 2005.

FERNANDES, P. D. *et al.* Crescimento de híbridos e variedades porta-enxerto de citros sob salinidade. **Acta Scientiarum**, v.33, p.259-267, 2011.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v.37, n.1, p. 529-535, 2019.

FIGUEIREDO, F. R. A. *et al.* Morphophysiology of yellow passion fruit seedlings under application of nitrogen and potassium and irrigation with high - salinity water. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 41, suplemento 1, p. 1897-1908, 2020.

FAO. FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. 2021. **Citrus Fruit Statistical Compendium, 2020**. Rome, 2021. Disponível em: <http://faostat.fao.org/faostatgateway/go/to/home/E>. Acesso em: 03 ago. 2022.

GUANDONOU, C. B. *et al.* Efeitos do estresse da salinidade no crescimento em relação aos parâmetros de trocas gasosas e ao estado da água no amaranto (*Amaranthus cruentus*). **Jornal Internacional de Fisiologia Vegetal e Bioquímica**, v. 10, n. 3, p. 19-27, 2018.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 31 de outubro de 2023.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/acompanhamento-de-coleta>. Acesso em: 19 out. 2023.

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Estações e dados**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>. Acesso em: 20 mai. 2023.

KRAMER, D. M. *et al.* New fluorescence parameters for determination of QA redox state and excitation energy fluxes. **Photosynthesis Research**, v. 79, p. 209-218, 2004.

LIMA, G. S. *et al.* Saline water irrigation strategies and potassium fertilization on physiology and fruit production of yellow passion fruit. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 3, p. 180-189, 2022.

LIMA, G. S. *et al.* Production characteristics of sesame genotypes under different strategies of saline water application. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 2, p. 490-499, 2020.

LIMA, G. S. *et al.* Eficiência fotoquímica, partição de fotoassimilados e produção do algodoeiro sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 1, p. 214-225, 2019.

LIMA, G. S. *et al.* Irrigação com águas salinas e aplicação de prolina foliar em cultivo de pimentão 'All Big'. **Comunicata Scientiae**, v.7, n. 4, p. 513-522, 2016.

LIMA, C. F. de *et al.* Qualidade dos frutos e eficiência produtiva da laranjeira 'Lima' enxertada sobre Trifoliata', em cultivo irrigado. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 3, p. 401 - 405, 2014.

LICHTENTHÄLER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *In*: PACKER, L.; DOUCE, R. **Methods in enzymology**. London: Academic Press, v.148, p. 350-381. 1987.

MASS, E. V. Salinity and citriculture. **Tree Physiology**, Victoria, v. 12, n.2, p. 195-216, 1993.

MACHADO, D. L. *et al.* Evaluation of rootstocks for 'Tahiti' acid lime in northern state of Minas Gerais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 39, n.1, e. 790, 2017.

MAGALHÃES, C. L.; SOUSA de, G. G.; BARBOSA, A. S.; RIBEIRO, R. M. R.; SANTOS dos, M. F.; CRUZ FILHO, E. M. da. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 16, nº. 2, p. 131-136, 2021.

- MARTINS, G. O. *et al.* Initial productive performance of ‘Tahiti’ acid lime considering diferente rootstock sand level sof salt water. **Revista Ciência Agrônômica**, v.52, e20217838, 2022a.
- MARTINS, G. O. *et al.* Salt Tolerance Indicators in ‘Tahiti’ Acid Lime Grafted on 13 Rootstocks. **Agriculture**, v. 12, nº 10, p. 1673, 2022b.
- MATTOS JUNIOR, D. *et al.* **Citros**. Campinas: Instituto Agrônômico e Fundag, 2005. 929p.
- MEDEIROS, J. F. de *et al.* Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n.3, p. 469- 472, 2003.
- MEDINA, C. L. *et al.* Fisiologia dos citros. In: MATTOS JUNIOR, D. *et al.* (Ed). **Citros**. Campinas: Instituto Agrônômico e Fundag, 2005. p. 149-195.
- MOGHADAM, N. K. *et al.* Effects of potassium and zinc on physiology and chlorophyll fluorescence of two cultivars of canola grown under salinity stress. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 13, p. 1-8, 2020.
- MORAES, L. A. C.; MOREIRA, A.; PEREIRA, J. C. R. Incompatibility of 'Cleopatra' mandarin rootstock for grafting citrus in Central Amazon, State of Amazonas, Brazil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 54, n. 3, p. 299-306, 2011.
- MORAIS, E. R. C.; MAIA, C. E.; OLIVEIRA, M. Qualidade da água para irrigação em amostras analíticas do banco de dados do departamento de solos e geologia da Escola Superior de Agricultura de Mossoró, Mossoró-RN, v. 11, n. 1/2, p. 75-83, 1998.
- NAJAR, R. *et al.* Effect of salt stress on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in *Medicago truncatula*. **Plant Biosystems**, v.153, p. 88-97, 2018.
- NASSER, M. D.; ZONTA, A. Caracterização de frutos de genótipos de aceroleira em função de estádios de maturação. **Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 8, p. 76-78, 2014.
- NOBRE, R. G. *et al.* Mitigation of salt stress in passion fruit seedlings with H₂ O₂ application. **Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering**. v.28, n.1, e272617, 2024.
- NOBREGA, J. S. *et al.* Acúmulo de biomassa e pigmentos fotossintéticos em plantas de *Mesosphaerum suaveolens* L. Kuntze sob estresse salino e doses de ácido salicílico. **Research, Society and Development**, V. 9, n. 5, e121953286, 2020.
- NOVAIS, R. F.; NEVES J. C. L.; BARROS N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA A. J. (Ed.). **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília: Embrapa-SEA, 1991. p. 189-253.
- OXBOROUGH, K.; BAKER, N.R. An instrument capable of image chlorophyll a fluorescence from intact leaves at very low irradiance and at the cellular and subcellular levels of organization. **Plant, Cell and Environment**, v.20, p.1473-1483, 1997.

PASSOS, O. S. *et al.* Potencialidade do Submédio São Francisco para citricultura. In: SEMINÁRIO POTENCIAL E DESAFIOS DA FRUTICULTURA NO VALE, 2010, Petrolina. **Seminário...** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. 1 CD-ROM.

PINHEIRO, F. W. A. *et al.* Gas exchange and yellow passion fruit production under irrigation strategies using brackish water and potassium. **Revista Ciência Agronômica**, v. 53, e20217816, 2022

POMPEU JUNIOR, J. Porta-enxertos. In: MATTOS JUNIOR, D.; NEGRI, J. D. de; PIO, R. S.; POMPEU JUNIOR, J. (Ed.). **Citros**. Campinas: Instituto Agronômico e Fundag, 2005. p. 63-104.

POMPEU JUNIOR, J.; BLUMER, S.; RESENDE, M. D. V. de. Avaliação genética de seleções e híbridos de limões Cravo, Volkameriano e Rugoso como porta-enxertos para laranjeiras valência na presença da morte súbita dos citros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 1, p. 199-209, 2013.

PREVIDELI, F. D.; ALMEIDA DE, M. M. Y. O mercado “in natura” do limão tahiti. **Interface Tecnológica**, v. 17, n. 1, p. 409-416, 2020.

PSHYBYTKO, N. L. Non-Photochemical Quenching of Chlorophyll a Fluorescence as an Indicator of the State of a Plant Photosynthetic Apparatus Under Abiotic Stress. **Journal of Applied Spectroscopy**, v. 90, n. 1, p. 60-65, 2023.

RAMOS, J. G. *et al.* Hydrogen peroxide as salt stress attenuator in sour passion fruit. **Revista Caatinga**, v. 35, n. 2, p. 412-422, 2022.

REZENDE, C. F. A. *et al.* Crescimento e acúmulo de nutrientes em mudas cítricas cultivadas em ambiente protegido. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 3, p. 367-375, 2010.

RICHARDS, L. A. (ed.) **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington, United States Salinity Laboratory: 1954. 160p. (USDA. Agriculture Handbook, 60).

ROADES, J. D. *et al.* Use of saline drainage water for irrigation. **Imperial Valley study Agric. Water Manag.**, v 16, p. 25-36, 1989.

RODRIGUES, M. J. da S. *et al.* Desempenho agronômico de lima ácida ‘tahiti’ em combinação com diferentes porta-enxertos em Capixaba, Acre. **Enciclopédia Biosfera**, v.15, n.28. p. 2018.

RODRIGUES, M. J. da S. *et al.* Produção de mudas de citros com diferentes combinações copa e porta-enxerto em viveiro protegido. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.38, n. 1. p. 187-201, 2016.

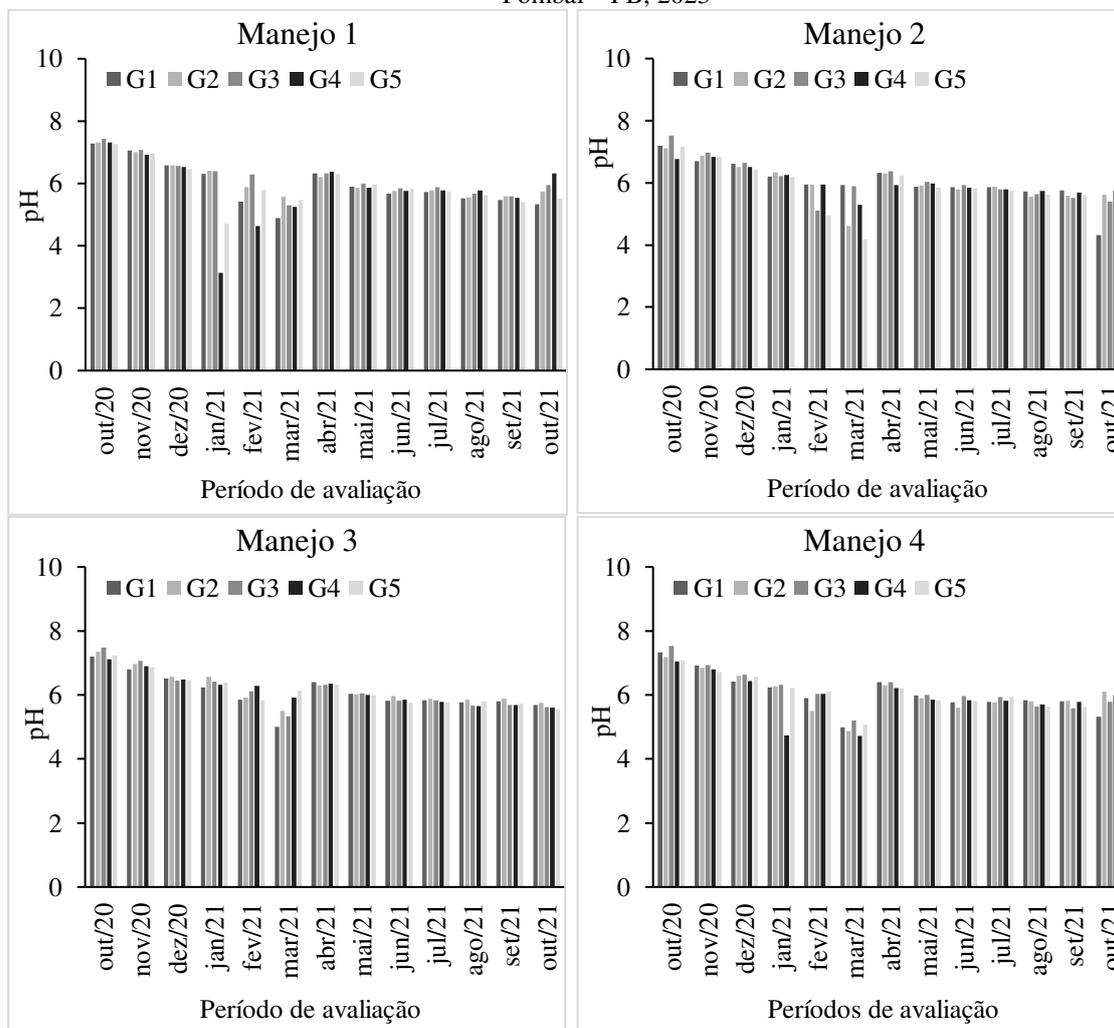
ROSSI, P. L.; PANDOLFI, M. A. C. Análise de mercado da lima ácida Thaiti. **Revista Interface Tecnológica**, v. 16, n. 2, p. 255-263, 2019.

- SÁ, F. V. S. de *et al.* Biochemical components and dry matter of lemon and mandarin hybrids under salt stress. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.21, n.4, p.249-253, 2017.
- SILVA, J. F. A.; PEREIRA, R. G. Panorama global da distribuição e uso de água doce. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.10, n.3, p.263-280, 2019.
- SILVA, L. A. S. *et al.* Morphophysiology of Tahiti lime grafted onto Sunki mandarin hybrids under salt stress. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n.8, p.508–606, 2019a.
- SILVA, L. A. *et al.* Growth and fluorescence of ‘tahiti’ acid lime/rootstock on sunki mandarin hybrids under salinity. **Bioscience Journal**, v. 35, n. 4, p. 1131–1142, 2019b.
- SILVA, S. S. da *et al.* Quantum yield, photosynthetic pigments and biomass of mini-watermelon under irrigation strategies and potassium. **Revista Caatinga**, v. 34, n. 3, p. 659 – 669, 2021c.
- SILVA, A. A. R. da *et al.* Morfofisiologia de genótipos de gergelim submetidos a diferentes estratégias de uso de água salina. **Irriga**, edição especial, v. 1, n. 1, p. 42-55, 2021a.
- SILVA, T. A. da *et al.* Photochemical quenching is indicative of ionic stress on Tahiti acid grafted on citrus genotypes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, n.6, p. 409-414, 2021b.
- SILVA, E. M. da *et al.* Saline waters and nitrogen/potassium fertilization combinations on physiological aspects and production of West Indian cherry. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 16 n. 6, e2780, 2021d.
- SILVA, L. A. **Tolerância ao estresse salino e eficiência biofísica da água em combinações da limeira ácida ‘tahiti’ com diferentes porta-enxertos**. 2021. 130 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande, PB.
- SILVA, F. V. da *et al.* Produção de citros irrigados com água moderadamente salina. **Irriga**, Edição Especial, p. 396 - 407, 2012.
- SILVA, E. M. da *et al.* Crescimento e trocas gasosas de aceroleira irrigada com águas salinas sob combinações de adubação nitrogenada-potássica. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15 n.1, p. 1-9, 2020.
- SILVA, A. A. R. da *et al.* Salicylic acid improves physiological indicators of soursop irrigated with saline water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 6, p. 412-419, 2022.
- SILVA, L. de A. da *et al.* Mecanismos fisiológicos em híbridos de citros sob estresse salino em cultivo hidropônico. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 1-7, 2014.

- SIMKIN, A. J. *et al.* The role of photosynthesis related pigments in light harvesting, photoprotection and enhancement of photosynthetic yield in planta. **Photosynthesis Research**, v. 152, n. 1, p. 23-42, 2022.
- SOARES, L. A. A. *et al.* Crescimento de combinações copa-porta-enxerto de citros sob estresse hídrico em casa de vegetação. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 211-217, 2015.
- SOARES, L. A. dos A. *et al.* Growth and fiber quality of colored cotton under salinity management strategies. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 332-337, 2018.
- SOUSA, S. V. de *et al.* Post Harvest Quality of Acid Lime Fruits 'Tahiti' Grafted on Genotype (TSKCx (LCR x TR) – 017), under Saline Stress. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 31, n. 6 p. 1-10, 2019.
- SOUZA, L. de P. *et al.* Morphophysiology and production of West Indian cherry under salt stress and nitrogen-phosphorus-potassium fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, n. 7, p. 539-549, 2023a.
- SOUZA, F. S. de *et al.* Physiology and production components of cotton plants under salt stress and salicylic acid application. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 44, n. 1, p. 147-170, 2023b.
- SYVERTSEN, J. P.; GARCIA-SANCHEZ, F. Multiple abiotic stresses occurring with salinity stress in citrus. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 103, n. 1, p. 128-137, 2014.
- TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858p.
- VELOSO, L. L. de S. A. *et al.* Application methods of hydrogen peroxide in soursop seedlings irrigated with saline water. **Comunicata Scientiae**, v. 12, n. 1, e3288, 2021.
- VELOSO, L. L. de S. A. *et al.* Growth and gas exchange of soursop under salt stress and hydrogen peroxide application. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 2, p. 119-125, 2022.
- VOSS, I. *et al.* Emerging concept for the role of photorespiration as an important part of abiotic stress response. **Plant Biology**, v.15, p.713-722, 2013.
- WEATHERLEY, P E. Studies in the water relations of the cotton plant. I. The field measurement of water deficits in leaves. **New Phytologist**, v.49, p. 81-97, 1950.
- WU, G. A. *et al.* Genomics of the origin and evolution of Citrus. **Nature**, v. 554, p. 311–316, 2018.
- ZHAO, H. *et al.* Effects of salt stress on chlorophyll fluorescence and the antioxidant system in Ginkgo biloba L. seedlings. **HortScience**, v. 54, n. 12, p. 2125-2133, 2019.

APÊNDICES

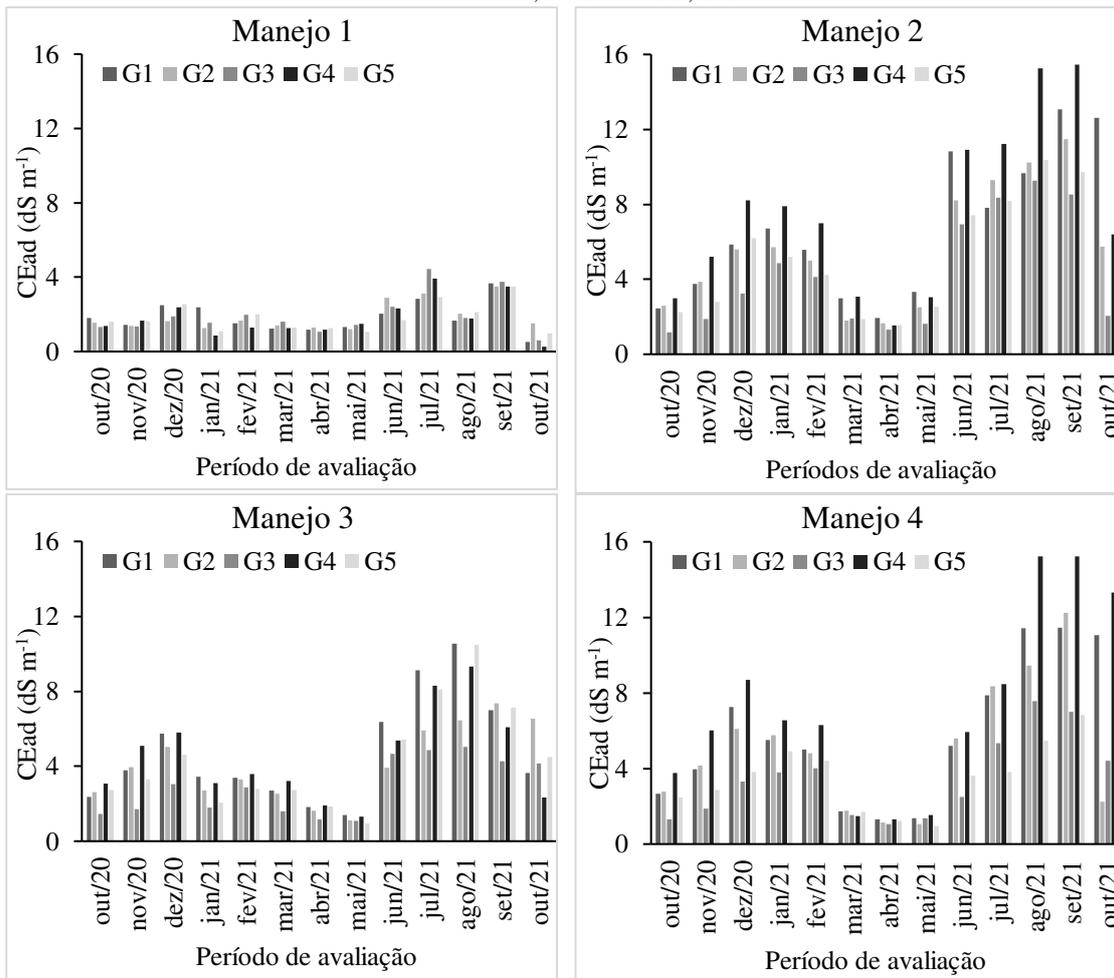
Figura 1 – Potencial hidrogeniônico (pH) médio da água de drenagem durante 360 dias após início da aplicação das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), nas distintas combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos, Pombal – PB, 2023



Nota: G1- Citrandarin ‘Indio’, G2 - Citrandarin ‘San Diego’, G3 - [(TSKC x CTARG –019)], G4 - Limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’, G5 - BRS ‘Bravo’ [TSKC x (LCR x TR) – 059].

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Figura 2 – Condutividade elétrica média da água de drenagem [CE_{Ead} (dS m⁻¹)] durante 360 dias após início da aplicação das estratégias de irrigação com água salinizada (DAIE), nas distintas combinações ‘Tahiti’/genótipos cítricos, Pombal – PB, 2023



Nota: G1- Citrandarin ‘Índio’, G2 - Citrandarin ‘San Diego’, G3 - [(TSKC x CTARG -019)], G4 - Limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’, G5 - BRS ‘Bravo’ [TSKC x (LCR x TR) - 059].

Fonte: Dados da pesquisa (2023).