

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

TIAGO CAVALCANTE DA SILVA

**ESTUDOS COM *Helianthus tuberosus* L. IRRIGADO COM REJEITO DE
DESSALINIZADOR E ADUBAÇÃO DE FONTES VARIADAS EM
SOLOS DO SEMIÁRIDO**

RECIFE

2023

Tiago Cavalcante da Silva
Engenheiro Agrônomo

Estudos com *Helianthus tuberosus* L. irrigado com rejeito de dessalinizador e adubação de fontes variadas em solos do semiárido

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Betânia Galvão dos Santos Freire

Coorientador: Dr. Josimar Gurgel Fernandes

**Recife
2023**

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- D111e da Silva, Tiago Cavalcante
Estudos com *Helianthus tuberosus* L. irrigado com rejeito de dessalinizador e adubação de fontes variadas em solos do semiárido / Tiago Cavalcante da Silva. - 2023.
212 f. : il.
- Orientadora: Maria Betania Galvao dos Santos Freire.
Coorientador: Josimar Gurgel Fernandes.
Inclui referências.
- Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Recife, 2024.
1. Jerusalém batateiro. 2. Agricultura bioessalina. 3. Tolerância. 4. Cultivo orgânico. 5. Cultura alternativa. I. Freire, Maria Betania Galvao dos Santos, orient. II. Fernandes, Josimar Gurgel, coorient. III. Título

CDD 631.4

TIAGO CAVALCANTE DA SILVA

Estudos com *Helianthus tuberosus* L. irrigado com rejeito de dessalinizador e adubação de fontes variadas em solos do semiárido

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo.

Aprovada em 31 de agosto de 2023

Prof. Dra. Maria Betânia Galvão dos Santos Freire

Orientadora

Universidade Federal Rural de Pernambuco

Dr. Jorge F. S. Ferreira

United States Department of Agriculture-Agricultural Research Service

United States Salinity Laboratory

Dr. Josimar Gurgel Fernandes

Instituto Agrônomo de Pernambuco

Prof. Dr. Jean Cheyson Barros dos Santos

Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Nildo da Silva Dias

Universidade Federal Rural do Semi-Árido

A Deus.

A minha família que é a base de tudo em minha vida, em especial aos meus pais, Maria Luzia e José Carlos, e meu irmão, Diogo Cavalcante, pelo amor e apoio que sempre depositaram em mim, meus maiores incentivadores.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela dádiva da vida, por ter me dado saúde, força, coragem, sabedoria e discernimento para trilhar mais uma jornada de grande importância em minha vida. O sentimento é de gratidão, e agradeço todos os dias por permitir que meu esforço me conduziu à vitória.

Aos meus queridos pais, José Carlos e Maria Luzia, meu infinito agradecimento. Obrigado pela energia depositada em mim, acreditando que através da educação poderia me tornar um ser humano de índole e caráter inquestionável e de bons princípios. Obrigado pelo amor, dedicação, incentivo e orações. Amo vocês!

Ao meu querido irmão, Diogo Cavalcante, pela amizade, carinho, conselhos, companheirismo e por sempre estar na torcida pelas minhas conquistas. Amo você!

Aos meus queridos avós, em especial à Vó Didi, pelos sábios ensinamentos, conselhos, amor, carinho e por sempre acreditar que iria conquistar meus objetivos.

Aos meus queridos tios e tias, primos e primas, pelas palavras de incentivo e motivação, pela torcida em todas as etapas da minha vida.

A minha orientadora, Professora Dra. Maria Betânia Galvão dos Santos Freire, pelo acolhimento desde a minha chegada à UFRPE, me fazendo sentir em casa. Durante este período, me orientou de forma brilhante, aprimorando meu máximo potencial. Agradeço todos os ensinamentos, conselhos, apoio, paciência e dedicação. Tenho grande admiração pela sua trajetória como docente e pesquisadora e será sempre reverenciada por mim, como um exemplo de pessoa e profissional.

Ao meu coorientador, Dr. Josimar Gurgel Fernandes, pelo apoio, parceria, dedicação, trabalho e expertise na execução e desenvolvimento da pesquisa. Sua colaboração foi fundamental para a obtenção dos resultados conseguidos com este estudo. Minha gratidão!

A Dra. Cinthya Pacheco, pelos valorosos ensinamentos repassados durante nosso convívio e pelo importante auxílio durante a condução da pesquisa. Meu muitíssimo obrigado!

Ao técnico do Laboratório de Química do Solo, Pedro Gabriel, que tanto me auxiliou e contribuiu na condução das análises de solo e planta.

Aos meus companheiros e amigos do Laboratório de Química do Solo, Jânio, Emanuelle, Clarissa, Adão, Tamires, Patryk, Roberto, Paulo, Luara, Giovanna, Lucca e Vitória, por toda a ajuda, empenho, dedicação, apoio e paciência, nas atividades do laboratório e em campo, e pelos momentos de alegrias e boas conversas durante este período de bom convívio juntos. O sentimento é de gratidão!

Às queridas e eternas amigas, Marilya Gabryella, Jaciane Rosa e Nara Núbia, que foram presentes de Deus em minha vida durante período. Compartilhamos de tudo, momentos de alegrias e tristezas, mas sempre nos apoiando e ajudando uns aos outros. Que nossa amizade prevaleça firme, forte e inabalável. Amo vocês!

Ao querido Jadson Diogo, pelo companheirismo e apoio dado neste período tão importante, pelas palavras de incentivo, conforto e força. Muito grato por você existir!

Aos queridos amigos, Tomás Guilherme, Victor Gurgel e Bueno Abreu, por serem sempre presentes e pelas inúmeras alegrias que vivemos.

Às queridas amigas do coração, Layanne Ferro e Giselle Silva, pelos anos que moramos juntos e por compartilhar de muitos momentos felizes. Obrigado pelo companheirismo, carinho, afeto e amizade. Amo vocês!

Aos amigos do Programa de Pós-Graduação em Ciência, Amanda Michele, Aline Roma, Ana Beatriz, Arnaldo Joaquim, Danilo Dutra, Francisco Marto, Franklone Lima, Gabriel Henrique, Isamor Gomes, José Petrônio, Joyce Matos, Luiz Henrique, Marcos Oliveira, Pablo Acácio e Venâncio de Lima.

Às queridas amigas Keivia Lino e Laís Monique, pela amizade construída desde os tempos de graduação na UFC e no grupo de irrigação e drenagem, obrigado pelo apoio e torcida nesta etapa de conquista. Amo vocês!

Aos queridos amigos, Danyelle Mauta, Amanda Pinheiro, Diego Vasconcelos e Thiago Aragão, que mesmo na distância nossa amizade se manteve firme, com admiração, carinho e na torcida pelo sucesso uns dos outros. Amo vocês!

Às minhas queridas amigas de infância de Morada Nova, Camila Castro e Bruna Carneiro, por todos estes anos de amizade, carinho, cumplicidade, viagens e admiração. Obrigado pela torcida e apoio, vocês fazem parte desta conquista. Só gratidão pela nossa amizade, amo vocês!

A querida família Moura e Freitas, José Moura, Luciana Freitas, Marília Freitas, Márcia Freitas, Regino Silva, Mariana e Marcos Rian, por sempre torcerem pelas minhas conquistas e por terem se tornado pessoas tão queridas em minha vida. Obrigado pelas orações e pelo carinho. Muita gratidão!

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), minha segunda casa durante este período. Obrigado pela estrutura física oferecida, em especial, ao Departamento de Agronomia e ao Laboratório de Química do Solo e, também, aos demais laboratórios e por toda a equipe envolvida no funcionamento da instituição. Gratidão pela acolhida!

Ao Laboratório de Mineralogia, nas pessoas do Prof. Dr. Valdomiro Souza Júnior e da Dra. Marilya Gabryella, pela disponibilidade do uso da estrutura e dos equipamentos do laboratório para realização de análises de solo e planta. Meu muitíssimo obrigado!

Ao Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), na figura do Dr. Josimar Gurgel Fernandes, pelo apoio estrutural e de profissionais para instalação e condução do experimento de campo em uma de suas áreas experimentais e nas coletas de solo dentro das áreas da instituição. Gratidão!

À Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UFRPE, em especial à Profa. Dra. Giselle Fracetto, pela compreensão dedicada a mim nas solicitações realizadas e pelo brilhantismo na condução de gestão do programa. Desde já agradeço!

À CAPES, pela concessão da bolsa, que foi de fundamental importância para a realização do doutorado com dedicação exclusiva.

Ao CNPq e à FACEPE, pelo apoio financeiro para a condução das atividades da pesquisa.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo e Engenharia Agrícola, pelos valiosos ensinamentos e trocas de experiências. Obrigado pelos conselhos tão importantes na lapidação para meu crescimento profissional.

Às queridas funcionárias do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Socorro e Vânia, obrigado pela disponibilidade, atenção e dedicação em sempre nos ajudar em todos os momentos. Eterna gratidão!

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta pesquisa e na minha formação, o meu muito obrigado!

O que é nascido de Deus vence o mundo; e esta é a vitória que vence o mundo: a nossa fé.

1 João 5:4

Estudos com *Helianthus tuberosus* L. irrigado com rejeito de dessalinizador e adubação de fontes variadas em solos do semiárido

RESUMO GERAL

Os estresses abióticos têm-se constituído como umas das principais limitações impostas às culturas agrícolas. A água, recurso vital para agricultura irrigada no semiárido é escassa ou contaminada com sais solúveis. Mesmo com as adversidades levantadas, técnicas de melhoria da qualidade dos solos e a aplicabilidade de águas salinas, têm aguçado a busca por estratégias de manejo para a melhor convivência e aproveitamento destes recursos. Entretanto, informações técnicas de manejo e culturas alternativas adaptadas a salinidade são limitadas. Neste contexto, a pesquisa teve como objetivo avaliar o potencial agrícola e a sustentabilidade ambiental do cultivo de *Helianthus tuberosus* L. quando irrigado com rejeito salino com diferentes misturas com água doce e adubada com fontes de adubação orgânica em solos do Agreste e Sertão de Pernambuco. A pesquisa foi conduzida, em ambiente protegido durante 70 dias, em delineamento em blocos casualizados (DBC), em arranjo fatorial 3 x 6, sendo os fatores constituídos por três diferentes solos (S1 – Cambissolo de Serra Talhada; S2 – Planossolo de São Bento do Una e S3 – Planossolo de Caruaru), mediante irrigação com seis diferentes misturas de rejeito salino, incluindo águas com condutividades elétricas (CEa) de 0,60; 3,52; 6,99; 11,29; 16,99 e 35,17 dS m⁻¹, nas respectivas proporções (A1 – 100% de água doce; A2 – 95% de água doce + 5% de rejeito salino; A3 – 90% de água doce + 10% de rejeito salino; A4 – 80% de água doce + 20% de rejeito salino; A5 – 60% de água doce + 40% de rejeito salino e A6 – 30% de água doce + 70% de rejeito salino), com quatro repetições em blocos, totalizando 72 plantas. Aos 15 e 35 dias após aplicação dos tratamentos salinos, foram mensuradas as variáveis biométricas e fisiológicas. Foram medidos a biomassa, teores de elementos nos tecidos vegetais e atributos químicos dos solos. O segundo experimento foi conduzido em condições de campo durante 120 dias. Foi adotado um DBC, sendo os tratamentos constituídos por uma testemunha (sem aplicação de fertilizantes) e quatro fontes de adubação (adubação mineral com NPK; adubação com esterco caprino; composto orgânico e mistura de esterco caprino + composto orgânico), em quatro repetições, totalizando 140 plantas. Foram realizadas medidas biométricas mensais nas plantas e, ao final do ciclo, foi analisado o potencial produtivo da cultura pela produção de biomassa, estado nutricional da planta, pigmentos fotossintéticos, teor de sólidos solúveis, atividade enzimática, bem como análises químicas do solo. As proporções do rejeito salino com alta CEa influenciaram diretamente as variáveis morfológicas e fisiológicas das plantas, com diminuições significativas sob uso das águas mais salinas. As plantas cultivadas no Planossolo de Caruaru toleraram a salinidade até a água de irrigação com 20% do rejeito salino. Houve maior acúmulo de Cl do que Na na parte aérea das plantas irrigadas com o rejeito do dessalinizador. O estado nutricional das folhas, caule, raiz e tubérculos da planta foi incrementado em todos os tratamentos com adubação, tanto com NPK como pelas fontes orgânicas tendo o potássio (K) e o cálcio (Ca) com maior acúmulo. A biomassa total dos tubérculos foi maior nos tratamentos com adubação mineral e composto orgânico, mas os tratamentos com esterco caprino e a combinação composto orgânico + esterco caprino também apresentaram valores superiores ao tratamento sem adubação. Em conclusão, nossas descobertas destacam as respostas diferenciadas de *Helianthus tuberosus* L. a vários regimes de irrigação e fertilização em solos semiáridos. O estudo fornece informações valiosas sobre a otimização das práticas de gestão da cultura para aumentar a produtividade agrícola e a sustentabilidade em regiões que enfrentam estresses abióticas.

Palavras-chave: Jerusalém batateiro. Agricultura bioessalina. Tolerância. Cultivo orgânico. Cultura alternativa.

Studies with *Helianthus tuberosus* L. irrigated with desalination waste and fertilization from various sources in semi-arid soils

GENERAL ABSTRACT

Abiotic stresses constitute a primary constraint on crop cultivation. In semi-arid regions, water, a crucial resource for irrigated agriculture, is often scarce or contaminated with soluble salts. Despite these challenges, advancements in soil quality enhancement and the utilization of saline waters have fueled the quest for effective management strategies, facilitating better coexistence with and utilization of these resources. However, comprehensive technical insights into management practices and alternative crops well-suited to saline conditions remain limited. The robustness of *Helianthus tuberosus* L., cultivated in diverse global regions, coupled with its adaptability to adverse environments, makes it a subject of interest. This study aimed to assess the agricultural potential and environmental sustainability of *Helianthus tuberosus* L. cultivation. Specifically, we investigated the effects of irrigation with saline wastewater, after varying mixtures with fresh water, and fertilization with organic sources in semiarid soils of the Agreste and Sertão regions of Pernambuco. The study was done under a controlled environment for 70 days in a randomized block design (RBD), featuring a 3 x 6 factorial arrangement. Three distinct soils (S1 – Cambisol from Serra Talhada; S2 – Planosol from São Bento do Una; S3 – Planosol de Caruaru) were subjected to irrigation using six different mixtures of saline wastewater and fresh water with varying electrical conductivity (ECa) values. These mixtures denoted as A1 to A6, were composed of different proportions of fresh water and saline wastewater. The second experiment, conducted under field conditions over 120 days, followed a DBC with treatments including a control group (no fertilizers) and four fertilizer sources (mineral fertilizer with NPK; goat manure fertilization; organic compost; a mixture of goat manure and organic compound). Biometric measurements were recorded monthly, and at the experiment's conclusion, various aspects of crop productivity were analyzed, including biomass production, plant nutritional status, photosynthetic pigments, soluble solids content, enzymatic activity, and soil chemical properties. The proportion of saline wastewater with elevated ECa significantly influenced morphological and physiological variables, with notable declines observed as the salinity of irrigation water increased. Notably, plants cultivated in Caruaru Planosol exhibited tolerance to salinity up to 20% saline waste in irrigation water. The aerial parts of plants irrigated with saline waste exhibited a pronounced accumulation of chloride (Cl) versus Na. Biomass production demonstrated a positive response to fertilization with NPK, organic compound, and a combination of organic compound and goat manure. Plant nutrient status was notably enhanced across all fertilizer treatments, particularly in the accumulation of potassium (K) and calcium (Ca). The overall productive potential of tubers was found to be highest in treatments involving mineral fertilizer and organic compost. However, treatments incorporating goat manure and the combination of organic compound and goat manure also surpassed non-fertilized conditions. In conclusion, our findings highlight the nuanced responses of *Helianthus tuberosus* L. to various irrigation and fertilization regimes in semi-arid soils. The study provides valuable insights into optimizing crop management practices for enhanced agricultural productivity and sustainability in regions facing abiotic stresses.

Keywords: Jerusalem potato. Biosaline agriculture. Tolerance. Organic cultivation. Alternative culture.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2 – ESTABELECIMENTO, RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E NUTRICIONAIS DE PLANTAS DE *Helianthus tuberosus* L. E ATRIBUTOS DE SOLOS DO SEMIÁRIDO SOB IRRIGAÇÃO COM MISTURAS DE REJEITO DE DESSALINIZADOR

- Figura 1** – Número de folhas de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos) 81
- Figura 2** – Número de folhas de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (35 dias após a aplicação dos tratamentos salinos) 83
- Figura 3** – Diâmetro do caule de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos) 85
- Figura 4** – Diâmetro do caule de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (35 dias após a aplicação dos tratamentos salinos) 86
- Figura 5** – Altura de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos) 87
- Figura 6** – Altura de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (35 dias após a aplicação dos tratamentos salinos) 88
- Figura 7** – Produção de biomassa vegetal de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce 91

Figura 8 – Fotossíntese (<i>A</i>) de <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos)	95
Figura 9 – Fotossíntese (<i>A</i>) de <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (35 dias após a aplicação dos tratamentos salinos)	96
Figura 10 – Condutância estomática (<i>g_s</i>) de <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos)	97
Figura 11 – Transpiração (<i>E</i>) de <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos)	99
Figura 12 – Transpiração (<i>E</i>) de <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (35 dias após a aplicação dos tratamentos salinos)	100
Figura 13 – Concentração interna de CO ₂ (<i>C_i</i>) de <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos)	101
Figura 14 – Concentração interna de CO ₂ (<i>C_i</i>) de <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (35 dias após a aplicação dos tratamentos salinos)	102
Figura 15 – Eficiência instantânea do uso da água (<i>A/E</i>) de <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos)	103

Figura 16 – Eficiência intrínseca do uso da água (A/E) de <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos)	105
Figura 17 – Eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) de <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (35 dias após a aplicação dos tratamentos salinos)	105
Figura 18 – Fluorescência inicial (F_0) de <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos)	107
Figura 19 – Eficiência quântica potencial do PSII ($F_v F_0^{-1}$) de <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos)	108
Figura 20 – Teores de clorofila “a” (Clf_a) de <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos)	111
Figura 21 – Teores de clorofila “a” (Clf_a) de <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (35 dias após a aplicação dos tratamentos salinos)	112
Figura 22 – Teores de clorofila “b” (Clf_b) de <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (35 dias após a aplicação dos tratamentos salinos)	113
Figura 23 – Teores de clorofila “total” (Clf_{total}) de <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos)	113

Figura 24 – Teores de clorofila “total” (Clf_{total}) de <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (35 dias após a aplicação dos tratamentos salinos)	114
Figura 25 – Teores carotenoides (Caf) de <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos)	115
Figura 26 – Teores de carotenoides (Caf) de <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (35 dias após a aplicação dos tratamentos salinos)	116
Figura 27 – Potencial hídrico (Ψ_w) de <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos)	117
Figura 28 – Potencial hídrico (Ψ_w) de <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (35 dias após a aplicação dos tratamentos salinos)	120
Figura 29 – Teor relativo de água (TRA) de <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos)	120
Figura 30 – Extravasamento de eletrólitos (EE) de <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos)	122
Figura 31 – Extravasamento de eletrólitos (EE) de <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (35 dias após a aplicação dos tratamentos salinos)	124

Figura 32 – Teores de elementos na parte aérea de <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce	126
Figura 33 – Teores de elementos nas raízes de <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce	126
Figura 34 – Teores de elementos na parte aérea de <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce	130
Figura 35 – Teores de elementos nas raízes de <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce	130
Figura 36 – Teores de elementos na parte aérea de <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce	133
Figura 37 – Teores de elementos nas raízes de <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce	134
Figura 38 – Valores de pH_{H_2O} (1:2,5) dos solos cultivados com <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce	137
Figura 39 – Teores de potássio (K^+) trocável nos solos cultivados com <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce	138
Figura 40 – Teores de sódio (Na^+) trocável nos solos cultivados com <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce	139
Figura 41 – Teores de cálcio (Ca^{2+}) trocável nos solos cultivados com <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce	140

Figura 42 – Teores de magnésio (Mg^{2+}) trocável nos solos cultivados com <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce	141
Figura 43 – Capacidade de troca de cátions (CTC) dos solos cultivados com <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce	142
Figura 44 – Porcentagem de sódio trocável (PST) nos solos cultivados com <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce	143
Figura 45 – Potencial hidrogeniônico do extrato de saturação (pH_{es}) dos solos cultivados com <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce	146
Figura 46 – Condutividade elétrica extrato de saturação (CE_{es}) dos solos cultivados com <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce	147
Figura 47 – Teores de potássio solúvel (K^+) nos solos cultivados com <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce	148
Figura 48 – Teores de sódio solúvel (Na^+) nos solos cultivados com <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce	149
Figura 49 – Teores de cálcio solúvel (Ca^{2+}) nos solos cultivados com <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce	151

Figura 50 – Teores de magnésio solúvel (Mg^{2+}) nos solos cultivados com *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce 152

Figura 51 - Teores de cloreto solúvel (Cl^-) nos solos cultivados com *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce 153

Figura 52 – Relação de adsorção de sódio (RAS) nos solos cultivados com *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce 154

CAPÍTULO 3 – CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE *Helianthus tuberosus* L. CULTIVADA SOB APLICAÇÃO DE DIFERENTES FONTES DE ADUBAÇÃO EM SOLO DO AGRESTE DE PERNAMBUCO

Figura 1 – Número de folhas (Nf), diâmetro do caule em mm (Dc), altura da planta em cm (Alt), número de hastes primárias (H1) e secundárias (H2) de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada sob aplicação de diferentes fontes de adubação (T1: controle, T2: fertilizante químico, T3: composto orgânico, T4: esterco caprino, T5: 50% composto orgânico e 50% esterco caprino) 182

Figura 2 – Matéria fresca das folhas (MFF), do caule (MFC), da raiz (MFR) e dos tubérculos (MFT) e matéria seca das folhas (MSF), do caule (MSC), da raiz (MSR) e dos tubérculos (MST) de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada sob aplicação de diferentes fontes de adubação (T1: controle, T2: fertilizante químico, T3: composto orgânico, T4: esterco caprino, T5: 50% composto orgânico e 50% esterco caprino) 184

Figura 3 – Teores de clorofila “a” (Clf_a), clorofila “b” (Clf_b), clorofila “total” (Clf_{total}) e carotenoides (Caf) de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada sob aplicação de diferentes fontes de adubação (T1: controle, T2: fertilizante químico, T3: composto orgânico, T4: esterco caprino, T5: 50% composto orgânico e 50% esterco caprino) 186

Figura 4 – Teores nutricionais de fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) nas folhas de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada sob aplicação de diferentes fontes de adubação (T1: controle, T2: fertilizante químico, T3: composto orgânico, T4: esterco caprino, T5: 50% composto orgânico e 50% esterco caprino) 190

Figura 5 – Teores nutricionais de fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) no caule de <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada sob aplicação de diferentes fontes de adubação (T1: controle, T2: fertilizante químico, T3: composto orgânico, T4: esterco caprino, T5: 50% composto orgânico e 50% esterco caprino)	191
Figura 6 – Teores nutricionais de fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) nas raízes de <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada sob aplicação de diferentes fontes de adubação (T1: controle, T2: fertilizante químico, T3: composto orgânico, T4: esterco caprino, T5: 50% composto orgânico e 50% esterco caprino)	192
Figura 7 – Teores nutricionais de fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) nos tubérculos de <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivada sob aplicação de diferentes fontes de adubação (T1: controle, T2: fertilizante químico, T3: composto orgânico, T4: esterco caprino, T5: 50% composto orgânico e 50% esterco caprino)	193
Figura 8 – Teor de sólidos solúveis totais (°Brix) em tubérculos de <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivados sob aplicação de diferentes fontes de adubação (T1: controle, T2: fertilizante químico, T3: composto orgânico, T4: esterco caprino, T5: 50% composto orgânico e 50% esterco caprino)	201
Figura 9 – Potencial produtivo total dos tubérculos de <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivados sob aplicação de diferentes fontes de adubação (T1: controle, T2: fertilizante químico, T3: composto orgânico, T4: esterco caprino, T5: 50% composto orgânico e 50% esterco caprino)	202
Figura 10 – Atividade das enzimas ascorbato peroxidase em $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ gMF}^{-1} \text{ min}^{-1}$ (APX), catalase em $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ gMF}^{-1} \text{ min}^{-1}$ (CAT) e superóxido dismutase em $\text{U gMF}^{-1} \text{ min}^{-1}$ (SOD) em <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) cultivados sob aplicação de diferentes fontes de adubação (T1: controle, T2: fertilizante químico, T3: composto orgânico, T4: esterco caprino, T5: 50% composto orgânico e 50% esterco caprino)	205

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2 – ESTABELECIMENTO, RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E NUTRICIONAIS DE PLANTAS DE *Helianthus tuberosus* L. E ATRIBUTOS DE SOLOS DO SEMIÁRIDO SOB IRRIGAÇÃO COM MISTURAS DE REJEITO DE DESSALINIZADOR

Tabela 1 – Dados climáticos monitorados durante o experimento 70

Tabela 2 – Atributos físicos dos solos utilizados no cultivo de plantas de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) irrigadas com águas salinas 71

Tabela 3 – Atributos químicos dos solos utilizados no cultivo de plantas de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) irrigadas com águas salinas 72

Tabela 4 – Atributos químicos do extrato de saturação dos solos utilizados no cultivo de plantas de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) irrigadas com águas salinas 72

Tabela 5 – Composição química e qualidade das águas utilizadas na irrigação de plantas de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) do experimento 73

Tabela 6 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para os dados de número de folhas, diâmetro do caule e altura da planta de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos) 80

Tabela 7 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para os dados das variáveis número de folhas, diâmetro do caule e altura da planta de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (35 dias após a aplicação dos tratamentos salinos) 82

Tabela 8 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para os dados das variáveis matéria fresca da parte aérea (MFPA), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria fresca raiz (MFR) e matéria seca raiz (MSR) de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce 90

Tabela 9 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para os dados das variáveis fotossíntese (A), condutância estomática (g_s), transpiração (E), concentração interna de CO_2 (C_i), eficiência instantânea do uso da água (A/E) e eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) em plantas de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos) 93

Tabela 10 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para os dados das variáveis fotossíntese (A), condutância estomática (g_s), transpiração (E), concentração interna de CO_2 (C_i), eficiência instantânea do uso da água (A/E) e eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) em plantas de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (35 dias após a aplicação dos tratamentos salinos) 94

Tabela 11 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para os dados das variáveis fluorescência inicial (F_0), fluorescência máxima (F_m), eficiência quântica potencial do PSII ($F_v F_0^{-1}$) e rendimento quântico da fluorescência da clorofila “a” ($F_v F_m^{-1}$) em plantas de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos) 106

Tabela 12 – Resumo da análise da variância para os dados das variáveis clorofila “a” (Clf_a), clorofila “b” (Clf_b), clorofila “total” ($\text{Clf}_{\text{total}}$) e carotenoides (Caf) em plantas de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos) 109

Tabela 13 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para os dados das variáveis clorofila “a” (Clf_a), clorofila “b” (Clf_b), clorofila “total” ($\text{Clf}_{\text{total}}$) e carotenoides (Caf) em plantas de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (35 dias após a aplicação dos tratamentos salinos) 110

Tabela 14 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para os dados das variáveis potencial hídrico (Ψ_w), teor relativo de água (TRA) e extravasamento de eletrólitos (EE) em plantas de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos) 117

Tabela 15 – Resumo da análise de variância para os dados das variáveis potencial hídrico (Ψ_w), teor relativo de água (TRA) e extravasamento de eletrólitos (EE) em plantas de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (35 dias após a aplicação dos tratamentos salinos) 118

Tabela 16 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para os dados dos teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na) e cloro (Cl) na parte aérea (PA) e raiz (R) de plantas de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (Solo S1) 125

Tabela 17 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para os dados dos teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na) e cloro (Cl) na parte aérea e raiz de plantas de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (Solo S2) 129

Tabela 18 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para os dados dos teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na) e cloro (Cl) na parte aérea e raiz de plantas de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (Solo S3) 132

Tabela 19 – Resumo da análise de variância para os dados de potencial hidrogeniônico ($\text{pH}_{\text{água}} 1:2,5$), potássio (K^+), sódio (Na^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), capacidade troca de cátions (CTC) e porcentagem de sódio trocável (PST) do complexo sortivo dos solos cultivados com *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce 136

Tabela 20 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para os valores de potencial hidrogeniônico do extrato de saturação (pH_{es}), condutividade elétrica (CE_{es}), potássio (K^+), sódio (Na^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), cloreto (Cl^-) solúveis e relação de adsorção de sódio (RAS) do extrato de saturação dos solos cultivados com *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce 145

CAPÍTULO 3 – CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE *Helianthus tuberosus* L. CULTIVADA SOB APLICAÇÃO DE DIFERENTES FONTES DE ADUBAÇÃO EM SOLO DO AGRESTE DE PERNAMBUCO

Tabela 1 – Dados de precipitação da Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) em Caruaru – PE durante o período da condução do experimento 171

Tabela 2 – Caracterização química do solo da área experimental na Estacao Experimental do IPA (Caruaru/PE) utilizado no cultivo de *Helianthus tuberosus* L. 172

Tabela 3 – Caracterização física do solo da área experimental na Estação Experimental do IPA (Caruaru/PE) utilizado no cultivo de *Helianthus tuberosus* L. 172

Tabela 4 – Quantidades de sulfato de amônio (N), superfosfato simples (P₂O₅) e cloreto de potássio (K₂O) utilizados como fertilizante químico no tratamento T2 no cultivo de *Helianthus tuberosus* L. 174

Tabela 5 – Composição química do composto orgânico e do esterco caprino utilizados como adubos orgânicos no cultivo de *Helianthus tuberosus* L. 174

Tabela 6 – Resumo da análise da variância (ANOVA) das variáveis número de folhas, diâmetro do caule, altura da planta e hastes primárias e secundárias de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada sob aplicação de diferentes fontes de adubação 181

Tabela 7 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para os dados das variáveis matéria fresca das folhas (MFF), do caule (MFC), da raiz (MFR) e dos tubérculos (MFT) e matéria seca das folhas (MSF), do caule (MSC), da raiz (MSR) e dos tubérculos (MST) de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada sob aplicação de diferentes fontes de adubação 183

Tabela 8 – Resumo da análise d variância (ANOVA) para as variáveis clorofila “a” (Clf_a), clorofila “b” (Clf_b), clorofila “total” (Clf_{total}) e carotenoides (Caf) de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada sob aplicação de diferentes fontes de adubação 186

Tabela 9 – Resumo da análise de variância para os dados dos teores nutricionais de fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) na folha, caule, raiz e tubérculos de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada sob aplicação de diferentes fontes de adubação 189

Tabela 10 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para os dados de potencial hidrogeniônico (pH água 1:2,5), potássio (K⁺), sódio (Na⁺), cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) trocáveis, fósforo (P), capacidade de troca de cátions (CTC) e porcentagem de sódio trocável (PST) do solo após cultivo com *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) sob aplicação de diferentes fontes de adubação 195

Tabela 11 – Atributos químicos do solo após cultivo com *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) sob aplicação de diferentes fontes de adubação (T1: controle, T2: fertilizante químico, T3: composto orgânico, T4: esterco caprino, T5: 50% composto orgânico e 50% esterco caprino) (Complexo sortivo) 196

Tabela 12 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para os dados de potencial hidrogeniônico do extrato de saturação (pH_{es}), condutividade elétrica (CE_{es}), potássio (K⁺), sódio (Na⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺) e razão de adsorção de sódio (RAS) do extrato de saturação do solo após cultivo com *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) sob aplicação de diferentes fontes de adubação 197

Tabela 13 – Atributos químicos do solo após cultivo com *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) sob aplicação de diferentes fontes de adubação (T1: controle, T2: fertilizante químico, T3: composto orgânico, T4: esterco caprino, T5: 50% composto orgânico e 50% esterco caprino) (Extrato de saturação) 198

Tabela 14 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para os dados de sólidos solúveis totais em tubérculos (°Brix) de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) sob aplicação de diferentes fontes de adubação 200

Tabela 15 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para os dados do potencial produtivo total dos tubérculos de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) sob aplicação de diferentes fontes de adubação 202

Tabela 16 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para os dados das enzimas ascorbato peroxidase (APX), catalase (CAT) e superóxido dismutase (SOD) em <i>Helianthus tuberosus</i> L. (cv. Stampede) sob aplicação de diferentes fontes de adubação	204
---	-----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	29
1.1 Hipóteses.....	31
1.2 Objetivos.....	31
1.2.1 Objetivo Geral.....	31
1.2.2 Objetivos Específicos.....	31
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	32
2.1 Aspectos gerais da espécie <i>Helianthus tuberosus</i> L.	32
2.1.1 Origem, história e nomenclatura.....	32
2.1.2 Classificação botânica e características da planta.....	33
2.1.3 Uso e importância socioeconômica.....	37
2.2 Solos afetados por sais.....	41
2.3 Manejo da água salina na agricultura.....	43
2.4 Tolerância de <i>Helianthus tuberosus</i> L. a estresses abióticos.....	45
2.5 Fontes de adubação no cultivo de <i>Helianthus tuberosus</i> L.	49
Referências Bibliográficas.....	52
3 ESTABELECIMENTO, RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E NUTRICIONAIS DE PLANTAS DE <i>Helianthus tuberosus</i> L. E ATRIBUTOS DE SOLOS DO SEMIÁRIDO SOB IRRIGAÇÃO COM MISTURAS DE REJEITO DE DESSALINIZADOR.....	66
Resumo.....	66
Abstract.....	67
3.1 Introdução.....	68
3.2 Material e Métodos.....	70
3.2.1 Localização e caracterização da área experimental.....	70
3.2.2 Estrutura física experimental.....	70
3.2.3 Material vegetal.....	70
3.2.4 Delineamento experimental e tratamentos.....	70
3.2.5 Instalação e condução do experimento.....	73

3.2.6 Manejo da irrigação	73
3.2.7 Variáveis analisadas	74
3.2.7.1 Altura da planta	74
3.2.7.2 Número de folhas.....	74
3.2.7.3 Diâmetro do caule.....	74
3.2.7.4 Produção de biomassa	75
3.2.7.5 Trocas gasosas	75
3.2.7.6 Rendimento quântico da fluorescência da clorofila “a” ($f_v f_m^{-1}$)	75
3.2.7.7 Pigmentos fotossintéticos foliares	76
3.2.7.8 Potencial hídrico foliar	76
3.2.7.9 Teor relativo de água (TRA)	76
3.2.7.10 Extravasamento de eletrólitos (EE)	77
3.2.7.11 Avaliação do estado nutricional das plantas.....	77
3.2.7.12 Análises químicas do solo	78
3.2.8 Análises estatísticas	78
3.3 Resultados e Discussão	80
3.3.1 Número de folhas, diâmetro do caule e altura da planta	80
3.3.2 Produção de biomassa	89
3.3.3 Trocas gasosas	93
3.3.4 Rendimento quântico da fluorescência da clorofila “a” ($F_v F_m^{-1}$).....	106
3.3.5 Pigmentos fotossintéticos foliares	108
3.3.6 Potencial hídrico (Ψ_w), teor relativo de água (TRA) e extravasamento de eletrólitos (EE).....	116
3.3.7 Estado nutricional das plantas	124
3.3.8 Atributos químicos do solo.....	135
3.4 Conclusões	155
Referências Bibliográficas	156

4 CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE <i>Helianthus tuberosus</i> L. CULTIVADA SOB APLICAÇÃO DE DIFERENTES FONTES DE ADUBAÇÃO EM SOLO DO AGRESTE DE PERNAMBUCO.....	168
Resumo	168
Abstract.....	169
4.1 Introdução	170
4.2 Material e Métodos	171
4.2.1 Localização e caracterização da área experimental	171
4.2.2 Estrutura física e preparo da área experimental	171
4.2.3 Material vegetal.....	172
4.2.4 Delineamento experimental e tratamentos	173
4.2.5 Instalação e condução do experimento	174
4.2.6 Manejo da irrigação	175
4.2.7 Variáveis analisadas	176
4.2.7.1 Altura da planta.....	176
4.2.7.2 Número de folhas	176
4.2.7.3 Diâmetro do caule	176
4.2.7.4 Número de hastes primárias e secundárias	176
4.2.7.5 Produção de biomassa.....	176
4.2.7.6 Pigmentos fotossintéticos foliares.....	177
4.2.7.7 Sólidos solúveis totais (°Brix)	177
4.2.7.8 Avaliação do estado nutricional das plantas	177
4.2.7.9 Atividade enzimática.....	178
4.2.7.10 Atributos químicos do solo	179
4.2.7.11 Potencial produtivo	179
4.2.8 Análises estatísticas.....	179
4.3 Resultados e Discussão.....	180
4.3.1 Número de folhas, diâmetro do caule, altura da planta e número de hastes ..	180

4.3.2 Produção de biomassa	183
4.3.3 Pigmentos fotossintéticos foliares	185
4.3.4 Estado nutricional das plantas	188
4.3.5 Atributos químicos do solo.....	194
4.3.6 Sólidos solúveis totais (°Brix)	199
4.3.7 Potencial produtivo total.....	201
4.3.8 Atividade enzimática	204
4.4 Conclusões	206
Referências Bibliográficas	207
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	212

1 INTRODUÇÃO GERAL

Os vegetais necessitam de condições ideais para expressar seu rendimento agrônomico. Condições edafoclimáticas adversas podem causar prejuízos aos cultivos agrícolas, que conseqüentemente, não encontram condições favoráveis a seu desenvolvimento. Em regiões áridas e semiáridas, fatores impulsionados por estresses abióticos são considerados os principais agravantes no crescimento vegetativo das culturas, comprometendo a produtividade e a qualidade da produção. Nesse contexto, a utilização de espécies vegetais toletantes a ambientes adversos e estressantes tem grande relevância nestas regiões.

É sabido que uma diminuição progressiva dos recursos naturais não renováveis do ambiente e que a exploração exacerbada, causam impactos diretos no desenvolvimento agrícola. Os agentes do ambiente, água e solo, tem sido os principais protagonistas quando retratamos a degradação ambiental. As águas além de escassas estão se tornando salinizadas e impróprias para a irrigação vegetal, e diretamente estão salinizando os solos provocando sérias alterações em suas propriedades químicas e físicas. O semiárido brasileiro, com destaque para a região Nordeste, está inserido em diversas destas problemáticas, que impedem o crescimento potencial da agricultura regional.

Na agricultura atual, a qualidade da água é um dos fatores mais limitantes ao pleno desenvolvimento das plantas, expresso nas respostas de seus parâmetros morfológicos, fisiológicos, bioquímicos e nutricionais, com conseqüências em alterações críticas no ciclo da planta. A associação de solos e águas salinos pode reduzir o crescimento e produção de culturas glicófitas e rendendo estas áreas impróprias a agricultura. Atualmente, a salinização dos solos e das águas tem se tornado um grave problema a nível mundial, por conseguinte, a busca por soluções quanto a utilização destes recursos na agricultura torna-se necessária e urgente, com o aprimoramento de novos mecanismos de convivência com o ambiente citado, minimizando efeitos danosos as plantas cultiváveis. Dentre elas, podemos citar as misturas de água de diferentes qualidades e uso cíclico de águas de diferentes concentrações salinas, visando principalmente a diluição dos sais e o controle dos processos de salinização e sodificação do solo.

O cultivo de espécies tolerantes associada ao uso de fontes hídricas alternativas de inferior qualidade em solos afetados por sais, tem se tornado uma estratégia assertiva para minimizar os efeitos da alta concentração de sais tóxicos e do déficit hídrico. A prática de dessalinização das águas salobras é uma importante técnica mitigatória contra a escassez hídrica, mas que ao final de seu processo gera um resíduo altamente concentrado em sais. A

utilização deste rejeito salino pela agricultura irrigada tem dado um destino sustentável a este resíduo e resolvendo a demanda de água das plantas. No entanto, nem todas as culturas são igualmente afetadas pelo mesmo nível de salinidade, algumas são mais tolerantes que outras, e podem absorver água com mais facilidade e compartimentalizar íons tóxicos (Na^+ e Cl^-), auxiliados por mecanismos de tolerância aos efeitos nocivos dos sais no metabolismo vegetal.

A espécie *Helianthus tuberosus* L., é uma cultura de alto valor econômico e energético, seus tubérculos concentram altas quantidade de inulina, que podem ser exploradas pela indústria alimentícia, farmacêutica e de biocombustíveis. É cultivada nas mais diversas condições de adversidade, em regiões tropicais e temperadas, sob condições de altas temperaturas ou até mesmo em geadas. Dentre isso, é considerada uma cultura de alta rusticidade, devido a tolerar ambientes estressantes com excesso de sais, déficit hídrico e solos com baixa fertilidade. Devido a mecanismos de tolerância ao estresse, a planta consegue se ajustar osmoticamente pela acumulação de solutos compatíveis possibilitando a absorção de água, ante dificultada pelo aumento do potencial osmótico. Distúrbios oriundos do estresse oxidativo pela alta produção dos radicais de ERO's, são controladas pelo aumento da atividade de enzimas antioxidantes. Diante destes aspectos, o uso da espécie em questão traz uma perspectiva positiva como alternativa para a produção em sistemas que utilizam água salina como fonte hídrica, solos com problemas de sais e de baixa fertilidade natural.

Mesmo com a baixa exigência por insumos, o potencial produtivo da espécie *Helianthus tuberosus* L. só será expresso e economicamente viável, se associado a técnicas de manejo agrícola eficientes e sustentáveis. Dentre elas, podemos citar a adubação com fontes orgânicas a base de resíduos vegetais e esterco de animais, que tem a capacidade de melhorar parâmetros físicos e químicos do solo, como a fertilidade, que é tão essencial para a nutrição das plantas e que influi diretamente no seu crescimento e desenvolvimento, garantindo a sanidade e produtividade das culturas.

Por esta razão, estudos dessa natureza proporcionam o entendimento de uma série de respostas das plantas, gerando informações primordiais que podem auxiliar em tomadas de decisões por parte da escolha adequada da cultura a ser explorada sob condições adversas, contribuindo para o desenvolvimento de um manejo técnico cada vez mais eficaz, reintegrando as áreas afetadas por sais e baixa fertilidade aos processos produtivos com espécies de relevância social e econômica.

1.1 Hipóteses

A espécie *Helianthus tuberosus* L. apresenta potencial de cultivo em solos salinizados e não salinizados;

O uso de misturas de água com rejeito salino na irrigação de *Helianthus tuberosus* L. pode ser usado, desde rigorosamente manejado sem riscos de salinização e com rendimento economicamente satisfatório;

As características de tolerância aos estresses abióticos pela espécie *Helianthus tuberosus* L. fazem dela uma importante cultura alternativa e de potencial agrícola no semiárido;

A melhoria da qualidade do solo por meio de fontes de adubação orgânica potencializa as características e rendimentos agronômicos da espécie *Helianthus tuberosus* L. no semiárido.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar o potencial agrícola e a sustentabilidade ambiental do cultivo de *Helianthus tuberosus* L. quando irrigado com rejeito salino com diferentes misturas com água doce e adubada com fontes de adubação orgânica em solos do Agreste e Sertão de Pernambuco.

1.2.2 Objetivos Específicos

Avaliar a capacidade de estabelecimento das plantas de *Helianthus tuberosus* L. sob irrigação com proporções crescentes do rejeito salino em diferentes solos do semiárido;

Identificar alterações fisiológicas e nutricionais em plantas de *Helianthus tuberosus* L. influenciadas pela irrigação com proporções crescentes do rejeito salino em diferentes solos do semiárido;

Avaliar a composição química dos solos e o acúmulo de sais nos solos cultivados com *Helianthus tuberosus* L. sob irrigação com proporções crescentes do rejeito salino;

Avaliar o potencial produtivo em biomassa vegetal de *Helianthus tuberosus* L. sob aplicação de diferentes fontes de adubação em solo do semiárido;

Monitorar a evolução dos atributos químicos do solo cultivado com *Helianthus tuberosus* L. sob aplicação de diferentes fontes de adubação em solo do semiárido.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos gerais da espécie *Helianthus tuberosus* L.

2.1.1 Origem, história e nomenclatura

A espécie *Helianthus tuberosus* L., é relatada como seu centro de origem o leste da América do Norte, e acredita-se que seja uma das mais antigas culturas cultivadas no hemisfério norte. Relatos históricos dão narrativas que grupos étnicos e indígenas da América do Norte, Cree e Huron, já cultivavam plantas com foco alimentar devido a seus tubérculos. Inicialmente, houve discussões incertas quanto a sua origem, havendo fortes indícios em território brasileiro (LINNAEUS, 1753). A aceitação desta teoria se deu principalmente devido a um dos seus nomes vulgares “Tupinambo” ser associado aos povos indígenas “Tupinambás” que habitavam o território brasileiro, mais precisamente na Ilha de São Luís do Maranhão. A hipótese que indicava o Brasil como centro de origem da *Helianthus tuberosus* L. foram refutadas pelos mais diversos botânicos europeus entre os séculos XVI e XVII, e conseqüentemente afirmando o Canadá como o terra-mãe da espécie. Segundo Gray e Trumbull (1883) os povos indígenas que habitavam o território norte americano já cultivavam plantas de *Helianthus tuberosus* L., que possivelmente foram obtidas em regiões próximas aos rios Ohio e Mississippi. De posse deste novo argumento, pode-se afirmar uma nova localização quanto ao território de surgimento da espécie, sendo até hoje a teoria mais bem aceita. A distribuição natural e pelo homem dificulta o fornecimento de informações precisas da origem da espécie, mesmo a América do Norte apresentando as principais evidências originárias, é duvidoso afirmar com certeza esta hipótese.

A primeira menção relatada na história foi descrita pelo explorador francês Samuel de Champlain em 1605, quando o mesmo descreveu o uso e consumo da planta por índios norte-americanos (CHAMPLAIN, 1613). Diante disso, acredita-se que seja uma das mais antigas culturas cultivadas na América do Norte. Champlain detalha em seus registros históricos que os tubérculos de *Helianthus tuberosus* L. se assemelhavam, em sabor e textura, aos receptáculos carnudos da alcachofra (*Cynara scolymus* L.). Mesmo com a escassez de registros históricos, os nativos americanos já cultivavam a planta séculos antes da chegada dos exploradores europeus (BOURNE, 1906; KAYS; NOTTINGHAM, 2008).

A França é considerada o primeiro país do velho mundo, fora da América do Norte, a cultivar plantas da espécie *Helianthus tuberosus* L. Apesar de Champlain ter descrito o primeiro relato da história, sua introdução é duvidosa, sendo atribuída ao próprio Champlain entre os anos de 1607 e 1608 e Mac Lascarbot em 1607. Embora diante dos fatos não seja possível

afirmar qual dos dois introduziu a cultura na França, Mac Lascaobot é talvez o candidato mais provável, pois o mesmo era responsável pelo Jardim Port Royal, local onde foram encontrados os primeiros cultivos de *Helianthus tuberosus* L. A partir da introdução inicial na França (1607), sua distribuição por demais países europeus aconteceu gradativamente. Com bases nas primeiras declarações na literatura, já foi possível encontrar cultivos na Holanda (1613), Itália (1614), Inglaterra (1617), Alemanha (1626), Dinamarca (1642), Polônia (1652), Suécia (1658) e Portugal (1661) (KAYS; NOTTINGHAM, 2008).

Quanto a nomenclatura da espécie *Helianthus tuberosus* L. existe as mais diversas discussões, voltadas principalmente ao principal nome vulgar “Jerusalem artichokes” no inglês ou “Alcachofra de Jerusalém” no português. Vulgo nome, este, que não caracteriza a planta taxonomicamente como uma alcachofra (*Cynara scolymus* L.), muito menos que sua origem seja a cidade de Jerusalém. Algumas teorias tentam desmitificar o próprio nome da espécie, que morfológicamente não possui parentesco algum com a alcachofra. Etiologicamente, a teoria que sustenta o nome Jerusalém vem de um erro de pronúncia da palavra em italiano “Girasola”, que significa “voltar-se ao sol”, em referência ao girassol, e de acordo com a etimologia popular, por um lapso de pronúncia de nomenclatura transformou-se em Jerusalém. Portanto, vale ressaltar que a nomenclatura dada a espécie *Helianthus tuberosus* L. (Alcachofra de Jerusalém) deriva do italiano “Girasole Articiocco” (BOCK et al., 2014).

Atualmente, a cultura é disseminada pelos quatro cantos do mundo, principalmente na América do Norte (Canadá) e na Europa. Na literatura recente já inclui relatos de cultivos na China, Coreia do Sul, Egito, Austrália e Nova Zelândia (LEE; KIM; MOK, 1985; JUDD, 2003; RAGAB et al., 2003). No Brasil, práticas envolvendo *Helianthus tuberosus* L. ainda são incipientes, mas há registro de cultivo em pequena escala no Sul do Brasil (KINUPP; LORENZI, 2014).

2.1.2 Classificação botânica e características da planta

Uma variedade de nomes foi atribuída a espécie *Helianthus tuberosus* L. desde sua introdução na Europa. Mas em 1753, Linneaus seguindo sua nomenclatura binária, atribuiu o nome científico *Helianthus tuberosus* L. à espécie. O termo *Helianthus* faz associação aos girassóis, inflorescência característica de plantas da família Asteraceae. Já o termo *tuberosus* faz menção a massa de tubérculos produzidas pela espécie, rica em inulina e de alto valor alimentício (KAYS; NOTTINGHAM, 2008; DIAS et al., 2016).

De acordo com a taxonomia hierárquica, o *Helianthus tuberosus* L. ocupa a seguinte posição sistemática: Reino: *Plantae* (Planta); Subreino: *Traqueófitas* (Plantas Vasculares); Subdivisão: *Espermatófitas* (Plantas com Sementes); Divisão: *Angiospermas* (Plantas com Flores); Classe: *Magnoliopsida* (Dicotiledôneas); Subclasse: *Asteridae*; Ordem: *Asterales*; Família: *Asteraceae* (*Compositae*), a qual contém cerca de 476 gêneros e uma variação de aproximadamente 49 à 70 espécies; Gênero: *Helianthus* L.; Espécie: *Helianthus tuberosus* L. (MACKEE, 1994).

A morfologia da espécie *Helianthus tuberosus* L. pode variar significativamente a depender de diversos fatores, desde a genética ao tipo de cultivo. O desenvolvimento das estruturas morfológicas da planta são atributos críticos para o sucesso competitivo da espécie em ambientes naturais. Tal fato pode ser exemplificado entre duas plantas geneticamente idênticas e cultivadas em ambientes diferentes, que apresentam morfologias completamente distintas (KALLOO, 1993).

O caule da espécie tem característica robusta, quando jovens suculentos e tornando-se fibroso com o tempo. Uma característica morfológica importante é a presença de tricomas, os quais tem função na diminuição da perda de água e proteção contra pragas. A disposição do caule na grande maioria dos híbridos é ereta, podendo haver inclinações dependendo da quantidade de hastes. O crescimento do caule da-se diretamente pelo tubérculo, com ramificações nos nós. De um mesmo tubérculo é possível o surgimento de mais um caule, sendo assim, variável o número por planta, e com isso facilitando um rápido aumento no índice de área foliar. A estrutura caulinar pode chegar a três metros ou mais de altura, embora existam híbridos de porte menor (KAYS; NOTTINGHAM, 2008). Pas'ko (1973) categorizou a altura do caule em alta (> 3m), intermediária (2 a 3m) e baixa (< 2m), sendo que a grande maioria das plantas da espécie apresentam altura na faixa de 1,5 a 2m. Relatos na literatura mostram essa variação de altura do caule, que vão de 102 a 186 cm (SWANTON, 1986), 119 a 164 cm (HAY; OFFER, 1992), 115 a 275 cm (KIEHN; CHUBEY, 1993), 125,6 a 128,8 cm (OLIVEIRA; CORRÊA, 2007), 191,7 a 225,7 cm (LONG et al., 2010b), 209,3 a 225 cm (LONG et al., 2010b) e 107 a 156,1 cm (DIAS et al., 2016). O diâmetro pode apresentar variações que estão nas faixas de 1,6 a 2,4 cm, em plantas no ápice de seu desenvolvimento. Long et al. (2010b) observou diferenças nos diâmetros de duas cultivares estudadas, tendo o acesso N1 valores entre 2,06 a 2,43 cm, e o N7 entre 1,75 a 1,93 cm.

As folhas podem apresentar características morfológicas distintas, desde a sua forma, margem serrilhada, tamanho, número de folhas, coloração e filotaxia. Tais diferenças podem variar entre cultivares, posição no caule, tipo de cultivo e práticas agrônômicas. As folhas são

lanceoladas, formato de lança e levemente ovais. As folhas jovens tendem a ser mais estreitas não apresentando ovoide. A disposição das folhas no caule, tipicamente são opostas na base e alternadas na parte superior. Outra característica atribuída as folhas da espécie são suas margens serrilhadas, geralmente, variando significativamente com a posição na folha e com a posição da folha na planta. O tamanho da folha sempre terá variações, que vão depender do arranjo na estrutura do caule. Na parte inferior e superior (em direção ao ápice caulinar) são encontradas as folhas menores, que vão de 4 a 8 cm de comprimento e de 2 a 4 cm de largura. Em relação as maiores folhas, tentem a estarem dispostas na parte intermediaria do caule, apresentando comprimento de 10 a 25 cm e largura de 4 a 12 cm (BALOGH, 2008; KLISZCZ, 2021).

O número de folhas sob condições ideais e uniformes de cultivo, sem estresse, podem ficar entre 372 e 953 (SWANTON, 1986). Segundo McLaurin, Somba e Kays (1999) é difícil quantificar o número correto, principalmente devido a fatores como diferença entre cultivares, fatores agronômicos como fertilidade do solo e irrigação, fatores bióticos e abióticos, bem como a idade da planta. Geralmente, o estágio fenológico que contém a maior quantidade folhas por planta é na floração. O autor ainda ressaltar as perdas durante todo o ciclo vegetativo da planta, que vão de aproximadamente 2,5 a 491 folhas por planta.

A coloração das folhas vai do verde claro ao escuro, e em alguns casos verde acinzentada. Em regiões temperadas, e no outono, esta coloração pode ser avermelhada, exclusiva para condição climática citada. A cor entre as superfícies foliares também podem apresentar diferenças, com a região abaxial com cor mais clara, e conseqüentemente a adaxial com coloração mais escura (KAYS; NOTTINGHAM, 2008).

A inflorescência é outro órgão de destaque na estrutura vegetal da espécie *Helianthus tuberosus* L., sendo associada a parte reprodutiva. O seu tamanho tem variação de 5 a 10 cm de diâmetro, aproximadamente. Swanton (1986) expõe dados em relação ao tamanho ressaltando peculiaridades, mensurando o diâmetro com e sem as lígulas (folhas marginais em forma de língua). Na presença das lígulas, o diâmetro apresentou variação entre 7,3 a 11,4 cm, e sem variando de 6,5 a 7,5 cm. O número de inflorescências foi categorizado por Pas'ko (1973) em pequena (1 a 15), média (16 a 49) e grande (50 a 155), com o número de flores em média de 58,8 por inflorescência. O involúcro da inflorescência é composto de 3 camadas. Os folíolos são finos, lanceolados, pontiagudos, rígidos e fibrosos. As folhas da estrutura da inflorescência são pequenas e novas com cerca de 12 a 14 mm de comprimento e 2 a 3 mm de largura. As brácteas são escamosas, pubescentes nas bordas externas. As flores, presentes nos discos da inflorescência, são amarelas, com órgão reprodutor feminino, bissexuais ou estéreis, tubulares,

30 mm de comprimento e com 10 a 20 por disco floral. O androceu é formado por 5 estames, o gineceu é sincárpico formado por 2 pistilos, os estigmas são bilobados cobertos por papilas e o cálice possui duas sépalas pequenas em forma de furador (GONTOVAYA; KICHIMASOVA; SOKOLOVA, 2013).

O sistema radicular das plantas de *Helianthus tuberosus* L. é fibroso e desenvolve rizomas. O rizoma é um tipo de desenvolvimento caulinar subterrâneo próximo a superfície do solo, e tem coloração clara com ramificações secundárias e terciárias. As raízes são do tipo fasciculadas e são formadas de uma mesma região nas extremidades do caule (nos rizomas), com aparência que lembra uma cabeleira. Assim como as raízes, os tubérculos também são formados a partir do rizoma, nos nós, entrenós e gemas. Sua superfície externa é irregular com protuberâncias (KAYS; NOTTINGHAM, 2008).

Os tubérculos variam em forma e tamanho, a depender das condições de cultivo e entre híbridos. Sua forma varia de redondo a longo, com cachos nodosos ou delgados, quando jovens tendem ter forma mais uniforme e os mais velhos com forma irregular. As investigações feitas por Swanton (1986) evidenciou híbridos da espécie com diâmetro de 8,7 cm e comprimento de 11,5 cm, enquanto espécies nativas tinham diâmetro de 1,4 cm e comprimento de 16,8 cm. Filipović et al. (2016) encontrou diferenças significativas no comprimento dos tubérculos cultivados em diferentes solos, 4,85 cm em solo orgânico, 7,05 cm em solo aluvial e 7,42 cm em um Chernossolo.

O peso e o número de tubérculos por planta tendem a ser inversamente proporcionais, associados a fatores ambientais. O solo pode exercer influência no estágio de desenvolvimento, quando argilosos ou compactados, inviabilizam o crescimento dos propágulos, reduzindo seu tamanho e peso. Ainda no estudo de Filipović et al. (2016), os autores corroboram que solos fisicamente adensados prejudicam o melhor desenvolvimento dos tubérculos. Mensurando o peso e número médio de tubérculos por planta em solos distintos, os autores chegaram a valores de 18,33 g e 46,83 tubérculos planta⁻¹ em solo orgânico, 46,58 g e 33,33 tubérculos planta⁻¹ em solo aluvial e 76,50 g e 31,58 tubérculos planta⁻¹ em um Chernossolo. Esta diferença pode ser justificada ainda, no caso do Chernossolo, pela sua boa fertilidade rica em fósforo (P) e potássio (K), além de ótimos teores de matéria orgânica.

A epiderme dos tubérculos tem variações de colorações nas cores branco, vermelho, violeta e marrom. Concentrações elevadas de antocianinas dão coloração em tons avermelhados ou violeta, e na ausência, tons claros na cor branca. Em casos, quando expostos a radiação solar tendem a tornam-se verdes devido a síntese de clorofila. A coloração interna ou da polpa do tubérculo, geralmente apresentam-se na cor branca (SAWICKA; PSZCZÓŁKOWSKI, 2022).

Os estômatos representam as principais estruturas das trocas gasosas. Anatomicamente, o tamanho dos estômatos é maior na superfície adaxial ($343 \mu\text{m}^2$) do que na abaxial ($323 \mu\text{m}^2$), no entanto, sua forma pode variar, sendo os estômatos inferiores arredondados e os superiores ovais (KAYS; NOTTINGHAM, 2008). Na epiderme foliar contém pares de células (células-guarda) com um ostíolo (poro estomático). A abertura dos estômatos acontece devido ao equilíbrio hídrico da célula, que tende a abrir quando turgida e fechar quando flácida. Este mecanismo estomático é diferenciado entre plantas pelo metabolismo fotossintético, ao qual, plantas C_3 e C_4 abrem os estômatos no período de maior radiação solar, ou seja, durante o dia, enquanto as CAM no período da noite (ROSSINI et al., 2019).

O metabolismo fotossintético da *Helianthus tuberosus* L. é do tipo C_3 , possuindo uma alta eficiência fotoquímica. Neste processo fotossintético o CO_2 atmosférico é fixado e reduzido para a síntese de carboidratos, que é um dos principais constituintes da estrutura vegetal (SAWICKA et al., 2021). Sob condições não estressantes e ideal desenvolvimento, elevados valores fotossintéticos foram determinados em diversos estudos, chegando a $10 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (HUANG et al., 2012), $33 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (SOJA; HAUNOLD, 1991), $12 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (YAN et al., 2018a) e $18 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (YAN et al., 2012).

2.1.3 Uso e importância socioeconômica

O *Helianthus tuberosus* L. tem grande destaque quanto a sua potencialidade agrônômica, destacando-se na produção de alimentos, biocombustíveis (BHAGIA et al., 2017), na alimentação humana, forragem animal, na fitoremediação de metais no solo e fins farmacêuticos. Considerada uma cultura rústica e cultivada sob condições adversas, proporciona rendimento elevado dos seus principais órgãos vegetais. Devido a sua rusticidade, desenvolve-se em solos com baixa fertilidade, excesso de sais solúveis (DIAS et al., 2016), limitada demanda hídrica, sob diferentes condições climáticas e tendo ainda características de resistência a pragas e doenças (KOSARIC et al., 1984). Por apresentar uma ampla adaptabilidade ecológica, atualmente está disseminada em todo mundo. Nos Estados Unidos, Canadá, Europa e Ásia ela é cultivada nas mais diversas condições de clima e solo (LONG et al., 2014; GAO et al., 2018).

Dados econômicos de produção e utilização do *Helianthus tuberosus* L. são relativamente escassos, devido a cultura não apresentar, atualmente, cultivos em escala comercial representativa, não sendo considerada suficiente para monitoramento pela FAO (KAYS; NOTTINGHAM, 2008). No entanto, algumas análises econômicas para sua produção

agrícola e uso estão diretamente ligadas à produção de biocombustíveis e inulina (BALDINI et al., 2011; JOHANSSON et al., 2015).

Encontram-se relatos na literatura com produções médias de tubérculos variando de 1,64 a 3,15 kg planta⁻¹ (ZORIĆ et al., 2016); 1,6 kg planta⁻¹ (DIAS et al., 2016); 3,7 a 4,6 kg planta⁻¹ (PUANGBUT et al., 2012); 1,5 kg planta⁻¹ (LIU et al., 2011) e 0,8 a 1,72 kg planta⁻¹ (SLIMESTAD et al., 2010). A variação na produtividade dos tubérculos de *Helianthus tuberosus* L. pode ser justificada via severos estresses abióticos (hídrico e salino), provocando distúrbios em processos fisiológicos e metabólicos, afetando diretamente o crescimento e desenvolvimento (PAUNGBUT et al., 2015; DIAS et al., 2016).

Por ser uma cultura de baixa exigência de insumos (irrigação, fertilização, resistente a pragas e doenças), propicia uma fonte de renda para o produtor, gerando um sistema autossustentável de exploração (RUTTANAPRASERT et al., 2016; BOGUCKA; JANKOWSKI, 2020). Além disso, os constituintes vegetais da planta (tubérculo, raiz, caule, inflorescência e folhas) geram também diversos subprodutos ou derivados de interesse econômico (DIAS et al., 2016; BHAGIA et al., 2017).

Todos os constituintes vegetais da planta tendem a ter finalidades muito bem definidas. O tubérculo, talvez, seja o órgão com maior potencial, ricos em inulina e fruto-oligossacarídeos, tem grande importância na alimentação humana sendo um importante prebiótico, que por não ser digerível estimula o crescimento e a atividade de bactérias probióticas. A inulina, por sua vez, é um carboidrato do grupo de polissacarídeos chamados frutanas (PESSONI et al., 2004; CHANG et al., 2014). É composto por uma cadeia principal de unidades de frutose com uma unidade de glicose terminal. Os frutooligossacarídeos são definidos como polímeros de D-frutose terminando com uma molécula de glicose, sendo a inulina pertencente a este grupo. Após a ingestão, não é quebrada no sistema digestivo humano, devido à resistência à hidrólise oferecida pelas ligações β -(2,1) entre as moléculas de frutose (ROBINSON, 1995). Por esse motivo, não resulta em contribuição calórica nesse processo. Apenas no cólon ocorre a degradação de inulina por fermentação de bactérias e, conseqüentemente, vai ocorrer uma baixa contribuição calórica indireta (LIMA et al., 2021).

Os tubérculos frescos são constituídos de 80% de água, 15% de carboidratos e 2% de proteínas, sendo a inulina o carboidrato com maior concentração, contendo de 80 a 90%, e ainda de 7 a 14% de sacarose e de 3 a 6% de açúcares redutores (BARTA; PATKAI, 2007). A inulina é expressivamente o carboidrato com maior acúmulo nos tubérculos, e é corroborado por uma gama de estudos, como valores de 79,1 a 82,9% (GUNNARSSON et al., 2014), 60 a 85% (ADULDECHA et al., 2016), 55 a 78,3% (PUANGBUT et al., 2015) e 49,1 a 61,2% (DIAS et

al., 2016). O estudo de Bhagia et al. (2018) com a cultivar ‘White Fuseau’ constatou que o estresse salino não afetou os teores de inulina nos tubérculos, sendo estimadas concentrações variando entre 43 a 51% com base na matéria seca.

As proteínas têm alto valor nutricional e são de suma importância na alimentação de organismos vivos, visando manter funções vitais saudáveis. O tubérculo de *Helianthus tuberosus* L. é o principal órgão de acúmulo desta substância, com composição que varia entre 5,3 a 10,4% em matéria seca (GUNNARSON et al., 2014), além de estudos com percentuais relatados de 10,47% (SAWICKA et al., 2021) e 10,15 a 13,31% (RADOVANOVIC et al., 2015). As folhas também compõem uma parcela do teor de proteína da planta, com menor representatividade quando comparada aos tubérculos, variando de 1,1 a 6,1% (GUNNARSON et al., 2014). As próprias folhas são uma excelente matéria-prima para a produção de alimentos de alta qualidade para animais monogástricos e ruminantes, incrementando as folhas com a silagem na dieta de ovinos, caprinos, bovinos, suínos, aves e equinos (SAWICKA, 2016; MANOKHINA et al., 2022). No intuito de investigar a composição nutricional de folhas de *Helianthus tuberosus* L., Pinar et al. (2021) encontrou teores de proteína bruta entorno de 5,82 a 13,36%, demonstrando sua possível utilização forrageira e na alimentação animal.

Aminoácidos essenciais podem ser encontrados na *Helianthus tuberosus* L. como histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina + cistina, fenilalanina + tirosina, treonina, triptofano, valina, arginina, ácido aspártico, glicina, ácido glutâmico, serina, prolina e alanina (RAKHIMOV et al., 2011). Bogucka e Jankowski (2020) examinaram o conteúdo de aminoácidos em tubérculos, e quantificaram a arginina como o mais abundante (17,68 a 22,07 g/100 g de proteína), seguida pelo ácido glutâmico (7,31 a 9,84 g 100 g⁻¹ de proteína), ácido aspártico (7,34 a 8,92 g 100 g⁻¹ de proteína) e fenilalanina (4,79 a 5,36 g 100 g⁻¹ de proteína). A maioria das proteínas dos tubérculos contém os aminoácidos essenciais ao consumo humano, podendo apresentar variações nas concentrações a depender das cultivares. Além disso, esses componentes são parte importante de enzimas e participam do metabolismo celular e do acúmulo e dissimilação de substâncias orgânicas. Tais constituintes tem relação direta com a saúde, podendo ser incrementada a alimentação de pessoas com doenças de Parkinson, Huntington e Alzheimer (BAKKU et al., 2022; CIEŚLIK et al., 2011; DANILČENKO et al., 2013).

Ainda sob as principais funcionalidades de compostos presentes em *Helianthus tuberosus* L., a literatura ressalta sua capacidade de produzir compostos antioxidantes, extraídos de tubérculos, folhas e inflorescência. O estudo Jantaharn et al. (2018) relataram diversos

compostos em suas flores, como os ésteres de luteína, que demonstrou atividade antiproliferativa contra células tumorais humanas e β -sitostenona com atividade antimicrobiana contra *Enterococcus faecium*. Pesquisa semelhante conduzida por Kim et al. (2019) encontrou importantes compostos antioxidantes, o tirosol com atividade poderosa na eliminação de radicais livres, além de uma alta atividade das enzimas catalase (CAT) e superóxido dismutase (SOD). Já os tubérculos, também apresentaram capacidade antioxidante, onde foram detectados compostos fenólicos como o ácido clorogênico, com propriedades antidiabéticas e cicatrizantes (ZHOU et al., 2019; MARIADOSS et al., 2021).

Nos últimos anos a necessidade de buscar por alternativas ao uso de combustíveis fósseis, fontes renováveis têm sido consideradas, tendo em vista o interesse pela biomassa vegetal. Até hoje, as culturas vegetais mais utilizadas mundialmente para a produção de bioetanol são milho, cana-de-açúcar, sorgo sacarino e beterraba sacarina. Mas o processo de produção destas culturas é dificultado pela exigência de insumos, seja água, fertilizantes e defensivos, além de solos com boa estrutura física e composição química (BHAGIA et al., 2017; ROSSINI et al., 2019). Em alguns países, o cultivo de *Helianthus tuberosus* L. está sendo direcionados como fonte alternativa para a produção de biocombustíveis. A espécie tem vantagem de que todos os seus órgãos vegetais podem ser utilizados para a produção de biomassa (QIU et al., 2018). Os tubérculos ricos em inulina, são facilmente hidrolisados e depois convertidos em etanol utilizando biocatalisadores. Sua produção de etanol é equivalente à cana-de-açúcar e o dobro da obtida pelo milho, e sendo considerada uma das culturas mais promissoras na China, Europa e Nova Zelândia (KERCKHOFFS; RENQUIST, 2013; LI; LIU; CHI, 2013; YANG et al., 2015). Atualmente, existem duas técnicas para a produção de bioetanol a partir dos tubérculos, que são a hidrólise e fermentação separada (SHF) e sacarificação e fermentação simultâneas (SSF), a qual o açúcar é fermentado em etanol por leveduras como a *Zymomonas mobilis*, *Kluyveromyces marxianus* e *Saccharomyces cerevisiae* (YANG et al., 2015; ZHANG et al., 2019). Estados Unidos (53%) e Brasil (30%) são os maiores produtores mundiais de bioetanol, com cerca de 83% da produção global (RFA, 2023). A produção de bioetanol de *Helianthus tuberosus* L. é de aproximadamente 1.500 a 11.000 L ha⁻¹, enquanto a da cana-de-açúcar de 3.900 a 8.764 L ha⁻¹, a do milho 2.000 a 6.698 L ha⁻¹, da beterraba 5.000 a 6.000 L ha⁻¹ e do sorgo 5.333 a 10.365 L ha⁻¹ (KAYS; NOTTINGHAM, 2008; ROSSINI et al., 2019).

Além da indústria agrícola, alimentícia e energética, estudos na área médica e farmacológica tem impulsionado o conhecimento na utilização de *Helianthus tuberosus* L. como agente de melhoria da qualidade de vida humana e na prevenção de doenças (WANG et

al., 2020). Sua composição fotoquímica rica em cumarinas, ácidos graxos insaturados, derivados de poliacetilenos, compostos fenólicos, flavonoides, sesquiterpenos, proteínas, aminoácidos, açúcares redutores, ácidos orgânicos, lactonas e glicosídeos cardíacos (AL-SNAFI, 2018). Casos clínicos revelaram que *Helianthus tuberosus* L. contém componentes antifúngico, antidiabético, antioxidante e anticarcinogênico. Também auxilia na redução do colesterol alto, triglicérides e altos níveis de glicose, como facilita a perda de peso, redução nos níveis de ácido úrico e desintoxicação do organismo. Ainda no organismo, reduz a produção de ácido úrico, protege a mucosa gástrica e impede a constipação. Ajuda em doenças cardiovasculares, distúrbio na flora intestinal e do sistema imunológico, e possui citotoxinas contra o câncer de mama (SAWICKA et al., 2020).

A fitorremediação vem tornando-se uma técnica importante de melhoria da qualidade de solos contaminados, tanto que a espécie *Helianthus tuberosus* L. tem potencialidades de remover diversos metais pesados, lhe conferindo características de tolerância, que promovem a descontaminação do solo em uma abordagem econômica e ambientalmente correta, aplicável a grandes áreas (LONG et al., 2013). Vale-se ressaltar a dinâmica lenta da fitorremediação, que pode levar anos para uma redução significativa dos teores de metais presentes no solo. A dinâmica da fitorremediação dar-se com a fitoextração, que é o contato direto das raízes com a solução do solo com metais, em sequência ocorre a fitoimobilização ou sequestro dos metais nas estruturas vegetais. É importante mencionar que as plantas de *Helianthus tuberosus* L. cultivadas na fitorremediação podem ser utilizadas na produção de biocombustíveis, dando assim, aplicabilidade a biomassa produzida (WILLSCHER et al., 2017). O estudo de Long et al. (2013) aponta maiores valores acumulados do metal cádmio na folha de *Helianthus tuberosus* L., de 2,323 mg planta⁻¹, o caule com o segundo maior valor acumulado de 1,028 mg planta⁻¹, com raiz e tubérculo acumulando 0,640 mg planta⁻¹ e 0,114 mg planta⁻¹, respectivamente, em uma concentração de 10 mg kg⁻¹ de cádmio no substrato cultivado. Chen et al. (2011) obteve resultados inversos ao citados anteriormente, com a raiz tendo o maior acúmulo de cádmio, sendo de 2,51 mg planta⁻¹, vindo na sequência o caule com 0,25 mg planta⁻¹ e folhas com 0,05 mg planta⁻¹.

2.2 Solos afetados por sais

Os solos salinizados ou afetados por sais, comumente chamados de solos halomórficos ou solos salinos e sódicos, são caracterizados pelo excesso de sais solúveis, limitante ao crescimento vegetal, e em casos extremos a morte da planta. Considerado um problema global,

com impactos adversos a produtividade e sustentabilidade agrícola, tendo como maior zona de ocorrência regiões áridas e semiáridas. A salinização dos solos pode afetar ecossistemas a tal ponto de eles não fornecerem serviços ambientais e todo seu potencial (VAIDYANATHAN et al., 2003; PEDROTTI et al., 2015; MEDEIROS et al., 2016; RIBEIRO; RIBEIRO FILHO; JACOMINE, 2016).

A formação e evolução dos solos afetados por sais é dividida em três processos pedogenéticos sequências. Esta dinâmica dar-se início com a salinização, que consiste no acúmulo de sais solúveis na solução do solo, formando solos com características salinas ($CE \geq 4 \text{ dS m}^{-1}$), posteriormente acontece a solonização que é o aumento da concentração de Na^+ adsorvido na fase coloidal do solo, lhe conferindo um caráter sódico ($PST \geq 15\%$) ou salino-sódico ($CE \geq 4 \text{ dS m}^{-1}$ e $PST \geq 15\%$), e por fim solodização, que consiste lavagem dos sais contidos na solução do solo, por meio da lixiviação, promovendo a dessalinização (RICHARDS, 1954; RIBEIRO; RIBEIRO FILHO; JACOMINE, 2016; SHAHID; ZAMAN; HENG, 2018).

A dinâmica da salinização do solo pode estar diretamente associada a causas naturais ou antrópicas. Os sais podem ser oriundos do material de origem de formação dos solos, ocasionado pelo intemperismo das rochas. Também formados pela influência dominante de fatores locais, no caso, por condições imperfeitas de drenagem e aumento do lençol freático, má qualidade das fontes hídricas (salina e salobra), na presença de sais solúveis, Na^+ trocável ou ambos, em camadas próximas a superfície do solo, onde a escassa precipitação pluvial, a presença de camadas impermeáveis e a elevada evapotranspiração contribuem para o aumento da concentração de sais solúveis na solução do solo (salinidade) e o aumento de sódio na fase trocável (sodicidade). Outros fatores inerentes e não menos importantes que contribuem para o incremento de sais no solo citado por diversos estudiosos são a intrusão marítima em regiões costeiras e litorâneas, transporte pelo vento, uso excessivo de fertilizantes e corretivos e lodo de esgoto e demais efluentes tratados (MOTA et al., 2012; SILVA et al., 2013; MEDEIROS et al., 2016; RIBEIRO; RIBEIRO FILHO; JACOMINE, 2016).

O acúmulo de sais solúveis e, especificamente, de Na^+ no solo, reduz o potencial osmótico da solução do solo, provoca alteração no pH, desbalanceamento nutricional, desestruturação de seus agregados, aumento da densidade aparente, redução da capacidade de infiltração pelo excesso de Na^+ , suscetibilidade a erosão e contaminação do lençol freático. O efeito dos sais sobre a estrutura do solo ocorre basicamente pela interação eletroquímica existente entre os cátions e a argila. A característica principal deste efeito é a expansão da argila quando úmida e sua contração quando seca, devido ao excesso de Na^+ trocável, em solo sódico

ou salino-sódico. Já a concentração de sais solúveis na solução do solo lhe garante uma ótima flocculação, com permeabilidade similar a solos não salinos. A presença de sais solúveis no solo aumenta a pressão osmótica em níveis em que as plantas não apresentaram forças de sucção suficientes para absorver água, mesmo em um solo aparentemente úmido, fenômeno este conhecido como seca fisiológica. A reação da planta a salinidade seria idêntica sob condições de déficit hídrico, com características similares ao efeito do estresse (DIAS; BLANCO, 2010; RIBEIRO; RIBEIRO FILHO; JACOMINE, 2016).

Segundo estimativas publicadas pela FAO (2015), sugerem que aproximadamente 412 milhões de hectares apresentam problemas de salinidade e 618 milhões pela sodicidade. No mundo, existem cerca de 250 milhões de hectares de áreas irrigadas, sendo que 50% dessas áreas se encontram afetadas por sais. Enquanto no Brasil, estima-se que de 20 a 25% dos solos apresentam problemas de salinidade e sodicidade, e estão localizadas em áreas manejadas com irrigação (FAO, 2005; FAO, 2008). Estudos evidenciam que na região Nordeste são encontradas as maiores concentrações de solos afetados por sais, devido principalmente a uma série de características predominante nesses solos, que propiciam a sua salinização (FAO, 2006). Segundo Ribeiro (2010) a região Nordeste apresenta cerca de 91.000 km² das áreas cultivadas já salinizadas, tendo como maior área afetada localizada no estado da Bahia com 44%, seguido pelo Ceará com 25%. Em Pernambuco, segundo Barros et al. (2004) aproximadamente 20% de toda área dos perímetros irrigados encontra-se afetadas por problemas de salinidade e sodicidade.

Dentre os diversos processos de degradação do solo, a salinização tem se tornado um dos mais preocupantes problemas ambientais. Acelerada pela expansão das áreas irrigadas, qualidade da água restritiva e má gestão no manejo solo-água, impulsionaram o maior acúmulo de sais, que conseqüentemente influenciou o desenvolvimento da salinidade e sodicidade nessas áreas (MEDEIROS; GHEYI; NASCIMENTO, 2012; VASCONCELOS, 2014).

2.3 Manejo da água salina na agricultura

O semiárido brasileiro tem por característica, a má distribuição espacial e temporal de chuvas. A escassez dos recursos hídricos, tem levado a busca de fontes alternativas de água, muitas vezes de baixa qualidade e com altas concentrações de sais solúveis (SANTOS; BRITO, 2016). As águas subterrâneas tornaram-se um meio viável de garantir o acesso a água, oriundas de poços tubulares, mas com limitação na sua utilização devido aos elevados teores de sais dissolvidos. Para tentar sanar o problema da escassez hídrica e garantir água de qualidade, em

anos recentes, tem sido incentivado a instalação e uso de dessalinizadores no semiárido brasileiro, contribuindo na mitigação dos problemas gerados pela escassez de água. O método consiste na redução da concentração de sais da água por osmose reversa. Entretanto, a dessalinização gera, além da água potável, um rejeito de água altamente concentrada de íons salinos, que necessita ser destinada de forma ambientalmente correta, sempre que possível para o cultivo agrícola. Estratégias de manejo desta fonte hídrica devem ser implementadas, visando sua reutilização na agricultura, sem causar impactos ao ambiente (SOUSA NETO et al., 2011; NEVES et al., 2017; PINHEIRO et al., 2018).

Na agricultura, a qualidade da água deve ser questionada antes do início do cultivo, pois se trata de um dos fatores que tem limitado ou impossibilitado a expansão da produção agrícola nas regiões áridas e semiáridas do mundo. Embora as águas salinas tenham sido consideradas inadequadas para a irrigação existem amplas evidências em todo mundo, que seu uso pode ser viabilizado, desde que adotem técnicas de manejo adequadas e culturas tolerantes aos sais (STEPPUHN, 2001; PEQUENO; SILVA; BRASILEIRO, 2014; SÁNCHEZ; NOGUEIRA; KALID, 2015; DIAS et al., 2016; LUO et al., 2018).

O uso do rejeito salino ganha destaque na sua utilização na irrigação, sendo o principal meio de aproveitamento deste resíduo. A irrigação de plantas halofitas com o rejeito tem sido tratado como uma alternativa, tendo em vista sua condição de adaptabilidade e por suportar alto níveis de sais, baixa demanda hídrica e temperatura elevada. A *Atriplex nummularia* e *Salicornia neei* Lag. são importantes espécies de halofitas que possuem mecanismos de resistência e são capazes de crescer e produzir em condições de solos com excessos de sais e irrigação com rejeito salino. Além de que as plantas podem ser um tipo de dessalinizador biológico, removendo os sais do solo e acumulando grandes quantidades em seus tecidos vegetais, realizando o processo de fitorremediação do solo (VALE; AZEVEDO, 2013; SOUZA et al., 2013; MOURA et al., 2019; REIS et al., 2020; CORNEJO-PONCE et al., 2022).

Cultivos em sistemas hidropônicos tem reaproveitado o rejeito salino da dessalinização na formulação de soluções nutritivas. Dias et al. (2011) relata que plantas cultivadas neste sistema assumem maior tolerância aos efeitos oriundos pela salinidade quando comparado a sistemas convencionais, por causa da inexistência da matriz do solo. A absorção da água pela planta acontece apenas pelo potencial osmótico, sendo o potencial mátrico anulado, reduzindo a energia livre e aumentando o potencial da água (SANTOS et al., 2010; SOARES et al., 2019).

A utilização de água salina para cultivo de espécies agrícolas, deve ser gerenciada de maneira responsável e com conhecimento prévio, a fim de atenuar possíveis impactos. O

manejo inadequado pode acarretar processos degradativos ao solo, como sua salinização (ALMEIDA, 2010; MEDEIROS; GHEYI; NASCIMENTO, 2012).

A salinização do solo, oriunda da água de má qualidade, causa um estresse ambiental severo. Danos nas principais funções metabólicas da planta podem ser evidenciados, tendo como consequência a seca fisiológica, toxidez dos tecidos vegetais, redução da capacidade produtiva, e conseqüentemente, a morte do vegetal. No solo, os efeitos negativos dos processos de salinização são desestruturação, dispersão das argilas, formação de crostas superficiais, redução da infiltração de água pelo excesso de íons de sódio, aumento da densidade aparente e da retenção de água no solo (RHOADES; KANDIAH; MASHALI, 2000; MIRANDA et al., 2011). A implicação prática da salinidade sobre o solo, é a perda da sua fertilidade e a susceptibilidade à erosão, além da contaminação do lençol freático e das reservas hídricas subterrâneas (DIAS; BLANCO, 2010).

Entretanto, estratégias de manejo podem ser utilizadas para minimizar os impactos negativos para o aproveitamento de água salina na agricultura, entre elas: escolha de espécies ou cultivares mais tolerantes, utilização dessas fontes de água nos estádios de maior tolerância das culturas, mistura de águas de diferentes qualidades, uso cíclico de fontes de água com diferentes concentrações salinas, além de diversas outras práticas visando à obtenção de boa produção vegetal com controle da salinização/sodificação do solo (LACERDA et al., 2009; MORAIS et al., 2011; SOUZA et al., 2013; SHAO et al., 2019).

2.4 Tolerância de *Helianthus tuberosus* L. a estresses abióticos

Informações sobre estratégias de manejo e utilização de culturas alternativas adaptáveis à ambientes salinizados são escassos. Estudos que envolvam o manejo dos solos afetados por sais e *Helianthus tuberosus* L. são pouco relatadas na literatura. No entanto, o grau de tolerância e sua capacidade de conviver sob condições adversas, tem sido mensurado mediante a avaliação dos efeitos dos estresses abióticos e nas respostas a parâmetros morfofisiológicos, bioquímicos e nutricionais (DIAS et al., 2016; LUO et al., 2018).

Devido a seu grande potencial produtivo, a *Helianthus tuberosus* L. tem sido cultivada nos mais diversos países, focado na produção de biomassa, biocombustíveis, alimentos funcionais, produtos farmacológicos e forragem (BARTA; PÁTKAI, 2007; LONG et al., 2010a; JUNG et al., 2014; PUANGBUT et al., 2015). Seus tubérculos são ricos em carboidratos representam cerca de 75 a 82% da matéria seca da planta, sendo 75 a 98% dos açúcares redutores totais (ART), correspondentes a frutose e o restante glicose (MULLIN et al., 1994).

Seu principal carboidrato de reserva, a inulina, é um polímero de D-frutose, pertencente ao grupo frutano, e é sintetizada por uma grande variedade de plantas. A inulina, por ser um frutooligosacarídeo (FOS), é hidrolisada pelas enzimas digestivas na primeira porção do intestino. Como consequência, não aumenta taxas glicêmicas nem os níveis de insulina no sangue, sendo ideal na formulação de alimentos para diabéticos (HAULY; MOSCATTO, 2002; OLIVEIRA et al., 2004; OLIVEIRA; CORRÊA, 2007; LUO et al., 2018).

Especificamente, uma característica importante da espécie *Helianthus tuberosus* L. é sua tolerância estresses abióticos. Alguns estudos mostram que fisiologicamente a planta pode tolerar o excesso de sais através de diversos mecanismos adaptativos ao estresse, como o ajustamento osmótico, a seletividade na absorção de íons e a capacidade de produzir compostos antioxidantes (ZHAO et al., 2006; ZHAO et al., 2008; GENGMAO; MEHTA; ZHAOPU, 2010; LONG et al., 2010b). Demais evidências constatações elevadas de sais acumuladas nos principais órgãos da planta. Estudos conduzidos pelo US Salinity Laboratory (USSL) com as cultivares “Stampede” e “White Fuseau” irrigadas com águas salinas com diferentes concentrações, foram consideradas moderadamente tolerante à salinidade com CEa de 6,6 e 3,9 dS m⁻¹, respectivamente (BHAGIA et al., 2018). Long et al., (2010b) relatou que em estudo com cultivar tolerante a salinidade “N1” elevadas concentrações carboidratos solúveis e prolina livre nas folhas, além de apresentar uma maior relação K⁺/Na⁺ e menor relação Na⁺/Ca²⁺, indicando a importância das relações citadas como mecanismos de ajuste ao estresse osmótico. A influência do Ca²⁺ está relacionada com o aumento da atividade de enzimas antioxidantes, protegendo a planta de danos causados pelo estresse oxidativo e fortalecimento da membrana (LIAVA et al., 2021)

A acumulação de solutos compatíveis no citoplasma, é um mecanismo desenvolvido pela planta para manutenção do estado de turgência celular, mantendo o equilíbrio hídrico entre vacúolo e citoplasma, através do acúmulo de metabólitos e enzimas, que são na sua grande maioria orgânicos (WILLADINO; CAMARA, 2010; SACRAMENTO et al., 2014; TAIZ et al., 2017). Os elevados teores de inulina presente nos tubérculos de *Helianthus tuberosus* L. tem um importante papel na tolerância da planta ao estresse. Por ser um carboidrato solúvel e osmoticamente ativo, auxilia nos processos de osmorregulação, com isso garante a planta mecanismos que podem alterar o potencial osmótico da célula, ocasionado por mudanças no grau de polimerização das moléculas de inulina, através da hidrólise, sem variar a quantidade total de carboidratos (BOECKNER; SCHNEPF; TUNGLAND, 2001; PANCHEV et al., 2011; DIAS et al., 2016; LI et al., 2017; MAICAURKAEW et al., 2017).

A ação de mecanismos biomoleculares pode ser evidenciada na espécie *Helianthus tuberosus* L., como forma de mitigação ao estresse ocasionado pelo excesso de sais. Dias et al., (2016) constataram mecanismos iônicos, onde o Na^+ foi acumulado nas raízes ($27,9 \text{ g kg}^{-1}$, na CEa 12 dS m^{-1}) em maiores concentrações do que qualquer outro órgão da planta, incluindo os tubérculos. Os baixos níveis de Na^+ na parte aérea sugerem mecanismos de exclusão ou efluxo do Na^+ nas raízes, permitindo assim, o controle e entrada de íon e conseqüentemente impedindo seu transporte e acúmulo nas folhas e caule. Este impedimento reduz significativamente o desbalanceamento e danos no citoplasma, os quais causariam efeitos tóxicos com sintomas de necrose e queimaduras, além da prematura queda da folha. Os danos na folha ainda causam alterações nas trocas gasosas, principalmente nas taxas fotossintéticas, condutância estomática e transpiração. Em relação ao Cl^- , houve aumento da concentração em todos os órgãos com o incremento da salinidade, sendo maiores nas folhas ($24,7 \text{ g kg}^{-1}$, na CEa 12 dS m^{-1}) e raízes ($25,6 \text{ g kg}^{-1}$, na CEa $9,3 \text{ dS m}^{-1}$). Nas folhas, o acúmulo de Cl^- causou toxidez, na CEa mencionada. Em relação as raízes, quando atingido o nível máximo de absorção, houve estabilização na concentração de Na^+ e Cl^- , indicando que as raízes tentaram excluir os íons, os quais não foram translocados para folhas e caule, protegendo estes órgãos de uma possível toxicidade (SCHOSSLER et al., 2012; DIAS et al., 2016).

Os vários carboidratos que constituem os tubérculos de *Helianthus tuberosus* L. podem oferecer a capacidade específica de resistência com estresse hídrico e salino. O acúmulo de frutano, principal carboidrato da espécie, foram observados por Luo et al. (2018) nos tubérculos em fase inicial de desenvolvimento submetidos ao estresse salino. Embora todas as mudas tenham sobrevivido sob o estresse aplicado, as taxas de emergência e crescimento radicular diminuíram significativamente. Os autores supracitados relataram que o acúmulo de frutanos nos tubérculos sob estresse desempenham papéis importantes no ajustamento osmótico. Ainda é ressaltado também que os frutanos podem exercer um mecanismo de resistência ao estresse por meio da mudança do grau de polimerização das moléculas por hidrólise, sem alterar a quantidade total de frutanos. Os oligossacarídeos de baixo peso molecular ($\text{DP} < 5$) podem ser os principais carboidratos que sustentam a brotação dos tubérculos ou que estão envolvidos na proteção contra o estresse salino (LUO et al., 2018).

O ácido abscísico (ABA) é definido como o hormônio associado ao estresse, sendo o mediador de sinais do estresse. O ABA desempenha importante papel na regulação do fechamento estomático, limitando a perda de água por transpiração, auxiliando a tolerância estomática. Li et al. (2017) relatam em estudo um acúmulo acentuado de ABA em *Helianthus*

tuberosus L. sob condições de estresse salino, mas sem evidência de qual resposta ao estresse este acúmulo pode ter interferido no metabolismo da planta. Com o objetivo de examinar o papel do ABA na proteção da fotossíntese contra o estresse salino, Yan et al. (2018b) evidenciaram um aumento de 47,8% de ABA no tratamento com estresse em um período de dois dias. O teor de ABA após quatro dias foi menor quando comparado a dois dias. Os autores atribuem esta variação a translocação de ABA da raiz para as folhas. Os mesmos ainda atribuem que acúmulo de ABA ajudou na proteção da fotossíntese e que o fechamento estomático das folhas reduziu a perda de água por transpiração.

Os parâmetros bioquímicos estão diretamente associados ao estresse oxidativo. Tal estresse é resultante do aumento da produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), causando distúrbios no metabolismo celular. Os principais radicais incluem superóxido ($O_2^{\bullet-}$), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e o radical hidroxila (OH^{\bullet}). O estresse oxidativo é evidenciado quando a produção de EROs ultrapassa a capacidade antioxidante da célula. A elevada produção EROs podem induzir plantas estressadas ao aumento de antioxidantes celulares de natureza enzimática ou não-enzimática, a fim de neutralizar o excesso e evitando o estresse oxidativo, conferindo as plantas um mecanismo de tolerância (DI BACCIO; NAVARI-IZZO; IZZO, 2004; BARBOSA et al., 2014). Com o processo evolutivo vegetal, as plantas desenvolveram mecanismos de defesa antioxidativa, na qual diversas enzimas atuam na atenuação do estresse oxidativo, destacando-se a superóxido dismutase (SOD), a catalase (CAT) e a ascorbato peroxidase (APX). A SOD é a primeira linha de defesa com as EROs, responsável pela dismutação do radical superóxido ($O_2^{\bullet-}$), formando H_2O_2 . A CAT e APX catalisam a conversão do H_2O_2 à água. Mu et al. (2021) avaliaram a atividade enzimas antioxidantes no armazenamento de tubérculos de *Helianthus tuberosus* L. sob diferentes temperaturas. Em baixas temperaturas (-5, -12 e -18 °C) a atividade da SOD aumentou rapidamente no início do estudo, vindo a diminuir gradualmente sob altas temperaturas (0 a 4 °C). Sendo que a maior atividade da SOD foi em temperaturas mais altas (4 °C). A atividade de CAT nos tubérculos teve seu nível mais baixo aos 45 dias do estudo, vindo a aumentar gradualmente ao decorrer dos dias que se estendiam sob avaliação (Até 70 dias). Esses resultados indicam que o aumento da CAT e a diminuição da SOD ocorreu devido ao avanço da senescência dos tubérculos que, assim, geraram H_2O_2 a partir $O_2^{\bullet-}$, catalisado pela SOD, que por sua vez ativou a enzima CAT. Os estudos de Yang et al. (2021) tentaram elucidar mecanismos de tolerância da espécie *Helianthus tuberosus* L. contra o estresse salino em dois genótipos, M1 e N1, na atividade de enzimas antioxidantes contra o estresse oxidativo (CAT, SOD e APX). No tratamento salino com concentração de 100 mM de NaCl a atividade das enzimas foi elevada, mas na

concentração de 200 mM de NaCl ocorreu o efeito inverso. Os resultados mostraram que a peroxidação lipídica ocorreu de forma progressiva nas plantas submetidas ao estresse, pois houve um aumento na permeabilidade da membrana, justificada pelo incremento do vazamento de eletrólitos. O processo de peroxidação lipídica foi intimamente relacionado com o aumento da atividade das enzimas antioxidantes nas folhas. A mesma tendência foi observada entre os dois genótipos, mas os resultados sugerem que o genótipo M1 apresentou características de uma maior capacidade de resistência, do que N1. Considerando este mecanismo de tolerância, o *Helianthus tuberosus* L. submetida a estresses abióticos, apresentou excelente atividade antioxidante, favorecendo a redução da atividade das EROs, e conseqüentemente a manutenção do potencial osmótico celular e a integridade da membrana plasmática (MILLER et al., 2010; DIAS et al., 2016). Comparado a atividade de enzimas antioxidantes em duas cultivares de *Helianthus tuberosus* L. sob estresse salino, Xue e Liu (2008) verificaram que a atividade da SOD na cv. Dafeng promoveu um aumento significativo, enquanto a cv. Wuxi não apresentou o mesmo comportamento. Na APX e CAT o aumento da atividade também foi atribuído a cv. Dafeng. No entanto, a cv. Wuxi não apresentou nenhuma alteração significativa. A cv. Dafeng demonstrou características de tolerância frente ao estresse oxidativo, sendo capaz de prevenir que os EROs causem danos na membrana celular.

2.5 Fontes de adubação no cultivo de *Helianthus tuberosus* L.

A exigência nutricional de *Helianthus tuberosus* L. é extremamente variável, que permite o cultivo desta espécie em áreas com solos pobres quimicamente e em solos negligenciados e abandonados (SAWICKA et al., 2021). A cultura tende a expressar seu desenvolvimento ideal e elevado rendimento sob solos quimicamente férteis e com textura média, que apresentem boa drenagem e capacidade retenção de água. A espécie consegue se desenvolver em uma ampla faixa de pH do solo, que vão desde solos ácidos a alcalinos, com pH de 4,5 a 8,2 (DIAS et al., 2016; BOGUCKA et al., 2021; SAWICKA et al., 2021).

A adubação orgânica é uma forma importante de fornecer nutrientes essenciais sem qualquer efeito negativo ao solo. Os adubos orgânicos melhoram a qualidade do solo, aumentando sua fertilidade, teor de matéria orgânica, e conseqüentemente a nutrição e produtividade das culturas. A fertilização mineral desempenha aumentos na produção agrícola, com maior eficiência, mas seus altos custos e riscos ambientais tornam seu uso inviável principalmente pela agricultura familiar (EPIE et al., 2018; PINMONGKHONKUL et al., 2021).

Em anos recentes, os adubos orgânicos vêm recebendo destaque e importantes estudos elucidam seu importante papel nos cultivos agrícolas. Enujeke, Ojeifo e Nnaji (2013) consideram o esterco de aves como o mais rico nutricionalmente, além de estabelecer a melhoria das propriedades químicas e físicas do solo. O uso intensivo dos adubos orgânicos traz melhorias a textura do solo e conseqüentemente à aeração, incentivando um melhor desenvolvimento radicular, além de propiciar aumentos de produtividade e biomassa seca (AWAD; AHMED, 2018).

Awad e Ahmed (2019) avaliaram a influência de três adubos orgânicos combinados (bovino, ave de capoeira e pombo) aplicados em solo calcário salino com 0,62% de matéria orgânica em no crescimento, produção de tubérculos e constituintes bioquímicos de *Helianthus tuberosus* L. Os resultados indicaram que os adubos orgânicos melhoraram todos os parâmetros analisados, quando comparados ao tratamento controle com adubação mineral, com destaque para a mistura de esterco de ave de capoeira e pombo que produziu maiores valores para número de folhas, massa fresca e seca de folhas e caule, massa fresca e seca de tubérculos e teor de nitrogênio nos tubérculos. Já a mistura com os três adubos (bovino + ave de capoeira + pombo) orgânicos apresentou maior número de brotações laterais, massa seca e fresca de folhas, massa fresca e seca de tubérculos, além do maior percentual de inulina. Os resultados só corroboram que adubos orgânicos são uma fonte valiosa de nutrientes e matéria orgânica, os quais promovem melhoria em todas as propriedades do solo, e promovem o desenvolvimento vegetal (NDUKWE et al., 2011).

Skiba et al. (2023) encontraram resultados significativos com maior produtividade da parte aérea sob adubação mineral, em cultivares de *Helianthus tuberosus* L. A cultivar “Albik” respondeu melhor adubação mineral na dose de 150 kg N ha⁻¹, na forma de nitrato de amônio, com maior participação matéria fresca e no número de folhas, o que a predestina para fins forrageiros. A cultivar Rubik respondeu mais favoravelmente a adição de 50 kg N ha⁻¹, na forma de amida, enquanto a ‘Violet de Renes’ teve a maior produção de biomassa aérea após aplicação de 100 kg N ha⁻¹, também na forma de amida. Com as doses de nitrogênio, foram aplicadas dose fixas de fósforo e potássio, 43 kg P ha⁻¹ e 124 kg K ha⁻¹, respectivamente. Um efeito significativo foi observado ao usar nitrato de amônio do que a forma de amida. A forma amoniacal é facilmente absorvida pelo solo, e absorvida lentamente pela planta, e funcionando bem em baixas temperaturas. A forma de amida presente na ureia decompõe-se em reação no solo, liberando N na forma de nitrato de amônio e depois da forma de nitrato. Os autores supracitados confirmaram que a forma amida do nitrogênio tem ação mais lenta que a forma de nitrato de amônio.

Em cultivo sob sistema orgânico na Polônia e Lituânia, Sawicka et al. (2021) quantificaram a composição química dos tubérculos de *Helianthus tuberosus* L. do presente estudo e constataram que, em média, o teor de matéria seca chegou a 22,56%, a matéria seca solúvel a 18,88% MS, o teor de fibras a 4,54%, o teor de gordura a 0,20% e de proteína bruta a 10,47%. A média de inulina nos tubérculos foi em média de 17,16%, e a média de aminoácidos endógenos de 56,72%. O teor de nitrogênio foi de 11,34 g kg⁻¹, fósforo de 3,35 g kg⁻¹, potássio de g kg⁻¹, cálcio de 0,75 g kg⁻¹, magnésio de 1,65 g kg⁻¹ e sódio de 0,18 g kg⁻¹.

Manejando um estudo em solo recuperado de degradação com cultivo de *Helianthus tuberosus* L., Mohamed (2020) estudou os efeitos da adubação orgânica com esterco bovino e aplicação de ácido húmico em parâmetros produtivos e composição química da cultura. Os resultados apresentados pelo autor indicaram que a adubação com o esterco bovino de 15 ton 0,42 ha⁻¹ e a aplicação do ácido húmico por pulverização (1 g L⁻¹) mais aplicação via solo (1 g L⁻¹), aumentaram o número de plantas, hastes planta⁻¹, peso fresco planta⁻¹, rendimento total, peso médio de tubérculos e matéria seca de tubérculos, além das concentrações de NPK e inulina nos tubérculos. Tais efeitos podem ser justificados pela melhoria da fertilidade do solo, disponibilidade de nutrientes essenciais, aumento na retenção de água e o solo com textura arenosa.

Referências Bibliográficas

- ADULDECHA, C.; KAEWPRADIT, W.; VORASOOT, N.; PUANGBUT, D.; JOGLOY, S.; PATANOTHAI, A. Effects of water regimes on inulin content and inulin yield of Jerusalem artichoke genotypes with different levels of drought tolerance. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 40, n. 3, p. 335-343, 2016. <https://doi.org/10.3906/tar-1506-39>
- ALMEIDA, O. A. **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. p. 227.
- AL-SNAFI, A. E. Medical importance of *Helianthus tuberosus*-A review. *Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences*, v. 5, n. 4, p. 2159-2166, 2018. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1214984>
- AWAD, A. A. E. A.; AHMED, H. M. Impact of organic manure combinations on performance and rot infection of stressed-Jerusalem artichoke plants. **Egyptian Journal of Soil Science**, v. 58, n. 4, p. 417-433, 2018. <https://doi.org/10.21608/EJSS.2018.6151.1216>
- AWAD, A. A. E. A.; AHMED, H. M. Response of Jerusalem artichoke plants grown under saline calcareous soil to application of different combined organic manures. **Egyptian Journal of Soil Science**, v. 59, n. 2, p. 117-130, 2019. <https://doi.org/10.21608/ejss.2019.10677.1256>
- BAKKU, R. K.; GUPTA, R.; MIN, C. W.; KIM, S. T.; TAKAHASHI, G.; SHIBATO, J.; RAKWAL, R. Unravelling the *Helianthus tuberosus* L. (Jerusalem artichoke, Kiku-Imo) tuber proteome by label-free quantitative proteomics. **Molecules**, v. 27, n. 3, p. 1111, 2022. <https://doi.org/10.3390/molecules27031111>
- BALDINI, M.; DANUSO, F.; ROCCA, A.; BULFONI, E.; AMADUCCI, M. T.; MONTI, A.; DE MASTRO, G. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) productivity in different Italian growing areas: a modelling approach. **Italian Journal of Agronomy**, v. 6, n. 2, p. 20, 2011. <https://doi.org/10.4081/ija.2011.e20>
- BALOGH, L. Sunflower Species (*Helianthus spp.*). In: BOTTA-DUKÁT, Z.; BALOGH, L. **The most important invasive plants in Hungary**. (eds.). Hungary: Institute of Ecology and Botany, Hungarian Academy of Sciences, 2008. p. 227-255.
- BARBOSA, M. R.; SILVA, M. M. A.; WILLADINO, L.; ULISSES, C. CAMARA, T. R. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, v. 44, n. 3, p. 453-460, 2014. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782014000300011>
- BARROS, M. D. F.; FONTES, M. P.; ALVAREZ V, V. H.; RUIZ, H. A. Recuperação de solos afetados por sais pela aplicação de gesso de jazida e calcário no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, p. 59-64, 2004. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662004000100009>
- BARTA, J.; PÁTKAI, G. Chemical composition and storability of Jerusalem artichoke tubers. **Acta Alimentaria**, v. 36, n. 2, p. 257-267, 2007. <https://doi.org/10.1556/aalim.36.2007.2.13>

BHAGIA, S.; AKINOSHO, H.; FERREIRA, J. F. S.; RAGAUSKAS, A. J. Biofuel production from Jerusalem artichoke tuber inulins: a review. **Biofuel Research Journal**, v. 4, n. 2, p. 587-599, 2017. <http://dx.doi.org/10.18331/BRJ2017.4.2.4>

BHAGIA, S.; FERREIRA, J. F. S.; KOTHARI, N.; NUNEZ, A.; LIU, X.; DIAS, N. S.; SUAREZ, D. L.; KUMAR, R.; WYMAN, C. E. Sugar yield and composition of tubers from Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus*) irrigated with saline waters. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 115, n. 6, p. 1475-1484, 2018. <https://dx.doi.org/10.1002/bit.26582>

BOCK, D. G.; KANE, N. C.; EBERT, D. P.; RIESEBERG, L. H. Genome skimming reveals the origin of the Jerusalem Artichoke tuber crop species: neither from Jerusalem nor an artichoke. **New Phytologist**, v. 201, n. 3, p. 1021-1030, 2014. <https://doi.org/10.1111/nph.12560>

BOECKNER, L. S.; SCHNEPF, M. I.; TUNGLAND, B. C. Inulin: a review of nutritional and health implications. **Advances in Food and Nutrition Research**, v. 43, p. 1-63, 2001. [https://dx.doi.org/10.1016/s1043-4526\(01\)43002-6](https://dx.doi.org/10.1016/s1043-4526(01)43002-6)

BOURNE, A. T. **The Voyages and Explorations of Samuel de Champlain (1604–1616)**. New York: A. S. Barnes Co., 1906.

BOGUCKA, B.; JANKOWSKI, K. Jerusalem artichoke: Quality response to potassium fertilization and irrigation in Poland. **Agronomy**, v. 10, n. 10, p. 1518, 2020. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101518>

BOGUCKA, B.; PSZCZÓŁKOWSKA, A.; OKORSKI, A.; JANKOWSKI, K. The Effects of Potassium Fertilization and Irrigation on the Yield and Health Status of Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). **Agronomy**, v. 11, p. 234, 2021. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020234>

CHAMPLAIN, S. **Les voyages dv sievr de Champlain Xaintongeois, capitaine ordinaire pour le Roy, en la marine. Divisez en devx livres, ou, Iovrnal tres-fidele des observations faites és descouuertures de la Nouvelle France: tant en la descriptiõ des terres, costes, riuieres, ports, haures, leurs hauteurs, e plusieurs declinaisons de la guide aymant; qu'en la créace des peuples, leur superstition façon de viure e de querroyer: enrichi de quantité de figures**. Paris: Chez Iean Berjon, 1613.

CHANG, W. C.; JIA, H.; AW, W.; SAITO, K.; HASEGAWA, S.; KATO, H. Beneficial effects of soluble dietary Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) in the prevention of the onset of type 2 diabetes and non-alcoholic fatty liver disease in high-fructose diet-fed rats. **British Journal of Nutrition**, v. 112, n. 5, p. 709-717, 2014. <https://doi.org/10.1017/S0007114514001421>

CHEN, L.; LONG, X. -H.; ZHANG, Z. -H.; ZHENG, X. -T.; RENGEL, Z.; LIU, Z. -P. Cadmium accumulation and translocation in two Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) cultivars. **Pedosphere**, v. 21, n. 5, p. 573-580, 2011. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(11\)60159-8](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(11)60159-8)

CIEŚLIK, E.; GĘBUSIA, A.; FLORKIEWICZ, A.; MICKOWSKA, B. The content of protein and of amino acids in Jerusalem artichoke tubers (*Helianthus tuberosus* L.) of red variety Rote Zonenkugel. **ACTA Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria**, v. 10, n. 4, p. 433-441, 2011.

CORNEJO-PONCE, L.; VILCA-SALINAS, P.; ARENAS-HERRERA, M. J.; MORAGA-CONTRERAS, C.; TAPIA-CAROCA, H.; KUKULIS-MARTÍNEZ, S. Small-Scale Solar-Powered Desalination Plants: A Sustainable Alternative Water Energy Nexus to Obtain Water for Chile's Coastal Areas. **Energies**, v. 15, n. 23, p. 9245, 2022.
<https://doi.org/10.3390/en15239245>

DANILČENKO, H.; JARIENE, E.; GAJEWSKI, M.; SAWICKA, B.; KULAITIENE, J.; CERNIAUSKIENE, J. Changes in amino acids content in tubers of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) Cultivars during storage. **Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus**, v. 12, n. 2, p. 97-105, 2013.

DI BACCIO, D.; NAVARI-IZZO, F.; IZZO, R. Seawater irrigation: antioxidant defence responses in leaves and roots of a sunflower (*Helianthus annuus* L.) ecotype. **Journal of Plant Physiology**, v. 161, n. 12, p. 1359-1366, 2004.
<https://doi.org/10.1016/j.jplph.2003.07.001>

DIAS, N. D. S.; SOUSA NETO, O. N. D.; COSME, C. R.; JALES, A. G. D. O.; REBOUÇAS, J. R.; OLIVEIRA, A. M. D. Resposta de cultivares de alface à salinidade da solução nutritiva com rejeito salino em hidroponia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 991-995, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011001000001>

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2010. p. 129-141.

DIAS, N. S.; FERREIRA, J. F. S.; LIU, X.; SUAREZ, D. L. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*, L.) maintains high inulin, tuber yield, and antioxidant capacity under moderately-saline irrigation waters. **Industrial Crops and Products**, v. 94, p. 1009-1024, 2016.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.09.029>

ENUJEKE, E. C.; OJEIFO, I. M.; NNAJI, G. U. Residual effects of organic manure and inorganic fertilizer on maize grain weight and some soil properties in Asaba area of delta state. **International Journal of Advanced Biological Research**, v. 3, n. 3, p. 433-442, 2013.

EPIE, K. E.; SANTANEN, A.; MÄKELÄ, P. S.; STODDARD, F. Fertilizer and intercropped legumes as nitrogen source for Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tops for bioenergy. **Agricultural and Food Science**, v. 27, n. 3, p. 199-205, 2018.
<https://doi.org/10.23986/afsci.70110>

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Extent and causes of salt-affected soils in participating countries**. Rome: FAO – Land and Plant Nutrition Management Service, 2008.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Global network on integrated soil management for sustainable use of salt-affected soils.** Rome: FAO – Land and Plant Nutrition Management Service, 2005.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Status of the world's soil resources.** Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, 2015. p. 648.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Water in agriculture: opportunity untapped.** Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2006.

FILIPOVIĆ, V.; RADANOVIĆ, D.; MARKOVIĆ, T.; UGRENOVIĆ, V.; PROTIĆ, R.; POPOVIĆ, V.; SIKORA, V. Productivity and tuber quality of *Helianthus Tuberosus* L. cultivated on different soil types in Serbia. **Romanian Biotechnological Letters**, v. 21, n. 4, p. 11695-11704, 2016.

GAO, K.; ZHU, T. X.; XUN, T.; LIN, W.; YANG, G. The influence of root-cutting radius on tuber yield and fuel characteristics of *Helianthus tuberosus* L. in a semi-arid area. **Industrial Crops and Products**, v. 115, p. 202-207, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.01.075>

GENGMAO, Z.; MEHTA, S. K.; ZHAOPU, L. Use of saline aquaculture wastewater to irrigate salt-tolerant Jerusalem artichoke and sunflower in semiarid coastal zones of China. **Agricultural Water Management**, v. 97, n. 12, p. 1987-1993, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2009.04.013>

GONTOVAYA, T.; KICHIMASOVA, Y.; SOKOLOVA, O. Morphological and anatomical research of *Helianthus tuberosus* L. Inflorescence. **Modern Phytomorphology**, v. 4, p. 69-74, 2013.

GRAY, A.; TRUMBULL, J. H. Review of Decandolle's origin of cultivated plants; with annotations upon certain American species. **American Journal of Science**, v. 3, n. 148, p. 241-255, 1883.

GUNNARSSON, I. B.; SVENSSON, S. E.; JOHANSSON, E.; KARAKASHEV, D.; ANGELIDAKI, I. Potential of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) as a biorefinery crop. **Industrial Crops and Products**, v. 56, p. 231-240, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.03.010>

HAULY, M. C. O.; MOSCATTO, J. A. Inulin and Oligofructosis: a review about functional properties, prebiotic affects and importance for food industry. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológica**, Londrina, v. 23, n. 1, p. 105-118, 2002. <https://doi.org/10.5433/1679-0375.2002v23n1p99>

HAY, R. K. M.; OFFER, N. W. *Helianthus tuberosus* as an alternative forage crop for cool maritime regions: a preliminary study of the yield and nutritional quality of shoot tissues from perennial stands. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 60, n. 2, p. 213-221, 1992. [https://dx.doi.org/10.1016/0144-4565\(84\)90066-0](https://dx.doi.org/10.1016/0144-4565(84)90066-0)

HUANG, Z.; LONG, X.; WANG, L.; KANG, J.; ZHANG, Z.; ZED, R.; LIU, Z. Growth, photosynthesis and H⁺-ATPase activity in two Jerusalem artichoke varieties under NaCl induced stress. **Process Biochemistry**, v. 47, n. 4, p. 591-596, 2012.

<https://doi.org/10.1016/j.procbio.2011.12.016>

JANTAHARN, P.; MONGKOLTHANARUK, W.; SENAWONG, T.; JOGLOY, S.; MCCLOSKEY, S. Bioactive compounds from organic extracts of *Helianthus tuberosus* L. flowers. **Industrial Crops and Products**, v. 119, p. 57-63, 2018.

<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.03.060>

JOHANSSON, E.; PRADE, T.; ANGELIDAKI, I.; SVENSSON, S. E.; NEWSON W. R.; GUNNARSSON, I. B.; HOVMALM, H. P. Economically viable components from Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) in a biorefinery concept. **International Journal of Molecular Science**, v. 16, n. 12, p 8997-9016, 2015. <https://doi.org/10.3390/ijms16048997>

JUDD, B. **Feasibility of producing diesel fuels from biomass in New Zealand. New Zealand: Energy Efficiency and Conservation Authority**. Disponível em: <<http://eecca.govt.nz/eecca-library/renewable-energy/bioenergy/report/feasibility-of-producing-dieselfuels-from-biomass-in-nz-03.pdf>>. Acesso em 20 de maio de 2019.

JUNG, W. Y.; LEE, S. S.; KIM, C. W.; KIM, H. -S.; MIN, S. R.; MOON, J. S.; KWON, S. -Y.; JEON, J. H.; CHO, H. S. RNA-seq analysis and de novo transcriptome assembly of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* Linne). **PLoS One** **9**, v. 9, n. 1, p. e111982, 2014.

<https://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0111982>

KALLOO, G. Jerusalem artichoke: *Helianthus tuberosus* L. In: KALLOO, G.; BERGH, B. O. **Genetic Improvement of Vegetable Crops**. 1 ed. Oxford, UK: Pergamon Press, 1993. p. 747-750.

KAYS, S. J; NOTTINGHAM, S. F. **Biology and chemistry of the Jerusalem Artichoke: *Helianthus tuberosus* L.** Florida: Boca Raton CRC Press, 2008. p. 498.

KERCKHOFFS, H.; RENQUIST, R. Biofuel from plant biomass. **Agronomy for sustainable development**, v. 33, p. 1-19, 2013. <https://doi.org/10.1007/s13593-012-0114-9>

KIEHN, F. A.; CHUBEY, B. B. Variability in agronomic and compositional characteristics of Jerusalem artichoke. In: KIEHN, F. A.; CHUBEY, B. B. **Studies in Plant Science**. Vol. 3. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, 1993. p. 1-9.

KIM, J. H.; LEE, Y. B.; HAN, S. Y.; KIM, S. J.; HWANG, I. H.; KIM, D. K. Antioxidant activity of *Helianthus tuberosus* L. flower in *Caenorhabditis elegans*. **Korean Journal of Pharmacognosy**, v. 50, n. 2, p. 96-101, 2019.

KINUPP, V.F.; LORENZI, H. **Plantas alimentícias não convencionais (PANC) no Brasil: guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas**. Nova Odessa: Plantarum, 2014. 768 p.

KLISZCZ, A. Phenological growth stages and BBCH-identification keys of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). **Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis Studia Naturae**, n. 6, p. 203-225, 2021. <https://doi.org/10.24917/25438832.6.12>

KOSARIC, N.; COSENTINO, G. P.; WIECZOREK, A.; DUVNJAK, Z. The Jerusalem artichoke as an agricultural crop. **Biomass**, v. 5, n. 1, p. 1-36, 1984.

[https://doi.org/10.1016/0144-4565\(84\)90066-0](https://doi.org/10.1016/0144-4565(84)90066-0)

LACERDA, C. F.; NEVES, A. L. R.; GUIMARÃES, F. V. A.; SILVA, F. L. B.; PRISCO, J. T.; GHEYI, H. R. Eficiência de utilização de água e nutrientes em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 2, p. 221-230, 2009. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162009000200005>

LEE, H. J.; KIM, S. I.; MOK, Y. I. **Biomass and ethanol production from Jerusalem artichoke**, in **Alternative Sources of Energy for Agriculture: Proceedings of the International Symposium, September 4-7, 1984**. Tainan, Taiwan: Taiwan Sugar Research Institute, Tainan, 1985, p. 309-319.

LI, Y.; LIU, G. L.; CHI, Z. M. Ethanol production from inulin and unsterilized meal of Jerusalem artichoke tubers by *Saccharomyces* sp. W0 expressing the endo-inulinase gene from *Arthrobacter* sp. **Bioresource technology**, v. 147, p. 254-259, 2013.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.08.043>

LI, L.; SHAO, T.; YANG, H.; CHEN, M.; GAO, X.; LONG, X.; SHAO, H.; LIU, Z.; RENGEL, Z. The endogenous plant hormones and ratios regulate sugar and dry matter accumulation in Jerusalem artichoke in salt-soil. **Science of The Total Environment**, v. 578, p. 40-46, 2017. <https://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.075>

LIAVA, V.; KARKANIS, A.; DANALATOS, N.; TSIROPOULOS, N. Cultivation Practices, Adaptability and phytochemical composition of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): A weed with economic value. **Agronomy**, v. 11, n. 5, p. 914, 2021.

<https://doi.org/10.3390/agronomy11050914>

LIMA, E. C. D. S.; MANHÃES, L. R. T.; SANTOS, E. R. D.; FEIJÓ, M. B. D. S.; SABAA-SRUR, A. U. D. O. Optimization of the inulin aqueous extraction process from the açai (*Euterpe oleracea*, Mart.) seed. **Food Science and Technology**, v. 41, p. 884-889, 2021.

<https://doi.org/10.1590/fst.24920>

LINNAEUS, C. *Species plantarum: exhibentes plantas rite cognitatas, ad genera relatas, cum differentiis specificis, nominibus trivialibus, synonymis selectis, locis natalibus, secundum systema sexuale digestas*. Stockholm: Impensis Laurentii Salvii, v. 2, 1753.

LIU, Z. X.; HAN, L. P.; YOSEF, S.; XIE, G. H. Genetic variation and yield performance of Jerusalem artichoke germplasm collected in China. **Agricultural Sciences in China**, v. 10, n. 5, p. 668-678, 2011. [http://dx.doi.org/10.1016/s1671-2927\(11\)60049-7](http://dx.doi.org/10.1016/s1671-2927(11)60049-7)

LONG, X. H.; HUANG, Z. R.; HUANG, Y. L.; KANG, J.; ZHANG, Z. H.; LIU, Z. P. Response of two Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) cultivars differing in tolerance to salt treatment. **Pedosphere**, v. 20, n. 4, p. 515-524, 2010b. [http://dx.doi.org/10.1016/s1002-0160\(10\)60041-0](http://dx.doi.org/10.1016/s1002-0160(10)60041-0)

- LONG, X. -H.; ZHAO, J.; LIU, Z. -P.; RENGEL, Z.; LIU, L.; SHAO, H. -B.; TAO, Y. Applying geostatistics to determine the soil quality improvement by Jerusalem artichoke in coastal saline zone. **Ecological Engineering**, v. 70, p. 319-326, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.06.024>
- LONG, X.; NI, N.; WANG, L.; WANG, X.; WANG, J.; ZHANG, Z.; SHAO, H. Phytoremediation of Cadmium-Contaminated Soil by Two Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) Genotypes. **CLEAN–Soil, Air, Water**, v. 41, n. 2, p. 202-209, 2013. <http://dx.doi.org/10.1002/clen.201100668>
- LONG, X.; HUANG, Z.; ZHANG, Z.; LI, Q.; ZED, R.; LIU, Z. Seawater stress differentially affects germination, growth, photosynthesis, and ion concentration in genotypes of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 29, n. 2, p. 223-231, 2010a. <http://dx.doi.org/doi:10.1007/s00344-009-9125-4>
- LUO, R.; SONG, X.; LI, Z.; ZHANG, A.; YAN, X.; PANG, Q. Effect of soil salinity on fructan content and polymerization degree in the sprouting tubers of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 125, p. 27-34, 2018. <http://dx.doi.org/0.1016/j.plaphy.2018.01.025>
- MACKEE, H. S. **Catalogue des plantes introduites et cultivées en Nouvelle-Calédonie**. Paris: Museum National D'Histoire Naturelle, 1994. 164 p.
- MAICAKURKAEW, S.; JOGLOY, S.; HAMAKER, B. R.; NINGSANOND, S. Fructan: fructan 1- fructosyltransferase and inulin hydrolase activities relating to inulin and soluble sugars in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* Linn.) tubers during storage. **Journal of Food Science and Technology**, v. 54, n. 3, p. 698-706, 2017. <https://dx.doi.org/10.1007/s13197-017-2508-9>
- MANOKHINA, A. A.; DOROKHOV, A. S.; KOBOZEVA, T. P.; FOMINA, T. N.; STAROVOITOVA, O. A. Varietal characteristics of jerusalem artichoke as a high nutritional value crop for herbivorous animal husbandry. **Applied Sciences**, v. 12, n. 9, p. 4507, 2022. <https://doi.org/10.3390/app12094507>
- MARIADOSS, A. V. A.; PARK, S.; SARAVANAKUMAR, K.; SATHIYASEELAN, A.; WANG, M. H. Ethyl acetate fraction of *Helianthus tuberosus* L. induces anti-diabetic, and wound-healing activities in insulin-resistant human liver cancer and mouse fibroblast cells. **Antioxidants**, v. 10, n. 1, p. 99, 2021. <https://doi.org/10.3390/antiox10010099>
- MCLAURIN, W. J.; SOMDA, Z. C.; KAYS, S. J. Jerusalem artichoke growth, development, and field storage. I. Numerical assessment of plant part development and dry matter acquisition and allocation. **Journal of Plant Nutrition**, v. 22, n. 8, p. 1303-1313, 1999. <https://doi.org/10.1080/01904169909365714>
- MEDEIROS, J. F.; GHEYI, H. R.; NASCIMENTO, I. B. Salinidade de solo e da água e seus efeitos na produção agrícola. In: GHEYI, H. R.; PAZ, V. P. S.; MEDEIROS, S. S.; GALVÃO, C. O. **Recursos hídricos em regiões semiáridas**. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, Cruz das Almas, BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2012. p. 188-222.

MEDEIROS, P. R. F.; SILVA, E. F. F.; DUARTE, S. N. Salinidade em ambiente protegido. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. (ed). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. 2.ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. Cap. 9, p.113-122.

MILLER, G.; SUZUKI, N.; CIFTCI-YILMAZ, S.; MITTLER, R. Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. **Plant, Cell & Environment**, v. 33, n. 4, p. 453-467, 2010. <https://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.02041.x>

MIRANDA, M. A.; OLIVEIRA, E. E. M.; SANTOS, K. C. F.; FREIRE, M. B. G. S.; ALMEIDA, B. G. Condicionadores químicos e orgânicos na recuperação de solo salino-sódico em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 5, p. 484-490, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011000500008>

MOHAMED, H. E. Response of Jerusalem artichoke Plants to Organic Fertilizers and Humic Acid in Reclaimed Soil at South Egypt. **Middle East Journal of Applied Sciences**, v. 10, n. 4, p. 785-791, 2020. <http://dx.doi.org/10.36632/mejas/2020.10.4.69>

MORAIS, F. A.; GURGEL, M. T.; OLIVEIRA, F. H. T.; MOTA, A. F. Influência da irrigação com água salina na cultura do girassol. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 327-336, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902011000200010>

MOTA, L. H. S. O.; GOMES, A. S.; VALLADARES, G. S.; MAGALHÃES, R. M. F.; LEITE, H. M. F.; SILVA, T. A. Risco de salinização das terras do baixo Acaraú (CE). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 36, n. 4, p. 1203-1210, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000400014>

MOURA, E. S. R.; COSME, C. R.; LEITE, T. S.; DIAS, N. D.; FERNANDES, C. S.; SOUSA NETO, O. N.; SOUSA JUNIOR, F. S.; REBOUÇAS, T. C. Phytoextraction of salts by *Atriplex Nummularia* Lindl. irrigated with reject brine under varying water availability. **International journal of phytoremediation**, v. 21, n. 9, p. 892-898, 2019. <https://doi.org/10.1080/15226514.2019.1583633>

MU, Y.; GAO, W.; LV, S.; LI, F.; LU, Y.; ZHAO, C. The antioxidant capacity and antioxidant system of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers in relation to inulin during storage at different low temperatures. **Industrial Crops and Products**, v. 161, p. 113229, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113229>

MULLIN, W. J.; MODLER, H. W.; FARNWORTH, E. R.; PAYNE, A. The macronutrient content of fractions from Jerusalem artichoke tubers (*Helianthus tuberosus*). **Food Chemistry**, v. 51, n. 3, p. 263-269, 1994. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(94\)90025-6](https://doi.org/10.1016/0308-8146(94)90025-6)

NDUKWE, O. O.; MUONEKE, C. O.; BAIYERI, K. P.; TENKOUANO, A. Growth and yield responses of plantain genotypes as influenced by organic and inorganic fertilizers. **Journal of Plant Nutrition**, v. 34, p. 700-716, 2011. <https://doi.org/10.1080/01904167.2011.540686>

- NEVES, A. L. R.; ALVES, M. P.; LACERDA, C. F.; GHEYI, H. R. Aspectos socioambientais e qualidade da água de dessalinizadores nas comunidades rurais de Pentecoste-CE. **Revista Brasileira de Água**, Taubaté, v. 12, n. 1, p. 124-135, 2017. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1722>
- OLIVEIRA, M. A.; CORRÊA, D. A. G. Desenvolvimento de *Helianthus tuberosus* (Alcachofra de Jerusalém) por micropropagação e caracterização de sus carboidratos de reserva. **Publicatio UEPG: Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias**, v. 13, n. 1, p. 41-50, 2007. <https://doi.org/10.5212/publicatio.v13i01.878>
- OLIVEIRA, R. A.; PARK, K. J.; CHIORATO, M.; PARK, K. J. B.; NOGUEIRA, R. I. Otimização de extração de inulina de raízes de chicórea. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 6, n. 2, p. 131-140, 2004. <http://dx.doi.org/10.15871/1517-8595/rbpa.v6n2p131-140>
- PANCHEV, I.; DELCHEV, N.; KOVACHEVA, D.; SLAVOV, A. Physicochemical characteristics of inulins obtained from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). **European Food Research and Technology**, v. 233, n. 5, p. 889-896, 2011. <https://dx.doi.org/10.1007/s00217-011-1584-8>
- PAS'KO, N. M. Basic morphological features for distinguishing varieties of Jerusalem artichoke. **Trudy po Prikladnoy Botanike, Genetike i Seleksii**, v. 50, n. 2, p. 91-101, 1973.
- PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; PRATA, A. P. N.; LUCAS, A. A. T.; SANTOS, P. B. dos. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 1308-1324, 2015. <https://dx.doi.org/105902/2236117016544>
- PEQUENO, O. T. B. L.; SILVA, J. L. B. C.; BRASILEIRO, I. M. N. Fitoextração de sais através de estresse salino por atriplex nummularia em solo do semiárido paraibano. **Revista Saúde e Ciência**. v. 3, n. 3, p. 37-52, 2014. <https://doi.org/10.35572/rsc.v3i3.312>
- PESSONI, R. A. B.; OLMEDO, P. M.; CLEMENTE FILHA, A. C.; FIGUEIREDO-RIBEIRO, R. C. Produção de concentrados de frutose por inulinas de *Penicillium janczewskii* e atividade sobre o nível de glicose plasmática em ratos diabéticos. **Ciência, Tecnologia e Alimentos**, v. 24, p. 373-377, 2004.
- PINAR, H.; KARA, K.; HANCI, F.; KAPLAN, M. Nutritional composition of herbage of different Jerusalem artichoke genotypes. **Journal of Animal & Feed Sciences**, v. 30, p. 141-148, 2021. <https://doi.org/10.22358/jafs/136053/2021>
- PINHEIRO, L. G.; FERREIRA, D. M.; SILVA, F. L.; MEDEIROS, J. A.; MEDEIROS, L. C.; PEIXE, P. D.; MOREIRA, S. A. Sustentabilidade do processo de dessalinização de água no semiárido Potiguar: estudo da comunidade Caatinga Grande. **Sociedade & Natureza**, v. 30, n. 1, p. 132-157, 2018. <https://doi.org/10.14393/SN-v30n1-2018-6>
- PINMONGKHONKUL, S.; GANRANOO, L.; TIMSOM, Y.; JANTAPATAK, Y.; BOONRIAM, W. Inulin evaluation of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) from organic cultivation areas, Phayao, Thailand. **International Journal of Agricultural Technology**, v. 17, n. 2, p. 627-640, 2021.

PUANGBUT, D.; JOGLOY, S.; VORASOOT, N.; PATANOTHAI, A. Responses of growth, physiological traits and tuber yield in *Helianthus tuberosus* L. to seasonal variations under tropical area. **Scientia Horticulturae**, v. 195, p. 108-115, 2015.

<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.008>

PUANGBUT, D.; JOGLOY, S.; VORASOOT, N.; SRIJARANAI, S.; KESMALA, T.; HOLBROOK, C. C.; PATANOTHAI, A. Influence of planting date and temperature on inulin content in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). **Australian Journal of crop science**, v. 6, n. 7, p. 1159, 2012.

QIU, Y.; LEI, P.; ZHANG, Y.; SHA, Y.; ZHAN, Y.; XU, Z.; OUYANG, P. Recent advances in bio-based multi-products of agricultural Jerusalem artichoke resources. **Biotechnology for biofuels**, v. 11, n. 1, p. 1-15, 2018. <https://doi.org/10.1186/s13068-018-1152-6>

RADOVANOVIC, A.; STOJCESKA, V.; PLUNKETT, A.; JANKOVIC, S.; MILOVANOVIC, D.; CUPARA, S. The use of dry Jerusalem artichoke as a functional nutrient in developing extruded food with low glycaemic index. **Food Chemistry**, v. 177, p. 81-88, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.12.096>

RAGAB, M. E.; OKASHA, K. H. A.; EL-OKSH, I. I.; IBRAHIM, N. M. Effect of cultivar and location on yield, tuber quality, and storability of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). I. Growth, yield, and tuber characteristics. **Acta Horticulture**, v. 620, p. 103-110, 2003. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2003.620.10>

RAKHIMOV, D. A.; ZHAUYNBAEVA, K. S.; MEZHLUMYAN, L. G.; SYROV, V. N.; KHUSHBAKTOVA, Z. A.; SALIKHOV, S. A.; MAVLYANOVA, R. F. Carbohydrate and protein components of *Helianthus tuberosus* and their biological activity. **Chemistry of Natural Compounds**, v. 47, p. 503-506, 2011. <https://doi.org/10.1007/s10600-011-9981-6>

REIS, A. T.; GUIMARÃES, L. L.; ALVES, P. R.; COSTA, C. S. B.; LUCENA, E. M. P.; BONILLA, O. H. Crescimento e germinação de sementes de biótipos de *Salicornia neei* Lag. adaptadas às condições do semiárido Nordeste. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 10, p. 75721-75735, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n10-121>

RFA. RENEWABLE FUELS ASSOCIATION. **Annual ethanol production. U.S. and world ethanol production**. Disponível em <<https://ethanolrfa.org/resources/annual-industry-outlook>> Acesso em 15 de junho de 2023.

RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. **Uso de águas salinas para produção agrícola**. Campina Grande: UFPB, 2000. p. 117.

RIBEIRO, M. R. Origem e classificação dos solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. da S.; LACERDA, C. F. de. **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2010. p. 12-19.

RIBEIRO, M. R.; RIBEIRO FILHO, M.; JACOMINE, P. K. Origem e classificação dos solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. (ed). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. 2.ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. Cap. 2, p. 9-16.

RICHARDS, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington D.C.: U.S. Salinity Laboratory, 1954. p. 160.

ROBINSON, R. K. The potential of inulin as a functional ingredient. **British Food Journal**, v. 97, n. 4, p. 30-32, 1995. <https://doi.org/10.1108/00070709510085657>

ROSSINI, F.; PROVENZANO, M. E.; KUZMANOVIĆ, L.; RUGGERI, R. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): A versatile and sustainable crop for renewable energy production in Europe. **Agronomy**, v. 9, n. 9, p. 528, 2019. <https://doi.org/10.3390/agronomy9090528>

RUTTANAPRASERT, R.; JOGLOY, S.; VORASOOT, N.; KESMALA, T.; KANWAR, R. S.; HOLBROOK, C. C.; PATANOTHAI, A. Effects of water stress on total biomass, tuber yield, harvest index and water use efficiency in Jerusalem artichoke. **Agricultural Water Management**, v. 166, p.130-138, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.12.022>

SACRAMENTO, B. L.; CRUZ, T. S.; SILVA, L. L.; MOTA, K. N. A. B.; AZEVEDO NETO, A. D. Pigmentos e teores de solutos orgânicos em plantas de aguapé sob estresse salino. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 18, p. 33-44, 2014.

SÁNCHEZ, A. S.; NOGUEIRA, I. B. R.; KALID, R. A. Uses of the reject brine from inland desalination for fish farming, Spirulina cultivation, and irrigation of forage shrub and crops. **Desalination**, v. 364, p. 96-107, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2015.01.034>

SANTOS, M. R.; BRITO, C. F. B. Irrigação com água salina, opção agrícola consciente. **Revista Agrotecnologia**, v. 7, n. 1, p. 33-41, 2016. <https://doi.org/10.12971/5175>

SANTOS, R. S.; DIAS, N. S.; SOUSA NETO, O. N.; GURGEL, M. T. Uso do rejeito da dessalinização de água salobra no cultivo da alface (*Lactuca sativa* L.) em sistema hidropônico NFT. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, p. 983-989, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542010000400026>

SAWICKA, B. **Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). Biology, culture, the importance of utility.** Lublin: University of Lublin Publishing House, 2016. p. 241.

SAWICKA, B.; DANILČENKO, H.; JARIENE, E.; SKIBA, D.; RACHOŃ, L.; BARBAŚ, P.; PSZCZÓLKOWSKI, P. Nutritional value of Jerusalem artichoke tubers (*Helianthus tuberosus* L.) grown in organic system under Lithuanian and Polish conditions. **Agriculture**, v. 11, n. 5, p. 440, 2021. <https://doi.org/10.3390/agriculture11050440>

SAWICKA, B.; SKIBA, D.; PSZCZÓŃ, P.; ASLAN, I.; SHARIFI, J.; KROCHMAL-MARCZAK, B. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) as a medicinal plant and its natural products. **Cellular and Molecular Biology**, v. 66, n. 4, p. 160-177, 2020. <https://doi.org/10.14715/cmb/2020.66.4.20>

SAWICKA, B.; PSZCZÓLKOWSKI, P. Characteristics of the Jerusalem Artichoke. In: SAWICKA, B.; KROCHMAL-MARCZAK, B. (eds). **Jerusalem Artichoke Food Science and Technology.** Singapore: Springer Nature Singapore, 2022. p. 7-44. https://doi.org/10.1007/978-981-19-0805-7_2

SCHOSSLER, T. R.; MACHADO, D. M.; ZUFFO, A. M.; ANDRADE, F. R.; PIAUILINO, A. C. Salinidade: efeitos na fisiologia e na nutrição mineral de plantas. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 15, p. 1563-1578, 2012.

SHAO, T.; GU, X.; ZHU, T.; PAN, X.; ZHU, Y.; LONG, X.; SHAO, H.; LIU, M.; RENGEL, Z. Industrial crop Jerusalem artichoke restored coastal saline soil quality by reducing salt and increasing diversity of bacterial community. **Applied Soil Ecology**, v. 138, p. 195-206, 2019. <https://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.03.003>

SHAHID, S. A.; ZAMAN, M.; HENG, L. Introduction to soil salinity, sodicity and diagnostics techniques. In: **Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques**. Switzerland: Springer, 2018. p. 1-42.

SILVA, F. L. B.; LACERDA, C. F.; NEVES, A. L. R.; SOUSA, G. G.; SOUSA, C. H. C.; FEERIRA, F. J. Irrigação com águas salinas e uso de biofertilizante bovino nas trocas gasosas e produtividade de feijão-de-corda. **Irriga**, v. 18, n. 2, p. 304-317, 2013. <https://dx.doi.org/10.15809/irriga.2013v18n2p304>

SKIBA, D.; JARIENE, E.; BARBAŚ, P.; KROCHMAL-MARCZAK, B.; SAWICKA, B. The Effect of Fertilization on the Structure of the Aboveground Biomass of Several Cultivars of Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). **Agronomy**, v. 13, n. 2, p. 314, 2023. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020314>

SLIMESTAD, R.; SELJAASEN, R.; MEIJER, K.; SKAR, S. L. Norwegian-grown Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): morphology and content of sugars and fructo-oligosaccharides in stems and tubers. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 90, n. 6, p. 956-964, 2010. <https://dx.doi.org/10.1002/jsfa.3903>

SOARES, H. R.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; SILVA, Ê. F. F.; ROLIM, M. M.; SILVA, G. F. Water and physiological relationships of lettuce cultivated in hydroponics with brackish waters. **Revista Ciência Agronômica**, v. 50, p. 216-222, 2019. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20190025>

SOJA, G.; HAUNOLD, E. Leaf gas exchange and tuber yield in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) cultivars. **Field Crops Research**, v. 26, n. 3-4, p. 241-252, 1991. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(91\)90002-D](https://doi.org/10.1016/0378-4290(91)90002-D)

SOUSA NETO, O. N.; DIAS, N. S.; FERREIRA NETO, M.; LIRA, R. B.; REBOUCAS, J. R. Utilização do rejeito da dessalinização da água na produção de mudas de espécies da caatinga. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 4, p. 123-129, 2011.

SOUZA, E. R.; FREIRE, M. B. G. S.; MELO, D. V. M.; MONTENEGRO, A. A. A. Management of Atriplex Nummularia Lindl. in a Salt Affected Soil in a Semi Arid Region of Brazil. **International Journal of Phytoremediation**, v. 16, n. 1, p. 73-85, 2013. <https://dx.doi.org/10.1080/15226514.2012.759529>

STEPPUHN, H. **Pre-irrigation of a severely-saline soil with in situ water to establish dry land oranges**. St. Joseph: Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, v. 44, 2001. p. 1543-1551.

SWANTON, C. J. **Ecological aspects of growth and development of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.)**. 1986. 181 f. Tese - University Western Ontario, London, 1986.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. p. 858.

VAIDYANATHAN, H.; SIVAKUMAR, P.; CHAKRABARTY, R.; THOMAS, G. Scavenging of reactive oxygen species in NaCl stressed rice (*Oryza sativa* L.) — differential response in salt tolerant and sensitive varieties. **Plant Science**, v. 165, n. 6, p. 1411-1418, 2003. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2003.08.005>

VALE, M. B.; AZEVEDO, P. V. Avaliação da produtividade e qualidade do capim elefante e do sorgo irrigados com água do lençol freático e do rejeito do dessalinizador. **Holos**, v. 3, p. 181-195, 2013. <https://doi.org/10.15628/holos.2013.1383>

VASCONCELOS, M. C. C. A. Salinização do solo em áreas irrigadas: aspectos físicos e químicos. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 10, n. 1, p. 20-25, 2014. <http://dx.doi.org/10.30969/acsa.v10i1.402>

WANG, Y.; ZHAO, Y.; XUE, F.; NAN, X.; WANG, H.; HUA, D.; XIONG, B. Nutritional value, bioactivity, and application potential of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) as a neotype feed resource. **Animal Nutrition**, v. 6, n. 4, p. 429-437, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2020.09.001>

WILLADINO, L.; CAMARA, T. R. Tolerância das plantas à salinidade: Aspectos fisiológicos e bioquímicos. **Enciclopédia Biosfera**, v. 6, n. 11, p. 1-23, 2010.

WILLSCHER, S.; JABLONSKI, L.; FONA, Z.; RAHMI, R.; WITTIG, J. Phytoremediation experiments with *Helianthus tuberosus* under different pH and heavy metal soil concentrations. **Hydrometallurgy**, v. 168, p. 153-158, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2016.10.016>

XUE, Y. F.; LIU, Z. P. Antioxidant enzymes and physiological characteristics in two Jerusalem artichoke cultivars under salt stress. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 55, n. 6, p.776-781, 2008. <https://dx.doi.org/10.1134/s102144370806006x>

YAN, K.; BIAN, T.; HE, W.; HAN, G.; LV, M.; GUO, M.; LU, M. Root abscisic acid contributes to defending photoinhibition in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) under salt stress. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 19, n. 12, p. 3934, 2018b. <https://doi.org/10.3390/ijms19123934>

YAN, K.; CHEN, P.; SHAO, H.; ZHAO, S.; ZHANG, L.; ZHANG, L.; XU, G.; SUN, J. Photosynthetic characterization of Jerusalem artichoke during leaf expansion. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 34, p. 353-360, 2012. <https://doi.org/10.1007/s11738-011-0834-5>

YAN, K.; ZHAO, S.; CUI, M.; HAN, G.; WEN, P. Vulnerability of photosynthesis and photosystem I in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) exposed to waterlogging. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 125, p. 239-246, 2018a. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.02.017>

YANG, L.; HE, Q. S.; CORSCADDEN, K.; UDENIGWE, C. C. The prospects of Jerusalem artichoke in functional food ingredients and bioenergy production. **Biotechnology reports**, v. 5, p. 77-88, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2014.12.004>

YANG, M.; SUN, X.; ZHU, J.; LIU, Y.; CHEN, N.; ZHAO, G. Physiological and proteomics insights into salt tolerance of two Jerusalem artichoke cultivars. **Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology**, v. 30, p. 613-622, 2021. <https://doi.org/10.1007/s13562-020-00640-2>

ZHANG, Q.; JIN, Y. L.; FANG, Y.; ZHAO, H. Adaptive evolution and selection of stress-resistant *Saccharomyces cerevisiae* for very high-gravity bioethanol fermentation. **Electronic Journal of Biotechnology**, v. 41, p. 88-94, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2019.06.003>

ZHAO, G. M.; LIU, Z. P.; CHEN, M. D.; KOU, W. F. Effect of saline aquaculture effluente on salt-tolerant Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) in a semi-arid coastal area of China. **Pedosphere**, v. 16, n. 6, p. 762-769, 2006. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(06\)60112-4](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(06)60112-4)

ZHAO, G.; -M.; LIU, Z. -P.; CHEN, M. -D.; GUO, S. -W. Soil Properties and Yield of Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) with Seawater Irrigation in North China Plain. **Pedosphere**, v. 18, n. 2, p. 195-202, 2008. [https://dx.doi.org/10.1016/s1002-0160\(08\)60007-7](https://dx.doi.org/10.1016/s1002-0160(08)60007-7)

ZHOU, H. L.; LI, B.; WU, M.; F.; LIU, Y. Evaluation of antioxidant capacity of polysaccharide in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) during overwintering. In: E3S Web of Conferences. **EDP Sciences**, 2019. p. 02008.

ZORIĆ, M.; TERZIĆ, S.; SIKORA, V.; BRDAR-JOKANOVIĆ, M.; VASSILEV, D. Effect of environmental variables on performance of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) cultivars in a long term trial: a statistical approach. **Euphytica**, v. 213, n. 1, p. 23, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10681-016-1819-7>

3 ESTABELECIMENTO, RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E NUTRICIONAIS DE PLANTAS DE *Helianthus tuberosus* L. E ATRIBUTOS DE SOLOS DO SEMIÁRIDO SOB IRRIGAÇÃO COM MISTURAS DE REJEITO DE DESSALINIZADOR

Resumo

Objetivou-se com o presente estudo avaliar o crescimento vegetativo, respostas fisiológicas e estado nutricional de plantas de *Helianthus tuberosus* L. (cv. “Stampede”) e as alterações químicas nos solos irrigados com águas de misturas crescentes de rejeito salino oriundo do processo de dessalinização. O estudo foi conduzido em vasos, sob condições de casa de vegetação na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). O arranjo experimental foi em delineamento em blocos casualizados (DBC), em fatorial 3 x 6, com 4 repetições, totalizando 72 unidades experimentais. Os tratamentos foram constituídos de amostras de três solos do Sertão e Agreste de Pernambuco (S1 – Cambissolo de Serra Talhada; S2 – Planossolo de São Bento do Una e S3 – Planossolo de Caruaru), irrigados com misturas de rejeito salino e água doce com condutividade elétrica da água (CE_a) de 0,60; 3,52; 6,99; 11,29; 16,99 e 35,17 $dS\ m^{-1}$, nas respectivas proporções (A1 – 100% de água doce; A2 – 95% de água doce + 5% de rejeito salino; A3 – 90% de água doce + 10% de rejeito salino; A4 – 80% de água doce + 20% de rejeito salino; A5 – 60% de água doce + 40% de rejeito salino e A6 – 30% de água doce + 70% de rejeito salino). Avaliaram-se o número de folhas, altura da planta, diâmetro do caule, produção de biomassa, trocas gasosas, rendimento quântico da fluorescência da clorofila “a”, pigmentos fotossintéticos, potencial hídrico, teor relativo de água, extravasamento de eletrólitos, estado nutricional das plantas (P, K, Na, Ca, Mg e Cl), além dos atributos químicos do solo, pH em água e do extrato de saturação, condutividade elétrica do solo, cátions trocáveis e solúveis (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}), ânion Cl^- , CTC, PST e RAS. As misturas crescentes com rejeito salino influenciaram diretamente nas variáveis morfológicas e fisiológicas das plantas, com diminuições significativas indicando sensibilidade da espécie ao excesso de sais aplicado na água de irrigação. As plantas cultivadas no Cambissolo de Caruaru toleraram a irrigação com água composta de até 40% do rejeito salino. A parte aérea das plantas apresentou acúmulos de Na^+ e Cl^- . Os solos cultivados foram modificados quimicamente pela elevação da salinidade da água de irrigação. A espécie *Helianthus tuberosus* L. apresentou potencial de cultivo positivo em solos não salinizados e sob irrigação com misturas com baixa concentração salina.

Palavras-chave: Jerusalem artichoke. Agricultura biohalina. Cultivo alternativo. Tolerância.

ESTABLISHMENT, PHYSIOLOGICAL AND NUTRITIONAL RESPONSES OF *Helianthus tuberosus* L. PLANTS AND SOILS ATTRIBUTES IN SEMI-ARID REGIONS IRRIGATED WITH DESALINATOR WASTE MIXTURES

Abstract

This study aims to assess the vegetative growth, physiological responses, and nutritional status of *Helianthus tuberosus* L. (Stampede cultivar) plants, alongside the chemical transformations in soils irrigated with varying mixtures of saline waste derived from desalination processes. The experiment, conducted at the Federal Rural University of Pernambuco (UFRPE), employed a randomized block design (DBC) in a 3 x 6 factorial arrangement with four replications, totalling 72 experimental units. Treatments involved soils from Sertão and Agreste of Pernambuco (S1 – Serra Talhada Cambisol; S2 – São Bento do Una Planosol; S3 – Caruaru Planosol), irrigated with mixtures of saline waste and fresh water with electrical conductivity (ECa) ranging from 0.60 to 35.17 dS m⁻¹. Various parameters, including the number of leaves, plant height, stem diameter, biomass production, gas exchange, quantum yield of chlorophyll “a” fluorescence, photosynthetic pigments, water potential, relative water content, electrolyte extravasation, and nutritional status (P, K, Na, Ca, Mg, and Cl) were assessed. Additionally, soil attributes such as pH in water and saturation extract, soil electrical conductivity, exchangeable and soluble cations (K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺), Cl⁻ anion, cation exchange capacity (CEC), exchangeable sodium percentage (ESP), and Sodium adsorption ratio (SAR) were measured. The results indicated a direct influence of increasing saline waste mixtures on morphological and physiological variables, signifying the species' sensitivity to elevated salt concentrations in irrigation water. Plants cultivated in the Caruaru Cambisol exhibited tolerance to irrigation with water containing up to 40% saline waste. Accumulations of Na⁺ and Cl⁻ were observed in the aerial parts of the plants. The chemical composition of cultivated soils was altered by the heightened salinity in irrigation water. *Helianthus tuberosus* L. demonstrated promising cultivation potential in non-salinized soils and under irrigation with mixtures of low saline concentration.

Keywords: Jerusalem artichoke. Biosaline agriculture. Alternative cultivation. Tolerance.

3.1 Introdução

O semiárido brasileiro tem recebido grande destaque nas últimas décadas devido aos seus problemas ambientais, principalmente, tratando-se da escassez hídrica. Tal problemática causa danos irreversíveis às plantas, como perda do potencial produtivo e, ao produtor rural, impactos socioeconômicos. O clima desta região causa certa dificuldade às práticas de cultivo agrícola, tendo em vista a pouca disponibilidade de água e sua baixa qualidade, além de altas temperaturas. Considerando a água como o fator fundamental ao desenvolvimento vegetal e o solo como fornecedor de nutrientes, é necessário entender como estes dois recursos naturais se interrelacionam, determinando a potencialidade do ambiente. A irrigação tem se caracterizado como a forma de possibilitar o desenvolvimento da agricultura do semiárido. No entanto, neste ambiente, nem sempre há disponibilidade de águas de boa qualidade para uso na irrigação, tendo suas reservas hídricas superficiais insuficientes, muitas vezes, com altas concentrações de sais.

Buscas por alternativas que visem minimizar limitações impostas pelas condições características dos semiárido, vem sendo intensamente discutida e colocada em diversas pautas prioritárias. Uma delas é a utilização de espécies vegetais que possam conviver sob as condições ambientais adversas, e que expressem seu potencial produtivo mesmo em condições limitantes. Tais espécies, por meio de seu metabolismo, devem ter características de tolerância a ambientes estressantes, com mecanismos adquiridos ao longo de seu processo evolutivo, expressados em suas funções morfológicas, fisiológicas, bioquímicas e nutricionais.

A utilização de rejeito salino oriundo da dessalinização de águas subterrâneas vem tornando-se uma alternativa viável para atenuar danos da escassez hídrica. O rejeito gerado pelo processo de dessalinização por osmose reversa, é um importante recurso para a irrigação dos cultivos agrícolas no semiárido podendo suprir a demanda hídrica das plantas, mas seu alto excesso de sais solubilizados pode acarretar consequências severas ao crescimento e desenvolvimento. Então, faz-se necessário o conhecimento de técnicas de manejo adequadas ao uso deste rejeito salino, a serem implementadas com as práticas agrícolas, visando mitigar possíveis danos à planta.

Inúmeras espécies vegetais podem tolerar condições de déficit hídrico, além de excesso de sais solúveis presente no solo e na água. As halófitas, grupo de plantas adaptadas a ambientes com excesso de sais, principalmente sódio (Na^+) e cloro (Cl^-), são cultivadas nas condições mais extremas onde a maioria das plantas não conseguiriam sobreviver. O grupo das glicófitas são aquelas que não possuem características de resistência aos sais, com redução no crescimento em ambiente salino. Contudo, algumas espécies vegetais podem tolerar até determinado ponto

o estresse salino, por meio de mecanismos morfológicos (perda de folhas para redução da taxa fotossintética), fisiológicos (controle das taxas de trocas gasosas), bioquímicas (acúmulo de solutos compatíveis e aumento da atividade enzimática contra EROs) e nutricionais (compartimentalização de sais no vacúolo).

A espécie *Helianthus tuberosus* L., com alto potencial econômico associado ao seu principal carboidrato de reserva, a inulina, e a sua produção de biomassa vegetal, tem características peculiares de tolerância à salinidade, como efluxo e exclusão dos íons salinos pelas raízes e produção de enzimas antioxidantes contra o estresse oxidativo. Mediante estes mecanismos biomoleculares, a espécie tem o potencial de se adaptar a áreas com solos salinizados e a irrigação com água salobra.

Apesar dos mecanismos de tolerância e convivência e de expressar seu potencial de desenvolvimento sob condições estressantes, os estudos com *Helianthus tuberosus* L. com salinidade e qualidade de água em regiões semiáridas são bastante escassos. No próprio semiárido brasileiro não existem relatos do cultivo da espécie nas condições ambientais características desta região, sendo de total importância investigar o comportamento da planta e suas características.

Nesse contexto, o presente estudo objetivou avaliar o estabelecimento, respostas fisiológicas e nutricionais de plantas de *Helianthus tuberosus* L. e atributos de solos do semiárido sob irrigação com misturas de rejeito de dessalinizador.

3.2 Material e Métodos

3.2.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi desenvolvido entre os meses de outubro e dezembro de 2020, com 70 dias de condução, em casa de vegetação do Departamento de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), em Recife – PE (8°03'14" de latitude sul, 34°52'51" de longitude oeste; altitude média de 28 m). Com clima do tipo Am (clima de monção) no sistema Koppen - Geiger, tropical chuvoso, com fortes precipitações anuais (SABOYA et al., 2021).

3.2.2 Estrutura física experimental

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do tipo telado. A temperatura e a umidade relativa do ar média foram monitoradas dentro da casa de vegetação, com dados coletados semanalmente (Tabela 1).

Tabela 1 – Dados climáticos monitorados durante o experimento

Mês	Temperatura	Umidade
	(°C)	(%)
Outubro	44,71	51,33
Novembro	45,56	53,13
Dezembro	45,78	54,29

3.2.3 Material vegetal

O plantio de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede), foi realizado por propagação vegetativa por meio de tubérculos. O material vegetal é pertencente à coleção particular do gestor ambiental Guilherme Reis Ranieri, produzidas no município de Itu, no interior do estado de São Paulo, sendo seu cultivo manejado agroecologicamente.

3.2.4 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi conduzido sob delineamento em blocos casualizados (DBC), em arranjo fatorial 3 x 6, sendo três solos – S (S1 – Cambissolo Háplico de Serra Talhada; S2 – Planossolo Háplico de São Bento do Una e S3 – Planossolo Háplico de Caruaru) irrigados com

misturas de rejeito salino e água doce com condutividade elétrica da água (CEa) de 0,60; 3,52; 6,99; 11,29; 16,99 e 35,17 dS m⁻¹, nas respectivas proporções (A1 – 100% de água doce; A2 – 95% de água doce + 5% de rejeito salino; A3 – 90% de água doce + 10% de rejeito salino; A4 – 80% de água doce + 20% de rejeito salino; A5 – 60% de água doce + 40% de rejeito salino e A6 – 30% de água doce + 70% de rejeito salino), com quatro repetições em blocos, totalizando 72 unidades experimentais. Cada unidade experimental foi composta por uma planta por vaso.

Os solos utilizados no experimento foram coletados nos municípios de Serra Talhada (S1, classificado como Cambissolo Háplico), São Bento do Una (S2, classificado como Planossolo Háplico) e Caruaru (S3, classificado como Planossolo Háplico). Foram coletadas amostras de solo na camada de 0 – 0,30 m, transportadas para a sede da UFRPE (Recife – PE), secas ao ar, destorroadas e peneiradas em malha de 4 mm, para separação da fração grossa e raízes, e posterior o enchimento dos vasos.

Após homogeneização, foram retiradas amostras compostas de cada solo para fins de caracterização dos atributos físicos e químicos, as quais foram peneiradas em malha de 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA), resultados nas tabelas 2, 3 e 4.

Tabela 2 – Atributos físicos dos solos utilizados no cultivo de plantas de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) irrigadas com águas salinas

Solo	Composição granulométrica			Classe textural	Densidade do solo
	Areia	Silte	Argila		
	g kg ⁻¹			-	kg dm ⁻³
S1	751,67	80,46	181,41	Franco arenosa	1,45
S2	358,85	493,98	147,48	Franca	1,27
S3	761,93	170,80	107,58	Franco arenosa	1,39

Tabela 3 – Atributos químicos dos solos utilizados no cultivo de plantas de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) irrigadas com águas salinas

Solo	pH _(1:2,5)	Complexo sortivo									
		P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	SB	Al ³⁺ + H ⁺	T	V	PST
	-	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹							— % —	
S1	7,41	15,13	0,68	3,05	1,78	0,61	6,12	0,00	6,12	100	9,96
S2	7,33	46,47	0,41	16,03	7,08	2,72	26,24	0,00	26,24	100	10,36
S3	5,72	7,13	0,22	1,16	0,75	0,33	2,46	0,87	3,33	74	9,91

pH_(1:2,5): potencial hidrogeniônico em água; SB: soma de bases; T: capacidade de troca de cátions; V: saturação por bases; PST – porcentagem de sódio trocável.

Tabela 4 – Atributos químicos do extrato de saturação dos solos utilizados no cultivo de plantas de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) irrigadas com águas salinas

Solo	Extrato de saturação							
	CE _{es}	pH _{es}	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Cl ⁻	RAS
	dS m ⁻¹	-	mmol _c L ⁻¹					
S1	0,85	7,70	3,00	3,36	2,37	3,48	8,75	2,05
S2	19,38	7,39	2,76	71,97	101,04	101,00	245,00	10,85
S3	1,17	6,95	1,36	4,43	4,16	6,59	15,00	3,17

CE_{es}: condutividade elétrica do extrato de saturação; pH: potencial hidrogeniônico do extrato de saturação; RAS: relação de adsorção de sódio.

Os tratamentos com águas salinas utilizadas nas irrigações foram compostas por misturas com diferentes proporções de água de rejeito de dessalinizador e água doce. O rejeito foi coletado em reservatório localizado na sede do Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA) em Recife – PE, sendo o rejeito oriundo de dessalinizador localizado no município de Riacho das Almas – PE. A água doce, o rejeito salino e as diferentes proporções de misturas foram caracterizadas e classificadas quanto a sua qualidade e risco para a irrigação e apresentados na tabela 5 (RICHARDS, 1954). Mirealógicamente, os solos desta região apresentam uma assembleia primária rica em quartzo, feldspatos potássicos, moscovita e poucas biotitas. Já a assembleia mineralógica secundária expressa riqueza em esmectita, caulinita e com pouca presença de óxidos de ferro (CPRM, 2005).

Tabela 5 – Composição química e qualidade das águas utilizadas na irrigação de plantas de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) do experimento

Atributo	Caracterização das águas utilizadas na irrigação						
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	Rejeito puro
pH	7,69	7,57	7,43	7,52	7,84	7,73	7,72
CE (dS m ⁻¹)	0,60	3,52	6,99	11,29	16,99	35,17	45,44
K ⁺ (mmol _c L ⁻¹)	0,17	0,52	0,86	1,19	1,76	1,79	6,47
Ca ²⁺ (mmol _c L ⁻¹)	0,57	9,45	12,69	28,91	36,48	68,4	260,63
Mg ²⁺ (mmol _c L ⁻¹)	0,63	8,14	10,93	43,58	70,97	132,77	190,41
Na ⁺ (mmol _c L ⁻¹)	2,14	9,91	23,38	28,65	54,33	159,61	208,11
CO ₃ ²⁻ (mmol _c L ⁻¹)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
HCO ₃ ⁻ (mmol _c L ⁻¹)	1,13	1,49	1,98	2,26	3,73	4,95	6,01
Cl ⁻ (mmol _c L ⁻¹)	5,10	23,16	60,5	82,51	192,16	309,83	488,33
RAS (mmol _c L ⁻¹) ^{0,5}	2,76	3,34	6,81	4,75	7,41	15,91	13,85
Classificação	C ₂ S ₁	C ₄ S ₁	C ₄ S ₃	C ₄ S ₂	C ₄ S ₃	C ₄ S ₄	C ₄ S ₄

pH: potencial hidrogeniônico; CE: condutividade elétrica; RAS: relação de adsorção de sódio.

3.2.5 Instalação e condução do experimento

O plantio dos tubérculos de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) foi feito em vasos de material plástico, com capacidade de 8,5 L, sem orifícios de drenagem. Os vasos foram preenchidos com os solos, numa camada de 20 cm (aproximadamente 9 kg de solo). Os tubérculos foram postos nos vasos e cobertos com solo a uma profundidade de 3,5 cm da superfície. Foram usados tubérculos de forma e tamanho similares, buscando homogeneidade no plantio. Os vasos foram acomodados em bancadas de aço sobre uma superfície de madeirite emborrachado, a 70 cm de altura.

Após o plantio, os vasos foram irrigados com água do abastecimento local (tratamento A1) durante 30 dias, para o estabelecimento das plantas. Passado este período, as plantas passaram a ser irrigadas com as águas dos tratamentos propostos pelo estudo. O experimento teve duração de 70 dias, contados a partir do plantio dos tubérculos.

3.2.6 Manejo da irrigação

Foi realizado ensaio para determinar a umidade na capacidade de campo (CC) de cada solo para cálculo do suprimento hídrico durante a condução do experimento, sendo aplicada água para manter a umidade do solo equivalente a 80% da capacidade de campo (CASAROLI;

VAN LIER, 2008). Cada solo foi acondicionado em vasos com peso conhecido, em três repetições. Posteriormente, os solos foram colocados dentro de reservatório com água a uma lâmina equivalente a $2/3$ da altura do vaso, para saturar por capilaridade. Os vasos foram mantidos nessas condições por um período de 48h até saturação completa. Com os solos saturados, os vasos foram pesados no tempo 0 h e cobertos com plástico filme, para evitar perdas por evaporação, e colocados para drenar. A cada 24 h do início foram realizadas novas pesagens quantificando a massa úmida do solo, até atingir peso constante, sendo considerada a umidade na capacidade de campo.

Após conhecida a umidade na CC dos solos e calculada a proporção de 80%, as irrigações foram realizadas baseadas na pesagem dos vasos, que ocorria diariamente ao final do dia. A irrigação foi feita de forma manual com uso de balança digital. O rejeito salino foi armazenado em caixa d'água de fibra com capacidade de 310 L. A mistura das águas para preparo dos tratamentos salinos foi realizada pela medição do volume de rejeito e de água de abastecimento. A irrigação ocorria em forma sequencial, sendo os vasos retirados das bancadas individualmente, conduzidos para pesagem, realizando-se a reposição hídrica para 80% da CC.

3.2.7 Variáveis analisadas

3.2.7.1 Altura da planta

Altura da planta foi mensurada aos 45 e 65 dias após o plantio. As medições foram realizadas a partir da haste principal de cada planta, fazendo-se a medida a partir da superfície do solo até a extremidade da haste e o valor expresso em centímetros.

3.2.7.2 Número de folhas

O número de folhas foi obtido pela contagem manual e direta a partir da folha nº 1 partindo do ápice, expresso em unidade. As avaliações também foram realizadas aos 45 e 65 dias após o plantio.

3.2.7.3 Diâmetro do caule

Obtido por meio de paquímetro digital, o diâmetro do caule foi medido a uma distância de 3 cm da superfície do solo, expresso em milímetros, aos 45 e 65 dias após o plantio.

3.2.7.4 Produção de biomassa

Aos 70 dias do plantio, as plantas foram coletadas e particionadas em parte aérea e raiz, sendo pesadas para determinação da produção de matéria fresca, com valores expressos em gramas por planta.

Após obtenção da matéria fresca, as partes da planta foram acondicionados em sacos de papel e colocados em estufa de circulação de ar forçado para secar, em temperatura na faixa de 65 °C. A secagem das amostras foi cessada após manutenção de peso constante. Posteriormente, cada amostra foi pesada em balança analítica para quantificação da matéria seca de cada parte vegetal, com valores expressos em gramas por planta.

3.2.7.5 Trocas gasosas

Foram realizadas medições das taxas de fotossíntese líquida (A), transpiração (E), condutância estomática (gs) e concentração interna de CO_2 (C_i) em folhas totalmente desenvolvidas e saudáveis, aos 15 e 35 dias após a aplicação dos tratamentos salinos. Foi utilizado o analisador de gases infravermelho portátil (IRGA, Modelo Li – 640xt, Li – COR). As medições ocorreram entre o final da manhã e início da tarde, entre 10:00 e 13:00 h, preservando as condições do ambiente. A intensidade luminosa nas medições foi de $1.500 \mu mol m^{-2} s^{-1}$. Mediante os resultados das trocas gasosas, foi possível determinar a eficiência instantânea de uso da água ($A E^{-1}$) e eficiência intrínseca de uso da água ($A gs^{-1}$).

3.2.7.6 Rendimento quântico da fluorescência da clorofila “a” ($f_v f_m^{-1}$)

Foi avaliada a emissão de fluorescência da clorofila “a” das folhas de *Helianthus tuberosus* L. aos 15 e 35 dias após a aplicação dos tratamentos salinos, por meio de fluorômetro portátil de luz modulada (Marca: Fluorpen, Modelo: FP – 100). Com uma pinça, as áreas das folhas avaliadas foram mantidas no escuro por um período de 30 minutos para completa oxidação dos componentes do sistema de transporte de elétrons, seguida por irradiação com uma densidade de fluxo de fótons de $3.000 \mu mol fótons m^{-2} s^{-1}$ por 5 segundos, determinando-se a fluorescência inicial (F_0), fluorescência máxima (F_m), eficiência quântica potencial do PSII ($F_v F_0^{-1}$) e rendimento quântico da fluorescência da clorofila “a” ($F_v F_m^{-1}$). As avaliações ocorreram em paralelo com as de trocas gasosas, sempre no mesmo horário, entre 10:00 e 13:00 h.

3.2.7.7 Pigmentos fotossintéticos foliares

Foi feita a determinação dos teores de clorofila a, b, total e carotenoides, aos 15 e 35 dias após a aplicação do rejeito salino, por método destrutivo. Foi pesado 0,1 g de material fresco das folhas, cortado em pequenos pedaços, inseridos em tubos de ensaio rosqueados cobertos por papel alumínio para evitar passagem de radiação. Posteriormente, foi adicionado 10 mL de álcool etílico absoluto a 99,8% e armazenado sob refrigeração por um período de 48 h.

Após incubação, os teores de clorofila a, b, total e carotenoides foram quantificados em espectrofotômetro, determinando sua absorbância. As leituras das amostras foram realizadas em comprimentos de onda de 664, 647 e 470 nm. Os valores foram calculados pelas fórmulas descritas a seguir, conforme metodologia de Lichtenthaler e Buschamann (2001). Os resultados foram expressos em miligramas de clorofila por grama de matéria fresca (mg g^{-1}).

$$\text{Clorofila}_a = 13,36A_{664\text{nm}} - 5,19A_{647\text{nm}}$$

$$\text{Clorofila}_b = 27,43A_{647\text{nm}} - 4,68A_{664\text{nm}}$$

$$\text{Clorofila}_{\text{total}} = \text{clorofila}_a + \text{clorofila}_b$$

$$\text{Carotenoides} = [1000A_{470\text{nm}} - 2,13 (\text{Clorofila}_a) - 97,64 (\text{Clorofila}_b/209)]$$

3.2.7.8 Potencial hídrico foliar

O potencial hídrico foliar (Ψ_w) das plantas de *Helianthus tuberosus* L. foi avaliado aos 15 e 35 dias após aplicação do rejeito salino, antes do nascer do sol, entre 2:00 e 4:00 h, utilizando-se bomba de pressão tipo Scholander, em folhas coletadas no terço médio da planta. As folhas coletadas apresentavam bom estado fitossanitário, foram colocadas na câmara da bomba de pressão e, em seguida, foi aplicada uma pressão até ocorrer a exsudação pelo corte feito no pecíolo da folha, identificado com o auxílio de uma lupa, conforme método descrito por Scholander et al. (1965).

3.2.7.9 Teor relativo de água (TRA)

Aos 15 e 35 dias após aplicação do rejeito salino, foi feita a determinação do teor relativo de água (TRA), em que foram coletados 6 discos foliares do limbo foliar sem a nervura central e imediatamente pesados (P_f) em balança analítica de precisão. Em seguida, foram colocados em placas de petri de vidro, completados com água destilada e levados à geladeira (± 2 °C).

Após seis horas, as superfícies dos “discos” foliares foram secas em papel toalha e pesadas novamente (P_t). Após esta operação o material foi colocado em estufa com circulação forçada de ar (80 °C) por 24 horas, obtendo-se assim o peso de matéria seca (P_s). O TRA foi calculado pela fórmula proposta por Barrs (1968):

$$TRA = [(P_f - P_s) / (P_t - P_s)] * 100$$

Em que:

TRA = teor relativo de água na folha, %;

P_f = peso do material fresco, mg;

P_s = peso do material após secagem em estufa, mg;

P_t = peso do material túrgido, mg.

3.2.7.10 Extravasamento de eletrólitos (EE)

O grau de integridade da membrana foi estimado pelo extravasamento de eletrólitos (EE), sendo coletados dez discos foliares, com perfurador. As amostras foram acondicionadas em tubos de ensaio rosqueado contendo 10 mL de água destilada e incubadas a 25 °C por 48 h. Após o período de incubação, foi determinada a condutividade elétrica do extrato (CE_1), expressa em $\mu\text{S cm}^{-1}$. Em seguida, as amostras de folhas foram submetidas a temperatura de 100 °C por 1 h, em banho-maria. Após resfriamento até a temperatura ambiente foi realizada leitura da condutividade elétrica do extrato (CE_2). O EE foi expresso em porcentagem, estimado pela relação (BAJJI et al., 2001):

$$\% EE = [(CE_1/CE_2) * 100]$$

Em que:

EE = extravasamento de eletrólitos, %.

CE_1 = condutividade elétrica inicial, $\mu\text{S cm}^{-1}$;

CE_2 = condutividade elétrica final, $\mu\text{S cm}^{-1}$.

3.2.7.11 Avaliação do estado nutricional das plantas

Para avaliação do estado nutricional das plantas de *Helianthus tuberosus* L., ao final do experimento, foram tomadas amostras do material vegetal seco em estufa (parte aérea e raiz). A biomassa vegetal seca foi moída em moinho do tipo Willey, passando por digestão nitropeclórica a quente ($\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$, relação de 3:1). No extrato, foram determinados os

teores de P (espectrofotometria de luz visível), Ca^{2+} e Mg^{2+} (espectrofotometria de absorção atômica) e Na^+ e K^+ (fotometria de emissão de chama) (EMBRAPA, 2009).

Os teores de cloro (Cl^-) foram determinados em extratos obtidos por digestão seca. O material vegetal moído foi pesado e posto em cadinhos de porcelana e transferidos para incineração em mufla elétrica com controle de temperatura. A temperatura foi aumentada gradativamente até 500 °C e mantida por 3 horas. Após resfriamento, as cinzas das amostras foram colocadas em tubos, adicionando-se 25 mL de ácido nítrico (HNO_3 1 mol L^{-1}). A dosagem foi realizada por titulometria com solução de nitrato de prata (AgNO_3) (EMBRAPA, 2009).

3.2.7.12 Análises químicas do solo

Ao final do experimento, foram coletadas amostras de solo de cada tratamento para avaliação dos atributos químicos. As amostras foram postas para secar ao ar e a sombra, destorroadas e peneiradas em malha de 2 mm. Para determinação dos elementos da fase solúvel do solo, foi realizado o preparo da pasta saturada e a extração do extrato solúvel por meio de bomba de vácuo. No extrato da pasta saturada foram medidos a condutividade elétrica do solo (CE a 25 °C), o pH, determinando-se os cátions solúveis K^+ e Na^+ (fotometria de emissão de chama), e Ca^{2+} e Mg^{2+} (espectrofotometria de absorção atômica), e o ânion Cl^- (titulometria). Com os resultados, foi calculada a relação de adsorção de sódio (RAS) (RICHARDS, 1954; FREIRE et al., 2016).

Ainda no solo, foi medido o pH em água (1:2,5), e determinados os elementos trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+), extraídos com acetato de amônio (NH_4OAc) 1 mol L^{-1} a pH 7,0. Sendo K^+ e Na^+ determinados por fotometria de emissão de chama, e Ca^{2+} e Mg^{2+} por espectrofotometria de absorção atômica. Com os resultados, foram calculadas a capacidade de troca de cátions (CTC), a saturação por bases (V) e a porcentagem de sódio trocável (PST) (FREIRE et al., 2016).

Em função do pH ácido, no solo S3 também foi determinada a acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$), extraída com solução de acetato de cálcio [$(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca} \cdot \text{H}_2\text{O}$] 0,5 mol L^{-1} a pH 7,1-7,2 e titulada com solução de hidróxido de sódio 0,025 mol L^{-1} (NaOH) (EMBRAPA, 2009).

3.2.8 Análises estatísticas

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), sendo comparados pelo teste F a 1 e 5% de probabilidade ($p \leq 0,01$ ou $p \leq 0,05$). Quando identificado

efeito significativo na análise de variância, os dados obtidos em função dos diferentes tratamentos foram submetidos à análise de regressão, selecionando-se o modelo matemático que melhor se ajustou aos dados do experimento. As variáveis qualitativas com efeito significativo foram comparadas por teste de média de Tukey ($p \leq 0,05$). Utilizou-se o software estatístico Sisvar versão 5.6.

3.3 Resultados e Discussão

3.3.1 Número de folhas, diâmetro do caule e altura da planta

Na avaliação das variáveis biométricas aos 15 dias após o plantio, foi verificada interação significativa entre os fatores estudados (solo e água), o que pode ser observado pela análise da variância (Tabela 6).

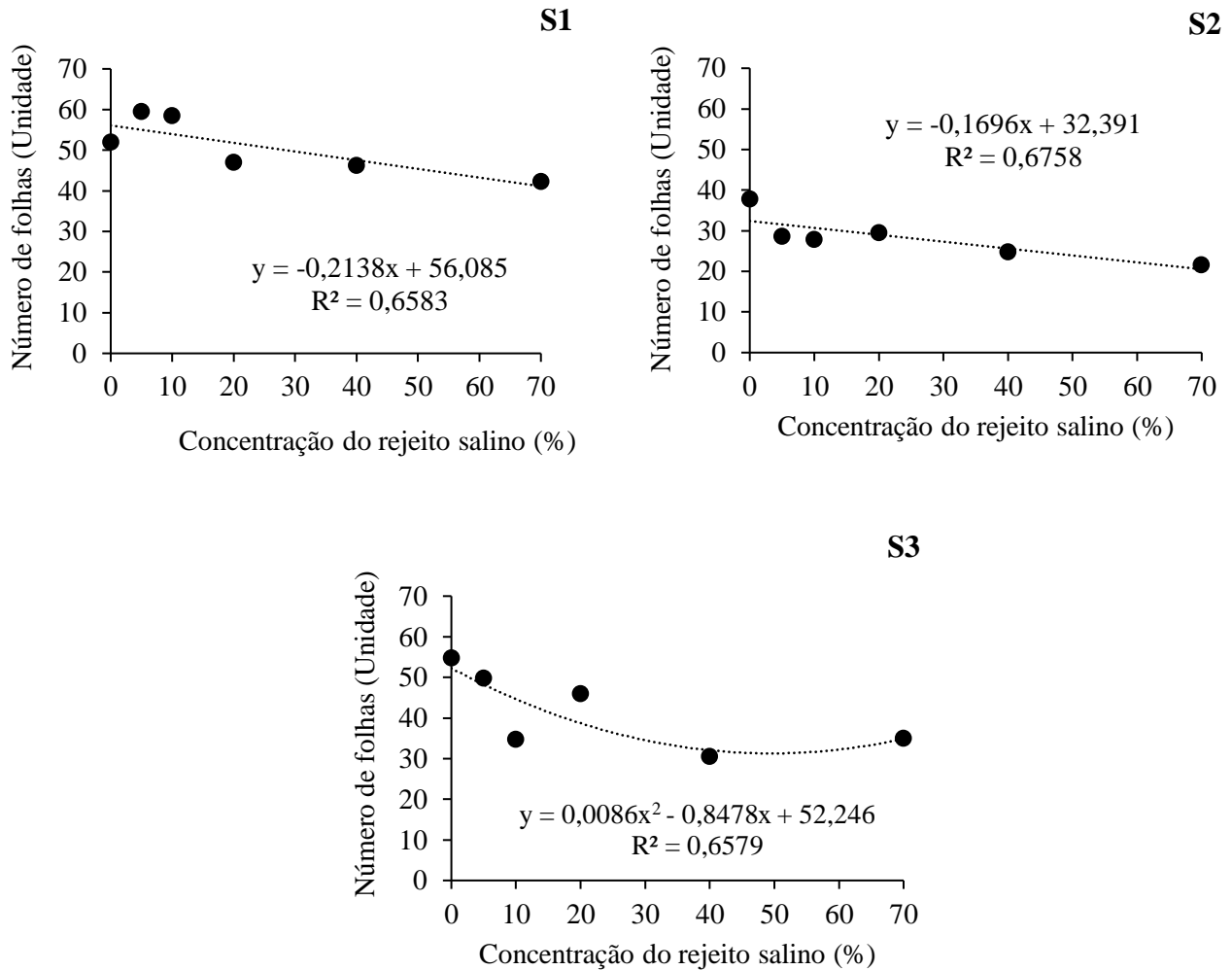
Tabela 6 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para os dados de número de folhas, diâmetro do caule e altura da planta de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos)

FV	GL	Quadrado médio		
		Número de folhas	Diâmetro do caule	Altura da planta
Bloco	3	8,48 ^{NS}	0,007 ^{NS}	11,64 ^{NS}
Solo	2	3109,62 ^{**}	23,92 ^{**}	3952,12 ^{**}
Água	5	456,10 ^{**}	1,58 ^{**}	667,76 ^{**}
Solo x Água	10	118,62 ^{**}	0,618 ^{**}	74,24 [*]
Resíduo	51	38,52	0,094	33,43
Total	71	-	-	-
CV (%)		15,39	8,24	14,61

FV: fontes de variação; GL: graus de liberdade; (**) significativo pelo teste F a 1% de probabilidade; (*) significativo pelo teste F a 5% de probabilidade; (^{NS}) não significativo pelo teste F; CV: coeficiente de variação.

Foram observados decréscimos lineares no número de folhas pelo aumento da concentração salina da água de irrigação, na ordem de 26,68 e 36,65% para os solos S1 e S2, respectivamente (Figura 1). Ainda em relação ao número de folhas nos solos S1 e S2, foi observado uma variação de 56,08 e 32,39 folhas sob a concentração 0% de rejeito salino e 41,11 e 20,51 folhas sob a concentração de 70% de rejeito salino, respectivamente, que representa um decréscimo de 0,38 e 0,52% a cada incremento de 10% de rejeito salino na água de irrigação. O número de folhas de *Helianthus tuberosus* L. no solo S3 ajustou-se ao modelo quadrático, sendo possível constatar o menor número de folhas com a concentração de 49,30% de rejeito salino, com 31,35 folhas por planta. A partir deste ponto, a estimativa foi de aumento até a concentração de 70%, com média 35,04 folhas por planta.

Figura 1 – Número de folhas de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos). Coeficientes da regressão significativos com $p \leq 0,01$ (**) e $p \leq 0,05$ (*)



A redução do número de folhas está diretamente associada ao excesso, principalmente, de cloreto. O alto acúmulo do elemento causa danos fitotóxicos, comprometendo atividades vitais, como a fotossíntese (NEWTON; MYERS; WEST, 1991). No estudo conduzido por Zhao et al. (2006), utilizando como fonte hídrica uma mistura salina à base de efluente da aquicultura e água subterrânea salobra, nas proporções de 1:1, 1:2, 1:3 e 1:4, respectivamente, no cultivo de *Helianthus tuberosus* L., foi possível observar decréscimo dos constituintes vegetais da parte aérea, quando comparado com o tratamento controle, irrigado com água doce. A perda de folhas pode ser atribuída, ainda, a um mecanismo de escape ao estresse, sendo uma maneira das plantas eliminarem as folhas mais velhas com alto teor de sais (WILLADINO; CÂMARA, 2010).

Aos 35 dias após a aplicação dos tratamentos com rejeito salino, foi observado que as plantas sob irrigação com as maiores proporções de rejeito (20, 40 e 70%) não suportaram e morreram nos solos S1 e S2, enquanto no solo S3 as plantas não conseguiram sobreviver apenas sob os tratamentos com 40 e 70% do rejeito salino. Na tabela 7 estão apresentados os resultados das análises da variância para as variáveis número de folhas, diâmetro do caule e altura das plantas aos 35 dias de aplicação dos tratamentos salinos.

Tabela 7 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para os dados das variáveis número de folhas, diâmetro do caule e altura da planta de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (35 dias após a aplicação dos tratamentos salinos)

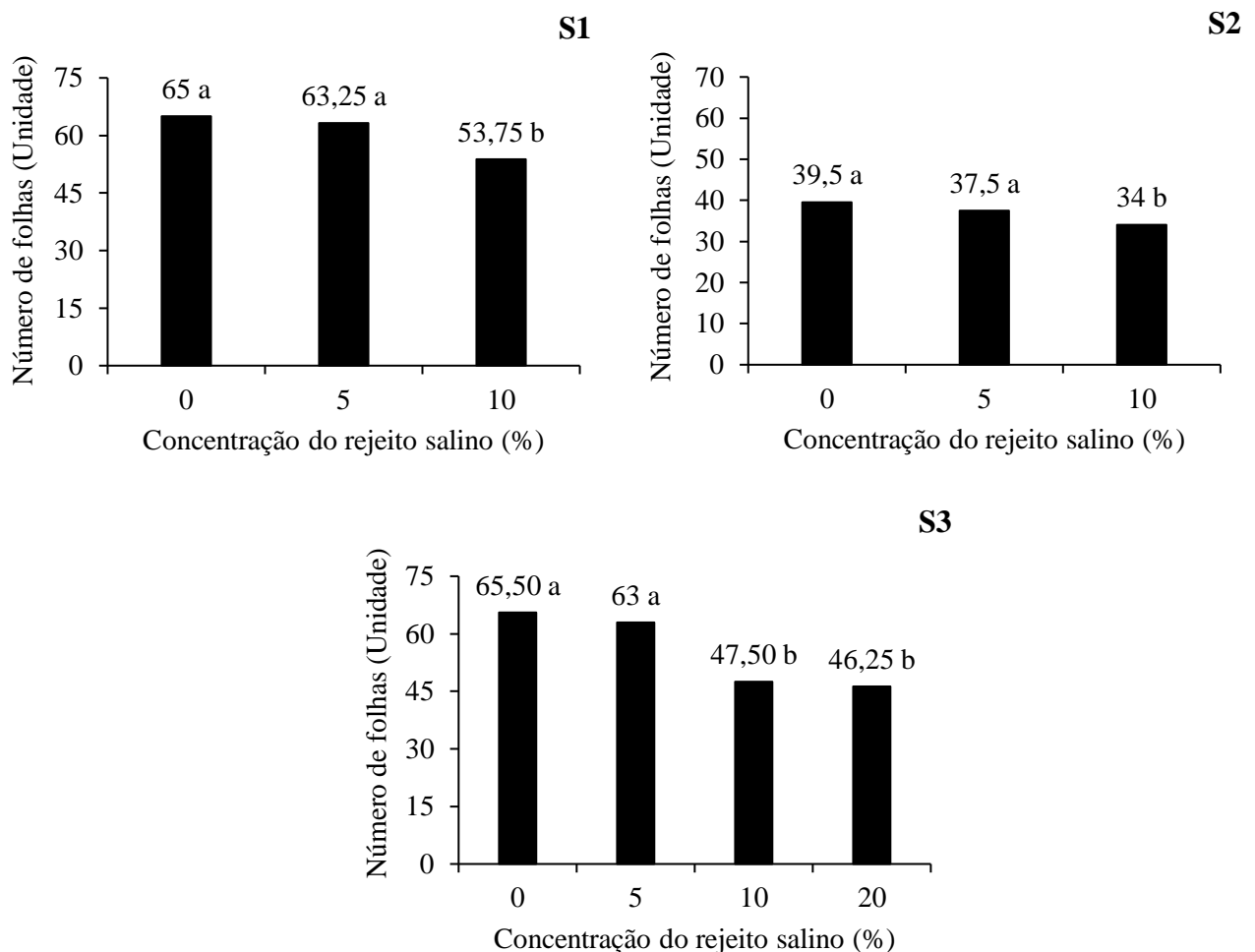
FV	GL	Quadrado médio - S1		
		Número de folhas	Diâmetro do caule	Altura da planta
Bloco	3	44,22 ^{NS}	0,170 ^{NS}	45,63 ^{NS}
Água	2	146,58 ^{**}	0,585 ^{NS}	193,08 [*]
Resíduo	6	16,80	0,152	16,97
Total	11			
CV (%)		6,76	7,94	7,24
FV	GL	Quadrado médio - S2		
		Número de folhas	Diâmetro do caule	Altura da planta
Bloco	3	1,11 ^{NS}	0,016 ^{NS}	33,55 ^{NS}
Água	2	31 ^{**}	0,103 [*]	259 ^{**}
Resíduo	6	2,1	0,018	18,55
Total	11			
CV (%)		3,93	4,18	11,05
FV	GL	Quadrado médio - S3		
		Número de folhas	Diâmetro do caule	Altura da planta
Bloco	3	53,06 ^{NS}	0,642 ^{NS}	96,41 ^{NS}
Água	3	407,72 ^{**}	0,943 ^{NS}	510,75 ^{**}
Resíduo	9	41,72	0,353	34,91
Total	15			
CV (%)		11,63	12,19	10,67

FV: fontes de variação; GL: graus de liberdade; (**) significativo pelo teste F a 1% de probabilidade; (*) significativo pelo teste F a 5% de probabilidade; (^{NS}) não significativo pelo teste F; CV: coeficiente de variação.

Quanto ao número de folhas, plantas cultivadas nos solos S1 e S2, aos 35 dias de aplicação dos tratamentos houve uma tendência de redução, especialmente no tratamento com

10% do rejeito salino, o qual diferiu dos tratamentos de 0 e 5% (Figura 2). No S3, os tratamentos de 10 e 20% tiveram a maior restrição para a variável número de folhas, não diferindo entre si.

Figura 2 – Número de folhas de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (35 dias após a aplicação dos tratamentos salinos). Colunas seguidas de mesma letra dentro de cada nível de proporção do rejeito salino não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)



A diminuição no número de folhas pode estar diretamente relacionada com o menor crescimento da planta devido à restrição na absorção de água e de nutrientes essenciais, ocasionando modificações morfológicas. A diminuição foliar também pode ser atribuída a mecanismos de aclimatação ao estresse, para manutenção de elevado potencial hídrico na planta, obtidos pela diminuição na transpiração (LIAVA et al., 2021).

Huang et al. (2012) testaram dois genótipos amplamente cultivados na China irrigados com água salina, visando avaliar sua aclimatação nas condições estressantes, e puderam

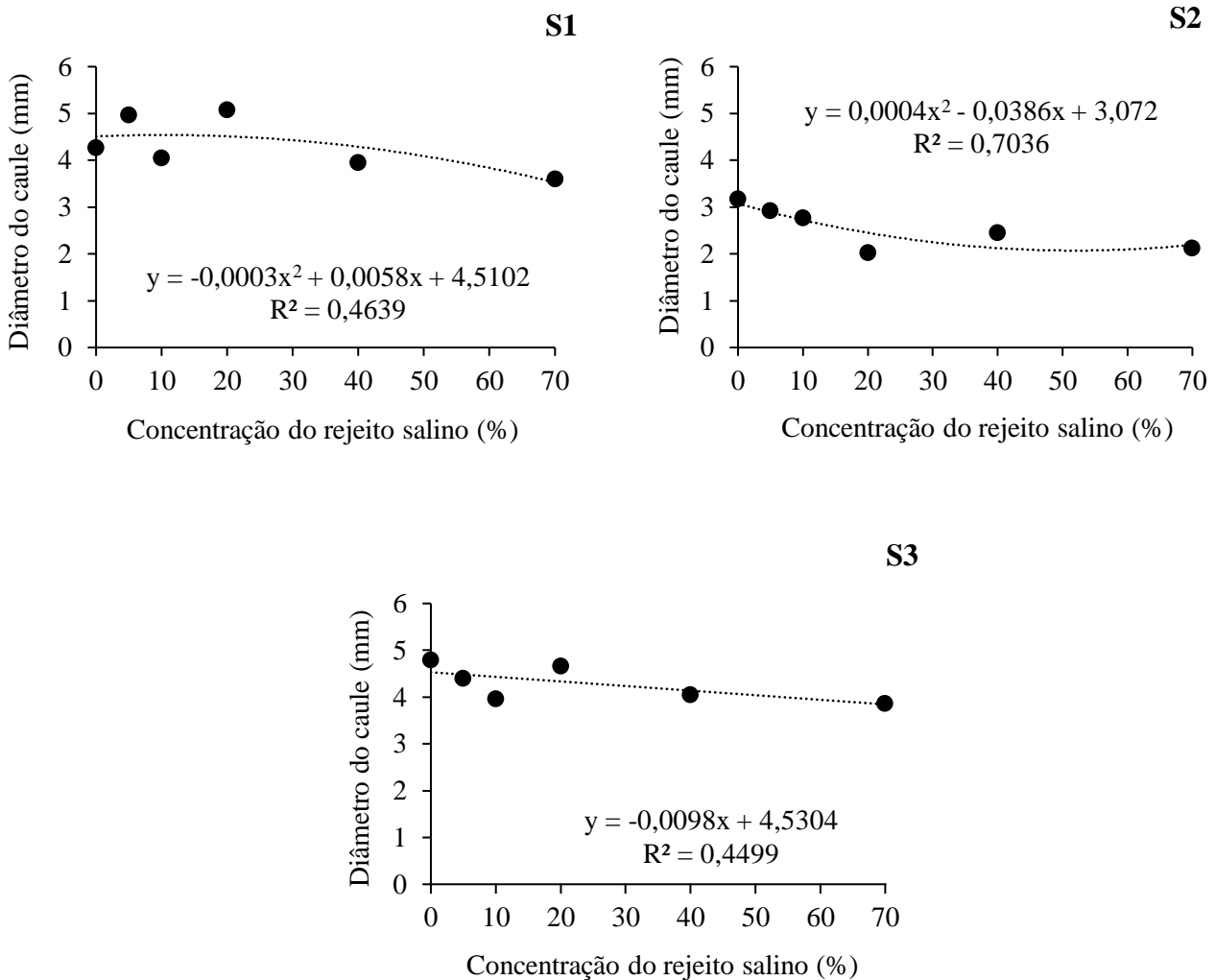
concluir que, mesmo os genótipos tendo apresentado tolerância ao estresse salino, quando se incrementou a salinidade da água de irrigação, as plantas tiveram redução da parte aérea, além de diminuição na expansão foliar. Os autores atribuem esta diminuição no tamanho da folha a mecanismos de tolerância ao estresse salino, principalmente, economia de água nos processos metabólicos e reserva de energia para combater o estresse, que resultou em uma redução nos constituintes morfológicos da planta (GUPTA; HUANG, 2014).

O aumento na concentração do rejeito salino da água de irrigação, após 15 dias de aplicação, proporcionou reduções no diâmetro do caule de *Helianthus tuberosus* L. nos três solos avaliados (Figura 3). Ajustando-se ao modelo matemático do tipo quadrático, no solo S1 foi observado o maior diâmetro do caule de 4,53 mm até uma concentração do rejeito salino de 9,66%. Ao comparar o diâmetro entre a menor e maior concentração salina, observou-se uma redução estimada de 23,59%, com valores de 4,51 mm na concentração 0% e de 3,45 mm na de 70%.

O diâmetro do caule também foi ajustado ao modelo quadrático no solo S2, com 3,08 e 2,33 mm, respectivamente, para 0 e 70% de rejeito salino na água de irrigação, o que representa uma redução de 24,15% (Figura 3). Por fim, para as plantas no solo S3, o modelo foi linear e foram estimados decréscimos no diâmetro do caule de 15,14% em função do aumento da concentração salina da água de irrigação. Foi observada uma variação de 4,53 mm sob a concentração de 0% para 3,84 mm sob a concentração de 70%, o que representa uma redução de 0,21% a cada incremento de 10% na concentração do rejeito salino.

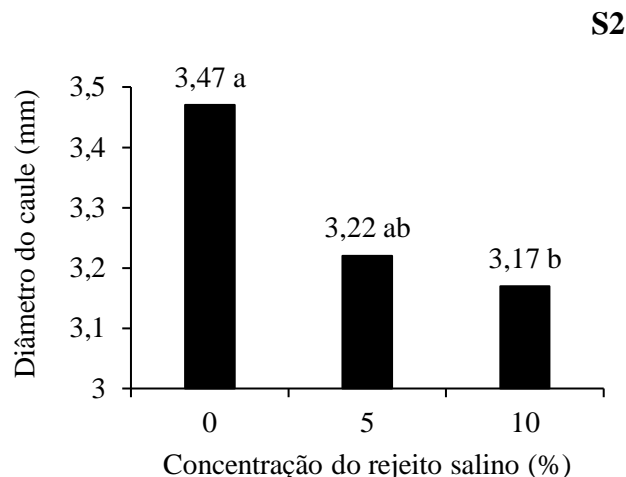
A aplicação dos tratamentos salinos por 35 dias atuou sobre o diâmetro do caule das plantas de *Helianthus tuberosus* L. causando redução, demonstrando que, independente do solo cultivado, o excesso de sais na água de irrigação tem a capacidade de reduzir o desenvolvimento dos órgãos vegetativos da planta. Dentre os três solos estudados, foi observado efeito significativo apenas no solo S2 (Tabela 7). Em média, o diâmetro do caule das plantas nos solos S1 e S3, atingiram valores de 4,91 e 4,88 mm, respectivamente. No solo S3 o diâmetro médio do caule foi de 3,47 a 3,17 mm entre as águas de 0 e 10% de rejeito (Figura 4).

Figura 3 – Diâmetro do caule de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos). Coeficientes da regressão significativos com $p \leq 0,01$ (**) e $p \leq 0,05$ (*)



Tais resultados corroboram os de outros autores que verificaram reduções no diâmetro do caule das plantas com o aumento da salinidade. Long et al. (2010a), objetivando explorar respostas morfológicas em duas cultivares de *Helianthus tuberosus* L. irrigadas com água salina nas concentrações de 0, 30 e 50%, oriundas da mistura de água de poço com água do mar, com CE_a de 2,51, 13,78 e 20,46 $dS\ m^{-1}$, constataram diferenças significativas no diâmetro do caule, com a cultivar N1 apresentando maiores valores que a cultivar N7. Entre os tratamentos salinos, a cultivar N1 teve aumento nos tratamentos de 0 a 30%, havendo decréscimo quando irrigada com concentração de 50%, enquanto a cultivar N7 teve reduções no diâmetro em todos os tratamentos com incremento de sais. Os autores concluíram que a cultivar N1 sofreu efeitos menos danosos dos tratamentos salinos em comparação à N7, evidenciando sua maior capacidade de tolerância.

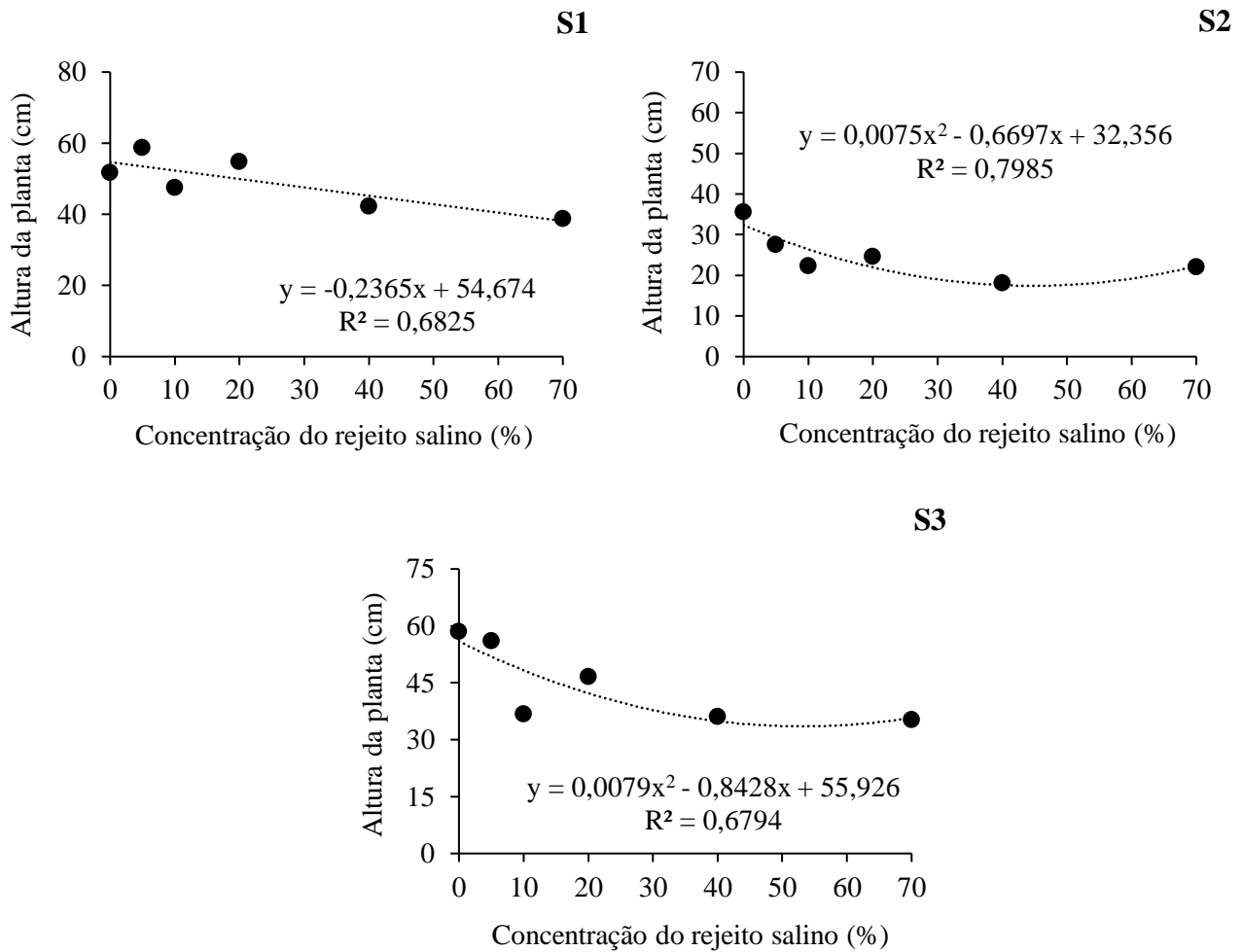
Figura 4 – Diâmetro do caule de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (35 dias após a aplicação dos tratamentos salinos). Colunas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)



Ainda se tratando do crescimento da planta, a assimilação do NO_3^- sob condições salinas é particularmente prejudicada, e quando, é verificada a inibição da absorção deste íon, é notória a redução no crescimento dos órgãos vegetais da planta (MUNNS; TESTER, 2008; ASHRAF et al., 2018a).

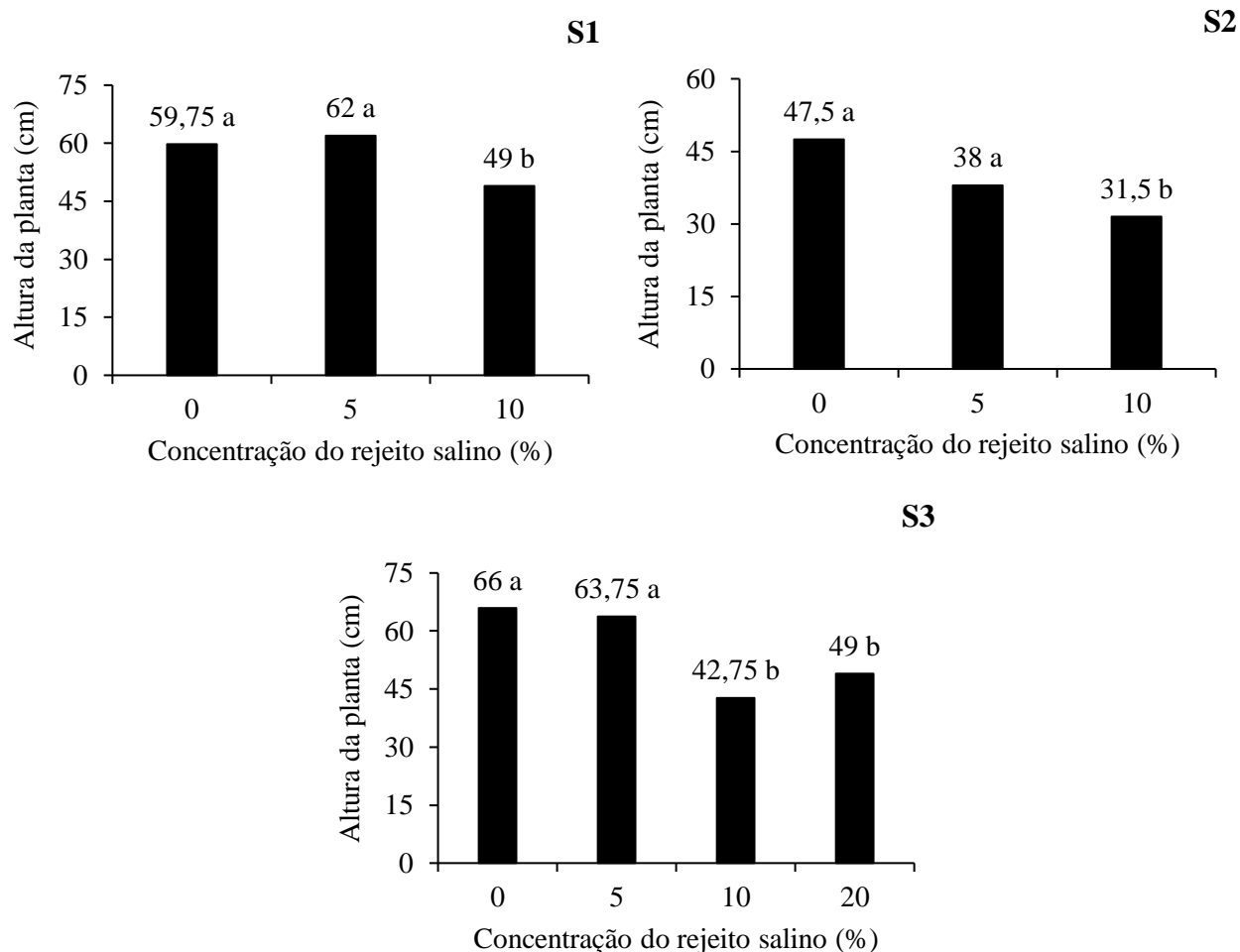
Para os três solos, após 15 dias de tratamento, houve diminuição na altura das plantas de *Helianthus tuberosus* L. em função da salinidade da água de irrigação (Figura 5). As plantas cultivadas no solo S1 tiveram decréscimo de altura ajustado ao modelo linear, com redução percentual de 30,27% entre os tratamentos de menor e maior concentração salina da água de irrigação, com altura estimada de 54,67 e 38,11 cm nas concentrações 0 e 70%, respectivamente. Já nos solos S2 e S3, a altura das plantas foi melhor ajustada ao modelo quadrático, havendo uma redução nos valores quando a concentração salina atingiu 44,64 e 53,34%, respectivamente. Destacam-se reduções percentuais de 31,30 (solo S2) e 36,26% (solo S3) quando as plantas foram irrigadas com água sob a menor e a maior concentração do rejeito salino (Figura 5).

Figura 5 – Altura de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos). Coeficientes da regressão significativos com $p \leq 0,01$ (**) e $p \leq 0,05$ (*)



Aos 35 dias de aplicação das águas salinas, as reduções na altura das plantas foram observadas nos três solos deste estudo (Figura 6). Em média, as plantas irrigadas com águas de 0 e 5% de rejeito tiveram maiores alturas em relação as que receberam águas com 10% de rejeito (S1 e S2), ou 10 e 20% (S3). Este decréscimo de altura das plantas com aplicação de proporções de 10 e 20%, bem como morte das plantas a valores maiores de rejeito na formulação das águas é indicativo da influência nociva dos sais no crescimento desta espécie.

Figura 6 – Altura de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (35 dias após a aplicação dos tratamentos salinos). Colunas seguidas de mesma letra dentro de cada nível de proporção do rejeito salino não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)



As reduções na altura das plantas avaliadas configuram um dos principais efeitos da salinidade, comportamento este encontrado em diversos estudos envolvendo estresses abióticos. Em geral, o excesso de sais no solo e na água de irrigação combinados, podem resultar em danos ao crescimento e desenvolvimento, afetados principalmente por distúrbios em processos fisiológicos. Yang et al. (2021) estudaram a tolerância de duas variedades de *Helianthus tuberosus* L. ao estresse salino, cultivadas em solução hidropônica e irrigadas com solução salina a base de NaCl, nas concentrações de 0, 100 e 200 mM. Segundo os autores, a altura das plantas foi influenciada pelo estresse salino, com a variedade M1 apresentando maiores valores que a variedade N1. Estes resultados indicam uma maior tolerância ao ambiente estressante pela variedade M1.

Já os resultados apresentados por Shao et al. (2023) evidenciaram uma tendência diferente ao do presente estudo, no qual os autores cultivaram plantas de *Helianthus tuberosus* L. em solos com alta e baixa salinidade e, mesmo sob condições estressantes, houve um aumento na altura das plantas, nos dois tratamentos testados, mas com as plantas do tratamento de baixa salinidade (357 cm) apresentando os maiores picos quando comparados ao tratamento com alta salinidade do solo (160 cm). Acredita-se que a boa aclimação das plantas aos solos com salinidade, veio pelo efeito positivo nas taxas da síntese de açúcares não redutores (frutanos) nos tubérculos (BHAGIA et al., 2018).

3.3.2 Produção de biomassa

Ao final da fase experimental de 70 dias, com a coleta da planta, foram obtidos os resultados de produção de biomassa por fração avaliada. Como a interação entre as águas salinas aplicadas e os solos não foi significativa, optou-se por apresentar os dados da ANOVA entre os tratamentos salinos dentro de cada solo (Tabela 8).

No solo S1, a produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) teve efeito significativo da salinidade das águas aplicadas pelo teste F ($p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$, respectivamente). Já no solo S2, apenas a variável MFPA foi influenciada pelos tratamentos salinos ($p \leq 0,05$), enquanto no solo S3, a água salina exerceu efeito significativo sobre todas as variáveis de produção estudadas ($p \leq 0,01$ ou $p \leq 0,05$).

O incremento nos níveis de salinidade da água de irrigação proporcionou decréscimo na MSPA e MSR no solo S1 (Figura 7), com reduções percentuais de 31,58 e 55,62%, respectivamente, entre a menor e maior concentração salina. Tal comportamento também foi demonstrado por Long, Mehta e Liu (2008) em estudos com *Helianthus tuberosus* L. cultivados sob irrigação com água salina em diferentes proporções. Quando comparados os tratamentos ao controle, apenas na concentração mais salina de 25%, foi observada diminuição significativa de produção. Os autores creditam estes efeitos às respostas das plantas à redução na absorção de água e potencialização do estresse oxidativo, com aumento substancial na taxa de peroxidação lipídica (ASHRAF et al., 2018b).

Tabela 8 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para os dados das variáveis matéria fresca da parte aérea (MFPA), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria fresca raiz (MFR) e matéria seca raiz (MSR) de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce

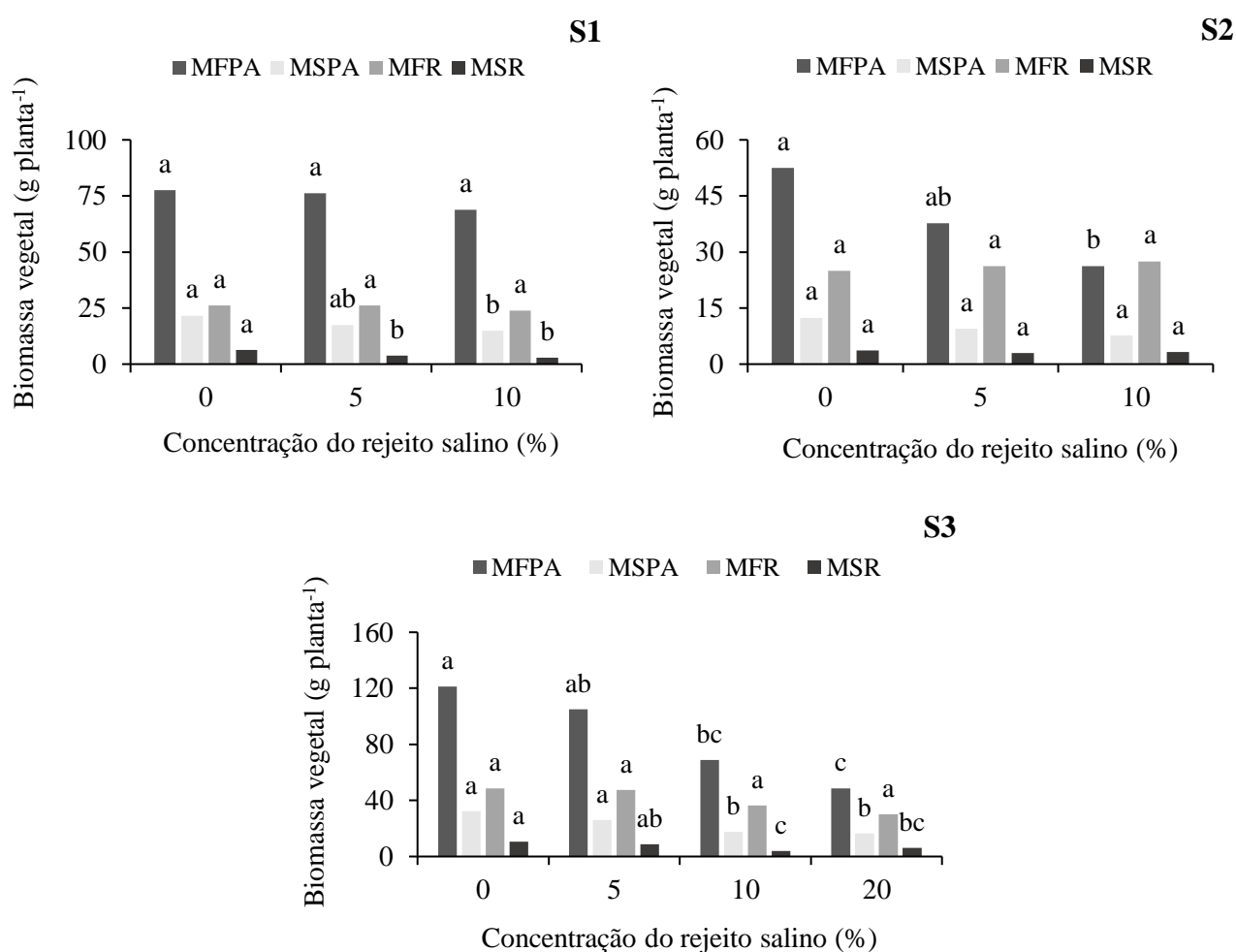
FV	GL	Quadrado médio - S1			
		MFPA	MSPA	MFR	MSR
Bloco	3	25,00 ^{NS}	1,29 ^{NS}	2,08 ^{NS}	1,12 ^{NS}
Água	2	89,58 ^{NS}	47,17*	8,33 ^{NS}	12,62**
Resíduo	6	31,25	5,93	41,66	0,800
Total	11	-	-	-	-
CV (%)		7,54	13,61	25,40	20,96
FV	GL	Quadrado médio - S2			
		MFPA	MSPA	MFR	MSR
Bloco	3	247,22 ^{NS}	2,78 ^{NS}	24,30 ^{NS}	0,408 ^{NS}
Água	2	731,25*	22,47 ^{NS}	6,25 ^{NS}	0,568 ^{NS}
Resíduo	6	78,47	6,29	45,13	0,335
Total	11	-	-	-	-
CV (%)		23,62	25,47	25,59	17,69
FV	GL	Quadrado médio - S3			
		MFPA	MSPA	MFR	MSR
Bloco	3	364,02 ^{NS}	36,16 ^{NS}	22,91 ^{NS}	11,04 ^{NS}
Água	2	4384,89**	221,14**	327,08*	33,66**
Resíduo	6	273,78	13,81	82,63	3,38
Total	11	-	-	-	-
CV (%)		19,25	16,09	22,38	24,72

FV: fontes de variação; GL: graus de liberdade; (**) significativo pelo teste F a 1% de probabilidade; (*) significativo pelo teste F a 5% de probabilidade; (^{NS}) não significativo pelo teste F; CV: coeficiente de variação.

No solo S2, só foi identificado efeito significativo apenas na variável MFPA, com redução na ordem de 28,10% para a concentração de 5% de rejeito e de 50% na concentração de 10% de rejeito, quando comparados ao controle (Figura 7). O cultivo conduzido por Yang et al. (2021) também constatou reduções na matéria fresca, com a cultivar moderadamente tolerante (N1) tendo um decréscimo de 23,7 e 42,5% nos tratamentos com NaCl de 100 e 200 mM, respectivamente, e a cultivar (M1) com redução de 16,5 e 34,2% nas concentrações de 100 e 200 mM, respectivamente. Esses resultados indicam que cultivar M1 teve uma tolerância mais forte ao estresse salino em comparação com N1. A salinidade da água de irrigação influenciou na redução significativa de produção da planta, devido ao efeito osmótico dos sais em torno das raízes, destacando o Na⁺, que se acumulou principalmente nas raízes, seguido pelo caule e depois nas folhas. Isto implica na redução da fotossíntese e causa desbalanço energético

associado ao crescimento da planta, transferido para funções de tolerância ao estresse, manutenção da integridade das membranas, síntese de solutos compatíveis para a osmorregulação e regulação do transporte de íons nos órgãos da planta (PARIHAR et al., 2015).

Figura 7 – Produção de biomassa vegetal de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce. Colunas de mesma coloração seguidas de mesma letra dentro de cada nível de proporção crescente do rejeito salino não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)



Todas as variáveis de produção avaliadas nas plantas cultivadas no solo S3 responderam significativamente ao uso das águas de irrigação salinas (Figura 7). Houve redução com o aumento da salinidade da água, com decréscimos de 59,80% para MFPA, 49,03% para MSPA, 38,40% para MFR e 41,61% para MSR, quando comparadas as plantas irrigadas com água de abastecimento (controle) e água salina na proporção de 20% de rejeito (Figura 7).

Gengmao et al. (2010) conduziram estudo focado na viabilidade do uso de águas residuais de aquicultura na irrigação do cultivo de *Helianthus tuberosus* L. e *Helianthus annuus* L., com objetivo de identificar a tolerância das espécies da mesma família e os impactos da fonte hídrica aquícola no sistema solo-planta. Os autores narraram uma tendência de queda na produção de biomassa da parte aérea e raiz de *Helianthus tuberosus* L., mas consideraram que as plantas suportaram irrigação com águas residuais nas proporções de 1:3 (13,2 dS m⁻¹) e 1:4 (11,4 dS m⁻¹). Concluíram, também, que esta espécie pode ser irrigada com águas de baixa salinidade. Tais argumentos corroboram com o presente estudo, em que, nas concentrações de 5 e 10% não houve efeito significativo. Ainda no estudo Gengmao et al. (2010), a espécie *Helianthus annuus* L. quando comparada à *Helianthus tuberosus* L., mostrou-se altamente sensível aos sais e sua irrigação com fontes hídricas salinas não é considerada a mais indicada. Já a espécie *Helianthus tuberosus* L. demonstrou que as águas residuárias da aquicultura adequadamente diluídas podem ser usadas com sucesso na irrigação com maior rendimento potencial da cultura.

Reduções na MSPA e MSR foram relatadas por Long et al. (2010b), aplicando água salina nas proporções de 0, 10 e 25%, com condutividade elétrica (CE) de 0,002, 5,88 e 10,44 dS m⁻¹, respectivamente. Os autores concluíram que as plantas irrigadas com água doce não apresentaram diferenças significativas (N1 e N7), mas com incremento percentual da água salina para 25%, houve aumento de cerca de 7,86 e 11,65% na parte aérea e 0,55 e 1,84% na raiz, das cultivares N1 e N7, respectivamente.

Safdar et al. (2019) atribuíram ao excesso de sais distúrbios no metabolismo vegetal, como principal agente do decréscimo da biomassa. Diversos processos biomoleculares são afetados pela diminuição do potencial osmótico, restringindo a absorção de água pela planta. Em seguida, é desencadeada uma sequência de reações, que levam à restrição da abertura estomática para assimilação de CO₂. A acumulação de sais de elementos tóxicos nas folhas também pode reduzir a produção de biomassa, visto que, neste órgão, os sais tendem a se concentrar no apoplasto e desidratar as células, além de acúmulos no citoplasma e cloroplastos, inibindo a atividade da fotossíntese. Já as raízes, também apresentam alta sensibilidade ao estresse salino, sendo o órgão que está diretamente exposto ao excesso de sais presentes na solução do solo, causando decréscimos na produção de sua biomassa (MUNNS; TESTER, 2008; GUIMARÃES et al., 2013).

3.3.3 Trocas gasosas

Em geral, as variáveis associadas a trocas gasosas foram influenciadas pela interação solos x águas salinas nas medidas realizadas aos 15 dias do plantio (Tabela 9). Os resultados desta interação foram significativos ($p \leq 0,01$) para as variáveis fotossíntese (A), condutância estomática (gs), eficiência instantânea do uso da água (A/E) e eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s). Por outro lado, as variáveis transpiração (E) e concentração interna de CO_2 (Ci) não foram influenciadas pela interação ($p \geq 0,05$), mas tiveram efeito significativo de forma isolada. Em que, E teve efeito isolado de solo ($p \leq 0,01$) e de concentração salina da água ($p \leq 0,01$), enquanto Ci teve efeito significativo apenas de concentração salina da água ($p \leq 0,01$).

Tabela 9 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para os dados das variáveis fotossíntese (A), condutância estomática (gs), transpiração (E), concentração interna de CO_2 (Ci), eficiência instantânea do uso da água (A/E) e eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) em plantas de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos)

FV	GL	Quadrado médio					
		A	gs	E	Ci	A/E	A/g_s
Bloco	3	13,37 ^{NS}	0,052 ^{NS}	10,68*	855,77 ^{NS}	0,207 ^{NS}	138,42 ^{NS}
Solo	2	335,27**	0,283**	29,67**	762,52 ^{NS}	0,692**	1975,50**
Água	5	1478,37**	0,863**	256,32**	6499,32**	5,29**	1790,51**
Solo x Água	10	82,47**	0,070*	6,02 ^{NS}	819,68 ^{NS}	0,981**	751,36**
Resíduo	51	11,74	0,026	3,38	558,90	0,128	156,64
Total	71	-	-	-	-	-	-
CV (%)		26,83	44,96	28,32	7,98	22,64	36,34

FV: fontes de variação; GL: graus de liberdade; (**) significativo pelo teste F a 1% de probabilidade; (*) significativo pelo teste F a 5% de probabilidade; (^{NS}) não significativo pelo teste F; CV: coeficiente de variação.

Na segunda avaliação, aos 35 dias após a aplicação dos tratamentos com águas salinas (Tabela 10), os resultados da ANOVA revelaram haver influência das misturas do rejeito nas águas sobre as plantas cultivadas no solo S2 para as variáveis fotossíntese (A), concentração interna de CO_2 (Ci) e eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s); e no solo S3 para fotossíntese (A), transpiração (E) e eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s), com efeitos significativos pelo teste F ($p \leq 0,05$ ou $p \leq 0,01$). Já no solo S1, não foi constatado nenhum efeito significativo do uso das águas salinas nas variáveis avaliadas ($p > 0,05$).

Tabela 10 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para os dados das variáveis fotossíntese (*A*), condutância estomática (*gs*), transpiração (*E*), concentração interna de CO₂ (*Ci*), eficiência instantânea do uso da água (*A/E*) e eficiência intrínseca do uso da água (*A/g_s*) em plantas de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (35 dias após a aplicação dos tratamentos salinos)

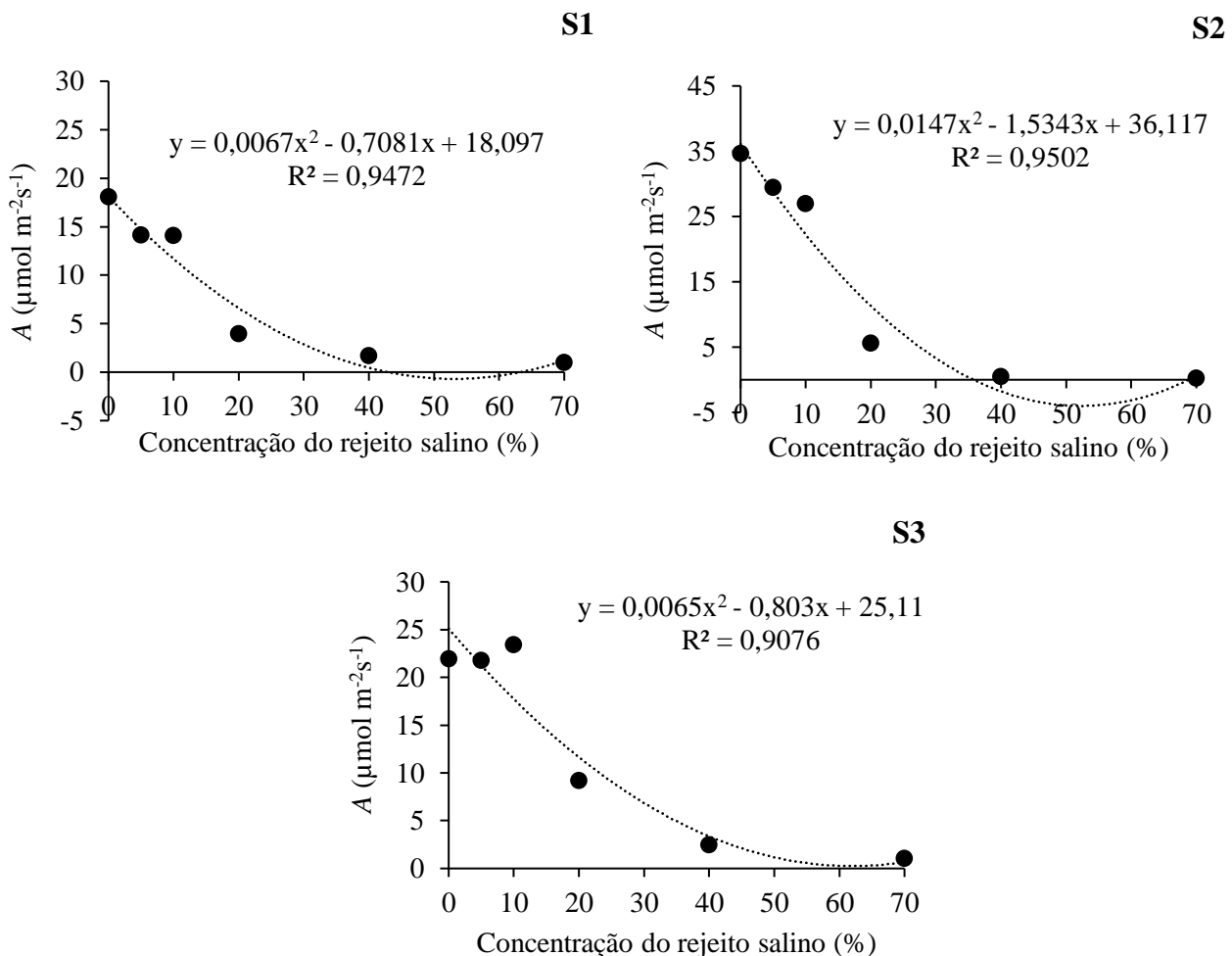
FV	GL	Quadrado médio - S1					
		<i>A</i>	<i>gs</i>	<i>E</i>	<i>Ci</i>	<i>A/E</i>	<i>A/g_s</i>
Bloco	3	50,16 ^{NS}	0,043 ^{NS}	13 ^{NS}	28,26 ^{NS}	0,001 ^{NS}	280,56 ^{NS}
Água	2	22,29 ^{NS}	0,001 ^{NS}	4,72 ^{NS}	61,45 ^{NS}	0,041 ^{NS}	21,51 ^{NS}
Resíduo	6	16,93	0,018	5,50	101,34	0,019	149,12
Total	11						
CV (%)		36,03	61,51	40	3,66	7,22	21,04
FV	GL	Quadrado médio - S2					
		<i>A</i>	<i>gs</i>	<i>E</i>	<i>Ci</i>	<i>A/E</i>	<i>A/g_s</i>
Bloco	3	25,55 ^{NS}	0,009 ^{NS}	6,61*	244,93 ^{NS}	0,349 ^{NS}	603,18 ^{NS}
Água	2	46,28*	0,011 ^{NS}	2,61 ^{NS}	1471,31*	2,42 ^{NS}	14242,49*
Resíduo	6	8,86	0,005	1,34	170,47	0,523	719,38
Total	11						
CV (%)		40,04	65,14	33,75	4,99	32,42	24,55
FV	GL	Quadrado médio - S3					
		<i>A</i>	<i>gs</i>	<i>E</i>	<i>Ci</i>	<i>A/E</i>	<i>A/g_s</i>
Bloco	3	14,90 ^{NS}	0,134 ^{NS}	3,08 ^{NS}	139,59 ^{NS}	0,043 ^{NS}	1112,97*
Água	3	39,80*	0,091 ^{NS}	8,01**	606,88 ^{NS}	0,140 ^{NS}	1571,24*
Resíduo	9	6,85	0,084	1,05	179,20	0,068	257,17
Total	15						
CV (%)		26,71	130,38	23,46	5,09	11,91	22,98

FV: fontes de variação; GL: graus de liberdade; (**) significativo pelo teste F a 1% de probabilidade; (*) significativo pelo teste F a 5% de probabilidade; (^{NS}) não significativo pelo teste F; CV: coeficiente de variação.

Reduções nas taxas de trocas gasosas foliares em plantas de *Helianthus tuberosus* L. causada pelo estresse salino, foram identificadas aos 15 dias de irrigação com proporções do rejeito salino. Na fotossíntese (*A*), observaram-se decréscimos em todas as plantas com o aumento dos níveis de salinidade da água de irrigação e nos diferentes solos cultivados, sendo o modelo do tipo polinomial quadrático com melhor ajuste (Figura 8).

Tal comportamento resultou em uma menor taxa fotossintética quando a concentração do rejeito salino atingiu 52,84% no solo S1, 52,18% no solo S2 e 61,76% no solo S3 (Figura 8). A partir deste ponto de inflexão houve um incremento da A quando a concentração se elevou até 70%. Vale destacar uma discrepante diminuição na atividade da A quando comparadas as plantas irrigadas com águas a 0% e 70% de rejeito salino. Percentualmente, no solo S1 ocorreu redução de 92,48%, com a taxa caindo de 18,10 para 1,36 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Já no solo S2, houve uma queda de 97,93%, reduzindo de 36,11 para 0,74 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. E no solo S3, a diminuição foi de 97%, com redução estimada de 25,11 para 0,75 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

Figura 8 – Fotossíntese (A) de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos). Coeficientes da regressão significativos com $p \leq 0,01$ (**) e $p \leq 0,05$ (*)

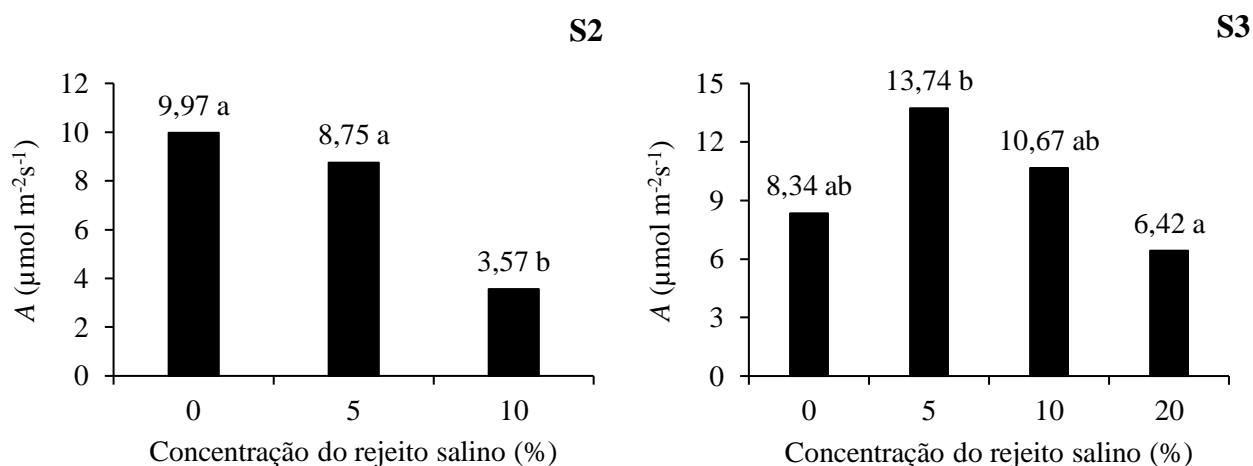


Aos 35 dias, as plantas de *Helianthus tuberosus* L. em condições de estresse salino tiveram a mesma tendência de redução da A , mas com resultados significativos apenas nos solos S2 e S3, com reduções expressivas desta variável nas plantas irrigadas com águas de proporções

de 10 e 20% de rejeito (Figura 9). No solo S1, as taxas fotossintéticas não tiveram influência da salinidade da água de irrigação, atingindo valores médios em torno de $11,42 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. A manutenção ou menor redução da taxa fotossintética pode estar diretamente relacionada ao aumento da produção de fotoassimilados, visando mitigar condições impostas pelo estresse salino (ANDRADE et al., 2018).

Yan et al. (2018b), em estudo com *Helianthus tuberosus* L., relataram que a *A* diminuiu sob influência do estresse salino. Após avaliação consecutiva durante 4 dias, foi verificada uma redução de 56,54, 74,31 e 76,86%, sob a condição estressante. Oliveira et al. (2017) associaram tais reduções ao efeito osmótico sobre o metabolismo da planta. O uso intensivo de fontes hídricas salinas acima do limiar da cultura, reduziu acentuadamente a taxa fotossintética, principalmente, em decorrência do fechamento parcial dos estômatos. Dias et al. (2016) identificou em estudo com a cultivar Stampede que a mesma tolera uma salinidade moderada ($\text{CEa} = 6,6 \text{ dS m}^{-1}$). He et al. (2021) creditaram tal mecanismo a uma forma de autoproteção e estratégia preventiva ao estresse salino, porém, com efeitos colaterais no transporte interno de CO_2 , danos no aparelho fotossintético, alterações bioquímicas prejudiciais a eficiência fotossintética, além de reduções morfológicas no tamanho das folhas (SILVA et al., 2017).

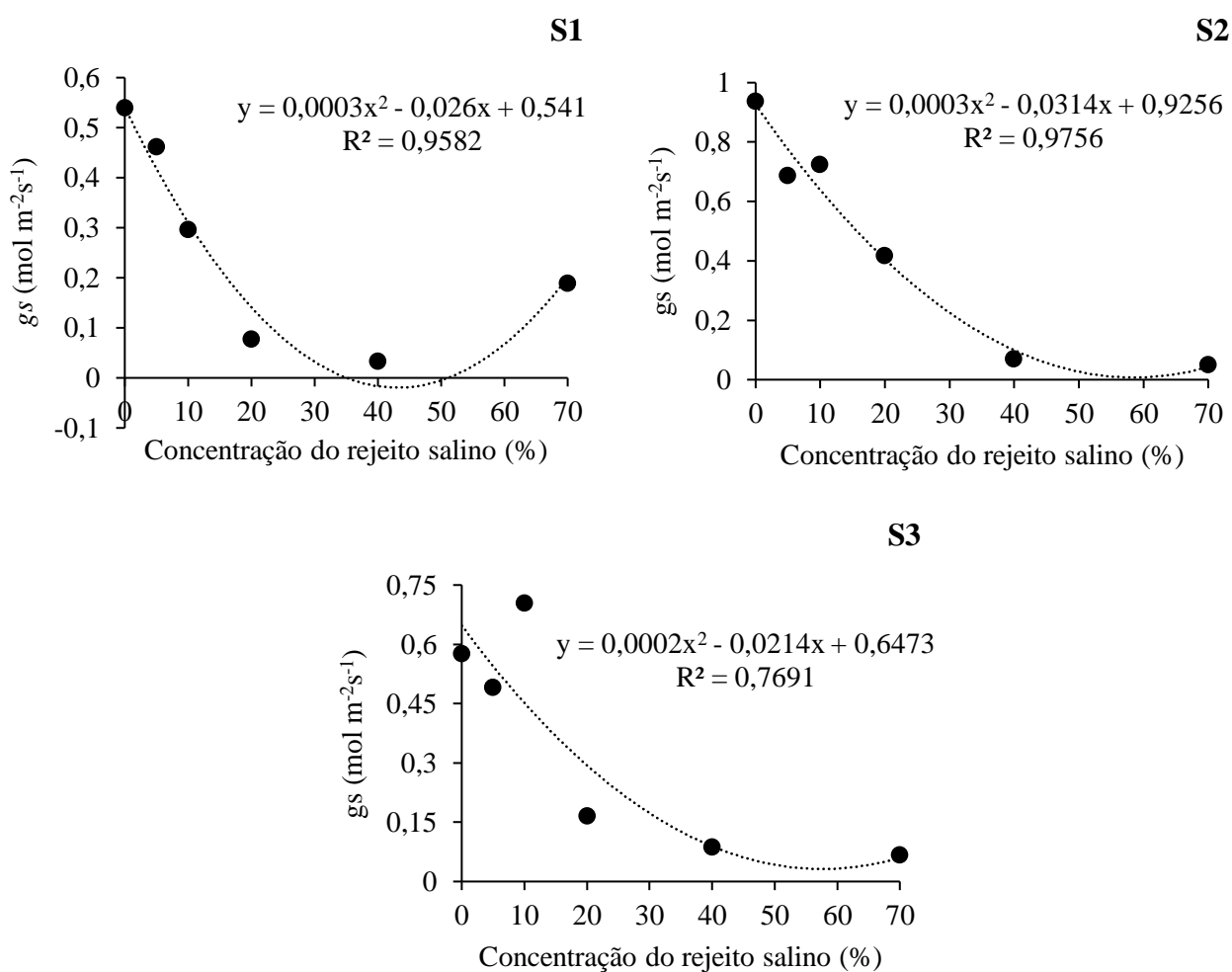
Figura 9 – Fotossíntese (*A*) de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (35 dias após a aplicação dos tratamentos salinos). Colunas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)



Na figura 10, são apresentadas reduções na condutância estomática (*g_s*) das plantas de *Helianthus tuberosus* L. em resposta à irrigação das plantas com águas de diferentes proporções de rejeito salino nos três solos, aos 15 dias após a primeira irrigação com a fonte salina. Esta

variável também teve diminuição com o aumento da salinidade das águas, seguindo modelo quadrático para todos os solos. Os menores valores de g_s resultaram da aplicação de 43,33% do rejeito salino no solo S1, de 53,50% no solo S3 e de 52,33% no solo S2.

Figura 10 – Condutância estomática (g_s) de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos). Coeficientes da regressão significativos com $p \leq 0,01$ (**) e $p \leq 0,05$ (*)



Nas plantas do solo S3 foi identificada a maior queda da g_s em valores percentuais, comparando-se plantas irrigadas com as águas de concentração com 0 e 70% do rejeito. A redução chegou a 80%, de $0,6473 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (0%) a $0,1293 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (70%), enquanto nas plantas dos solos S1 e S2, as reduções estimadas foram de 64,70 e 78,65%, respectivamente, com a g_s caindo de $0,5410 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (0%) para $0,1910 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (70%) no solo S1, e de $0,9256 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (0%) para $0,1976 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (70%) no solo S2.

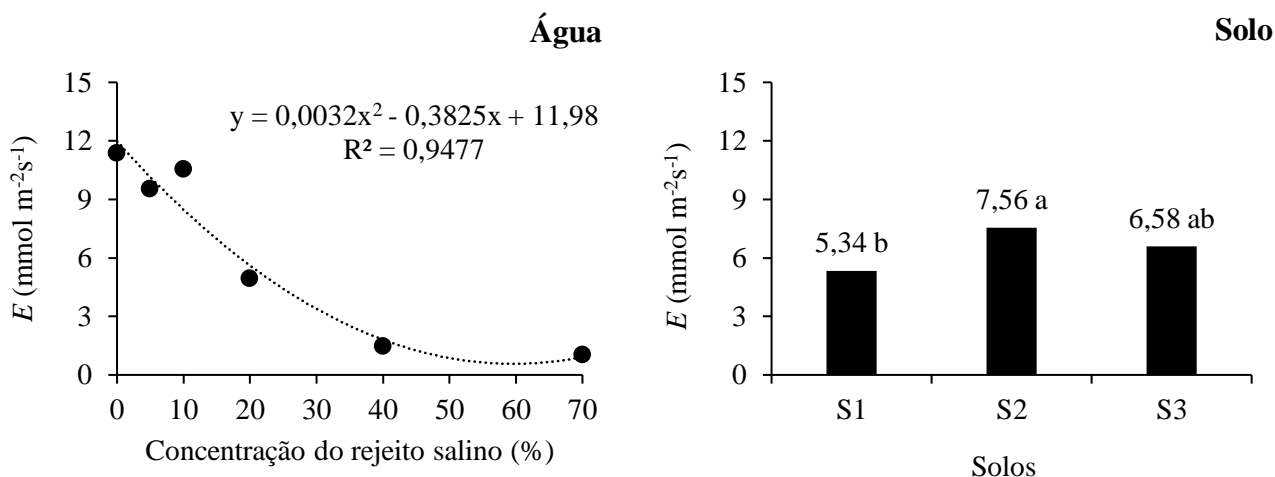
Ainda com relação a g_s , com o prolongamento do ciclo experimental na avaliação aos 35 dias sob irrigação salina, a variável em estudo não teve interferência dos sais nas águas aplicadas sobre esta variável fisiológica analisada para os três solos em estudo (Tabela 10). Valendo ressaltar que apenas as plantas dos tratamentos até a proporção de 10% de rejeito salino sobreviveram nos solos S1 e S2 e, no solo S3 até 20%. Em média, as plantas de *Helianthus tuberosus* L. atingiram valores de g_s de $0,222 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ no solo S1, $0,114 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ no solo S2 e $0,223 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ no solo S3.

Os resultados aqui apresentados corroboram com as observações de Yan et al. (2022), que identificaram reduções significativas na g_s após dois dias de aplicação de água salina nas concentrações de 100 e 200 mM de NaCl, sendo quantificada redução de 52,51% aos dois dias, 68,09% aos cinco dias e 37,66% aos oito dias de estresse salino. O comportamento desta variável mediante o estresse aplicado foi confirmado por Long et al. (2010a), indicando redução 72 e 88% para as cultivares NY1 e NY7, respectivamente, quando as plantas foram irrigadas com água salina na concentração de 50% em comparação com o controle.

A diminuição da g_s é um indicativo da intensificação do efeito osmótico, devido a maiores concentrações de sais solúveis na água de irrigação e na solução do solo. O fechamento dos estômatos causados pelo incremento do estresse salino contribui na inibição do crescimento vegetal, sendo prejudicial em termos de rendimento, mas evita distúrbios no metabolismo. Entretanto, o controle na abertura estomática é uma das respostas mais rápidas e intensas que ocorrem em plantas submetidas ao estresse, principalmente, por aumentar a resistência à difusão de CO_2 (SILVA et al., 2017). Mas a inibição da fixação de CO_2 pode causar desequilíbrio na cadeia transportadora de elétrons e acelerar a produção de ERO's, impulsionando o estresse oxidativo (OUKARROUM et al., 2015; FOYER, 2018).

A transpiração (E) das plantas de *Helianthus tuberosus* L. foi influenciada pelos efeitos isolados dos solos e das proporções crescentes do rejeito salino na água de irrigação já na primeira medida, aos 15 dias de aplicação dos tratamentos (Tabela 9). Obedecendo modelo polinomial quadrático, foi observado decréscimo da taxa transpiratória das plantas com a elevação das proporções do rejeito salino na água utilizada como fonte hídrica (Figura 11). O menor índice de E nas plantas foi estimado quando a irrigação com a solução salina atingiu uma concentração de 59,76%, ocasionando decréscimo de $0,550 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Foi possível mensurar redução significativa de E na comparação entre plantas irrigadas com águas de 0 e 70% de rejeito salino, caindo 92,61%.

Figura 11 – Transpiração (E) de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos). Coeficientes da regressão significativos com $p \leq 0,01$ (**) e $p \leq 0,05$ (*). Colunas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)

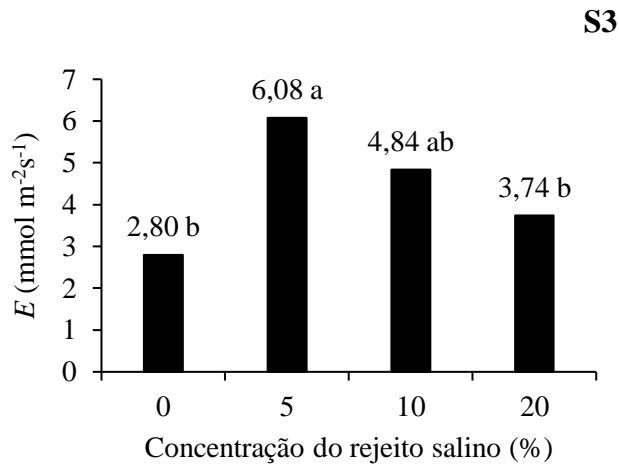


Os valores de transpiração (E) em *Helianthus tuberosus* L. aos 35 dias sob irrigação com águas de proporções crescentes de rejeito salino diferiram apenas no solo S3 (Tabela 10 e Figura 12). Nestas plantas, verificou-se que o acréscimo de 5% de rejeito salino na água de irrigação aumentou o valor de E , que foi similar entre as águas com 0, 10 e 20% do rejeito (Figura 12). A taxa transpiratória das plantas nos solos S1 e S2, em média, alcançaram valores de 5,86 e 3,44 mmol m⁻²s⁻¹, respectivamente.

A diminuição do valor de E está associada à limitação na disponibilidade de água para a planta, visto que a irrigação com águas de salinidade elevada provoca redução do potencial osmótico do solo, dificultando a absorção de água. A baixa E também pode ser atribuída à ação do estresse salino sobre a condutância estomática que, para mitigar o estresse, promove o fechamento dos estômatos nas folhas (TAIZ et al., 2017).

Resultados semelhantes são apresentados por Huang et al. (2012), ao constatar reduções na E de plantas de *Helianthus tuberosus* L. sob irrigação salina. Os autores observaram que a cultivar QY-2 não apresentou reduções sob níveis de salinidade 30 e 60 mM de NaCl, que diminuiu com a elevação da concentração; diferentemente da cultivar NY-1 que teve diminuição em todos os níveis de salinidade testados. Os autores argumentaram que a redução da E representa um mecanismo protetor, que visa diminuição do acúmulo excessivo de íons tóxicos na parte aérea, minimizando danos causados pela toxicidade iônica (NEGRÃO; SCHMÖCKEL; TESTER, 2017; HASANUZZAMAN et al., 2017).

Figura 12 – Transpiração (E) de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (35 dias após a aplicação dos tratamentos salinos). Colunas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)



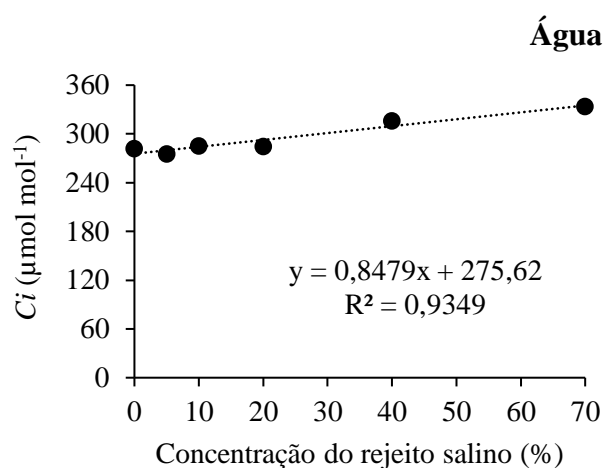
Na comparação entre os três solos avaliados, aos 15 dias de aplicação dos tratamentos salinos, as plantas cultivadas no solo S2 tiveram maior valor médio de E , diferindo das plantas cultivadas no solo S1 (Figura 11). Estes resultados contrariam diversos estudos, visto que o solo S2 possui alta concentração salina ($CE_{es} = 19,38 \text{ dS m}^{-1}$), que limitaria a taxa transpiratória pela limitação na absorção de água, resultante da redução no potencial osmótico da solução do solo. Mas tal comportamento pode estar diretamente associado a mecanismos de tolerância ao estresse. Amorim et al. (2010) afirmam que a E não foi afetada pelos tratamentos salinos em plantas de cajueiro, sugerindo pouca influência do estresse osmótico, de modo que os sais possam ter estimulado a abertura estomática e, conseqüentemente, o aumento da transpiração.

De acordo com Chen e Jiang (2010), tal mecanismo fisiológico é potencializado pela necessidade de maior energia por parte da planta para a geração de potenciais mais negativos que os encontrados nos solos com excesso de sais, para uma adequada absorção de água. O gasto de energia possibilita maior transpiração por parte da planta quanto maior é a salinidade do solo. Huang et al. (2012) identificaram, em seu estudo com *Helianthus tuberosus* L., uma variedade com alta taxa de E , no entanto, os autores justificaram a necessidade de um maior entendimento do comportamento da E , neste caso, para determinar se tal mecanismo foi uma resposta adaptativa ao estresse ou um efeito deletério do estresse.

Quanto à concentração interna de CO_2 (C_i), observou-se aumento linear crescente em função do uso de maiores proporções de rejeito salino na água de irrigação, isoladamente, aos 15 dias após sua primeira aplicação. Quanto maior a concentração salina da água, maior foi a

C_i nas plantas de *Helianthus tuberosus* L. Foi estimado incremento de 21,53% entre as águas com 0 e 70% de proporção do rejeito salino, sendo a C_i de 275,62 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ para 0% e de 334,97 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ para 70% (Figura 13).

Figura 13 – Concentração interna de CO_2 (C_i) de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos). Coeficientes da regressão significativos com $p \leq 0,01$ (**) e $p \leq 0,05$ (*)

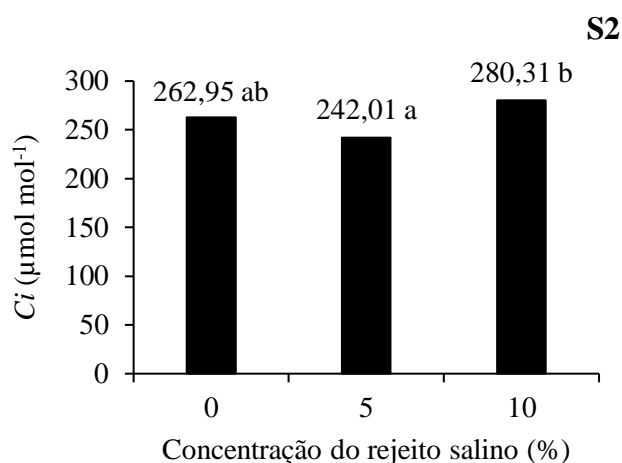


Aos 35 dias após aplicação da água salina, a C_i nas plantas sofreu influência somente no solo S2, constatando-se maior valor desta variável nas plantas irrigadas com água na proporção de 10% de rejeito salino, atingindo concentração de 280,31 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (Figura 14). A C_i das plantas cultivadas nos solos S1 e S3 não apresentaram diferenças significativas mediante a aplicação dos tratamentos salinos, e tiveram valores médios de 275,39 e 262,82 $\mu\text{mol mol}^{-1}$, respectivamente.

Zhang et al. (2016) constataram o mesmo comportamento, com o aumento da C_i após sete dias sob irrigação com água salina a base Na_2CO_3 , nas concentrações crescentes de 20 e 50 mM. Yan et al. (2018a), sob condições de inundação, avaliaram resposta fisiológica de plantas de *Helianthus tuberosus* L., e verificaram que sob severa inundação houve aumento da C_i com nove dias após aplicação do estresse. O aumento da C_i pode ser atribuído à redução na capacidade de fixação de CO_2 , sendo que este CO_2 fixado nas células do mesófilo, não está sendo utilizado na síntese de açúcares durante a fotossíntese, com seu consequente acúmulo. Pode-se ressaltar, ainda, que plantas com metabolismo C3 tendem a concentrar CO_2 principalmente nas folhas, diferentemente das C4 e CAM, em que o CO_2 pode estar contido

tanto nas folhas como no caule (KOCUREK; PILARSKI, 2011; KAZEMI; ESHGHIZADEH; ZAHEDI, 2018; BRITO et al., 2022).

Figura 14 – Concentração interna de CO₂ (*C_i*) de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (35 dias após a aplicação dos tratamentos salinos). Colunas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)

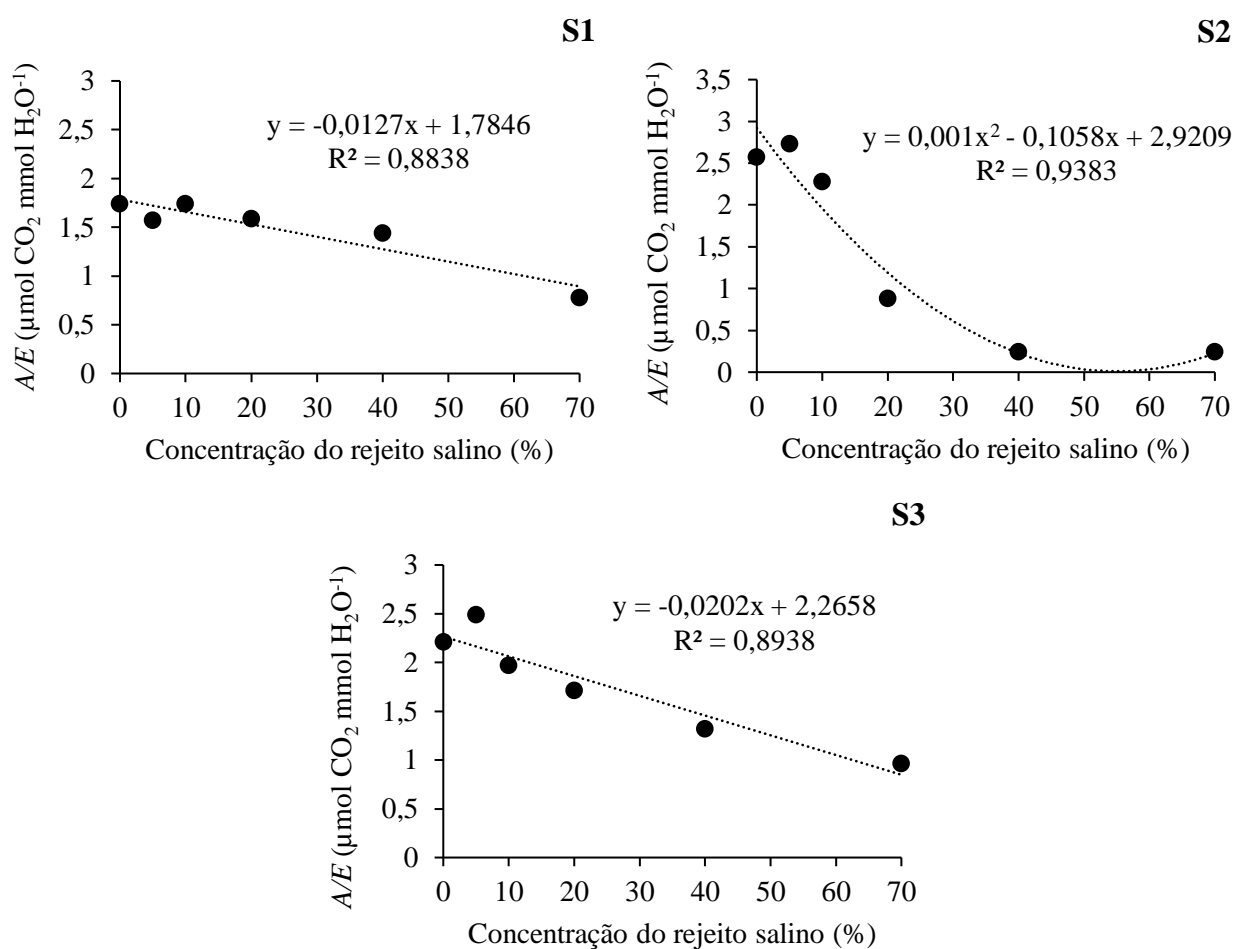


Houve interação significativa entre solos e águas salinas sobre a variável eficiência instantânea do uso da água (*A/E*) aos 15 dias da aplicação dos tratamentos (Tabela 9). Nas plantas cultivadas nos três solos, foi observado comportamento decrescente desta variável com o aumento da salinidade da água de irrigação, sendo que nos solos S1 e S3 as respostas foram lineares e no solo S3 o modelo foi quadrático (Figura 15). A diferença da *A/E* entre as plantas cultivadas sob os tratamentos de menor (0%) e maior (70%) salinidade para os solos S1 e S3 foi de 49,81 e 62,40%, com decréscimo de 0,711 e 0,891 μmol CO₂ mmol H₂O⁻¹ a cada aumento unitário na concentração da proporção do rejeito salino, respectivamente. No solo S2, a *A/E* das plantas atingiu o valor mais baixo quando a proporção do rejeito salino chegou a 52,90%, com uma eficiência de 0,122 μmol CO₂ mmol H₂O⁻¹, e ainda uma redução de 85,80% entre os tratamentos 0% (2,92 μmol CO₂ mmol H₂O⁻¹) e 70% (0,414 μmol CO₂ mmol H₂O⁻¹).

Os resultados relatados por Janket et al. (2013) confirmaram a tendência do presente estudo, com redução da eficiência do uso da água por *Helianthus tuberosus* L. sob estresse hídrico moderado e severo. Sanwal et al. (2022), com o objetivo de identificar mecanismos de tolerância em plantas de batata (*Solanum tuberosum* L.), revelaram que a *A/E* diminuiu em todos os genótipos devido ao estresse salino. Os autores mencionaram que tais respostas estão associadas ao excesso de sais na zona radicular, que diminuem o potencial osmótico,

dificultando a absorção de água pelas plantas. A redução da A/E também pode ser atribuída à inibição da fotossíntese, juntamente com o aumento da C_i (aumentada pela salinidade), sob condições de severo estresse (TAIZ et al., 2017), comportamento observado no presente estudo.

Figura 15 – Eficiência instantânea do uso da água (A/E) de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos). Coeficientes da regressão significativos com $p \leq 0,01$ (**) e $p \leq 0,05$ (*)



Quanto ao comportamento da variável A/E aos 35 dias sob irrigação salina, não foi observada variação significativa com o aumento das proporções do rejeito salino na água (Tabela 10). Sendo que as plantas cultivadas no presente estudo tiveram valores médios de A/E de $1,95 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$ no solo S1, $2,23 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$ no solo S2 e $2,20 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$ no solo S3.

De modo semelhante, a eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) das plantas teve interferência da interação entre solos e águas salinas, apenas na medição aos 15 dias de aplicação dos tratamentos (Tabela 9). As plantas de *Helianthus tuberosus* L. cultivadas nos

solos S1 e S3 tiveram aumento na A/g_s até a proporção salina de 28,48 e 22,16%, com valores de 55,00 e 48,58 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$, mas, a partir deste ponto ocorreu decréscimo de 79,25 e 65,88% até a concentração do rejeito salino de 70%, respectivamente (Figura 16). Foi observada uma queda de 66,90 e 60,27%, nas plantas dos solos S1 e S3, respectivamente, entre as proporções de 0 e 70% de rejeito na água de irrigação. Já as plantas cultivadas no solo S2 tiveram redução significativa da A/g_s , com menor índice de 1,77 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ na proporção de 57,10% do rejeito salino.

Na medida realizada aos 35 dias da aplicação dos tratamentos salinos, a A/g_s diferiu em função das águas usadas na irrigação apenas nas plantas cultivadas nos solos S2 e S3 (Tabela 10). Nas plantas do solo S2, houve aumento da A/g_s à medida que a concentração dos sais na água de irrigação foi elevada, tendo seu maior valor na proporção de 10% de rejeito, com A/g_s atingindo 177,93 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$. Já nas plantas do solo S3, esta variável teve comportamento inverso, com diminuição em função do incremento dos sais na água de irrigação (Figura 17). O valor desta relação chegou a 47,12 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ na proporção de 20% de rejeito. Nas plantas cultivadas no solo S1, a variável A/g_s teve valor médio de 58,04 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$.

As respostas encontradas por Sanwal et al. (2022) corroboram com o presente estudo, com A/g_s sendo afetada pelo aumento da salinidade da água de irrigação em plantas de batata (*Solanum tuberosum* L.). Com a redução do potencial osmótico, provocado pelo excesso de sais no solo, ocorre diminuição da perda de água em função do maior fechamento dos estômatos, restringindo, também, a entrada de CO_2 (FURTADO et al., 2013). Silva (2015) supõe que a redução da A/g_s está diretamente associada a reduções nas taxas de fotossíntese, condutância estomática e transpiração. As observações de Hou et al. (2023) confirmam as tendências do presente estudo, pois identificaram aumento na A/g_s sob tratamentos salinos nas concentrações de 300 e 450 mM de NaCl, na cultura do algodoeiro.

Figura 16 – Eficiência intrínseca do uso da água (A/E) de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos). Coeficientes da regressão significativos com $p \leq 0,01$ (**) e $p \leq 0,05$ (*)

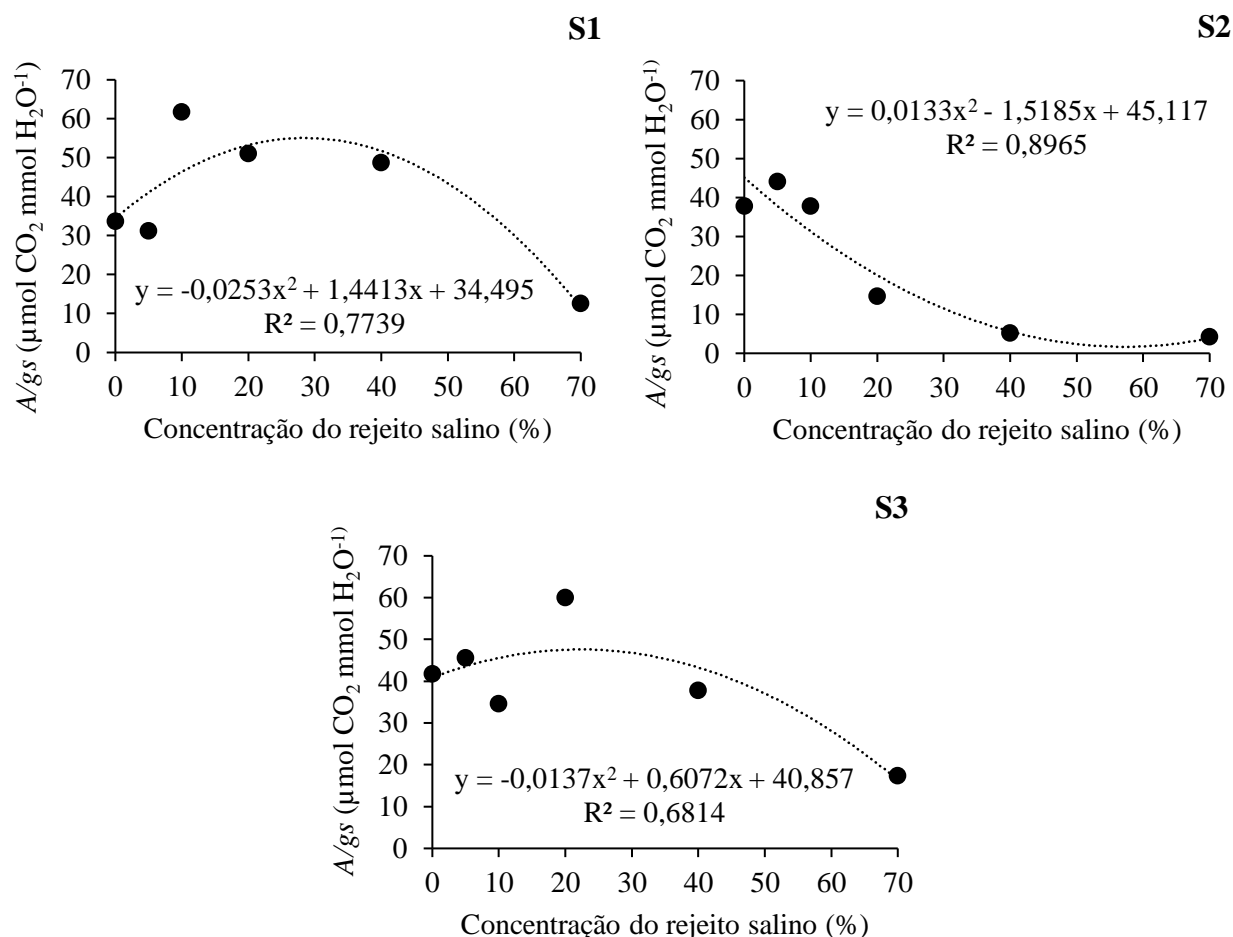
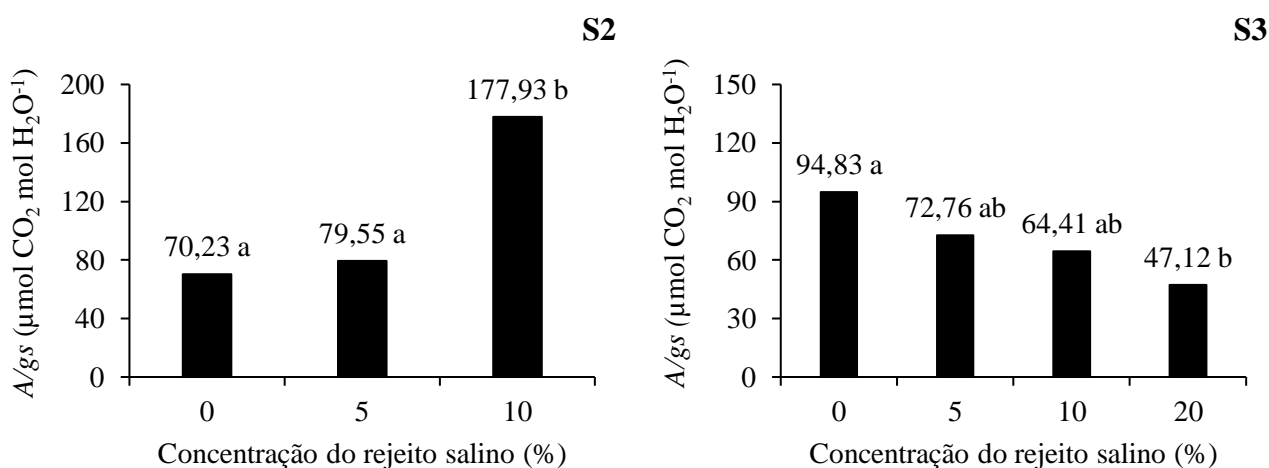


Figura 17 – Eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (35 dias após a aplicação dos tratamentos salinos). Colunas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)



3.3.4 Rendimento quântico da fluorescência da clorofila “a” ($F_v F_m^{-1}$)

As variáveis fluorescência inicial (F_0) e eficiência quântica potencial do PSII ($F_v F_0^{-1}$) tiveram efeito significativo dos solos de forma isolada ($p \leq 0,01$ ou $p \leq 0,05$) (Tabela 11). A fluorescência máxima (F_m) e o rendimento quântico da fluorescência da clorofila “a” ($F_v F_m^{-1}$) não foram afetadas pelos fatores do estudo (solos e águas salinas).

O estudo de Correia et al. (2009) com amendoim (*Arachis hipogaea* L.) sob condições de salinidade constatou que a fluorescência máxima (F_m) e o rendimento quântico da fluorescência da clorofila “a” ($F_v F_m^{-1}$) não foram influenciadas significativamente pelos tratamentos salinos. Tais variáveis fisiológicas tem a capacidade de detectar perturbações no sistema fotossintético causada pelo estresse salino, e conseqüentemente no declínio da eficiência fotoquímica do PSII (AZEVEDO NETO et al., 2011). Então, pode-se inferir que a espécie *Helianthus tuberosus* L., sob as condições aplicadas neste estudo, apresentou características de tolerância ao estresse salino para as variáveis acima testadas.

Tabela 11 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para os dados das variáveis fluorescência inicial (F_0), fluorescência máxima (F_m), eficiência quântica potencial do PSII ($F_v F_0^{-1}$) e rendimento quântico da fluorescência da clorofila “a” ($F_v F_m^{-1}$) em plantas de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos)

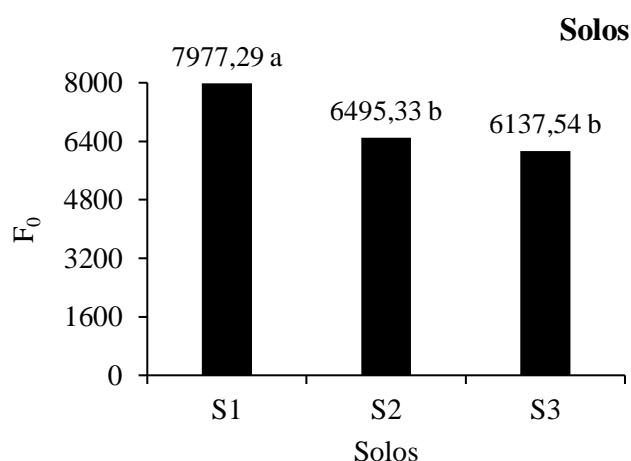
FV	GL	Quadrados médios			
		F_0	F_m	F_v/F_0	F_v/F_m
Bloco	3	5554400,66 ^{NS}	33182771,70 ^{NS}	0,27 ^{NS}	0018 ^{NS}
Solo	2	22835581,76 ^{**}	4653770,88 ^{NS}	1,92 ^{**}	0,031 ^{NS}
Água	5	329764,52 ^{NS}	30965534,62 ^{NS}	0,74 [*]	0,025 ^{NS}
Solo x Água	10	1986922,81 ^{NS}	14404030,82 ^{NS}	0,17 ^{NS}	0,007 ^{NS}
Resíduo	51	2107996,18 ^{NS}	15113212,01 ^{NS}	0,27	0,012
Total	71				
CV (%)		21,13	19,32	27,24	17,46

FV: fontes de variação; GL: graus de liberdade; (**) significativo pelo teste F a 1% de probabilidade; (*) significativo pelo teste F a 5% de probabilidade; (^{NS}) não significativo pelo teste F; CV: coeficiente de variação.

As plantas cultivadas nos solos do presente estudo apresentaram diferença significativa na variável fluorescência inicial (F_0), com destaque para o solo S1, com maior valor, e diferindo dos demais (Figura 18). Tal comportamento é justificado por Heidari, Bandehagh e Toorchi

(2014), que indicam que as direções das mudanças da F_0 dependem do fator dominante entre a dissipação de energia e a inativação ou danos no PSII. Um aumento no quenching não fotoquímico (NPQ) leva à diminuição da F_0 , e a inativação ou danos no PSII causa o aumento da F_0 (RUBAN, 2016; TAIZ et al., 2017).

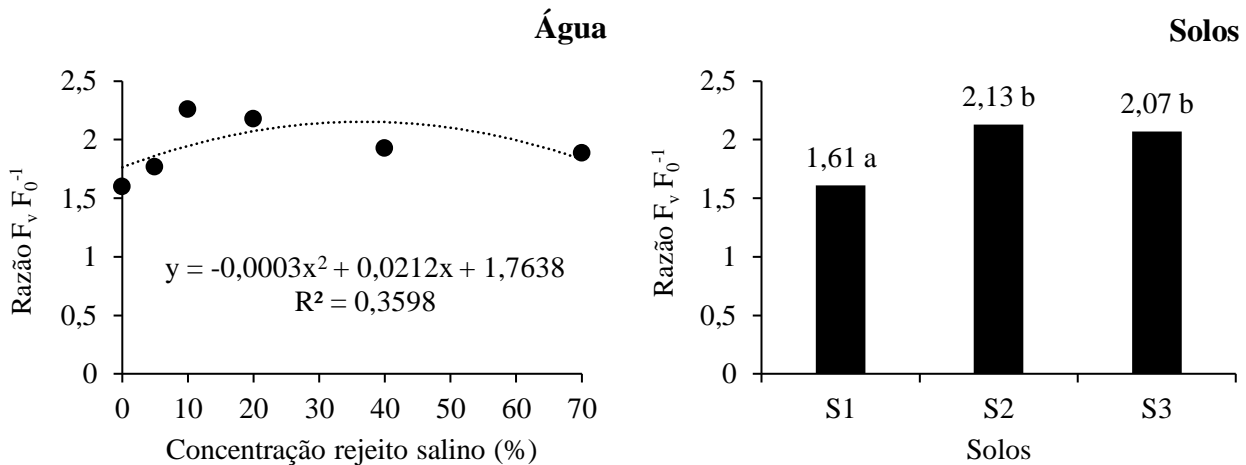
Figura 18 – Fluorescência inicial (F_0) de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos). Colunas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)



Os dados de eficiência quântica potencial do PSII ($F_v F_0^{-1}$) nas plantas de *Helianthus tuberosus* L. foram ajustados ao modelo quadrático, constatando-se que as proporções de rejeito salino influenciaram o comportamento da variável em estudo (Figura 19). Houve aumento na razão $F_v F_0^{-1}$ de 2,13 na concentração de 35,33%, com uma redução de 16,53% quando a concentração do rejeito foi incrementada até 70%, chegando ao valor de 1,77. Situação idêntica foi encontrada por Azevedo Neto et al. (2011), em estudo com girassol (*Helianthus annuus* L.) sob condições de estresse salino, em que a razão $F_v F_0^{-1}$ nas plantas estressadas decresceu 47% em relação ao tratamento controle.

Umar, Uddin e Siddiqui (2019) constataram o mesmo comportamento de redução da razão $F_v F_0^{-1}$ em cultivares de girassol (*Helianthus annuus* L.) sob estresse combinado (hídrico e salino) e atribuíram como fator determinante uma maior inibição dos PSI e PSII, devido à interrupção no fluxo de elétrons. Para os referidos autores, os valores mensurados na relação evidenciam perturbações no sistema fotossintético originados pelo estresse salino, ocasionando o declínio na eficiência fotoquímica do PSII e danos no aparato fotossintético, conferindo as plantas características sensíveis aos sais.

Figura 19 – Eficiência quântica potencial do PSII ($F_v F_0^{-1}$) de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos). Coeficientes da regressão significativos com $p \leq 0,01$ (**) e $p \leq 0,05$ (*). Colunas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)



O rendimento quântico da fluorescência da clorofila “a” ($F_v F_m^{-1}$) não foi alterado pela interação entre os solos e as águas usadas, nem por estes fatores de forma isolada. Diferentemente de Long et al. (2010a) e Yan et al. (2022) que, em seus estudos observaram reduções do $F_v F_m^{-1}$ sob estresse salino em plantas de *Helianthus tuberosus* L., concluindo que este efeito indica dano ao aparato fotossintético, além de declínio na eficiência fotoquímica do PSII, causado pela alta concentração de sais do rejeito da água de irrigação.

Na segunda avaliação, aos 35 dias sob estresse salino, as plantas de *Helianthus tuberosus* L. não apresentaram diferenças para as variáveis fluorescência inicial (F_0), fluorescência máxima (F_m), eficiência quântica potencial do PSII ($F_v F_0^{-1}$) e rendimento quântico da fluorescência da clorofila “a” ($F_v F_m^{-1}$), em todos os solos deste estudo. O fato de os parâmetros associados a fluorescência não terem diferido entre os fatores testados, podem indicar uma atividade fitoquímica similar, atrelado a características de tolerância da planta.

3.3.5 Pigmentos fotossintéticos foliares

Foram verificadas variações significativas no comportamento dos pigmentos fotossintéticos das plantas de *Helianthus tuberosus* L. aos 15 dias após aplicação dos tratamentos salinos (Tabela 12). No entanto, a interação solo x água não interferiu significativamente ($p \geq 0,05$) em nenhum dos pigmentos analisados, sendo observada

significância apenas de forma isolada ($p \leq 0,01$ e $p \leq 0,05$), com exceção da clorofila “b” (Clf_b) na qual não se constatou influência ($p \geq 0,05$).

Tabela 12 – Resumo da análise da variância para os dados das variáveis clorofila “a” (Clf_a), clorofila “b” (Clf_b), clorofila “total” (Clf_{total}) e carotenoides (Caf) em plantas de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos)

FV	GL	Quadrado médio			
		Clf_a	Clf_b	Clf_{total}	Caf
Bloco	3	0,053 ^{NS}	0,025 ^{NS}	0,020 ^{NS}	0,013 ^{NS}
Solo	2	1,56 ^{**}	0,030 ^{NS}	2,21 ^{**}	0,081 [*]
Água	5	0,439 ^{**}	0,108 ^{NS}	0,482 [*]	0,027 ^{NS}
Solo x Água	10	0,070 ^{NS}	0,081 ^{NS}	0,134 ^{NS}	0,018 ^{NS}
Resíduo	51	0,051	0,087	0,156	0,018
Total	71				
CV (%)		28,66	81,89	33,78	84,45

FV: fontes de variação; GL: graus de liberdade; (**) significativo pelo teste F a 1% de probabilidade; (*) significativo pelo teste F a 5% de probabilidade; (^{NS}) não significativo pelo teste F; CV: coeficiente de variação.

Contudo, a ANOVA referente aos pigmentos fotossintéticos aos 35 dias sob aplicação dos tratamentos revelou que as águas com incremento do rejeito salino causaram influência na constituição de todos os pigmentos nas folhas no solo S3. Já nas plantas do solo S2, houve diferença apenas nos teores de carotenoides (Caf), e nas plantas do solo S1 para nenhuma variável avaliada foi observada significância ($p \geq 0,05$) (Tabela 13).

Os teores de clorofila “a” (Clf_a) das plantas sob irrigação com águas de proporções crescentes de rejeito salino, 15 dias após aplicação das proporções do rejeito salino, diminuíram em função da salinidade (Figura 20). Entre os tratamentos de menor (0%) e maior (70%) proporção do rejeito salino houve um decréscimo de 51,17% no teor de Clf_a presente nas folhas, com valores de 0,957 e 0,467 mg g⁻¹, respectivamente. Conforme o modelo ajustado, verificou-se decréscimo de 0,73% por incremento unitário da concentração do rejeito salino.

Tabela 13 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para os dados das variáveis clorofila “a” (Clf_a), clorofila “b” (Clf_b), clorofila “total” (Clf_{total}) e carotenoides (Caf) em plantas de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (35 dias após a aplicação dos tratamentos salinos)

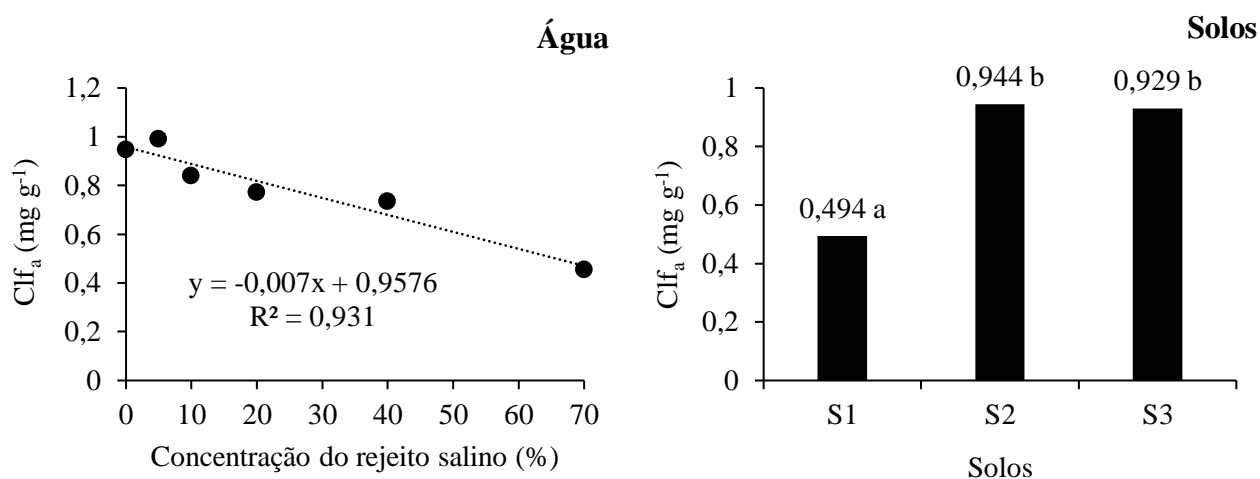
FV	GL	Quadrado médio - S1			
		Clf _a	Clf _b	Clf _{total}	Caf
Bloco	3	0,019 ^{NS}	0,003 ^{NS}	0,038 ^{NS}	0,0003 ^{NS}
Água	2	0,017 ^{NS}	0,001 ^{NS}	0,031 ^{NS}	0,001 ^{NS}
Resíduo	6	0,012	0,001	0,023	0,0003
Total	11				
CV (%)		25,30	25,24	25,24	19,79
FV	GL	Quadrado médio - S2			
		Clf _a	Clf _b	Clf _{total}	Caf
Bloco	3	0,034 ^{NS}	0,007 ^{NS}	0,071 ^{NS}	0,0002 ^{NS}
Água	2	0,092 ^{NS}	0,020 ^{NS}	0,217 ^{NS}	0,003 ^{**}
Resíduo	6	0,020	0,005	0,048	0,0001
Total	11				
CV (%)		26,20	28,66	27,34	16,58
FV	GL	Quadrado médio - S3			
		Clf _a	Clf _b	Clf _{total}	Caf
Bloco	3	0,091 ^{NS}	0,028 ^{NS}	0,220 ^{NS}	0,0005 ^{NS}
Água	3	0,375 ^{**}	0,071 [*]	0,759 ^{**}	0,013 ^{**}
Resíduo	9	0,043	0,013	0,104	0,0007
Total	15				
CV (%)		29,93	34	30,97	22,91

FV: fontes de variação; GL: graus de liberdade; (**) significativo pelo teste F a 1% de probabilidade; (*) significativo pelo teste F a 5% de probabilidade; (^{NS}) não significativo pelo teste F; CV: coeficiente de variação.

A Clf_a também diferiu entre as plantas dos três solos, com maiores valores nas plantas cultivadas nos solos S2 e S3 (Figura 20). Destaca-se o baixo teor nas plantas do solo S1 (0,494 mg g⁻¹) e o maior nas plantas do solo S2 (0,944 mg g⁻¹), que apresenta características salinas. Isso pode ser interpretado como uma resposta de tolerância aos agentes estressantes, ou seja, ativação de mecanismos de proteção ao aparato fotossintético da planta neste solo de maior salinidade, apertando ser uma implicação direta no desenvolvimento dos cloroplastos através do aumento do número de tilacoides (SILVA et al., 2016). Já o baixo teor nas plantas do solo S1, pode indicar que a baixa fertilidade combinada com o efeito dos sais na água de irrigação

foi mais danosa ao metabolismo fotossintético, contribuindo para a redução da Clf_a , uma vez que o desequilíbrio iônico é danoso ao desenvolvimento da planta (FREIRE et al., 2013).

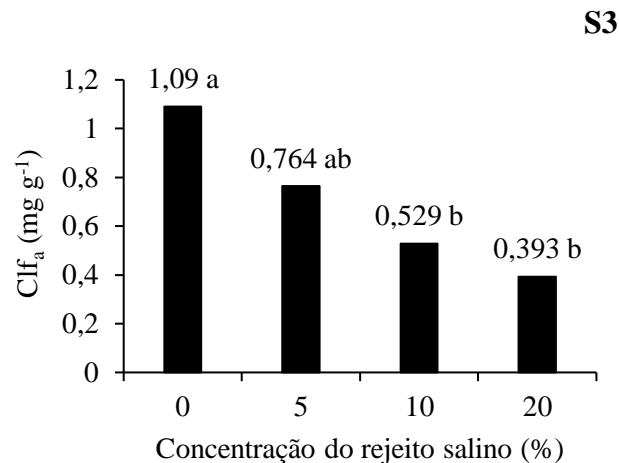
Figura 20 – Teores de clorofila “a” (Clf_a) de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos). Coeficientes da regressão significativos com $p \leq 0,01$ (**) e $p \leq 0,05$ (*). Colunas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)



No entanto, aos 35 dias após o início da aplicação dos tratamentos salinos, os teores de Clf_a diferiram apenas nas plantas cultivadas no solo S3 (Tabela 13). E houve diminuição desta variável em função do aumento da proporção de rejeito na água de irrigação, sendo o menor valor observado em plantas irrigadas com água na proporção de 20% de rejeito salino, com teor de Clf_a de $0,393 \text{ mg g}^{-1}$. Percentualmente, comparando com a água sem rejeito salino (0%), foi possível constatar redução de 63,94% no teor deste pigmento (Figura 21).

Redução nos teores de Clf_a em cultivares de *Helianthus tuberosus* L. já foi observada por Yang et al. (2021), sob irrigação com água salina. O estudo indicou que as duas cultivares apresentaram diminuição no teor de Clf_a sob estresse de 200 mM de NaCl. Os autores relataram que a cultivar M1 teve os maiores teores em relação à cultivar N1, sugerindo que M1 exibiu capacidade fotossintética mais forte que N1 contra o estresse salino. É possível, ainda, inferir que eventuais reduções nas taxas de fotossíntese podem estar diretamente relacionadas a uma redução no conteúdo de clorofila nas folhas, sendo uma importante variável fisiológica da planta para medir sua capacidade de tolerância aos sais (TAIZ et al., 2017).

Figura 21 – Teores de clorofila “a” (Clf_a) de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (35 dias após a aplicação dos tratamentos salinos). Colunas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)



Quanto à Clf_b, diferentemente da primeira avaliação quando não foram observadas alterações em função da salinidade das águas em plantas cultivadas nos três solos, os teores nas plantas do solo S3 aos 35 dias após a irrigação foram reduzidos em função dos tratamentos salinos aplicados (Figura 22). As plantas irrigadas com água na proporção de 20% de rejeito salino tiveram teor médio de 0,210 mg g⁻¹, sendo o menor valor, com redução de 59,79%.

Huang et al. (2012), em estudo com *Helianthus tuberosus* L. sob irrigação com NaCl, detectaram teores de Clf_b reduzindo quando a concentração do NaCl atingiu 150 mM, com teor de 0,531 mg g⁻¹, sendo encontrado teor de 0,831 mg g⁻¹ nas plantas do tratamento sem NaCl, redução na Clf_b de 36,10%. Tal diminuição demonstra a fragilidade da planta em não conseguir manter a integridade do seu maquinário fotossintético, que promove o aumento da atividade da enzima clorofilase que degrada a clorofila. A produção de radicais livres que provocaria a peroxidação lipídica causaria ainda mais danos às moléculas de clorofila (SACRAMENTO et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2018).

Aos 15 dias da aplicação dos tratamentos salinos, foi verificada diminuição nos teores de clorofila “total” (Clf_{total}) com o aumento da concentração do rejeito salino na água de irrigação, atingindo redução de 37,50%, entre a menor (0%) e a maior (70%) proporção do rejeito (Figura 23). Na água sem rejeito, o teor de Clf_{total} nas folhas foi de 1,34 mg g⁻¹ e no tratamento de maior concentração (70%) foi de 0,839 mg g⁻¹. Já os teores Clf_{total} nas folhas das plantas cultivadas em cada solo, foram observados maiores valores nos solos S3 e S2, os quais não diferiram entre si, com valores médios de 1,37 e 1,31 mg g⁻¹ (Figura 23).

Figura 22 – Teores de clorofila “b” (Clf_b) de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (35 dias após a aplicação dos tratamentos salinos). Colunas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)

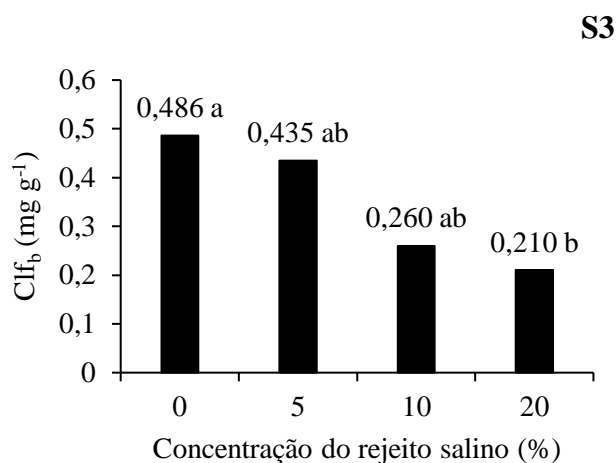
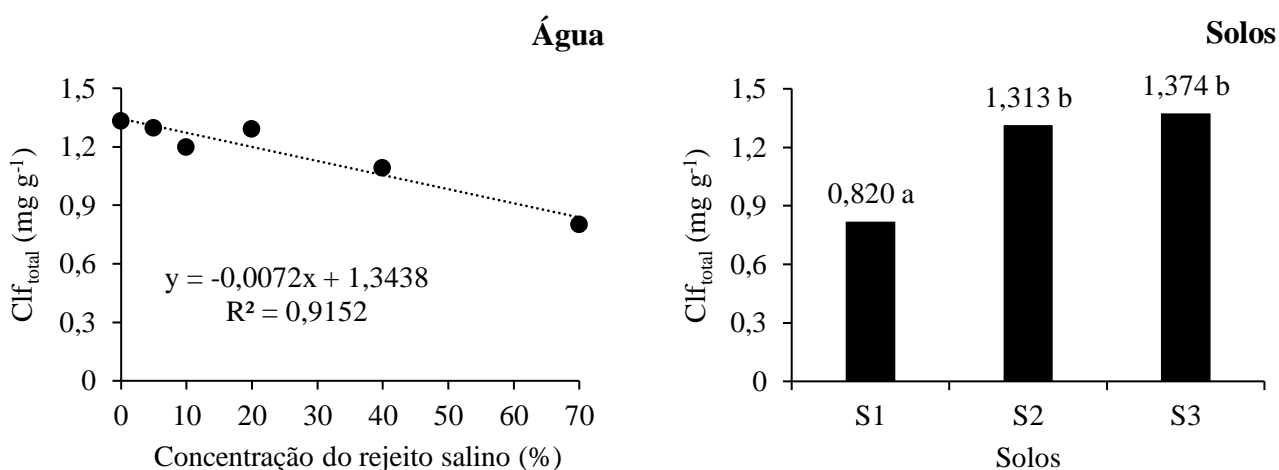


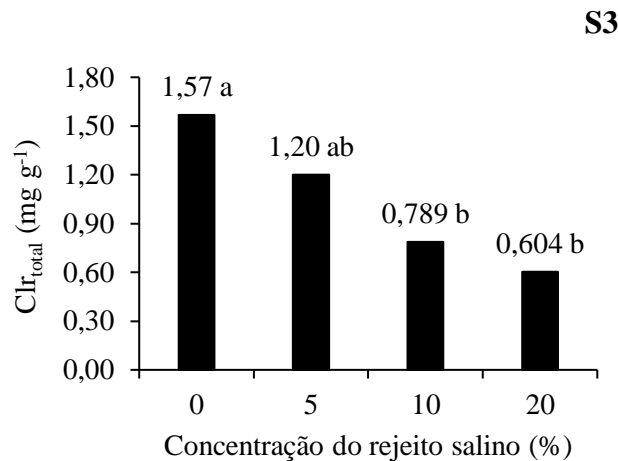
Figura 23 – Teores de clorofila “total” (Clf_{total}) de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos). Coeficientes da regressão significativos com $p \leq 0,01$ (**) e $p \leq 0,05$ (*). Colunas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)



Quando se avaliou a Clf_{total} aos 35 dias após a irrigação com as águas salinas, foi possível identificar nas plantas do solo S3 um comportamento decrescente influenciado pelo aumento das concentrações de sais na água. O resultado desta dinâmica trouxe uma redução de 61,52% entre a menor (0%) e maior (70%) proporção do rejeito na água (Figura 24). As plantas

cultivadas nos demais solos, S1 e S2, não sofreram influência significativas das águas salinas, tendo uma média geral de 0,610 e 0,801 mg g⁻¹.

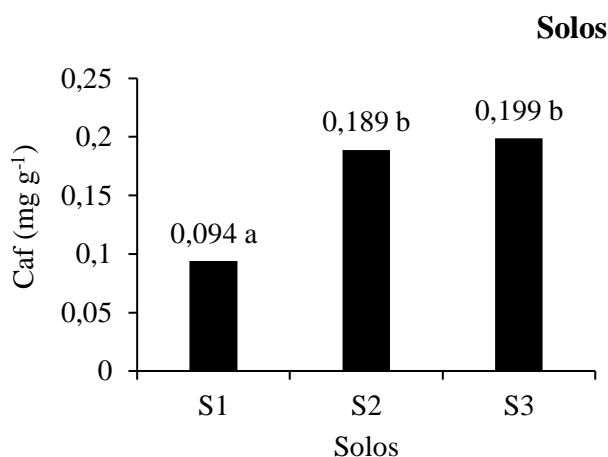
Figura 24 – Teores de clorofila “total” (Clf_{total}) de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (35 dias após a aplicação dos tratamentos salinos). Colunas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)



Xue e Liu (2008), estudando os efeitos da salinidade do NaCl, a fim de entender a tolerância em *Helianthus tuberosus* L., encontraram reduções de 27% nos teores de Clf_{total}, sob concentrações de NaCl de 75, 150 e 225 mM, quando comparados ao controle. A diminuição nos teores de clorofila em plantas sob estresse salino tem sido considerada um sintoma típico de estresse oxidativo, sendo atribuída a inibição de sua síntese, juntamente com a ativação de sua degradação pela enzima clorofilase que degrada as moléculas dos pigmentos fotossintetizantes e induz à destruição estrutural dos cloroplastos. A redução do teor de clorofila, como resultado da síntese lenta ou degradação rápida, indicou que houve um mecanismo de fotoproteção através da redução da absorção de luz (TAÏBI et al., 2016; ABID et al., 2020).

De forma isolada, os teores de carotenoides (Caf) apresentaram diferenças significativas entre as plantas cultivadas nos diferentes solos aos 15 dias de irrigação com rejeito salino, com maior teor no solo S3 de 0,199 mg g⁻¹ e diferindo dos demais solos (Figura 25).

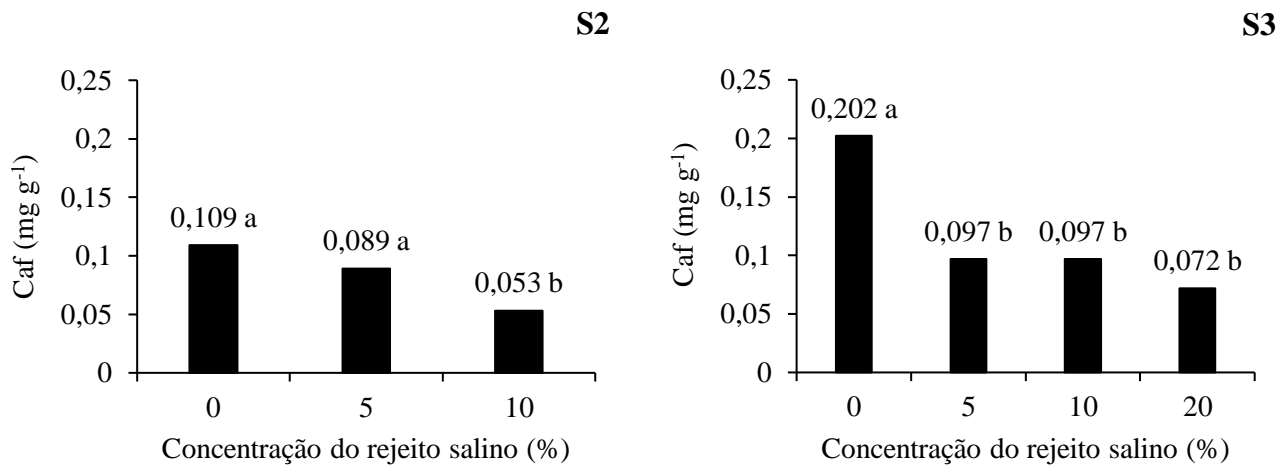
Figura 25 – Teores carotenoides (Caf) de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos). Colunas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)



Aos 35 dias, os teores de Caf tiveram uma tendência de queda com o aumento da salinidade da água de irrigação nas plantas cultivadas nos solos S2 e S3 (Figura 26). Nas plantas do solo S2, os teores de Caf foram de 0,109 mg g⁻¹ na proporção 0%, 0,089 mg g⁻¹ sob 5% e 0,053 mg g⁻¹ e na água com rejeito a 10%. O Caf foi reduzido em 51,37% entre a proporção 0% e 10% do rejeito salino. Em relação ao solo S3, as plantas irrigadas com água sem rejeito (0%) tiveram teores de Caf de 0,202 mg g⁻¹, enquanto as irrigadas com água de 20% tiveram 0,072 mg g⁻¹ de Caf. A redução estimada foi de 64,35%, quando se comparou a proporção 0% e de 20% do rejeito salino.

Yang et al. (2021) identificaram aumento nos teores de Caf sob estresse salino, quando comparado ao tratamento sem estresse. O aumento foi atribuído à capacidade fotossintética das plantas de *Helianthus tuberosus* L. Este comportamento, demonstra ser uma estratégia de dissipar o excesso de energia luminosa, sobretudo diante de condições estressantes, onde os carotenoides desempenham papel fotoprotetor. A redução é associada à degradação ou inibição da síntese de clorofilas nas folhas à medida que os solos foram incrementados com sais solúveis, que são nocivos à atividade dos pigmentos fotossintetizantes. Além do que, o estresse salino induz à degradação de β -caroteno, provocando diminuição no teor de Caf (SILVA et al., 2016; TAIZ et al., 2017).

Figura 26 – Teores de carotenoides (Caf) de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (35 dias após a aplicação dos tratamentos salinos). Colunas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)



3.3.6 Potencial hídrico (Ψ_w), teor relativo de água (TRA) e extravasamento de eletrólitos (EE)

Aos 15 dias da aplicação dos tratamentos salinos, as variáveis de potencial hídrico (Ψ_w), teor relativo de água (TRA) e extravasamento de eletrólitos (EE) em plantas de *Helianthus tuberosus* L. tiveram efeitos significativos apenas de forma isolada dos fatores solo e proporções do rejeito salino ($p \leq 0,01$ e $p \leq 0,05$), a interação entre os dois fatores em estudo não foi significativa ($p \geq 0,05$) (Tabela 14).

Foi observado aumento do Ψ_w com o incremento da salinidade da água após 15 dias de irrigação com os tratamentos salinos, sendo o modelo linear o que melhor se ajustou (Figura 27). Na comparação entre os tratamentos de menor (0%) e maior (70%) proporções do rejeito salino na água de irrigação ocorreu um acréscimo de 63,97% no Ψ_w nas folhas de *Helianthus tuberosus* L. sob o tratamento estressante. Conforme a equação de regressão, sob a proporção de 0% foi estimado o valor de -0,426 Mpa, enquanto em 70% de rejeito salino foi estimado o Ψ_w de -0,153 Mpa.

Quanto aos 35 dias de aplicação dos tratamentos, estas mesmas variáveis foram avaliadas dentro de cada solo utilizado (Tabela 15). O EE apresentou diferenças significativas em todos os solos, enquanto o Ψ_w apenas no solo S2 ($p \leq 0,01$ e $p \leq 0,05$). Já para o teor relativo de água (TRA), não ficou constatada a influência dos tratamentos salinos nas respostas desta variável ($p \geq 0,05$).

Tabela 14 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para os dados das variáveis potencial hídrico (Ψ_w), teor relativo de água (TRA) e extravasamento de eletrólitos (EE) em plantas de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos)

FV	GL	Quadrado médio		
		Ψ_w	TRA	EE
Bloco	3	0,056 ^{NS}	12,16 ^{NS}	91,26 ^{NS}
Solo	2	0,136*	586,04**	4704,20**
Água	5	0,156**	138,66*	1359,16**
Solo x Água	10	0,036 ^{NS}	28,99 ^{NS}	196,21 ^{NS}
Resíduo	51	0,039	42,68	126,47
Total	71			
CV (%)		59,42	9,61	19,89

FV: fontes de variação; GL: graus de liberdade; (**) significativo pelo teste F a 1% de probabilidade; (*) significativo pelo teste F a 5% de probabilidade; (^{NS}) não significativo pelo teste F; CV: coeficiente de variação.

Figura 27 – Potencial hídrico (Ψ_w) de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos). Coeficientes da regressão significativos com $p \leq 0,01$ (**) e $p \leq 0,05$ (*). Colunas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)

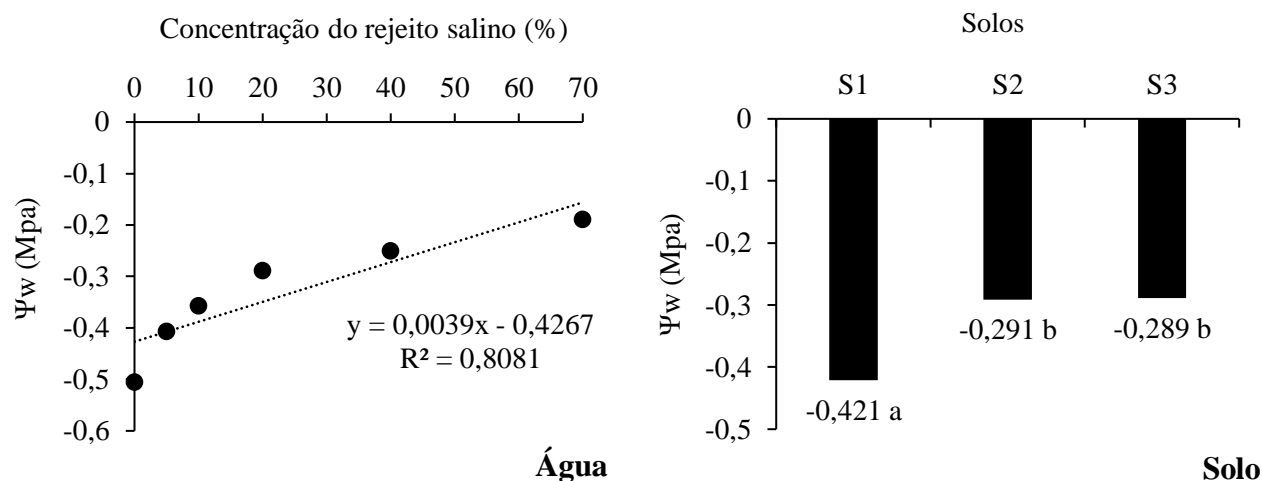


Tabela 15 – Resumo da análise de variância para os dados das variáveis potencial hídrico (Ψ_w), teor relativo de água (TRA) e extravasamento de eletrólitos (EE) em plantas de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (35 dias após a aplicação dos tratamentos salinos)

FV	GL	Quadrado médio S1		
		Ψ_w	TRA	EE
Bloco	3	0,001 ^{NS}	26,21 ^{NS}	26,59 ^{NS}
Água	2	0,007 ^{NS}	15,12 ^{NS}	172,43 ^{**}
Resíduo	6	0,005	38,22	12,86
Total	11			
CV (%)		21,61	7,79	9,73
FV	GL	Quadrado médio S2		
		Ψ_w	TRA	EE
Bloco	3	0,002 ^{NS}	4,54 ^{NS}	62,58 ^{NS}
Água	2	0,019 [*]	54,22 ^{NS}	1080,92 ^{**}
Resíduo	6	0,003	23,95	33,22
Total	11			
CV (%)		15,35	6,80	8,39
FV	GL	Quadrado médio S3		
		Ψ_w	TRA	EE
Bloco	3	0,052 ^{NS}	27,99 ^{NS}	111,06 ^{NS}
Água	3	0,020 ^{NS}	14,03 ^{NS}	1701,68 ^{**}
Resíduo	9	0,013	24,97	50,61
Total	15			
CV (%)		23,98	6,65	11,66

FV: fontes de variação; GL: graus de liberdade; (**) significativo pelo teste F a 1% de probabilidade; (*) significativo pelo teste F a 5% de probabilidade; (^{NS}) não significativo pelo teste F; CV: coeficiente de variação.

Estes resultados de Ψ_w diferiram dos comumente relatados na literatura, sendo esperada a redução do Ψ_w mediante o aumento da salinidade. O acúmulo de sais na zona radicular leva a uma diminuição do potencial osmótico no solo, que reduz a absorção de água pelas raízes e contribui para a diminuição do Ψ_w na planta (CHOURASIA et al., 2021). O estudo de Akhtar, Andersen e Liu (2015), com uso de biochar e irrigação com água salina, indicou que a aplicação do biochar aumentou o Ψ_w na folha de batata (*Solanum tuberosum* L.) mesmo com a elevação da salinidade da água até 50 mM de NaCl, diferentemente do tratamento com somente aplicação da solução salina, que reduziu o Ψ_w . Tais resultados indicaram que o biochar mitigou os efeitos negativos dos sais pela sua alta capacidade de adsorção. No entanto, no presente estudo, não foi utilizado biochar nem nenhum produto dessa natureza que justifique este comportamento.

Sob condições de déficit hídrico, Zhang, Chen e Shen (2010) relataram que o Ψ_w em *Helianthus tuberosus* L. diminuiu em cerca de 50% após prolongação do estresse em 48h de seca. Esta redução possibilitou que o fluxo de água fosse assegurado, mantendo o status hídrico necessário para a realização dos processos fisiológicos essenciais para a sobrevivência da planta (PRISCO; GOMES FILHO; MIRANDA, 2016).

O contrassenso ao resultado do presente estudo, sugere que o desenvolvimento da suculência foliar pode representar importante estratégia que assegura às plantas um suprimento hídrico extra sob condições de estresse salino, garantindo que o Ψ_w não se altere, mesmo quando o potencial do meio externo alcance valores extremamente negativos (LARCHER, 1995). Lacerda et al. (2020) observaram que a espécie ornamental *Allamanda cathartica* teve aumento da suculência foliar em ambiente salino, tanto em níveis baixos quanto em altos de salinidade da água de irrigação. Este mecanismo pode estar vinculado a alterações morfológicas e fisiológicas em resposta ao estresse, ocorrendo aumento na suberização das células endodérmicas radiculares e da formação das estrias Caspary, que reduz o transporte do Na^+ pela via apoplástica (OLIVEIRA; GOMES-FILHO; ENÉAS-FILHO, 2010). Além disso, o aumento da suculência foliar promove um mecanismo de diluição de íons potencialmente tóxicos dentro da célula, possibilitando a convivência com altas concentrações de sais em parte dos tecidos vegetais (FERNANDES et al., 2016).

Quando se avaliou o Ψ_w nas plantas cultivadas nos diferentes solos, pode-se observar que no solo S1 as plantas de *Helianthus tuberosus* L. tiveram o valor mais negativo, diferindo das plantas cultivadas nos solos S2 e S3 após 15 dias da aplicação dos tratamentos (Figura 27). O Ψ_w é um importante indicador na avaliação do status hídrico da planta, pois níveis elevados de estresse induzem à redução dos potenciais hídricos do solo e da planta (OLIVEIRA et al., 2016).

Aos 35 dias de irrigação com as águas salinas, o Ψ_w das plantas de *Helianthus tuberosus* L. diferiu apenas no solo S2, com leve aumento no nível de 5% de rejeito na água, diminuindo com a água de 10% de rejeito (Figura 28). Já nas plantas cultivadas nos solos S1 e S3, o valor médio do Ψ_w foram de -0,340 e -0,480 Mpa.

Quanto ao teor relativo de água (TRA), aos 15 dias após aplicação dos tratamentos salinos, os valores estimados variaram de 72,26 a 68,02% entre a menor (0%) e maior (70%) proporção de rejeito salino na água, com redução de 5,87% (Figura 29). Quando a proporção do rejeito salino atingiu 63,47%, o valor do TRA nas folhas chegou a 40,71%, com um leve aumento a partir deste ponto de inflexão.

Figura 28 – Potencial hídrico (Ψ_w) de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (35 dias após a aplicação dos tratamentos salinos). Colunas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)

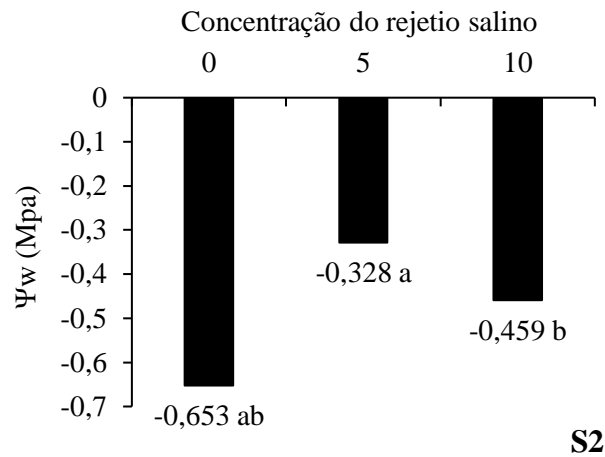
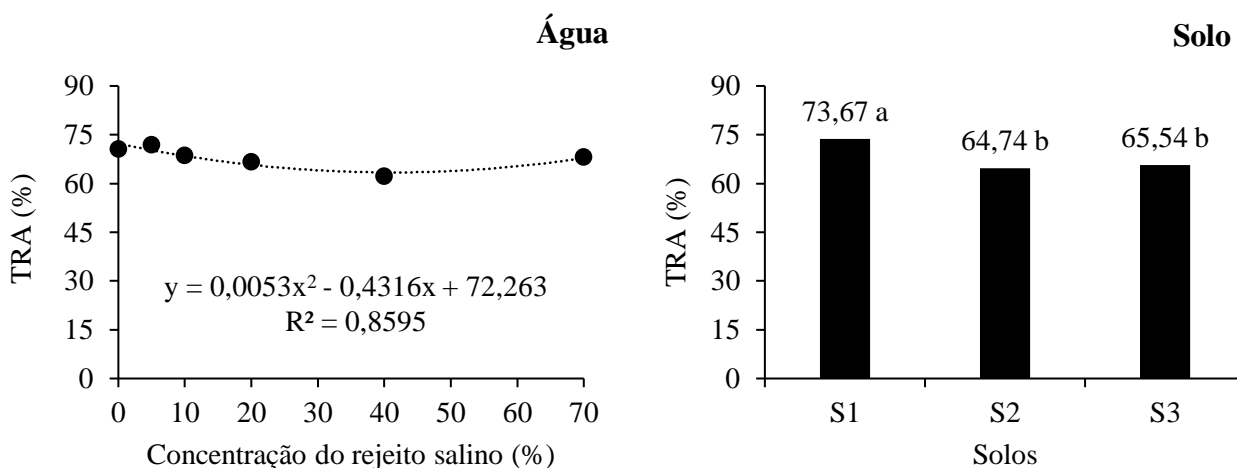


Figura 29 – Teor relativo de água (TRA) de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos). Coeficientes da regressão significativos com $p \leq 0,01$ (**) e $p \leq 0,05$ (*). Colunas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)



Yan et al. (2018b) apresentaram valores de TRA em plantas de *Helianthus tuberosus* L. diminuindo significativamente em condições de estresse salino, sendo no controle com 91,41% e o tratamento salino (150 mM de NaCl) com 62,93%. O mesmo comportamento foi observado por Yan et al. (2022), diagnosticando a redução do TRA após 8 dias sob estresse salino de 100 e 200 mM de NaCl. Os autores mencionam que o baixo valor do TRA, provocou danos

oxidativos nas folhas, sendo resultado do maior acúmulo de Na^+ potencializando o processo de peroxidação lipídica, principalmente sob a concentração salina de 200 mM de NaCl.

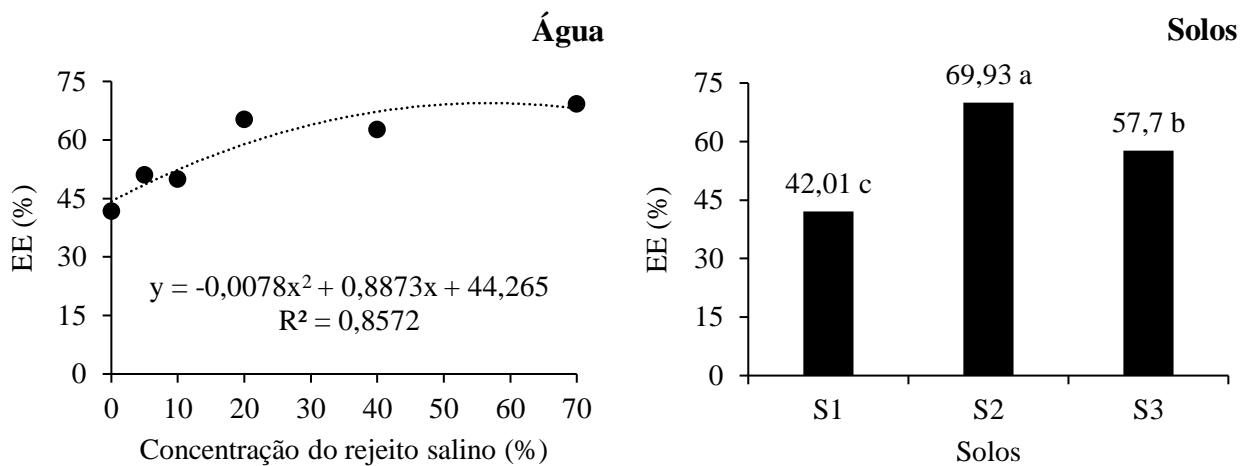
Em plantas de batata (*Solanum tuberosum* L.) sob estresse salino e buscando entender sua tolerância entre cultivares, Sanwal et al. (2022) identificaram que as cultivares sensíveis (5,68 e 13,22%) tiveram uma maior redução do TRA em comparação com as tolerantes (2,00 e 6,47%). O comprometimento do TRA sob condições estressantes, traz prejuízos em processos fisiológicos e bioquímicos, como as trocas gasosas. A manutenção do status hídrico da planta é a melhor estratégia para a mitigação do estresse salino, pela interligação de vários processos metabólicos dependentes da água, que irão assegurar o pleno desenvolvimento da planta (KUMAR et al., 2017).

Avaliando o TRA entre os solos do presente estudo, destacam-se as plantas cultivadas no solo S1 com o maior conteúdo de água, que diferiu significativamente das plantas dos solos S2 e S3 (Figura 29). Este maior valor no solo S1, pode ser atribuído à manutenção de água nas folhas sob estresse salino, sendo um indicativo de um eficiente mecanismo protetor acoplado ao fechamento estomático, prevenindo perdas de água por transpiração (SILVA et al., 2013). Já nos demais solos, o baixo TRA nas folhas pode ter forte influência dos potenciais de água no solo (ARNDT; IRAWAN; SANDERS, 2015).

Aos 35 dias após a aplicação dos tratamentos salinos, não houve efeito significativo das proporções do rejeito na água de irrigação sobre o comportamento da variável TRA (Tabela 16). Em média, o TRA nas plantas alcançou valores de 79,41% no solo S1, 71,97% no solo S2 e 75,16% no solo S3.

Quanto ao extravasamento de eletrólitos (EE), os resultados foram ajustados a uma equação de regressão quadrática em função do aumento das proporções de rejeito salino na água de irrigação na avaliação realizada 15 dias após a aplicação dos tratamentos (Figura 30). Observou-se que a salinidade da água de irrigação causou danos na membrana das folhas de *Helianthus tuberosus* L., chegando ao valor máximo de 56,87% quando o rejeito salino na água atingiu concentração de 69,50%. Os danos na membrana sob a maior proporção de rejeito (70%) foram de 68,15%, enquanto no tratamento controle foram de 44,26%, com aumento percentual de 53,97%.

Figura 30 – Extravasamento de eletrólitos (EE) de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (15 dias após a aplicação dos tratamentos salinos). Coeficientes da regressão significativos com $p \leq 0,01$ (**) e $p \leq 0,05$ (*). Colunas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)



Resultados semelhantes foram obtidos por Long et al. (2010b), que verificaram aumento significativo do extravasamento de eletrólitos em plantas irrigadas com água salina com 25% de rejeito marítimo ($CE = 10,44 \text{ dS m}^{-1}$). As cultivares testadas, N1 e N7, apresentaram comportamentos distintos, com a cultivar N1 com a menor taxa de danos na membrana. De forma análoga, Yang et al. (2021) verificaram aumento progressivo da peroxidação lipídica em plantas de *Helianthus tuberosus* L. submetidas a salinidade, o que resultou no aumento da permeabilidade da membrana, expressa pelo extravasamento de eletrólitos.

Xue et al. (2008), em estudo com CaCl_2 como agente mitigador do estresse salino em plantas de *Helianthus tuberosus* L., destacaram que as plantas irrigadas com solução salina de NaCl com concentração de 150 mmol L^{-1} tiveram aumento de 37% no extravasamento de eletrólitos em comparação ao controle. O aumento do EE está diretamente associado ao incremento exponencial do estresse na planta, visto que um dos principais órgãos injuriados é a membrana plástica, promovendo a fluidez do conteúdo da célula vegetal. Além disso, o acúmulo de EROs (espécies reativas de oxigênio) são prejudiciais às células em altas concentrações e acarreta danos oxidativos por meio da peroxidação de lipídeos da membrana, proteínas e ácidos nucleicos, podendo levar à morte celular (SILVEIRA et al., 2016).

As plantas cultivadas no solo S2 tiveram os maiores valores de EE (69,93%), o que pode indicar maior injúria na membrana. Tal dano na sua estrutura é oriundo do estresse salino, que é uma das características químicas deste solo ($CE = 19,38 \text{ dS m}^{-1}$). Possivelmente, a

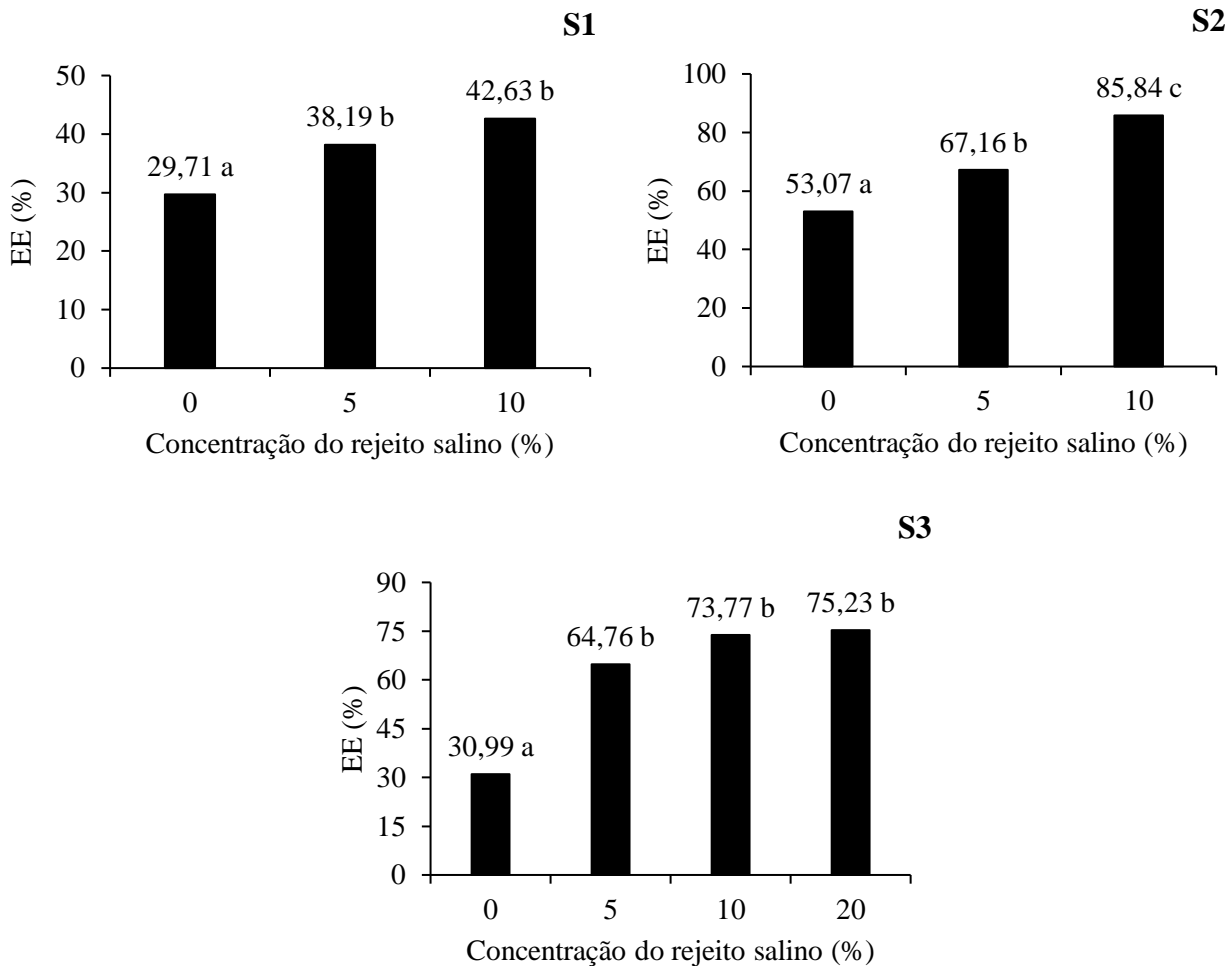
combinação entre a salinidade do solo e das águas com rejeito salino potencializou lesões na organela que é responsável pela delimitação do conteúdo celular. A maior concentração de Na^+ nas folhas juntamente com a produção de EROs, favorece a ação danosa dos radicais de oxigênio nas membranas e o aumento do efluxo de fluidos da célula, beneficiada pelo efeito direto (iônico) e efeito indireto (osmótico-hídrico).

Por outro lado, o aumento da saturação iônica da solução do solo pode acarretar o desequilíbrio entre os íons acessíveis pela planta, principalmente o Ca^{2+} , elemento que é essencial para o fortalecimento da parede celular, gerando assim, um aumento na porcentagem de EE com o aumento da salinidade (SCHOSSLER et al., 2012; BEZERRA et al., 2022).

Seguindo uma mesma tendência, aos 35 dias após a aplicação das águas de salinidade crescente, houve aumento no EE nas plantas cultivadas nos três solos (Figura 31). Foram contatados aumentos de 43,48% no solo S1, 61,74% no solo S2 e 142,75% no solo S3, na comparação entre o tratamento sem rejeito (0%) e os tratamentos com rejeito salino (10 e 20%). O EE atingiu valor máximo na maior proporção do rejeito, com 42,63% na proporção de 10% nas plantas do solo S1, 85,84% na proporção de 10% nas plantas do solo S2 e 75,23% na proporção de 20% nas plantas do solo S3 (Figura 31).

Tal incremento pode estar diretamente relacionado a efeitos iônicos, uma vez que o aumento da concentração de sais na água de irrigação pode alterar o equilíbrio dos elementos químicos no solo, incluindo principalmente o Ca^{2+} , elemento pertencente a estrutura da parede celular, gerando assim, o aumento percentual do extravasamento de eletrólitos, impulsionado aumento do estresse salino (BEZERRA et al., 2022).

Figura 31 – Extravasamento de eletrólitos (EE) de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (35 dias após a aplicação dos tratamentos salinos). Colunas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)



3.3.7 Estado nutricional das plantas

Como a avaliação dos dados do estado nutricional das plantas foi feita de forma separada entre os três solos avaliados, os resultados foram assim apresentados. Devido à mortalidade das plantas causadas pelo estresse, a análise de elementos da parte aérea e raiz foi apenas determinada no material vegetal de cada tratamento que se manteve vivo ao final da fase experimental.

No solo S1, a elevação das proporções do rejeito salino nas águas de irrigação não causou efeitos no estado nutricional de parte aérea e raiz das plantas de *Helianthus tuberosus* L., com exceção dos teores de sódio (Na) e cloro (Cl) ($p \leq 0,01$ e $p \leq 0,05$) (Tabela 16). Os

nutrientes avaliados fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) na parte aérea e raiz das plantas não foram alterados em função dos tratamentos aplicados ($p \geq 0,05$).

Tabela 16 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para os dados dos teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na) e cloro (Cl) na parte aérea (PA) e raiz (R) de plantas de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (Solo S1)

FV	GL	Quadrado médio (Parte aérea)					
		P	K	Ca	Mg	Na	Cl
Bloco	3	0,051 ^{NS}	5,16 ^{NS}	128,38 ^{NS}	1,19 ^{NS}	0,630 ^{NS}	59,22 ^{NS}
Água	2	0,513 ^{NS}	48,19 ^{NS}	364,45 ^{NS}	6,72 ^{NS}	12,00*	509,25**
Resíduo	6	0,107	13,10	182,58	2,40	2,19	25,47
Total	11						
CV (%)		13,61	30,81	48,23	27,22	24,28	10,63
FV	GL	Quadrado médio (Raiz)					
		P	K	Ca	Mg	Na	Cl
Bloco	3	0,979 ^{NS}	5,63 ^{NS}	1,95 ^{NS}	0,238 ^{NS}	2,07 ^{NS}	51,63 ^{NS}
Água	2	0,351 ^{NS}	2,76 ^{NS}	2,54 ^{NS}	0,338 ^{NS}	11,58**	403,00**
Resíduo	6	0,477	1,56	1,57	0,199	0,726	25,88
Total	11						
CV (%)		27,86	24,09	21,83	26,42	19,97	19,02

FV: fontes de variação; GL: graus de liberdade; (**) significativo pelo teste F a 1% de probabilidade; (*) significativo pelo teste F a 5% de probabilidade; (^{NS}) não significativo pelo teste F; CV: coeficiente de variação.

Foram observados teores médios de P na parte aérea variando de 9,96 a 13,19 g kg⁻¹ MS, com média de 12,02 g kg⁻¹ MS e, na raiz, os teores variaram de 12,06 a 14,03 g kg⁻¹ MS, com média de 12,40 g kg⁻¹ (Figuras 32 e 33). Os resultados de Dias et al. (2016) apresentaram o mesmo comportamento do presente estudo, com os teores de P nas folhas e raízes não apresentando variação com o aumento da concentração salina da água de irrigação. O teor de P ideal na planta está na faixa de 1,0 a 10,0 g kg⁻¹ de MS, que tem impacto direto na quantidade e qualidade da produção, pelo P participar de processos bioquímicos essenciais, como ativação de enzimas envolvidas em processos de produção e conversão de energia, respiração, fotossíntese e síntese de carboidratos, gorduras e proteínas (SKIBA et al., 2023).

Figura 32 – Teores de elementos na parte aérea de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (Solo S1). Colunas de mesma coloração seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)

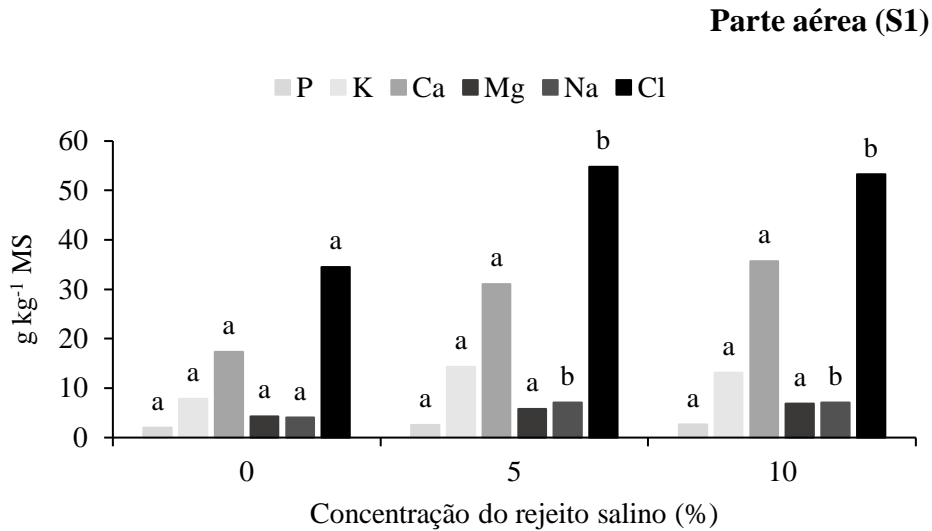
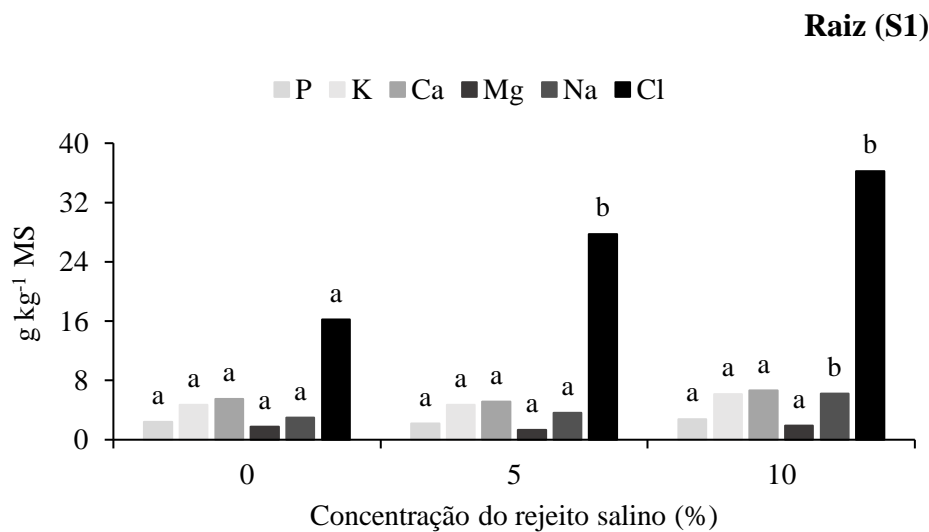


Figura 33 – Teores de elementos nas raízes de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (Solo S1). Colunas de mesma coloração seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)



Quanto aos teores de K, não houve diferença entre os tratamentos salinos, sendo o valor máximo encontrado de $14,32 \text{ g kg}^{-1}$ de MS no tratamento de 5% de rejeito salino na parte aérea, enquanto na raiz os teores chegaram a $6,15 \text{ g kg}^{-1}$ de MS no tratamento de 10% (Figura 32 e

33). A capacidade das plantas de manterem altos níveis de K na parte aérea possibilita a manutenção de baixos níveis de Na, sendo caracterizado como um mecanismo-chave de tolerância ao estresse salino. Embora não pertença à composição de nenhum composto orgânico, o K desempenha importantes funções nas plantas. Sob condições de alta salinidade, este nutriente atua no controle osmótico, abertura e fechamento estomático, fotossíntese, ativação de enzimas, síntese proteica e transporte de carboidratos (DIAS et al., 2016; TAIZ et al., 2017).

Os teores de Ca e Mg também não sofreram influência das proporções do rejeito salino, tanto na parte aérea como na raiz (Tabela 16, Figuras 32 e 33). E os valores máximos na parte aérea foram de 35,7 e 6,91 g kg⁻¹, para Ca e Mg, respectivamente; enquanto na raiz os teores foram de 6,64 g kg⁻¹ para Ca e 1,91 g kg⁻¹ para Mg, ambos obtidos nas plantas irrigadas com águas na proporção de 10% de rejeito (Figura 32 e 33).

Terzić et al. (2012) detectaram teores de Ca e Mg em folhas e tubérculos, com valores médios de 34,92 e 8,61 g kg⁻¹ e 2,23 e 0,97 g kg⁻¹, respectivamente. Dias et al. (2016) não evidenciaram diferenças significativas nestes dois nutrientes em plantas sob irrigação com água salina e mencionam que as folhas e raízes são os principais órgãos de acumulação de Ca e Mg. Long et al. (2010b) citaram que a salinidade pode não causar alterações nos teores de Ca nos tecidos vegetais, especialmente nos estágios iniciais do crescimento da planta. Portanto, os teores de Ca e Mg não têm sido propostos como características úteis para identificação de tolerância a sais por plantas.

No entanto, os teores de Na e de Cl foram influenciados pela aplicação das águas salinas, tanto na parte aérea como na raiz (Tabela 16, Figuras 32 e 33). Constataram-se teores de Na de 7,11 g kg⁻¹ e de 6,19 g kg⁻¹ de MS na parte aérea e raiz, respectivamente (Figuras 32 e 33). Resultados encontrados por Long et al. (2008) corroboram com os do presente estudo, que verificaram que os teores de Na na parte aérea e raiz aumentaram gradualmente com o tempo de irrigação com água salina nas proporções de 10 e 25%.

Segundo Negrão, Schmöckel e Tester (2017), o acúmulo de Na nos órgãos vegetais das plantas sob estresse salino, representa um dos principais efeitos característicos deste agente ambiental sobre o metabolismo vegetal, com danos irreversíveis nas estruturas das células, comprometendo funções vitais e resultando na morte celular. Excesso de Na na planta pode indicar armazenamento do íon no vacúolo, de modo a assegurar baixas concentrações no citosol. Sabe-se, também, que os cátions inorgânicos, como o Na, desempenham um papel importante no ajustamento osmótico das células vegetais (LONG et al., 2008).

Assim como o Na, acúmulos progressivos de Cl foram identificados na parte aérea e raiz, com o maior teor do íon na parte aérea chegando a $54,75 \text{ g kg}^{-1}$ na proporção de 5% e na raiz de $36,25 \text{ g kg}^{-1}$ na proporção de 10% do rejeito salino (Figuras 32 e 33). Como nutriente, o Cl exerce funções essenciais nos processos da fotossíntese e é exigido nas atividades de síntese de asparaginas e amilases. Mas seu excesso acarreta distúrbios às plantas com danos morfológicos nas folhas, murchamento de folíolos, clorose e necrose (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

Estudando os efeitos do estresse salino nas respostas fisiológicas e bioquímicas de cultivares de *Helianthus tuberosus* L., Long et al. (2009) observaram a mesma tendência de concentração do Cl na parte aérea e raiz, como identificado no presente estudo. Ao 6º dia de estresse, as plantas do tratamento controle acumularam Cl na parte aérea entre 2,13 a 13,14 mg g^{-1} e na raiz entre 2,84 a 14,56 mg g^{-1} ; no tratamento com 15% de água salina o acúmulo foi de 20,24 a 44,58 mg g^{-1} na parte aérea e na raiz entre 23,34 a 64,61 mg g^{-1} , e aos 30% chegaram a concentrar na parte aérea 43,31 a 62,84 mg g^{-1} e 44,38 a 66,03 mg g^{-1} na raiz. À medida que a solução do solo se tornou mais saturada pelo excesso de Cl^- oriundo das águas salinas, foi possível inferir maior absorção do elemento e, conseqüentemente, maior concentração nos órgãos vegetais.

A absorção desequilibrada de Cl pode desencadear uma série de danos fisiológicos e metabólicos, principalmente no que se diz respeito a eficiência da fotossíntese. Estes resultados ainda podem indicar uma influência positiva no ajuste do potencial osmótico das células e na regulação da abertura estomática, conferindo-lhe uma proteção contra o estresse iônico (GARCIA et al., 2005; SILVA, 2015; LIRA et al., 2019).

Para as plantas cultivadas no solo S2, foi identificado efeito das proporções do rejeito salino da água de irrigação apenas na parte aérea para os teores de potássio (K), magnésio (Mg), sódio (Na) e cloreto (Cl) ($p \leq 0,01$ ou $p \leq 0,05$). Os teores dos elementos na raiz não foram alterados pelo aumento da concentração salina da água ($p > 0,05$) (Tabela 17).

O teor máximo de K na parte aérea foi de 20,1 g kg^{-1} de MS com 10% do rejeito salino (Figuras 34 e 35). Apesar do seu antagonismo com o Na, muitas vezes indicando reduções na sua absorção, o K teve aumento de concentração na parte aérea das plantas, mesmo com a potencialização do estresse combinado entre água e este solo, que é caracterizado como salino. (Tabela 4). Dias et al. (2016) confirmaram tal resposta em seu estudo com *Helianthus tuberosus* L. sob condições de estresse salino, com concentrações elevadas de K na parte aérea em função do aumento da salinidade da água de irrigação, com teor de K de 44,1 g kg^{-1} na CE_a de 9,3 dS m^{-1} .

Tabela 17 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para os dados dos teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na) e cloro (Cl) na parte aérea e raiz de plantas de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (Solo S2)

FV	GL	Quadrado médio (Parte aérea)					
		P	K	Ca	Mg	Na	Cl
Bloco	3	0,204 ^{NS}	3,35 ^{NS}	62,67 ^{NS}	0,876 ^{NS}	5,27*	75,66 ^{NS}
Água	2	0,045 ^{NS}	48,59**	1,14 ^{NS}	3,26*	19,29**	400,33*
Resíduo	6	0,219	2,55	38,00	0,390	0,866	65,33
Total	11						
CV (%)		16,93	9,36	28,67	7,54	8,96	11,57

FV	GL	Quadrado médio (Raiz)					
		P	K	Ca	Mg	Na	Cl
Bloco	3	2,63 ^{NS}	1,17 ^{NS}	1,02 ^{NS}	1,08 ^{NS}	5,70 ^{NS}	168,97 ^{NS}
Água	2	0,452 ^{NS}	0,814 ^{NS}	3,51 ^{NS}	2,42 ^{NS}	5,39 ^{NS}	163,08 ^{NS}
Resíduo	6	1,81	0,342	5,38	1,44	0,726	83,63
Total	11						
CV (%)		36,97	12,30	33,52	24,10	24,16	17,12

FV: fontes de variação; GL: graus de liberdade; (**) significativo pelo teste F a 1% de probabilidade; (*) significativo pelo teste F a 5% de probabilidade; (^{NS}) não significativo pelo teste F; CV: coeficiente de variação.

Nobre et al. (2013) constataram resultados similares na mamoneira (*Ricinus communis* L.), com aumento no teor de K de 33,2% nas plantas irrigadas com água de 4,4 dS m⁻¹. Os autores atribuíram esta acumulação sob condições de estresse salino a um mecanismo chave na expressão de alta tolerância aos sais, sendo a parte aérea das plantas o principal concentrador de K. A manutenção da relação K/Na elevada nos tecidos vegetais é considerada uma característica adaptativa e importante para o crescimento da planta em ambientes salinos, permitindo que as células realizem seus mecanismos vitais próximos da normalidade (TAIZ et al., 2017).

Figura 34 – Teores de elementos na parte aérea de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (Solo S2). Colunas de mesma coloração seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)

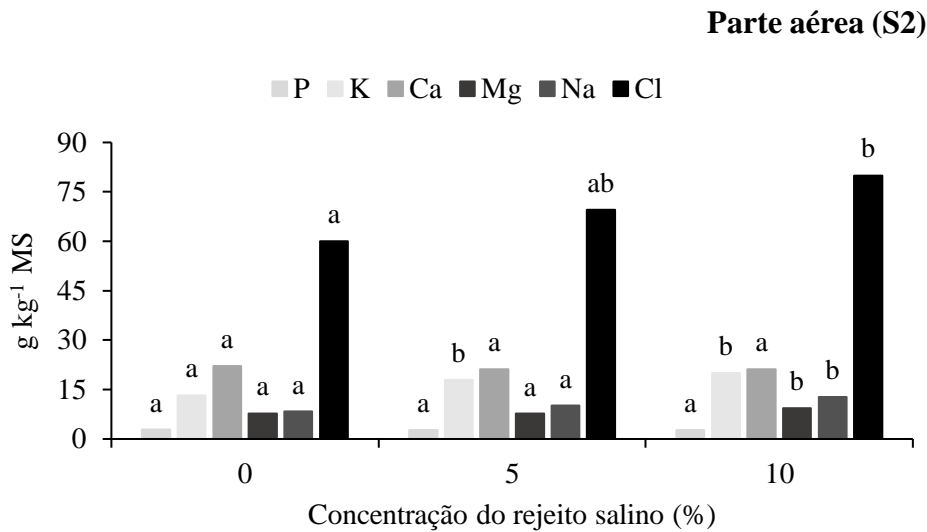
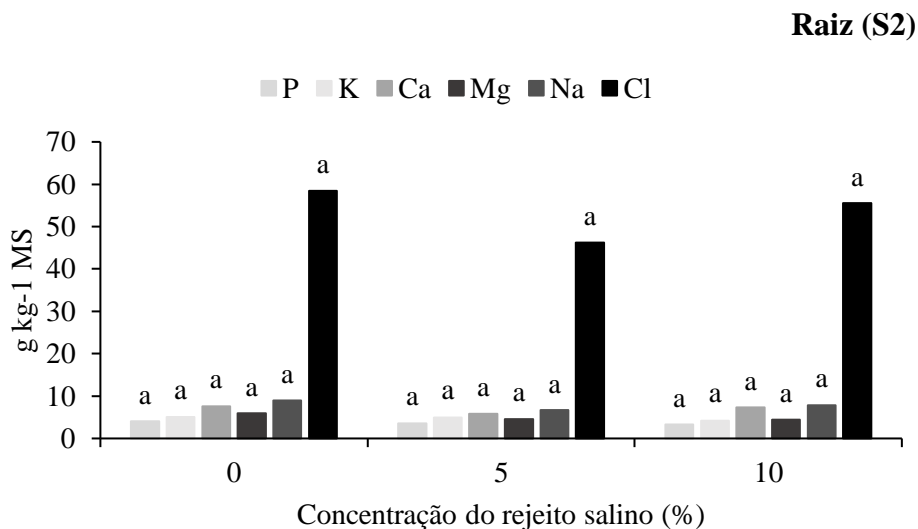


Figura 35 – Teores de elementos nas raízes de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (Solo S2). Colunas de mesma coloração seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)



Quanto ao Mg, o teor máximo na parte aérea foi de 9,33 g kg⁻¹ MS, obtido sob a proporção salina de 10% (Figura 34 e 35). Rossini et al. (2019) relataram que a espécie *Helianthus tuberosus* L. teve alta demanda por Mg, com concentração média ideal nas folhas de 8,61 g kg⁻¹, com valor máximo de 12,31 g kg⁻¹ (TERZIC et al., 2012). O Mg tem papel

essencial na fotossíntese, sendo responsável por ser o átomo central da clorofila nas folhas verdes, correspondendo entre 15 e 20% de todo o Mg na planta (SAWICKA et al., 2021).

Dias et al. (2016) não evidenciaram diferenças significativas de Mg nas folhas *Helianthus tuberosus* L. com o aumento da salinidade da água de irrigação, mas na CE_a de 12 dS m⁻¹ os teores atingiram seu maior valor, chegando a 6,1 g kg⁻¹ de MS. Os autores citaram que as folhas são o principal órgão de acumulação do Mg e, conforme Jones Júnior, Wolf e Mills (1991), os teores adequados variam de 3 a 10 g kg⁻¹ de MS de Mg, sendo considerados satisfatórios à cultura no presente estudo.

Os teores de Na na parte aérea das plantas tiveram influência do aumento das proporções do rejeito salino nas águas de irrigação (Tabela 17), com o teor máximo de 12,67 g kg⁻¹ de MS obtido com a proporção de 10% (Figuras 34 e 35). Em estudo com *Helianthus tuberosus* L. sob estresse salino, Yan et al. (2018b) destacaram que os teores de Na aumentaram em plantas irrigadas com solução salina após quatro dias de estresse. Foi aplicada solução de concentração de NaCl de 150 mM, com acúmulo de Na de 7,22 mg g⁻¹ de MS, tendo as plantas do tratamento controle apresentado teor foliar de 1,08 mg g⁻¹ de MS. Esta maior acumulação de Na após incremento da salinidade da água de irrigação, sugere não ter havido exclusão do íon fitotóxico, resultando em elevadas concentrações na parte aérea e um possível armazenamento no vacúolo. Ainda é plausível inferir prováveis alterações no balanço hormonal, perda de turgescência e redução da atividade metabólica da planta (SILVEIRA et al., 2016; TAIZ et al., 2017).

O Cl foi destacado como o elemento com a mais expressiva acumulação na parte aérea das plantas dentre todos os analisados. Por estar presente no solo na forma de ânion, o Cl não é retido nem adsorvido pela maioria das partículas coloidais, estando na solução do solo de forma prontamente absorvida pela raiz para ser translocado às folhas. No presente estudo, o Cl na parte aérea atingiu o teor máximo (80 g kg⁻¹ de MS) quando as plantas de *Helianthus tuberosus* L. foram irrigadas com a proporção do rejeito salino de 10% (Figuras 34 e 35).

Os altos teores de Cl nas águas, originadas pela composição do próprio rejeito do dessalinizador (Tabela 5), resultaram na presença deste elemento em maiores concentrações nos solos, incrementando sua concentração nas plantas. Dias et al. (2016) verificaram efeito significativo entre os tratamentos salinos, com um aumento dos teores de Cl na parte aérea com o aumento da salinidade da água de irrigação. Os autores mencionaram, ainda, que a parte aérea não atingiu sua máxima concentração de Cl mesmo as plantas sendo supridas com água de CE_a de 12 dS m⁻¹. Valendo destacar que o presente estudo não houve fração de lixiviação, enquanto o estudo supracitado, se caracterizou por apresentar uma fração de lixiviação infinita, onde sob

uma CE_a de 12 dS m^{-1} a concentração de Cl nas folhas e caule foi de $24,7$ e $16,6 \text{ g kg}^{-1}$ de MS de Cl, respectivamente.

O incremento no teor de Cl na parte aérea sob condições salinas, é considerado comportamento natural, justificando-se sua maior absorção pelas plantas solo S2, que já apresentava características salinas ($CE_{es} = 19,38 \text{ dS m}^{-1}$) (Tabelas 3 e 4), sendo potencializado pela irrigação com águas de maior salinidade e sem fração de lixiviação (Tabela 5). Sua alta movimentação na planta, leva à concentração na folha, principal órgão acumulador do elemento. Mesmo sendo elemento essencial ao metabolismo vegetal, o acúmulo excessivo de Cl pode desencadear distúrbios metabólicos com a manifestação de sintomas causados pela toxicidade.

A análise da variância (ANOVA) dos teores dos elementos nas plantas cultivadas no solo S3 está apresentada na tabela 18. Apenas os teores de K, Na e Cl tiveram diferença significativa na parte aérea com o incremento da proporção do rejeito salino nas águas de irrigação ($p \leq 0,01$). Não houve a influência da salinidade da água de irrigação nos teores dos elementos nas raízes ($p > 0,05$).

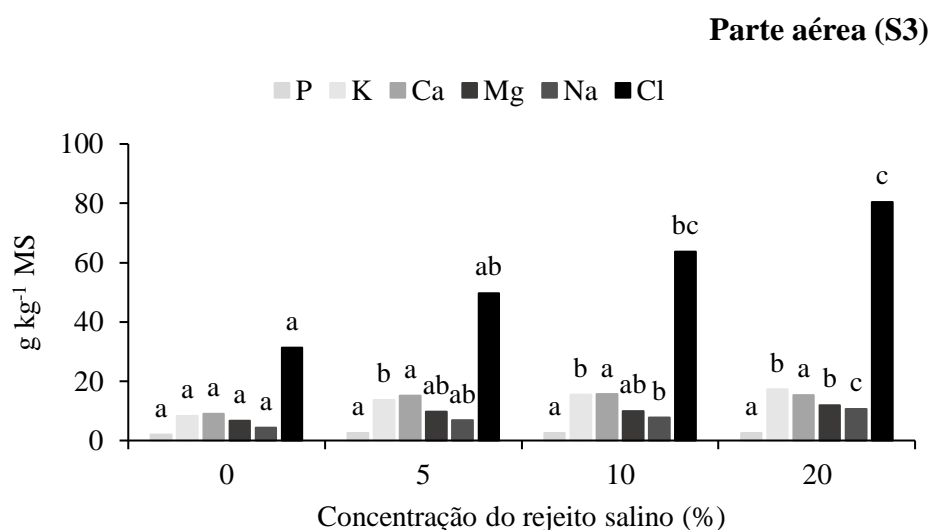
Tabela 18 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para os dados dos teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na) e cloro (Cl) na parte aérea e raiz de plantas de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (Solo S3)

FV	GL	Quadrado médio (Parte aérea)					
		P	K	Ca	Mg	Na	Cl
Bloco	3	0,423*	7,62 ^{NS}	9,62 ^{NS}	3,86 ^{NS}	4,01 ^{NS}	136,56 ^{NS}
Água	3	0,300 ^{NS}	59,53**	41,11 ^{NS}	18,91*	27,98**	1748,72**
Resíduo	9	0,108	3,83	12,78	5,31	1,71	127,72
Total	15						
CV (%)		13,67	14,30	26,00	24,14	17,77	20,07
FV	GL	Quadrado médio (Raiz)					
		P	K	Ca	Mg	Na	Cl
Bloco	3	0,319 ^{NS}	2,34 ^{NS}	0,386 ^{NS}	1,27 ^{NS}	0,709 ^{NS}	101,66 ^{NS}
Água	3	0,411 ^{NS}	1,37 ^{NS}	0,884 ^{NS}	4,06 ^{NS}	3,59 ^{NS}	76,50 ^{NS}
Resíduo	9	1,25	5,75	1,96	3,75	4,72	54,61
Total	15						
CV (%)		80,21	12,30	44,16	74,29	61,88	26,39

FV: fontes de variação; GL: graus de liberdade; (**) significativo pelo teste F a 1% de probabilidade; (*) significativo pelo teste F a 5% de probabilidade; (^{NS}) não significativo pelo teste F; CV: coeficiente de variação.

De maneira geral, os acréscimos de rejeito na água de irrigação promoveram aumento dos teores de K na parte aérea das plantas de *Helianthus tuberosus* L., com teor máximo de 17,21 g kg⁻¹ de MS, atingido com água na proporção de 20% de rejeito, sendo o menor teor de 8,31 g kg⁻¹ de MS obtido no tratamento controle (0%). Terzić et al. (2012), em estudo com diferentes genótipos e analisando a concentração dos elementos essenciais, encontraram teores médios de K nas folhas de 24,73 g kg⁻¹, com teor mínimo e máximo de 8,19 e 43,59 g kg⁻¹, respectivamente. Os teores de K do presente estudo, encontram-se dentro dos valores mencionados por estes autores (Figuras 36 e 37). Dias et al. (2016) não identificaram efeito significativo da salinidade da água de irrigação em cultivo com fração de lixiviação infinita nas concentrações de K nas folhas, com maior acúmulo de 44,1 g kg⁻¹ MS de K sob a CEa de 9,3 dS m⁻¹. Ainda segundo os autores, as plantas mantiveram concentrações adequadas de K nas folhas e nenhum antagonismo entre K e Na foram observados.

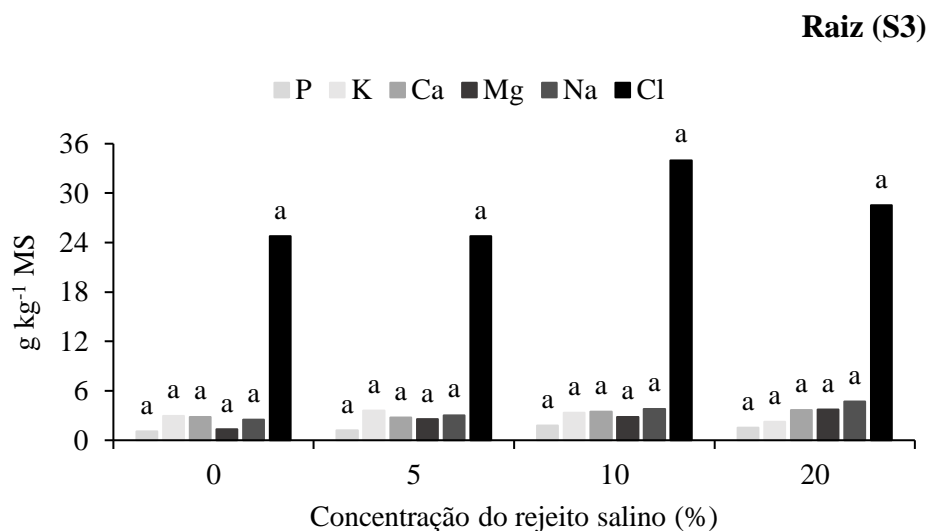
Figura 36 – Teores de elementos na parte aérea de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (Solo S3). Colunas de mesma coloração seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)



Os resultados obtidos neste trabalho corroboram aqueles de diversos autores, como Long et al. (2008), que verificaram que as concentrações de K na parte aérea aumentaram gradativamente com o estresse, em relação ao tratamento controle. Mas quando comparado entre os tratamentos com rejeito salino, não houve diferença significativa. Os autores relataram observar aumento mais acentuado quando as plantas foram irrigadas com água salina na proporção de 25%, na proporção de 10%, enquanto que, o incremento foi menos pronunciado.

Segundo os autores, o acúmulo de solutos inorgânicos desempenha papel importante, isoladamente ou combinado com outros mecanismos, na manutenção do desequilíbrio osmótico causado pelo estresse. Mas o aumento de K, principalmente nas folhas, é fundamental no ajuste do potencial osmótico das células vegetais. Isso sugere que as plantas de *Helianthus tuberosus* L. possuem um mecanismo para acumular mais íons inorgânicos sob condições de estresse salino (AZEVEDO NETO; SILVA, 2015). Segundo Dias et al. (2016), a redução do crescimento de *Helianthus tuberosus* L. podem está associado aos níveis elevados de Cl, e não a falta de K. Ainda pode ser ressaltado a capacidade de a planta manter níveis altos de K na parte aérea, enquanto mantêm baixos níveis de Na, sendo assim um mecanismo que contribue para a expressão de tolerância da espécie aos sais.

Figura 37 – Teores de elementos nas raízes de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce (Solo S3). Colunas de mesma coloração seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)



A parte aérea das plantas também teve elevação do teor de Na com o aumento dos sais na água de irrigação, sendo observado teor de 10,68 g kg⁻¹ de MS na proporção de 20% de rejeito (Figuras 36 e 37). Long et al. (2010a) também observaram aumento da absorção e acúmulo de Na em *Helianthus tuberosus* L., cultivado em areia em com drenagem livre. Nos tecidos da parte aérea foram observados incrementos do íon Na com o aumento da salinidade da água de irrigação, que em comparação com o controle aumentou de 5,0 para 18,5 vezes o acúmulo de Na, sob CE_a que variou de 1,14 a 16,30 dS m⁻¹.

O Na, quando não compartimentalizado, torna-se tóxico, podendo causar os mais diversos danos no metabolismo e fisiologia das plantas, diminuindo processos vitais como a fotossíntese (FLOWERS; MUNNS; COLMER, 2015). Os resultados sugerem que *Helianthus tuberosus* L. teve capacidade de compartimentalizar Na no vacúolo, sendo um dos principais mecanismos de tolerância ao estresse salino, possibilitando que a presença de Na nas concentrações aplicadas pudessem contribuir para a osmoregulação celular (SOARES FILHO et al., 2016). No entanto, as plantas não sobreviveram quando a salinidade esteve mais alta, possivelmente acima da salinidade limiar da cultura, que no estudo de Dias et al. (2016) a cultivar Stampede testada sob CE_a de 1,2 até 12 dS m⁻¹, apresentou salinidade limiar sob condições de estresse salino de 6,6 dS m⁻¹.

Para os teores de Cl, o incremento dos sais na água de irrigação favoreceu o aumento de sua concentração na parte aérea, com acúmulos progressivos a medida que as proporções de rejeito salino foram acrescidas, como teor máximo de 80,50 g kg⁻¹ na proporção de 20% do rejeito salino (Figuras 36 e 37).

Long et al. (2010b) em estudo com duas cultivares de *Helianthus tuberosus* L. sob irrigação com água salina, com o intuito de explorar a variabilidade genética em ambiente salino, também constataram aumento na concentração de Cl na parte aérea após irrigação com água salinizada na proporção de 25% ($CE_a = 10,44$ dS m⁻¹). Além disso, as concentrações de Cl na parte aérea das cultivares N1 e N7 aumentaram progressivamente para todos os tratamentos com sais, à medida que o experimento se prolongou, chegando a teores na raiz de 1,86 e 1,50 mmol g⁻¹ MS e na parte aérea de 1,77 e 1,28 mmol g⁻¹ MS nas cultivares N1 e N7, respectivamente. Segundo os autores, a regulação do transporte e distribuição dos íons nos órgãos da planta e dentro das células, representa importante mecanismo de tolerância aos sais. Ferreira, Liu e Suarez (2019) destacam que é mais comum ver os níveis de Cl aumentarem em todos os órgãos da planta. A tolerância ao estresse salino parece ser uma questão de tolerância do tecido vegetal à toxicidade por Cl (SINGH, 2021).

3.3.8 Atributos químicos do solo

Dentre os atributos químicos avaliados nos solos, os teores de potássio (K⁺) e sódio (Na⁺) trocáveis e a capacidade de troca de cátions (CTC) foram influenciadas significativamente pela interação entre os fatores solo x água ($p \leq 0,01$ ou $p \leq 0,05$) (Tabela 19). As variáveis potencial hidrogeniônico (pH_{água} 1:2,5), cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺)

trocáveis e a porcentagem de sódio trocável (PST) foram influenciadas de forma isolada pelos mesmos fatores ($p \leq 0,01$ ou $p \leq 0,05$).

Tabela 19 – Resumo da análise de variância para os dados de potencial hidrogeniônico ($\text{pH}_{\text{água}} 1:2,5$), potássio (K^+), sódio (Na^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), capacidade troca de cátions (CTC) e porcentagem de sódio trocável (PST) do complexo sortivo dos solos cultivados com *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce

FV	GL	Quadrado médio						
		$\text{pH}_{\text{água}(1:2,5)}$	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	CTC	PST
Bloco	3	0,501 ^{NS}	0,005 ^{NS}	0,183 ^{NS}	0,289 ^{NS}	0,067 ^{NS}	0,625 ^{NS}	16,04 ^{NS}
Solo	2	26,26 ^{**}	1,45 ^{**}	59,73 ^{**}	1471,66 ^{**}	1,98 ^{**}	2091,28 ^{**}	483,27 ^{**}
Água	5	0,875 ^{NS}	0,061 ^{**}	0,370 [*]	19,24 ^{**}	0,255 [*]	23,02 ^{**}	30,60 [*]
Solo x Água	10	0,571 ^{NS}	0,026 ^{**}	0,359 ^{**}	3,72 ^{NS}	0,154 ^{NS}	6,24 [*]	9,91 ^{NS}
Resíduo	51	0,528	0,006	0,114	2,16	0,080	2,43	11,13
Total	71							
CV (%)		11,24	16,69	22,47	18,28	16,72	12,86	30,21

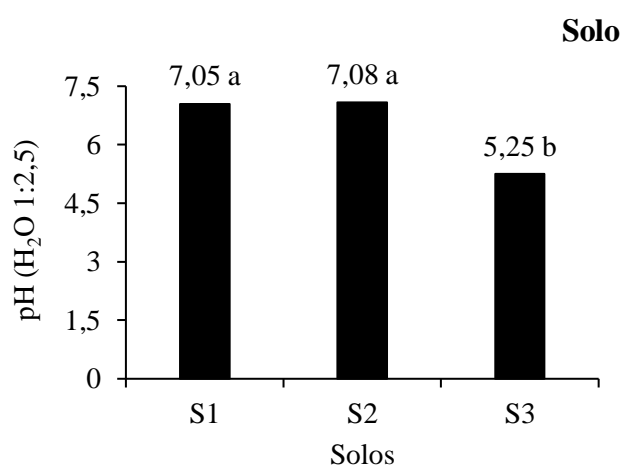
FV: fontes de variação; GL: graus de liberdade; (**) significativo pelo teste F a 1% de probabilidade; (*) significativo pelo teste F a 5% de probabilidade; (^{NS}) não significativo pelo teste F; CV: coeficiente de variação.

Foram observadas diferenças nos valores de pH entre os solos, sem interferências das águas salinas aplicadas (Figura 38). No entanto, os solos já apresentavam estas mesmas diferenças antes da aplicação dos tratamentos (Tabela 4). Possivelmente, estes valores sejam diferentes em função, principalmente, das características químicas dos solos utilizados. Na caracterização inicial, o solo S3 apresentou o menor pH (5,72) comparado aos demais solos. Contudo, em todos os solos foram identificadas mudanças em relação ao pH da caracterização inicial: o pH do solo S1 passou de 7,41 para 7,05, o solo S2 de 7,33 para 7,08 e o solo S3 de 5,72 para 5,25. As alterações impostas ao sistema durante a experimentação devem ter promovido estas diminuições, inclusive, o cultivo das plantas e sua microbiota associada. Isso indica efeitos positivos do cultivo de plantas em solos menos intemperizados do semiárido, geralmente de pH neutro a alcalino, como os solos S1 e S2 deste estudo.

Ocorrência similar foi encontrada por Shao et al. (2019), em estudo com *Helianthus tuberosus* L. como espécie remediadora de solos afetados por sais com diferentes níveis de salinidade, no qual o pH do solo diminuiu nos níveis de salinidade baixa e moderada, em

comparação com o solo não cultivado com a planta. O pH diminuiu do solo sem cultivo para o solo com cultivo, onde, na salinidade baixa foi de 8,15 para 7,79, e na salinidade moderada foi 8,16 para 7,79. Valores de pH elevados ou baixos podem interferir na disponibilidade dos nutrientes às plantas, sendo o pH alcalino responsável pela diminuição na disponibilidade de micronutrientes catiônicos (Fe, Cu, Zn e Mn), o que pode causar deficiências e distúrbios no metabolismo de plantas cultivadas nestes ambientes (SCHOSSLER et al., 2012).

Figura 38 – Valores de pH_{H_2O} (1:2,5) dos solos cultivados com *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce. Colunas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)

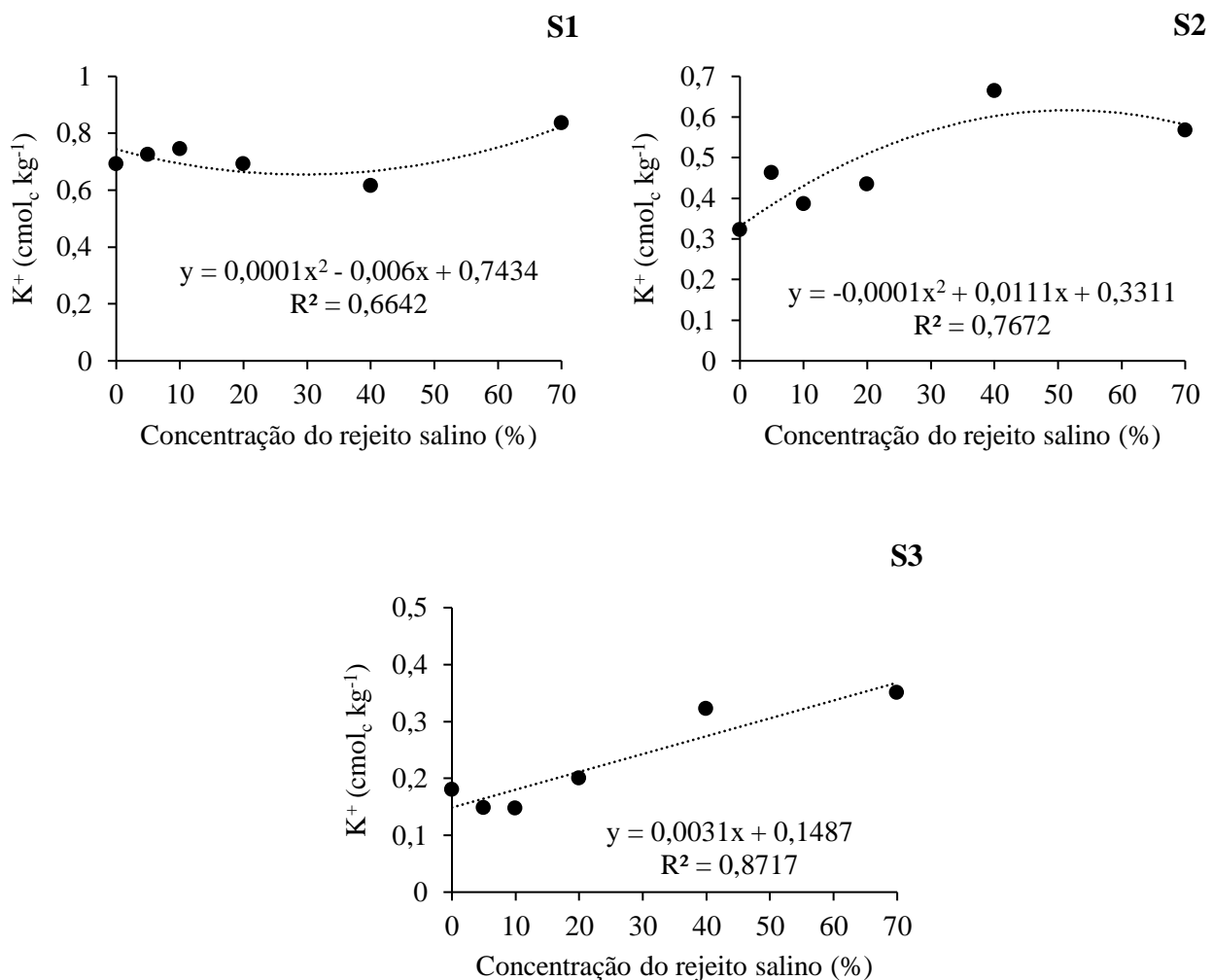


Os teores de potássio trocável (K^+) aumentaram nos três solos em função do uso de águas de salinidade crescente, sendo o modelo quadrático o melhor ajustado para os solos S1 e S2 e o modelo linear para o solo S3 (Figura 39). No solo S1, o maior teor estimado foi de K^+ $0,813 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ na concentração de 70% de rejeito, incremento percentual de 24,48%. O solo S2 alcançou um pico máximo de K^+ na concentração do rejeito salino de 55,50% com um teor de $0,639 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Diferentemente dos demais solos, o solo S3 teve aumentos progressivos até o tratamento mais salino, com teores de $0,148$ e $0,365 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, respectivamente, entre 0 e 70% de rejeito. Ainda foi possível constatar que, a cada acréscimo porcentual nas misturas do rejeito salino, houve um aumento de 2,08% nos teores do elemento no solo (Figura 39).

Li et al. (2023) também observaram aumento dos teores de K^+ no solo com o incremento da salinidade e da razão Na:Ca, em estudo com tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Tais resultados podem ser atribuídos aos teores de K^+ originalmente já existentes no solo e à concentração do íon presente na água salina ($1,35 \text{ g L}^{-1}$ de K^+). Segundo Linhares et al. (2013), a alta salinidade da água de irrigação (6 dS m^{-1}) proporcionou acúmulos de K^+ no solo de

aproximadamente $0,650 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, e os mesmos correlacionam tal comportamento ao efeito antagonístico com o Na^+ , pois existe uma competição direta pelos sítios de absorção na membrana plasmática das raízes.

Figura 39 – Teores de potássio (K^+) trocável nos solos cultivados com *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce. Coeficientes da regressão significativos com $p \leq 0,01$ (**) e $p \leq 0,05$ (*)

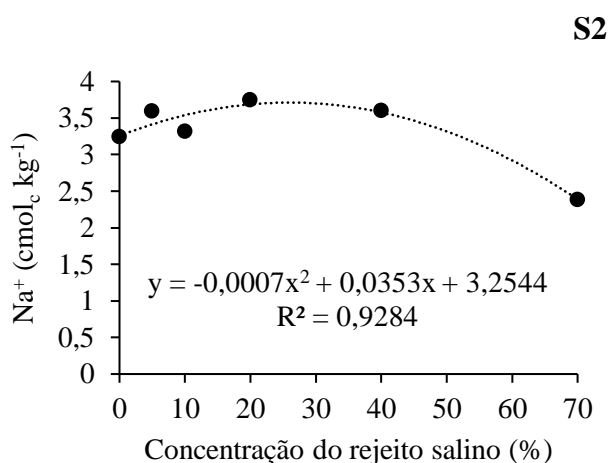


Quanto ao sódio (Na^+), as maiores concentrações foram identificadas no solo S2, e o comportamento dos dados foi expresso obedecendo o modelo polinomial quadrático como o melhor ajuste (Figura 40). Os teores de Na^+ atingiram um pico máximo de acumulação no solo S2 quando a proporção do rejeito salino alcançou a concentração de 25,21% com um valor estimado de $3,69 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. A partir deste ponto, houve uma redução de 37,79% até a proporção salina de 70%, com o valor de Na^+ atingindo $2,29 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Ao contario do solo

S2, nos solos S1 e S3 foram observados teores mais baixos de Na^+ . No entanto, nenhum modelo matemático testado se ajustou aos dados de Na^+ no presente estudo. A concentração média após a aplicação do rejeito salino nos solos S1 e S3 foram de 0,773 e 0,426 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$.

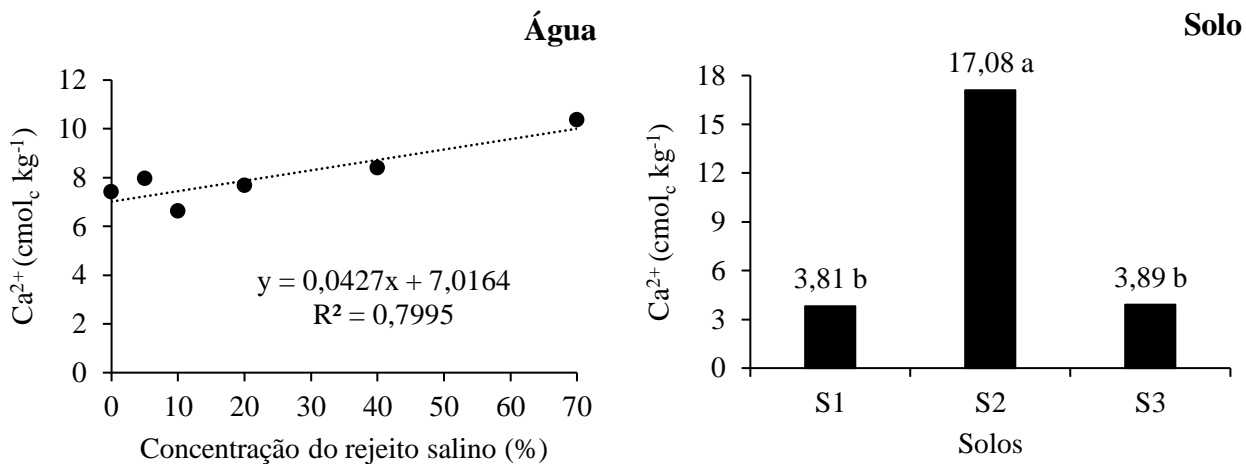
Pessoa et al. (2019), estudando o efeito da irrigação com água salina nas propriedades químicas de dois solos, verificaram mudanças mais severas em um Neossolo Flúvico com textura franco argilo siltoso, em comparação com um de textura franco arenosa. Os teores de Na^+ no solo atingiu valores de 0,660 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ no franco arenoso e 0,980 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ no franco argilo siltoso. Os autores destacam que aumentos de Na^+ no complexo de troca do solo podem representar efeitos adversos de ordem danosa, como a sodificação e comprometimento das propriedades físicas do solo, principalmente estrutura, podendo ocorrer a dispersão dos colóides e destruição de agregados (PEDROTTI et al., 2015).

Figura 40 – Teores de sódio (Na^+) trocável nos solos cultivados com *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce. Coeficientes da regressão significativos com $p \leq 0,01$ (**) e $p \leq 0,05$ (*)



Quanto ao cálcio trocável (Ca^{2+}) nos solos, constatou-se incremento nos teores em função do aumento das proporções do rejeito salino nas águas de irrigação, seguindo modelo linear (Figura 41). Estimou-se que cada incremento percentual das proporções do rejeito salino, promove aumento nos teores de Ca^{2+} de 0,608% nos três solos utilizados, com diferença de 42,60% entre o menor (0%) e o maior (70%) tratamento salino, equivalendo a teores de Ca^{2+} de 7,01 e 10,0 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, respectivamente.

Figura 41 – Teores de cálcio (Ca^{2+}) trocável nos solos cultivados com *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce. Coeficientes da regressão significativos com $p \leq 0,01$ (**) e $p \leq 0,05$ (*). Colunas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)



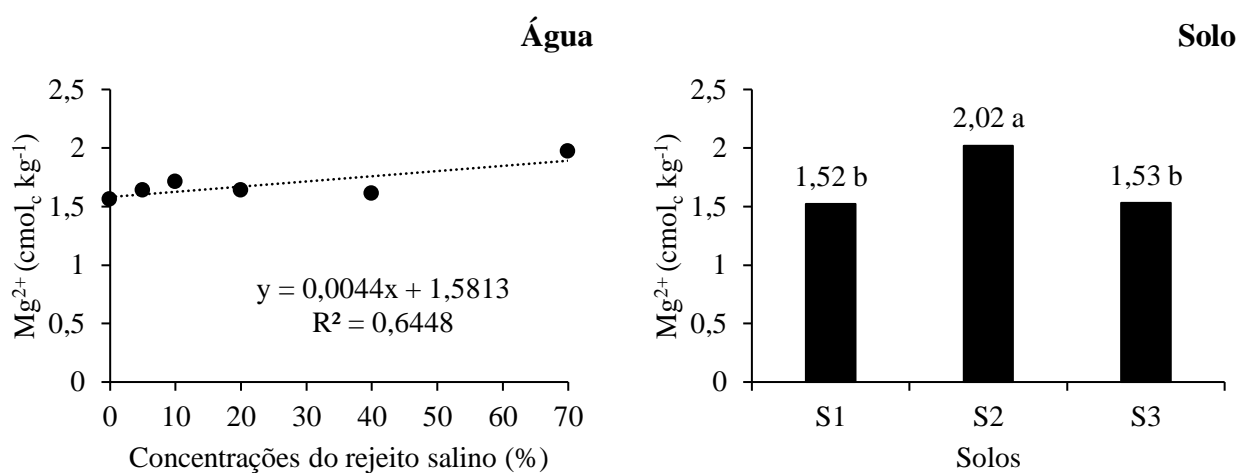
Por outro lado, as maiores concentrações de Ca^{2+} , foram verificadas no solo S2, sendo este solo o que já apresentava maior teor de Ca^{2+} na caracterização inicial (Tabela 3). Possivelmente, a partir da irrigação com as águas salinas, a acumulação do elemento neste solo tenha sido potencializada. Ao final do ciclo experimental o solo S2 chegou a 17,08 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ de Ca^{2+} e diferiu dos solos S1 e S3, com teores de 3,81 e 3,89 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, respectivamente (Figura 41).

As mesmas constatações foram encontradas por Pessoa et al. (2019), que encontraram maiores teores de Ca^{2+} trocável em solos irrigados com água salina com CE de 700 $\mu\text{S cm}^{-1}$, com teor de 11,27 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$. No solo com textura franco argilo siltoso foram observados os maiores teores de Ca^{2+} , chegando a 12,67 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, enquanto o solo de textura franco arenosa, o máximo foi de 9,20 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$. Os autores postularam que o uso contínuo de água de natureza salina incrementa os teores, principalmente de Ca^{2+} e Na^+ , cátions em maiores concentrações nas águas comumente encontradas no semiárido brasileiro. A disponibilidade de Ca^{2+} no solo traz benefícios diretos à planta, sendo um importante componente da parede celular e estrutural da célula (MARQUES, 2020). No entanto, em altas proporções em relação a K^+ e Mg^{2+} , pode causar desbalanços nutricionais na planta.

Comportamento similar foi encontrado para o magnésio (Mg^{2+}), com incremento de 19,47% entre o menor (0%) e o maior (70%) tratamento salino (Figura 42). Numericamente, os tratamentos sob irrigação com 0 e 70% tiveram teores de 1,58 e 1,88 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ de Mg^{2+} . O maior teor de Mg^{2+} foi encontrado no solo S2 e diferiu dos solos S1 e S3. Holanda Filho et al.

(2011), avaliando os atributos químicos do solo no cultivo de plantas de mandioca (*Manihot esculenta*) com irrigação salina, encontraram o maior teor de Mg^{2+} a partir da irrigação com água salina de 3 dS m^{-1} ($3,51 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

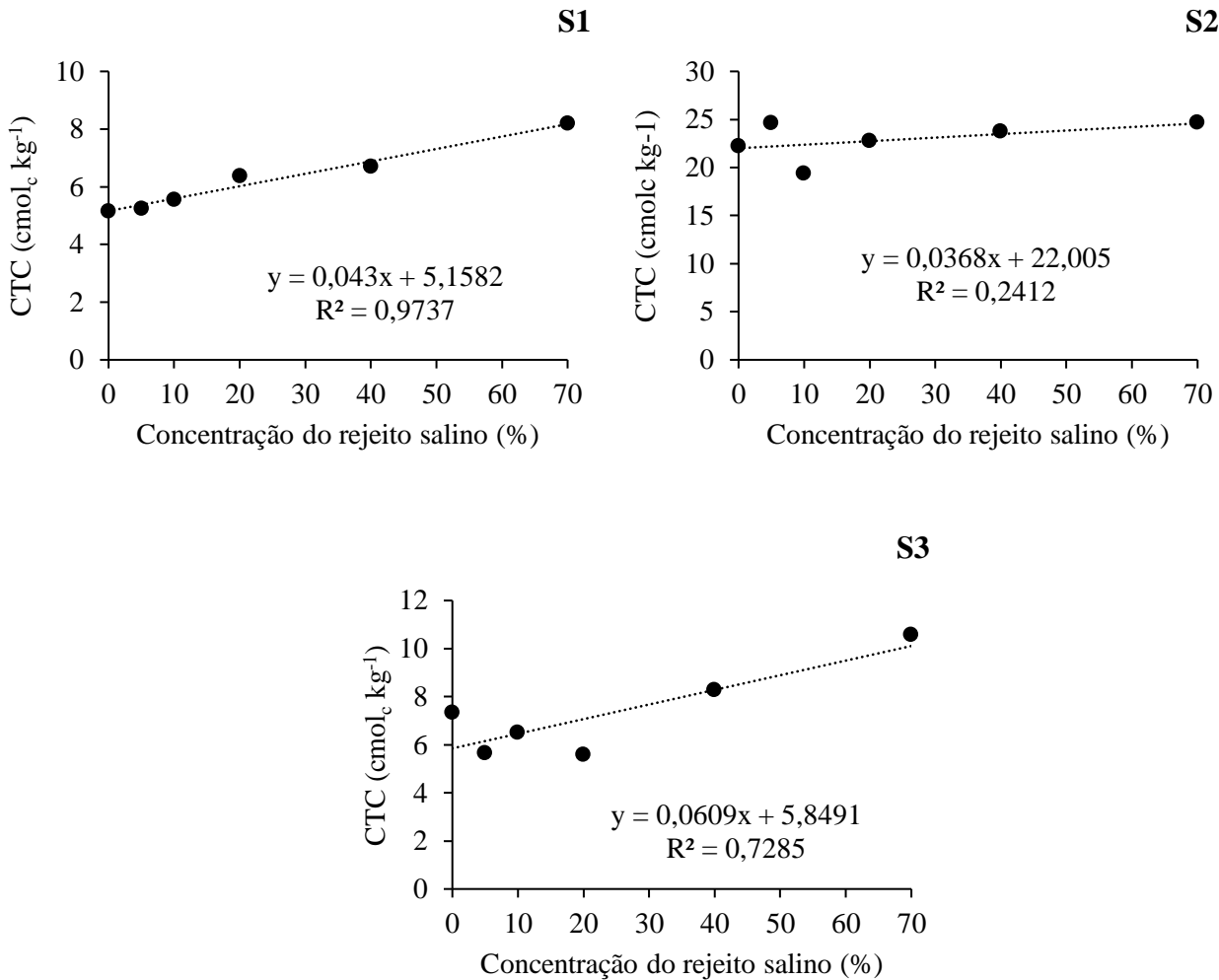
Figura 42 – Teores de magnésio (Mg^{2+}) trocável nos solos cultivados com *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce. Coeficientes da regressão significativos com $p \leq 0,01$ (**) e $p \leq 0,05$ (*). Colunas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)



Geralmente, o Mg^{2+} trocável está presente nos solos em concentrações menores do que as de Ca^{2+} , sendo o que, também, foi observado neste estudo (Tabela 3). Fernandes et al. (2014), em pesquisa com Neossolo Flúvico da mesma região, identificaram teores de Mg^{2+} dentro dos padrões normais para a ordem, com uma amplitude de variação entre média e baixa. Já Santos et al. (2013), em Cambissolo Flúvico de elevado grau de salinização e sodificação cultivado com *Atriplex nummularia*, constatou aumentos de Mg^{2+} ao longo do tempo, e atribuiu à capacidade fitorremediadora da planta em liberar substâncias acidificantes via sistema radicular liberando o Mg^{2+} dos constituintes minerais do solo.

O aumento na proporção de rejeito salino na água de irrigação também promoveu incremento nos valores de capacidade de troca de cátions (CTC), com modelos lineares para os três solos avaliados (Figura 43). A maior CTC estimada foi observada sob proporção salina de 70% do rejeito em todos os solos, com CTC de 8,16, 24,58 e 10,11 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ nos solos S1, S2 e S3, respectivamente. Quando confrontado os incrementos percentuais entre a menor (0%) e a maior (70%) proporção salina nos solos, estes valores chegaram a 58,35% no solo S1, 11,70% no solo S2 e 72,88% no solo S3.

Figura 43 – Capacidade de troca de cátions (CTC) dos solos cultivados com *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce. Coeficientes da regressão significativos com $p \leq 0,01$ (**) e $p \leq 0,05$ (*)

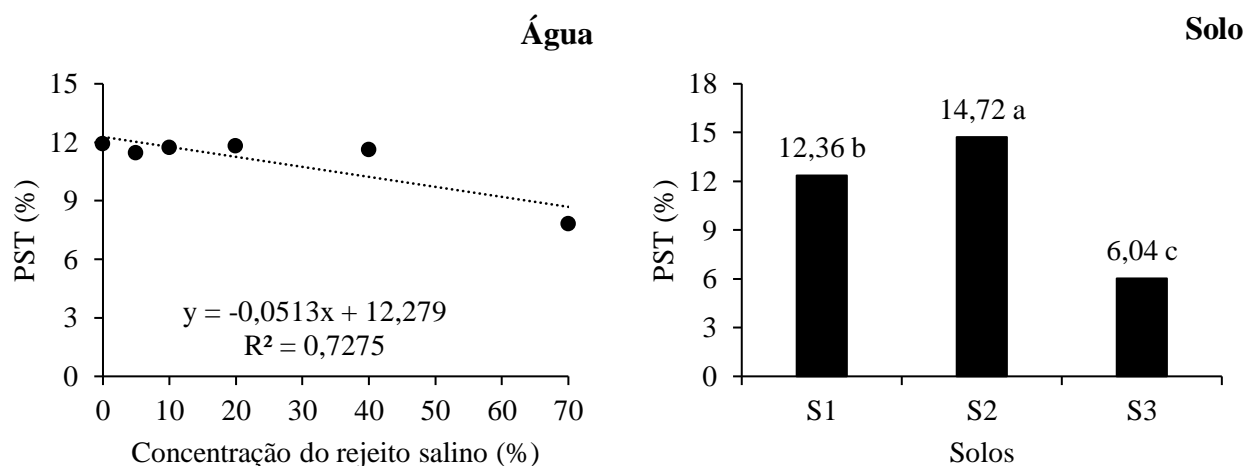


Em parte, o incremento nos valores da CTC deve-se ao aumento das concentrações de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^+ oriundas da composição das proporções do rejeito salino. Garcia et al. (2008) constataram aumentos lineares da CTC nos solos com o aumento da salinidade da água de irrigação, com destaque para o Neossolo que apresentou maior CTC quando comparado ao Latossolo. Os resultados de Silva et al. (2007) trazem valores de CTC em um Cambissolo Háplico do Agropólo Assu/Mossoró de $7,25 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, sendo que Santos et al. (2013) relataram valores de $10,96$ e $13,16 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ em um Cambissolo Flúvico com elevado grau de salinização e sodificação, sem e com cultivo de *Atriplex nummularia*, respectivamente. Li et al. (2023) creditaram a elevação da CTC à composição de íons da água de irrigação, visto que a capacidade de adsorção de K^+ , Na^+ e Cl^- aos colóides do solo é fraca e são facilmente lixiviados,

enquanto, Ca^{2+} e Mg^{2+} têm alta capacidade de adsorção à fase coloidal pela sua carga bivalente, além da baixa mobilidade com a água.

Considerando os valores médios da porcentagem de sódio trocável (PST) dos três solos, ao final do estudo houve redução desta variável com o aumento das proporções do rejeito salino nas águas de irrigação (Figura 44). No entanto, ao comparar com os valores de PST antes do experimento, verificou-se que houve incremento desta variável nos solos S1 (de 9,66 para 12,36%) e S2 (de 10,36 para 14,72%), mas no solo S3 ocorreu redução (de 9,91 para 6,04%). Entre os solos, foi evidenciada maior PST no solo S2 seguida pelos solos S1 e S3, indicando que a passagem das águas de salinidade crescente interferiu de modo diferenciado entre os três solos em estudo. É possível que o teor de argila e a composição mineralógica desta fração dos três solos possa explicar este comportamento, com presença de minerais liberando Na^+ trocável para contribuir com a PST observada.

Figura 44 – Porcentagem de sódio trocável (PST) nos solos cultivados com *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce. Coeficientes da regressão significativos com $p \leq 0,01$ (**) e $p \leq 0,05$ (*). Colunas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)



Segundo a classificação de Richards (1954), para um solo ser sódico, a PST deve estar acima de 15%, o que não chegou a ser verificado (Figura 44). No entanto, o solo S2 já está bem próximo deste limite. E os solos S1 e S3, estão com a PST dentro da classificação de “solódico”, conforme o SiBCS (EMBRAPA, 2018), indicando risco de sodificação.

Pereira et al. (2020), em cultivo com melão irrigado com água salina, encontraram valores de PST abaixo de 15% em um Argissolo e admitindo a não existência de riscos de degradação química do solo pelo acúmulo de Na^+ . A PST no estudo de Rodrigues et al. (2018),

comportou-se de maneira quadrática, corroborando com o presente estudo, onde o maior valor ocorreu na condutividade elétrica de $4,21 \text{ dS m}^{-1}$ com a PST menor que 15%.

Em investigação das propriedades dos solos do Perímetro Irrigado de Custódia, Freire et al. (2014) observaram valores de PST inferiores a 15% e afirmaram que tais valores já proporcionam processos de degradação dos solos. A mesma dinâmica foi confirmada por Fernandes et al. (2014), em que os autores verificaram alterações na PST de solos no Perímetro Irrigado de Cachoeira II, ocasionadas por processos de formação de solo aluvial, além da evolução da sodicidade pelo uso de águas com excesso de sais solúveis, principalmente o Na^+ .

Na avaliação dos elementos solúveis presentes no extrato de saturação da pasta, as variáveis potencial hidrogeniônico do extrato de saturação (pH_{es}), sódio (Na^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e a razão de adsorção de sódio (RAS) foram influenciadas pela interação dos fatores solo x água ($p \leq 0,01$ ou $p \leq 0,05$), contudo, condutividade elétrica (CE_{es}), potássio (K^+) e cloro (Cl^-) foram influenciados de forma isolada pelos tratamentos testados (Tabela 20).

No solo S1, o potencial hidrogeniônico do extrato de saturação (pH_{es}) teve redução linear com o aumento da concentração do rejeito salino (Figura 45). Verificou-se que o solo do tratamento com 70% de rejeito salino na água de irrigação teve decréscimo no pH_{es} para 6,82, ou seja, uma redução 13,56% quando comparada com o tratamento de 0% (pH_{es} de 7,89). Em relação aos solos S2 e S3, não foi identificado ajuste matemático que representasse os dados desta variável, em média o pH_{es} destes solos atingiu valores de 7,01 e 5,79, respectivamente, com redução em relação ao solo antes do experimento, com pH de 7,39 no solo S2 e 6,95 no solo S3.

Gonçalves et al. (2011), em estudo com variedades de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) irrigados com água salina, não verificaram alterações no pH_{es} do solo com o aumento da RAS de um Neossolo Flúvico. Porém, quando comparados os valores com a caracterização inicial do solo, constatou-se diminuição no pH_{es} . O estudo de Porto Filho et al. (2011), que monitoraram a salinidade e o pH_{es} do solo sob cultivo de melão (*Cucumis melo* L.) irrigado com água salina, teve uma dinâmica de variação do pH_{es} durante todo o ciclo da cultura, e com valores semelhantes aos do presente estudo, sendo mencionado pelos autores que esta é a faixa ideal para absorção de nutrientes pelas plantas.

Tabela 20 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para os valores de potencial hidrogeniônico do extrato de saturação (pH_{es}), condutividade elétrica (CE_{es}), potássio (K^+), sódio (Na^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), cloreto (Cl^-) solúveis e relação de adsorção de sódio (RAS) do extrato de saturação dos solos cultivados com *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce

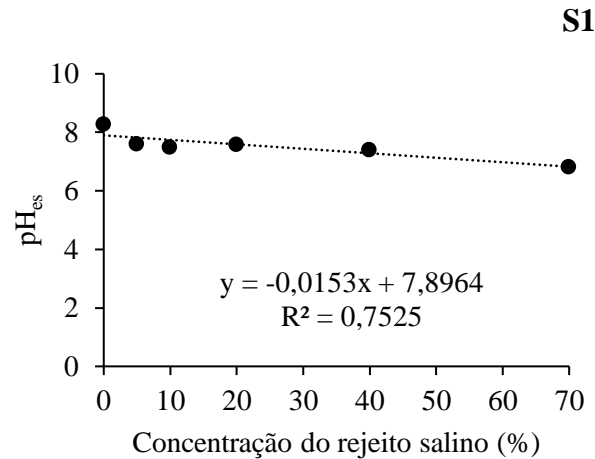
FV	GL	Quadrado médio			
		pH_{es}	CE_{es}	K^+	Na^+
Bloco	3	0,434 ^{NS}	148,27 ^{NS}	10,03 ^{NS}	618,61 ^{NS}
Solo	2	19,04 ^{**}	1466,67 ^{**}	11,53 ^{NS}	33521,62 ^{**}
Água	5	0,484 [*]	2441,15 ^{**}	117,24 ^{**}	42075,76 ^{**}
Solo x Água	10	0,450 [*]	134,56 ^{NS}	12,85 ^{NS}	4339,40 ^{**}
Resíduo	51	0,190	108,03	6,56	880,79
Total	71				
CV (%)		6,43	42,20	59,97	34,85

FV	GL	Quadrado médio			
		Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	RAS
Bloco	3	1556,68 ^{NS}	2124,31 ^{NS}	17439,93 ^{NS}	5,09 ^{NS}
Solo	2	181068,58 ^{**}	49472,62 ^{**}	272079,25 ^{**}	78,77 ^{**}
Água	5	161411,80 ^{**}	68972,59 ^{**}	574974,51 ^{**}	50,36 ^{**}
Solo x Água	10	18434,83 ^{**}	8146,46 ^{**}	31509,98 ^{NS}	21,36 ^{**}
Resíduo	51	1430,93	1785,40	33558,80	4,98
Total	71				
CV (%)		30,40	44,64	61,82	27,98

FV: fontes de variação; GL: graus de liberdade; (**) significativo pelo teste F a 1% de probabilidade; (*) significativo pelo teste F a 5% de probabilidade; (NS) não significativo pelo teste F; CV: coeficiente de variação.

Segundo Medeiros et al. (2017), o fator determinante para o não aumento do pH_{es} seria a composição química das águas, que têm maiores concentrações de Cl^- e Na^+ do que de HCO_3^- e CO_3^{2-} , como evidenciamos na caracterização do rejeito salino utilizado no presente estudo (Tabela 5). Estes últimos, quando em excesso na água de irrigação, podem promover a precipitação de Ca^{2+} e Na^+ nas formas de CaCO_3 e Na_2CO_3 , elevando o pH e causando problemas de sodificação dos solos (FREITAS et al., 2007).

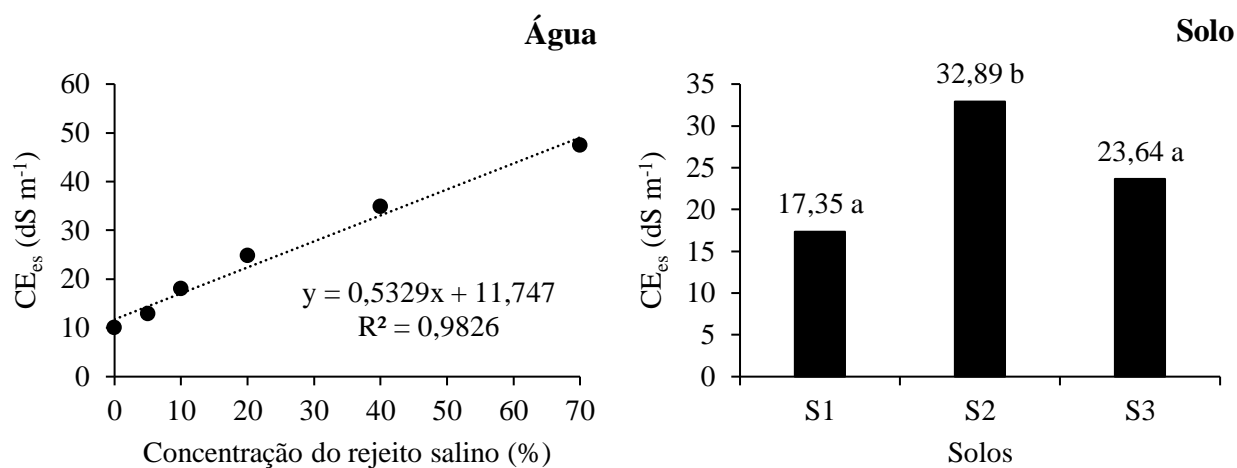
Figura 45 – Potencial hidrogeniônico do extrato de saturação (pH_{es}) dos solos cultivados com *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce. Coeficientes da regressão significativos com $p \leq 0,01$ (**) e $p \leq 0,05$ (*)



A condutividade elétrica do extrato de saturação dos solos (CE_{es}) foi influenciada de forma isolada pelos fatores solo e água (Figura 46). O aumento das proporções do rejeito salino nas águas de irrigação incrementou de forma acentuada a CE_{es} , com destaque para o tratamento com 70% do rejeito salino, que alcançou o maior valor estimado de $49,05 \text{ dS m}^{-1}$, um acréscimo de 317,55% em relação ao tratamento sem aplicação do rejeito salino (0%), com uma CE_{es} de $11,74 \text{ dS m}^{-1}$. A cada aumento unitário da concentração do rejeito salino, houve um aumento de 4,53% da CE_{es} nos solos. Com relação à CE_{es} entre os solos, o S2 teve o maior valor ($32,89 \text{ dS m}^{-1}$), diferindo dos demais, com S1 e S3 atingindo CE_{es} de $17,35$ e $23,64 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente (Figura 46).

Em comparação com a caracterização dos solos ao início do estudo, verificou-se da CE_{es} , indicando possíveis danos ao solo pelo acúmulo de sais solúveis com o tempo de irrigação. Os resultados do presente estudo indicam alta reatividade dos solos com os sais, em que apenas 70 dias de aplicação das águas foram suficientes para estes aumentos na CE_{es} dos solos. Para a maioria dos cultivos agrícolas, o limite de solo salino preconizado por Richards (1954) é de CE_{es} igual ou superior a 4 dS m^{-1} . No Brasil, pelo SiBCS (EMBRAPA, 2018), o atributo de solo salino é usado quando a CE_{es} do solo está entre 4 e 7 dS m^{-1} , sendo uma CE_{es} acima de 7 dS m^{-1} usada para caracterizar um solo sálico. Para este estudo, os três solos são considerados sálicos.

Figura 46 – Condutividade elétrica extrato de saturação (CE_{es}) dos solos cultivados com *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce. Coeficientes da regressão significativos com $p \leq 0,01$ (**) e $p \leq 0,05$ (*). Colunas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)



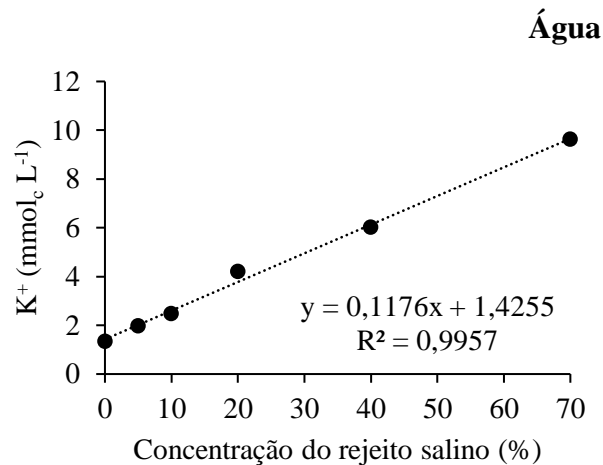
Haj-Amor, Hashemi e Bouri (2018), avaliando o efeito da irrigação com água salina nas características químicas do solo cultivado com tamareira (*Phoenix dactylifera*), observaram aumento significativo da CE_{es} , variando de 8 a 9 dS m⁻¹, causando acúmulos progressivos de sais no perfil do solo durante o estudo.

Os resultados explanados por Pessoa et al. (2019), confirmam o aumento da CE_{es} em função do forte aumento da salinidade da água de irrigação, onde na água de CE 2000 $\mu\text{S cm}^{-1}$ elevou-se a CE_{es} para 4,88 dS m⁻¹. O aumento da CE_{es} no estudo conduzido por Kim et al. (2016) variou de 6,77 a 18,21 dS m⁻¹ à medida que a salinidade da água de irrigação aumentava, indicando o potencial da água de irrigação salina no aumento da salinidade do solo. Pedrotti et al. (2015) justificam que a salinidade causa impactos diretos nas plantas, principalmente pela diminuição no potencial osmótico do solo. Quanto mais salino for o solo, maior dificuldade terá a planta absorver água, mesmo em solo úmido, fenômeno este denominado como “seca fisiológica” (PRISCO; GOMES-FILHO; MIRANDA, 2016).

Ao final do ciclo experimental, o aumento dos teores de potássio (K^+) nos solos foi impulsionado pela crescente proporção do rejeito salino na água de irrigação, alcançando sua maior acumulação no tratamento com 70% deste (Figura 47). Em média estimada, o tratamento mais salino teve 9,65 mmol_c L⁻¹ de K^+ , com aumento percentual de 577,48% em comparação com o valor obtido com a água sem rejeito salino, com teores de 1,42 mmol_c L⁻¹. Apesar da não constatação de diferença entre os solos, os teores entre o final foram superiores aos da

caracterização pré-estudo, com incrementos em torno de 64,66% no solo S1, 56,15% no solo S2 e 161,02% no solo S3 (Figura 47).

Figura 47 – Teores de potássio solúvel (K^+) nos solos cultivados com *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce. Coeficientes da regressão significativos com $p \leq 0,01$ (**) e $p \leq 0,05$ (*)

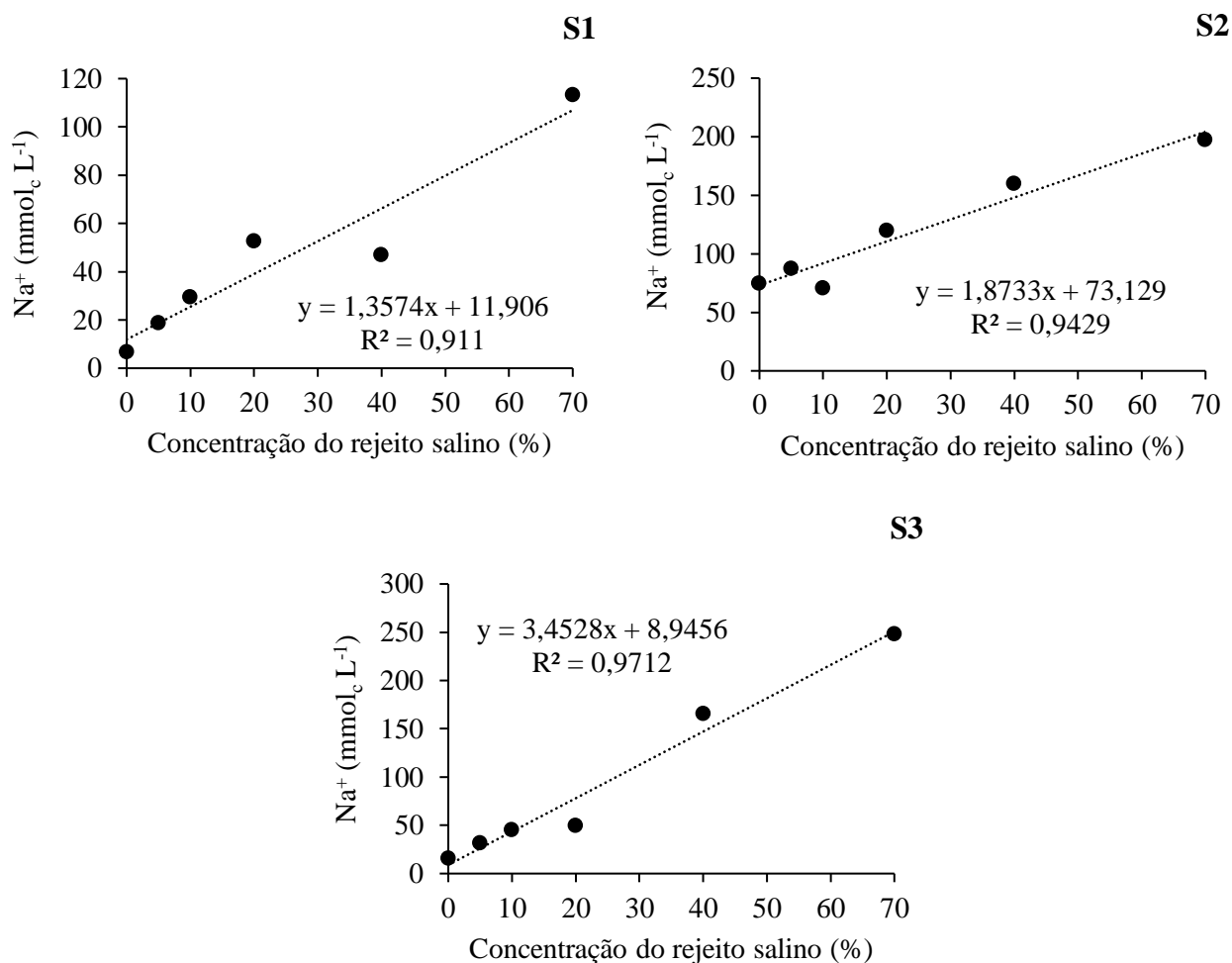


Lima et al. (2016), investigando os atributos químicos do solo em cultivo de mamoneira em função da natureza catiônica e níveis de salinidade da água, encontraram teores de K^+ solúvel em uma faixa que variou de 2,19 a 35,96 $mmol_c L^{-1}$. A maior concentração do elemento no extrato de saturação foi atribuída à riqueza da água em K^+ sob CEa de 4,5 $dS m^{-1}$. A caracterização do rejeito salino do presente estudo indicou baixos teores de K^+ e, conseqüentemente, mesmo com o incremento do íon nos solos influenciados pela irrigação, a solução dos solos expressaram baixos níveis de K^+ quando comparados com os demais íons. Santos et al. (2013), também relataram baixos teores de K^+ em Cambissolo Salino sódico e relacionaram isso aos altos teores de Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} no sistema.

Com relação ao sódio (Na^+) solúvel, foram registradas altas concentrações em todos os solos quando a irrigação com águas proporcionalmente salinas atingiu níveis acentuados de acúmulo de sais, principalmente o Na^+ . Os teores de Na^+ atingiram uma tendência linear em todos os solos, com maior acúmulo no tratamento com 70% do rejeito salino, com valores de 106,92 $mmol_c L^{-1}$ no solo S1, 204,26 $mmol_c L^{-1}$ no solo S2 e 250,64 $mmol_c L^{-1}$. Ajustando-se matematicamente a modelos lineares, a evolução do Na^+ chegou a teores muito superiores em todos os tratamentos com aplicação do rejeito salino. Sua máxima acumulação nos solos foi no tratamento com 70% de rejeito, com incrementos percentuais de 798,06, 179,31 e 2701,84%,

nos solos S1, S2 e S3, respectivamente, o que representa acréscimos unitário do rejeito salino a água de irrigação de 11,40% no S1, 2,56% no S2 e 38,56% no S3 (Figura 48).

Figura 48 – Teores de sódio solúvel (Na^+) nos solos cultivados com *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce. Coeficientes da regressão significativos com $p \leq 0,01$ (**) e $p \leq 0,05$ (*)



Assim como observado neste estudo, Gonçalves et al. (2011) constataram a mesma tendência, onde o aumento da salinidade da água de irrigação incrementou os teores de Na^+ , com valores de $39,37 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ sob RAS de 20 ($\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$)^{0,5}. Igualmente, Pessoa et al. (2019) também evidenciaram a predominância do Na^+ solúvel em relação aos demais cátions, independentemente da salinidade da água de irrigação, e na água de CE de $2000 \mu\text{S cm}^{-1}$ os solos tinham cerca de $25,36 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$.

O aumento da saturação da solução do solo com Na^+ tende a facilitar a aproximação deste íon à superfície eletronegativa das argilas, promovendo o aumento da dupla camada difusa e, com isso, dispersão das partículas de argila. Isso promove a movimentação de colóides no

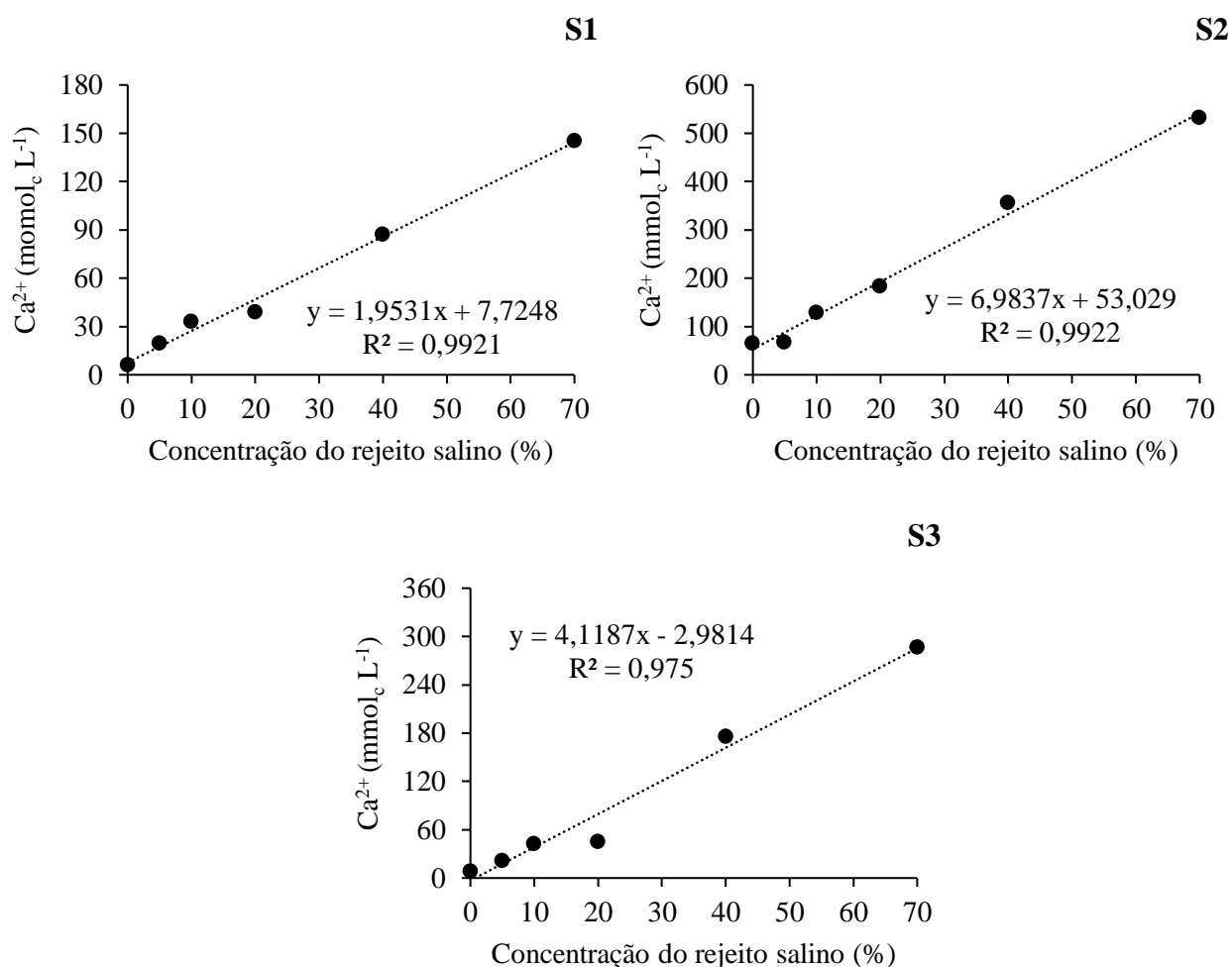
perfil do solo, obstrução de poros, formando camadas de baixa permeabilidade que dificultam o movimento de água no perfil do solo. Além disso, o excesso de Na é danoso as plantas, provocando e distúrbios fitotóxicos pela maior absorção do íon, com sintomas típicos de queimaduras ou necrose nas bordas das folhas, como também sintomas cloróticos, e desequilíbrios fisiológicos e bioquímicos (DIAS et al., 2016; FARAHANI et al., 2018).

Também foi possível detectar aumento nos teores de Ca^{2+} solúvel pela influência do rejeito salino nas águas, nos três solos utilizados. Os teores seguiram uma tendência linear crescente, com máxima acumulação no tratamento com aplicação de 70% do rejeito na água de irrigação, com valores de $144,44 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ no solo S1, $541,88 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ no solo S2 e $291,29 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ no solo S3, com aumentos percentuais de 1769,84, 921,87 e 1553,92%, respectivamente. A composição da água na proporção de 70% apresentou teores de Ca^{2+} de aproximadamente $68,4 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, sendo um dos cátions com maior concentração neste tratamento, o que favoreceu o maior acúmulo deste íon nos solos (Figura 49).

Lima et al. (2016) destacam, em seu estudo com mamoneira (*Ricinus communis* L.), elevados teores de Ca^{2+} solúvel no solo sob irrigação com água elaborada a partir de cloreto de cálcio (CaCl_2) e cloreto de sódio + cloreto de cálcio ($\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$) com CE_a de $4,5 \text{ dS m}^{-1}$, com valores de $17,37$ e $16,12 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ de Ca^{2+} , respectivamente. Tais relatos confirmam o comportamento do Ca^{2+} solúvel no presente estudo, onde águas ricas em cálcio tenderam a aumentar as proporções do elemento na fase trocável e na solução do solo. Situações associadas ao excesso Ca^{2+} no solo, podem induzir deficiências de outros cátions essenciais, alterando sua disponibilidade pela competição por cargas nos coloides (BEZERRA et al., 2017).

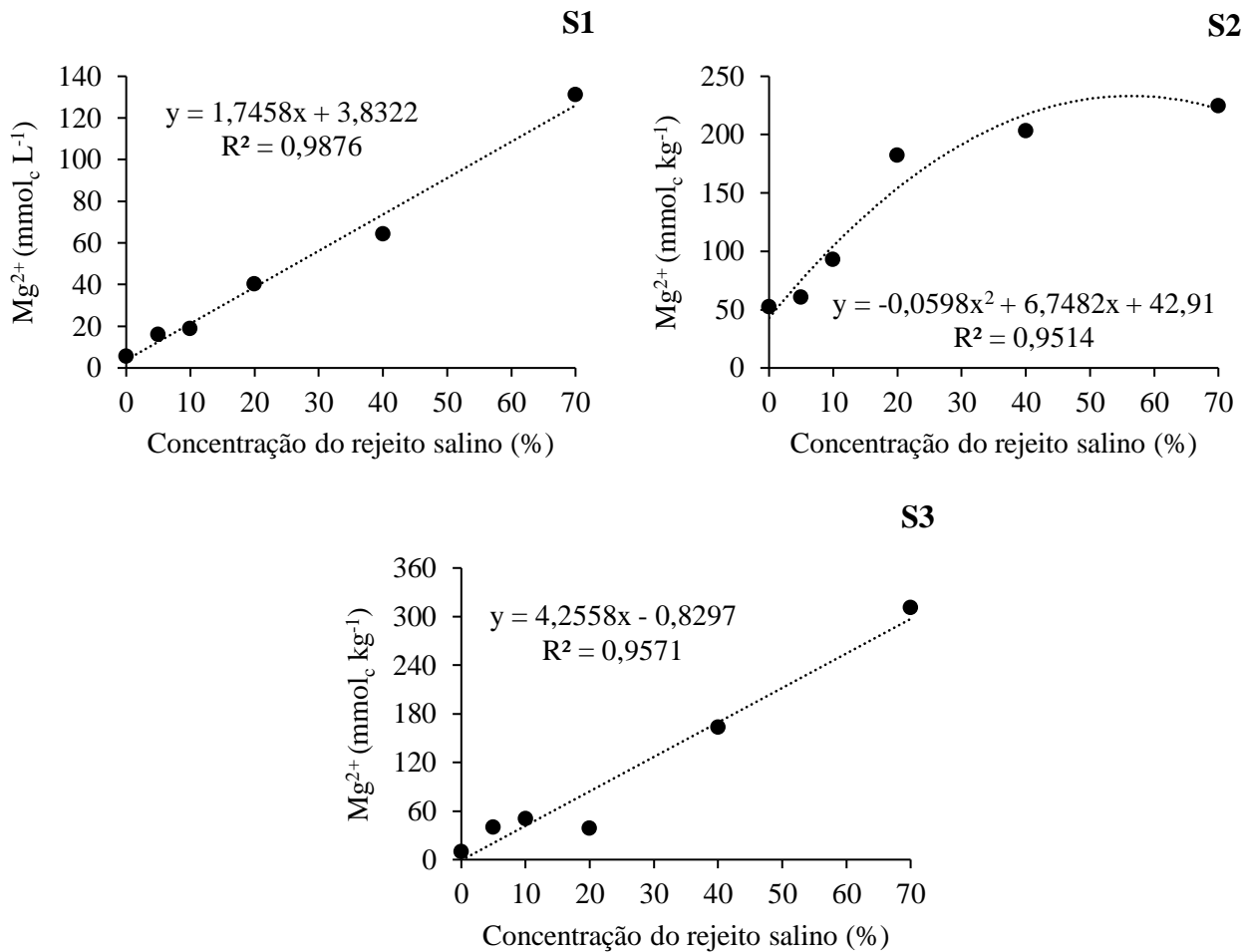
Quanto ao magnésio solúvel (Mg^{2+}), os resultados acompanharam o mesmo comportamento dos cátions anteriores, destacando-se a água de irrigação com 70% de rejeito nos solos S1 e S3 em modelo linear, e a de 56,42% no solo S2, em modelo quadrático. Os solos S1, S2 e S3 tiveram incrementos estimados de 3188,98, 417,97 e 1352,74% entre a menor (0%) e a maior (70%) proporção do rejeito salino. Respectivamente, o teor de Mg^{2+} variou no solo S1 de 3,83 a $126,03 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, S2 de 42,91 a $222,26 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ e S3 de 20,44 a $297,07 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ (Figura 50).

Figura 49 – Teores de cálcio solúvel (Ca^{2+}) nos solos cultivados com *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada em diferentes solos sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce. Coeficientes da regressão significativos com $p \leq 0,01$ (**) e $p \leq 0,05$ (*)



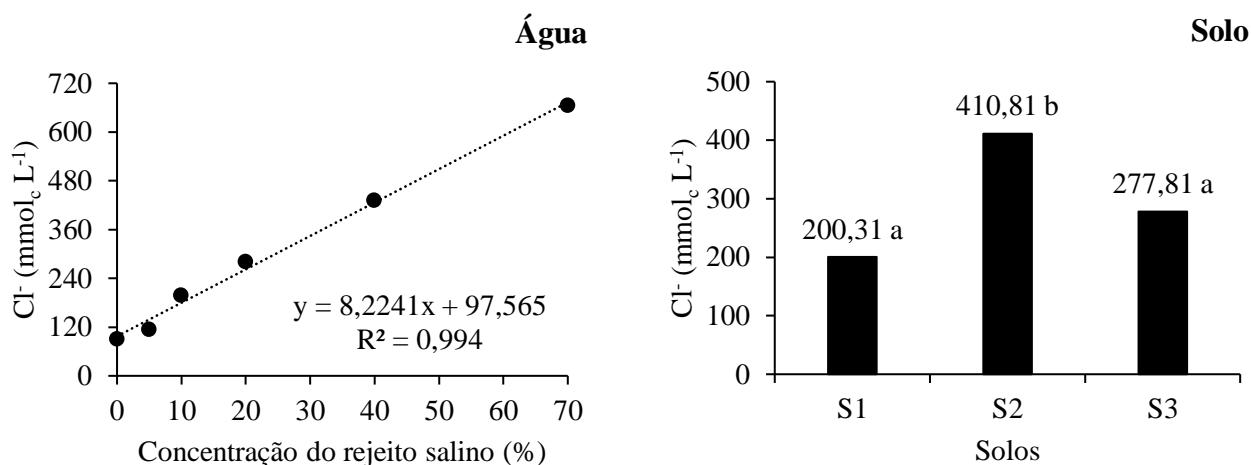
Os teores de Mg^{2+} solúvel no solo em estudo de Lima et al. (2016), foram incrementados a partir da irrigação com água a base de cloreto de sódio, cloreto de cálcio e cloreto de magnésio ($\text{NaCl} + \text{CaCl}_2 + \text{MgCl}_2$), atingindo teor de $11 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, e no tratamento controle o teor foi de $5,44 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$. Santos et al. (2013) relataram aumento na concentração de Mg^{2+} solúvel em solo do Perímetro Irrigado Cachoeira II e, para os autores, o aumento deste íon na solução do solo foi atribuído à elevação e à qualidade da água do lençol freático.

Figura 50 – Teores de magnésio solúvel (Mg^{2+}) nos solos cultivados com *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce. Coeficientes da regressão significativos com $p \leq 0,01$ (**) e $p \leq 0,05$ (*)



As concentrações observadas do ânion cloreto (Cl^-) na solução dos solos foram similares ao que foi observado para os cátions, onde o incremento das proporções do rejeito salino na água de irrigação foi capaz de aumentar os teores de Cl^- nos três solos (Figura 51). Os fatores solo e água influíram de forma isolada, constatando-se que a aplicação de água com 70% do rejeito causou os maiores teores de Cl^- nos solos do presente estudo, chegando a valores estimados de $673,25 mmol_c L^{-1}$, correspondendo a um aumento de 590,05% em comparação com o tratamento sem aplicação de rejeito salino (0% = $97,56 mmol_c L^{-1}$). Entre os solos, o maior acúmulo ocorreu no solo S2 ($410,81 mmol_c L^{-1}$), diferindo dos solos S1 e S3 ($200,31$ e $277,81 mmol_c L^{-1}$ de Cl^-), respectivamente. Vale ser salientando, que na composição química do rejeito salino havia uma concentração expressiva de Cl^- , com valores aproximados de $488,33 mmol_c L^{-1}$, caracterizando a grande influência desta fonte nos altos teores do íon na solução dos solos.

Figura 51 – Teores de cloreto solúvel (Cl^-) nos solos cultivados com *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce. Coeficientes da regressão significativos com $p \leq 0,01$ (**) e $p \leq 0,05$ (*). Colunas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)



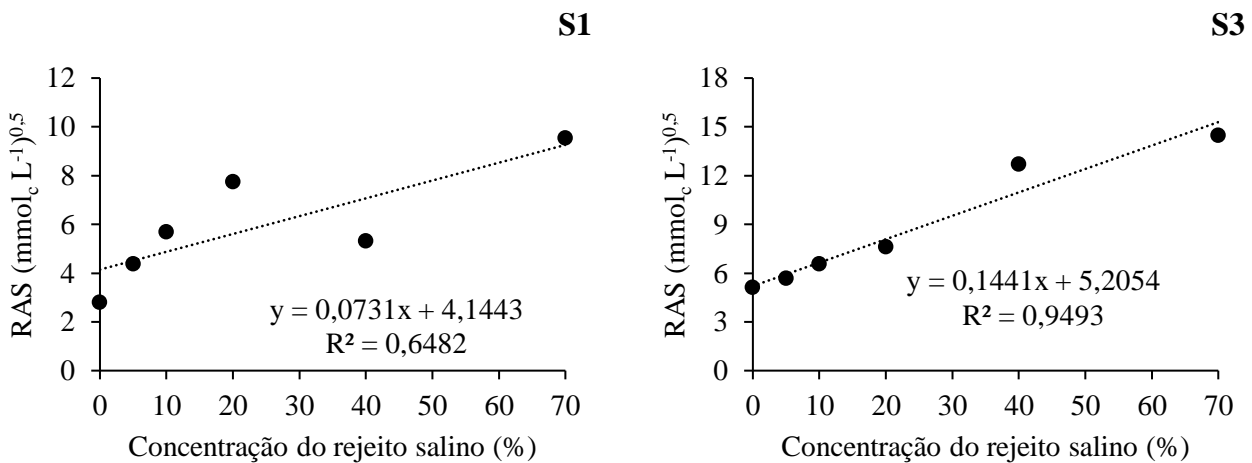
Semelhante ao observado neste estudo, Pessoa et al. (2019) constataram aumentos de Cl^- no extrato de saturação, tanto pelo aumento da concentração da água de irrigação como entre diferentes texturas de Neossolo Flúvico, com água de CEa de $2000 \mu\text{S cm}^{-1}$ no solo franco arenoso os teores atingiram $40,58 \text{ mmolc L}^{-1}$ e na textura do solo franco argilo siltoso foi de $24,15 \text{ mmolc L}^{-1}$. Segundo Oliveira et al. (2018), a utilização de rejeitos concentrados em sais, nos quais o Cl^- esteja inserido, prejudicam o desenvolvimento das plantas cultivadas, causando a redução na absorção de água pela diminuição do potencial osmótico e toxicidade causada pela acumulação, principalmente nas folhas.

A relação de adsorção de sódio (RAS) foi incrementada com o aumento da proporção de rejeito salino na água de irrigação (Figura 52). Ajustando-se ao modelo linear, a RAS atingiu seu maior índice nos solos S1 e S3 sob irrigação com rejeito salino a 70%, revelando uma diferença percentual de 123,47 e 193,77%, em comparação ao tratamento 0%. Nos solos a 70%, a RAS atingiu valores estimados de $9,26 (\text{mmolc L}^{-1})^{0,5}$ no solo S1 e $15,29 (\text{mmolc L}^{-1})^{0,5}$ no solo S3. Quanto ao solo S2, não foi possível identificar um modelo matemático significativo para explicar o comportamento dos dados de RAS, mas a variável apresentou valores médios em torno de $9,32 (\text{mmolc L}^{-1})^{0,5}$ (Figura 52).

Corroborando estes resultados, Silva et al. (2014) evidenciaram o aumento da RAS com o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação, que configura o incremento de Na^+ solúvel, com a diminuição dos demais cátions na solução. Para os autores, este aumento é preocupante mediante o risco de salinização e sodificação dos solos. Lima et al. (2012)

verificaram a elevação da RAS com o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação em dois solos, sendo o crescimento mais acentuado no Latossolo que no Cambissolo. As evidências trazidas por Pereira et al. (2020), em cultivo com melão (*Cucumis melo* L.) irrigado com água salina, indicam que a RAS aumentou proporcionalmente com o aumento da condutividade elétrica da água, variando em uma faixa de 2,4 a 5,6 ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$)^{0,5}. Esta tendência de aumento ocorre devido a precipitação do Ca^{2+} com o HCO_3^- , com isso o Na^+ tende a aumentar sua concentração relativa, ocasionando a elevação da RAS, visto que é uma relação diretamente proporcional a concentração do Na^+ . Segundo Ayers e Westcot (1999), os valores de RAS neste estudo ficaram entre a classe de restrição leve e moderada.

Figura 52 – Relação de adsorção de sódio (RAS) nos solos cultivados com *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) sob irrigação com misturas de rejeito salino e água doce. Coeficientes da regressão significativos com $p \leq 0,01$ (**) e $p \leq 0,05$ (*)



3.4 Conclusões

A espécie *Helianthus tuberosus* apresentou sensibilidade ao excesso de sais com diminuição dos parâmetros morfológicos e fisiológicos e morte das plantas com o uso das águas mais salinas.

Concentrações acima de 20% da mistura rejeito salino + água doce inviabiliza a produção de *Helianthus tuberosus* L. em qualquer classe de solo do Agreste e Sertão de Pernambuco.

No solo S3 (Planossolo háplico de Caruaru) as plantas toleraram mais a salinidade até a proporção salina de 20% e acumularam altos teores de Cl na parte aérea.

Os solos cultivados tiveram os teores de sais aumentados a partir da elevação da salinidade da água de irrigação com rejeito salino.

Referências Bibliográficas

- ABID, M.; ZHANG, Y. J.; LI, Z.; BAI, D. F.; ZHONG, Y. P.; FANG, J. B. Effect of salt stress on growth, physiological and biochemical characters of four kiwifruit genotypes. **Scientia Horticulturae**, v. 271, p. 109473, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109473>
- AKHTAR, S. S.; ANDERSEN, M. N.; LIU, F. Biochar Mitigates Salinity Stress in Potato. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 201, n. 5, p. 368-378, 2015. <https://doi.org/10.1111/jac.12132>
- AMORIM, A. V.; GOMES FILHO, E.; BEZERRA, M. A.; PRISCO, J. T.; LACERDA, C. F. D. Respostas fisiológicas de plantas adultas de cajueiro anão precoce à salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, p. 113-121, 2010. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20100016>
- ARNDT, S. K.; IRAWAN, A.; SANDERS, G. J. Apoplastic water fraction and rehydration techniques introduce significant errors in measurements of relative water content and osmotic potential in plant leaves. **Physiologia Plantarum**, v. 155, n. 4, p. 355-368, 2015. <https://doi.org/10.1111/ppl.12380>
- ASHRAF, M.; SHAHZAD, S. M.; IMTIAZ, M.; RIZWAN, M. S. Salinity effects on nitrogen metabolism in plants—focusing on the activities of nitrogen metabolizing enzymes: A review. **Journal of Plant Nutrition**, v. 41, n. 8, p. 1065-1081, 2018a. <https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1431670>
- ASHRAF, M.; SHAHZAD, S. M.; IMTIAZ, M.; RIZWAN, M. S.; ARIF, M. S. KAUSAR, R. Nitrogen nutrition and adaptation of glycophytes to saline environment: a review. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 64, n. 9, p. 1181-1206, 2018b. <https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1419571>
- AZEVEDO NETO A. D.; SILVA E. C. **Physiology and biochemistry of salt stress tolerance in plants**. In: Chakraborty U, Chakraborty B. Abiotic stresses in crop plants. Wallingford: CABI, 2015. p. 278.
- AZEVEDO NETO, A. D. D.; PEREIRA, P. P. A.; COSTA, D. P.; SANTOS, A. C. C. D. Fluorescência da clorofila como uma ferramenta possível para seleção de tolerância à salinidade em girassol. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 893-897, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000400010>
- 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, p. 61-70, 2002. <https://doi.org/10.1023/A:1014732714549>
- BARRS, H. D. Effect of cyclic variations in gas exchange under constant environmental conditions on the ratio of transpiration to net photosynthesis. **Physiologia Plantarum**, v. 21, n. 5, p. 918-929, 1968. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1968.tb07318.x>

BEZERRA, I. L.; SANTOS, L. S.; OLIVEIRA, V. L.; TOLEDO, F. M.; SAMPAIO, E. P.; CASTRO, D. B. Morfofisiologia do crescimento inicial de cafeeiros sob salinidade da água de irrigação. **Irriga**, v. 27, n. 1, p. 30-46, 2022. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2022v27n1p30-46>

BHAGIA, S.; FERREIRA, J. F. S.; KOTHARI, N.; NUNEZ, A.; LIU, X.; DIAS, N. S.; WYMAN, C. E. Sugar yield and composition of tubers from Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus*) irrigated with saline waters. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 115, n. 6, p. 1475-1484, 2018. <https://doi.org/10.1002/bit.26582>

CASAROLI, D.; JONG VAN LIER, Q. D. Critérios para determinação da capacidade de vaso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n.1, p. 59-66, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000100007>

CHEN, H.; JIANG, J. Osmotic adjustment and plant adaptation to environmental changes related to drought and salinity. **Environmental Reviews**, v. 18, p. 309-319, 2010. <https://doi.org/10.1139/A10-014>

CHOURASIA, K. N.; LAL, M. K.; TIWARI, R. K.; DEV, D.; KARDILE, H. B.; PATIL, V. U.; KUMAR, A.; VANISHREE, G.; KUMAR, D.; BHARDWAJ, V.; MEENA, J. K.; MANGAL, V.; SHELAKHE, R. M.; KIM, J.-Y.; PRAMANIK, D. Salinity Stress in Potato: Understanding Physiological. **Biochemical and Molecular Responses**, v. 11, n. 6, p. 545, 2021. <https://doi.org/10.3390/life11060545>

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Riacho das Almas, estado de Pernambuco**. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005. p. 12.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília, 2013. p. 627.

FARAHANI, E.; EMAMI, H.; KELLER, T.; FOTOVAT, A.; KHORASSANI, R. Impact of monovalent cations on soil structure. **International Agrophysics**, v. 32, p. 57-67, 2018. <https://doi.org/10.1515/intag-2016-0091>

FERNANDES, J. G.; FREIRE, M. B. G. S.; GALVINCIO, J. D.; SANTOS, P. R.; CUNHA, J. C. Características físicas e químicas dos solos do Perímetro Irrigado Cachoeira II em função do tempo. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 19, n. 1, p. 33-43, 2014. <https://doi.org/10.12661/pap.2014.006>

FERNANDES, P. D.; BRITO, M. E. D.; GHEYI, H. R.; ANDRADE, A. P.; MEDEIROS, S. S. **Halofitismo e agricultura bioassalina**. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; 61 GOMES FILHO, E. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 504.

FERREIRA, J. F. S.; LIU, X.; SUAREZ, D. L. Fruit yield and survival of five commercial strawberry cultivars under field cultivation and salinity stress. **Scientia Horticulturae**, v. 243, p. 401-410, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.07.016>

FLOWERS, T. J.; MUNNS, R.; COLMER, T. D. Sodium chloride toxicity and the cellular basis of salt tolerance in halophytes. **Annals of Botany, Oxford**, v.115, p. 419-431, 2015. <https://doi.org/10.1093/aob/mcu217>

FOYER, C. H. (2018). Reactive oxygen species, oxidative signaling and the regulation of photosynthesis. **Environmental and experimental botany**, v. 154, p. 134-142, 2018. <https://doi.org/10.1016/J.ENVEXPBOT.2018.05.003>

FREIRE, J. L. O.; CAVALCANTE, L. F.; NASCIMENTO, R.; REBEQUI, A. M. Teores de clorofila e composição mineral foliar do maracujazeiro irrigado com águas salinas e biofertilizante. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 36, p. 57-70, 2013. <https://doi.org/10.19084/rca.16285>

FREIRE, M. B. G. S.; FREIRE, F. J.; SOUZA, E. R. Fitorremediação de solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. (ed). Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. 2.ed. INCTSal: Fortaleza, 2016. Cap. 15, p.209-242.

FREIRE, M. B. G. S.; MIRANDA, M. F. A.; OLIVEIRA, E. E. M.; SILVA, L. E.; PESSOA, L. G. M.; ALMEIDA, B. G. Agrupamento de solos quanto à salinidade no Perímetro Irrigado de Custódia em função do tempo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 86-91, 2014. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18nsuppS86S91>

FREITAS, E. V. S.; FERNANDES, J. G.; CAMPOS, M. C. C.; FREIRE, M. B. G. S. Alterações nos atributos físicos e químicos de dois solos submetidos à irrigação com água salina. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 7, n. 1, p. 21-28, 2007.

FURTADO, G. F.; SOARES, L. A. A.; SOUSA, J. R. M.; ANDRADE, E. M. G.; GUERRA, H. O. C. Alterações fisiológicas em feijão-caupi irrigado com água salina e adubação nitrogenada. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 3, p. 175-181, 2013.

GARCIA, G. O.; FERREIRA, P. A.; SANTOS, D. B.; OLIVEIRA, F. G.; MIRANDA, G. V. Estresse salino em plantas de milho: I – macronutrientes aniônicos e suas relações com o cloro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p. 26-30, 2005. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v9nsupp26-30>

GARCIA, G. O.; MARTINS FILHO, S.; REIS, E. F.; MORAES, W. B.; NAZÁRIO, A. A. Alterações químicas de dois solos irrigados com água salina. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 1, p. 7-18, 2008.

GONÇALVES, I. V. C.; FREIRE, M. B. G. S.; SANTOS, M. A.; SANTOS, E. R., FREIRE, F. J. Alterações químicas de um Neossolo Flúvico irrigado com águas salinas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 3, p. 589-596, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000300003>

GUIMARÃES, I. P.; OLIVEIRA, F. N.; VIEIRA, F. E. R.; TORRES, S. B. Efeito da salinidade da água de irrigação na emergência e crescimento inicial de plântulas de mulungu. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 1, p. 137-142, 2013. <https://doi.org/10.5039/agraria.v8i1a2360>

GUPTA, B.; HUANG, B. Mechanism of Salinity Tolerance in Plants: Physiological, Biochemical, and Molecular Characterization. **International Journal of Genomics**, v. 2014, p. 1-18, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/701596>

HAJ-AMOR, Z., HASHEMI, H.; BOURI, S. The consequences of saline irrigation treatments on soil physicochemical characteristics. **Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration**, v. 3, p. 1-12, 2018. <https://doi.org/10.1007/s41207-018-0064-y>

HASANUZZAMAN, M. D.; DAVIES, N. W.; SHABALA, L.; ZHOU, M.; BRODRIBB, T. J.; SHABALA, S. Residual transpiration as a component of salinity stress tolerance mechanism: a case study for barley. **BMC Plant Biology**, v. 17, p. 1-12, 2017. <https://doi.org/10.1186/s12870-017-1054-y>

HE, W.; YAN, K.; ZHANG, Y.; BIAN, L.; MEI, H.; HAN, G. Contrasting photosynthesis, photoinhibition and oxidative damage in honeysuckle (*Lonicera japonica* Thunb.) under iso-osmotic salt and drought stresses. **Environmental and Experimental Botany**, v. 182, p. 104313, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104313>

HEIDARI, A.; BANDEHAGH, A.; TOORCHI, M. Effects of NaCl stress on chlorophyll content and chlorophyll fluorescence in sunflower (*Helianthus annuus* L.) lines. **Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences**, v. 24, n. 2, p. 111120, 2014. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.235924>

HOLANDA FILHO, R. S.; SANTOS, D. B. D.; AZEVEDO, C. A.; COELHO, E. F.; LIMA, V. L. Água salina nos atributos químicos do solo e no estado nutricional da mandiocqueira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 60-66, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000100009>

HOU, J.; ZHANG, J.; LIU, X.; MA, Y.; WEI, Z.; WAN, H.; LIU, F. Effect of biochar addition and reduced irrigation regimes on growth, physiology and water use efficiency of cotton plants under salt stress. **Industrial Crops and Products**, v. 198, p. 116702, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116702>

HUANG, Z.; LONG, X.; WANG, L.; KANG, J.; ZHANG, Z.; ZED, R.; LIU, Z. Growth, photosynthesis and H⁺-ATPase activity in two Jerusalem artichoke varieties under NaCl induced stress. **Process Biochemistry**, v. 47, n. 4, p. 591-596, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2011.12.016>

JANKET, A.; JOGLOY, S.; VORASOOT, N.; KESMALA, T.; HOLBROOK, C. C.; PATANOTHAI, A. Genetic diversity of water use efficiency in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) germplasm. **Australian Journal of Crop Science**, v. 7, n. 11, p. 1670-1681, 2013.

JONES JÚNIOR, J. B.; WOLF, B.; MILLS, H. A. **Plant analysis handbook: a practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide**. Athens: Micro- Macro, 1991. p. 213.

KAZEMI, S.; ESHGHIZADEH, H. R.; ZAHEDI, M. Responses of Four Rice Varieties to Elevated CO₂ and Different Salinity Levels. **Rice Science**, v. 25, n. 3, p. 142-151, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2018.04.002>

KIM, H.; JEONG, H.; JEON, J.; BAE, S. Effects of Irrigation with Saline Water on Crop Growth and Yield in Greenhouse Cultivation. **Water**, v. 8, n. 4, p. 127, 2016. <https://doi.org/10.3390/w8040127>

KOCUREK, M.; PILARSKI, J. Activity of C₄ enzymes in C₃-type herbaceous plants. **Photosynthetica**, v. 49, n. 3, p. 473-477, 2011. <https://doi.org/10.1007/s11099-011-0053-8>

KUMAR, S.; BEENA, A. S.; AWANA, M.; SINGH, A. Physiological, biochemical, epigenetic and molecular analyses of wheat (*Triticum aestivum*) genotypes with contrasting salt tolerance. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 1151, 2017. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01151>

LACERDA, C. F.; OLIVEIRA, E. V.; NEVES, A. L.; GHEYI, H. R.; BEZERRA, M. A.; COSTA, C. A. Morphophysiological responses and mechanisms of salt tolerance in four ornamental perennial species under tropical climate. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 10, p. 656-663, 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/18071929/agriambi.v24n10p656-663>

LICHTENTHALER, H. K.; BUSCHMANN, C. Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. **Current protocols in food analytical chemistry**, v. 1, n. 1, p. F4.3.1-F4.3.8, 2001. <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0403s01>

LARCHER, W. **Physiological plant ecology**. 3ed., Berlin: Academic Press, 1995. p. 506.

LI, J.; HE, P.; CHEN, J.; HAMAD, A. A. A.; DAI, X.; JIN, Q.; DING, S. Tomato performance and changes in soil chemistry in response to salinity and Na/Ca ratio of irrigation water. **Agricultural Water Management**, v. 285, p. 108363, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108363>

LIAVA, V.; KARKANIS, A.; DANALATOS, N.; TSIROPOULOS, N. Cultivation Practices, Adaptability and Phytochemical Composition of Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): A Weed with Economic Value. **Agronomy**, v. 11, n. 5, p. 914, 2021. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050914>

LIMA, A. S.; MIRANDA, N. O.; MEDEIROS, J. F.; BARRETO, H. B. F.; AMARAL JÚNIOR, V. P. Avaliação de parâmetros de salinidade em dois solos submetidos a lâminas crescentes de irrigação com água salina. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 1, p. 28, 2012.

LIMA, G. S.; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; XAVIER, D. A.; SOARES, L. A. A. Produção da mamoneira e atributos químicos do solo irrigado com águas de diferentes natureza catiônica. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 1, p. 54-65, 2016. <https://doi.org/10.1590/1983-21252016v29n107rc>

LINHARES, P. S. F.; ALVES, R. C.; MEDEIROS, A. M. A., LIMA, L. A., BEZERRA, F. M. S., CAVALCANTE, A. L. G.; OLIVEIRA, F. D. A. Alterações químicas no Argissolo cultivado com berinjela irrigada com águas salinas. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 9, n. 3, p. 55-61, 2013. <https://doi.org/10.30969/acsa.v9i3.394>

LIRA, R. M.; SILVA, Ê. F. F.; SILVA, G. F.; SOUZA, D. H.; PEDROSA, E. M.; GORDIN, L. C. Content, extraction and export of nutrients in sugarcane under salinity and leaching fraction. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, p. 432-438, 2019. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n6p432-438>

LONG, X.; HUANG, Z.; ZHANG, Z.; LI, Q.; ZED, R.; LIU, Z. Seawater stress differentially affects germination, growth, photosynthesis, and ion concentration in genotypes of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 29, n. 2, p. 223-231, 2010a. <http://dx.doi.org/doi:10.1007/s00344-009-9125-4>

LONG, X.-H.; CHI, J.-H.; LIU, L.; LI Q.; LIU, Z.-P. Effect of Seawater Stress on Physiological and Biochemical Responses of Five Jerusalem Artichoke Ecotypes. **Pedosphere**, v. 19, n. 2, p. 208-216, 2009. [https://doi.org/10.1016/s1002-0160\(09\)60110-7](https://doi.org/10.1016/s1002-0160(09)60110-7)

LONG, X.-H.; HUANG, Z.-R.; HUANG, Y.-L.; KANG, J.; ZHANG, Z.-H.; LIU, Z. P. Response of Two Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus*) Cultivars Differing in Tolerance to Salt Treatment. **Pedosphere**, v. 20, n. 4, p. 515-524, 2010b. [https://doi.org/10.1016/s1002-0160\(10\)60041-0](https://doi.org/10.1016/s1002-0160(10)60041-0)

LONG, X.-H.; MEHTA, S. K.; LIU, Z.-P. Effect of NO_3^- -N Enrichment on Seawater Stress Tolerance of Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus*). **Pedosphere**, v. 18, n. 1, p. 113-123, 2008. [https://doi.org/10.1016/s1002-0160\(07\)60109-x](https://doi.org/10.1016/s1002-0160(07)60109-x)

MALAVOLTA, E. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. p. 319.

MARQUES, M. R. O íon calcio (Ca^{2+}) na célula vegetal. **Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa**, v. 36, n. 71, p. 194-201, 2020.

MEDEIROS, J. F.; NETO, C. P. C. T.; DIAS, N. S.; GHEYI, H. R.; SILVA, M. V. T.; LOIOLA, A. T. Salinidade e pH de um Argissolo irrigado com água salina sob estratégias de manejo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 3, p. 1407, 2017.

<https://doi.org/10.7127/rbai.v11n300560>

MUNNS R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, n. 1, p. 651-681, 2008.

<https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>

NEGRÃO, S.; SCHMÖCKEL, S. M.; TESTER, M. J. A. O. B. Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. **Annals of botany**, v. 119, n. 1, p. 1-11, 2017.

<https://doi.org/10.1093/aob/mcw191>

NEWTON, P. J.; MYERS, B. A.; WEST, D. W. Reduction in growth and yield of Jerusalem artichoke caused by soil salinity. **Irrigation science**, v. 12, p. 213-221, 1991.

<https://doi.org/10.1007/BF00190526>

NOBRE, R. G.; SOARES, L. A. A.; GHEYI, H. R.; LIMA, G. S.; LOURENÇO, G. S.; SOARES, S. S. Acúmulo de NPK e sódio na mamoneira sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 10, p. 1066-1073, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013001000007>

OLIVEIRA, A. M.; DIAS, N. S.; GURGEL, G. C. S.; RABELO, L. N.; MELO, M. R. S.; SANTOS, M. V. Impactos físico-químicos da disposição do rejeito da dessalinização das águas de poços salinos em Neossolo e Chernossolo do Oeste Potiguar. **Irriga**, v. 23, n. 3, p. 413-425, 2018. <https://doi.org/10.15809/irriga.2018v23n3p413-425>

OLIVEIRA, A.; GOMES-FILHO, E.; ENÉAS-FILHO, J. O problema da salinidade na agricultura e as adaptações das plantas ao estresse salino. **Enciclopédia Biosfera**, v. 6, n. 11, 2010.

OLIVEIRA, W. J.; SOUZA, E. R.; ALMEIDA, B. G.; SILVA, Ê. F. F.; MELO, H. F.; LEAL, L. Y. C. Soil water energetic status and cowpea beans irrigated with saline water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, p. 685-691, 2016.

<https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n8p685-691>

OLIVEIRA, W. J.; SOUZA, E. R.; CUNHA, J. C.; SILVA, Ê. F. F.; VELOSO, V. L. Leaf gas exchange in cowpea and CO₂ efflux in soil irrigated with saline water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 32-37, 2017. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n1p32-37>

OLIVEIRA, W. J.; SOUZA, E. R.; SANTOS, H. R. B.; SILVA, Ê. F. F.; DUARTE, H. H. F.; MELO, D. V. M. Fluorescência da clorofila como indicador de estresse salino em feijão caupi. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 3, p. 2592, 2018.

<https://doi.org/10.7127/rbai.v12n300700>

OUKARROUM, A.; BUSSOTTI, F.; GOLTSEV, V.; KALAJI, H. M. Correlation between reactive oxygen species production and photochemistry of photosystems I and II in *Lemna gibba* L. plants under salt stress. **Environ. Exp. Bot.** v. 109, p. 80-88, 2015.

<https://doi.org/10.1016/J.ENVEXPBOT.2014.08.005>

PARIHAR, P.; SINGH, S.; SINGH, R.; SINGH, V. P.; PRASAD, S. M. Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, p. 4056-4075, 2015. <https://doi.org/10.1007/s1135601437391>

PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; PRATA, A. P. N.; LUCAS, A. A. T.; SANTOS, P. B. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 1308-1324, 2015.

<https://doi.org/105902/2236117016544>

PEREIRA, F. A. L.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; DIAS, N. S.; FERNANDES, C. S.; RIVERA, R. C. Melon cultivation irrigated with saline waters promote chemical alterations in an acrisol. **Bioscience Journal**, v. 36, p. 109-119, 2020. <https://dx.doi.org/BJ-v36n0a2020-53611>

PESSOA, L. G. M.; FREIRE, M. B. G. S.; SANTOS, R. L.; FREIRE, F. J.; MIRANDA, M. F. A.; SANTOS, P. R. Saline water irrigation in semiarid region: I-effects on soil chemical properties. **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, n. 7, p. 1169-1176, 2019.

<https://doi.org/10.21475/ajcs.19.13.07.p1686>

PORTO FILHO, F. D. Q.; MEDEIROS, J. F. D.; GHEYI, H. R.; DIAS, N. D. S.; SOUSA, P. S. D.; DANTAS, D. D. C. Evolução da salinidade e pH de solo sob cultivo de melão irrigado com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 11, p. 1130-1137, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011001100004>

PRISCO, J. T.; GOMES-FILHO, E.; MIRANDA, R. S. **Physiology and biochemistry of plants growing under salt stress**. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES-FILHO, E. (Eds.). Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCTSal. 2016. p. 163-180.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: U.S, Department of Agriculture. 1954. p. 160.

RODRIGUES, V. D. S.; SOUSA, G. D.; SARAIVA, S. E. L.; CARDOSO, E. D. C.; PEREIRA FILHO, J. V.; VIANA, T. D. A. Atributos químicos do solo em área cultivada com milho sob irrigação com água salina. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 7, p. 3129-3138, 2018. <https://doi.org/10.7127/rbai.v12n7001016>

RUBAN, A. V. Nonphotochemical chlorophyll fluorescence quenching: mechanism and effectiveness in protecting plants from photodamage. **Plant physiology**, v. 170, n. 4, p. 1903-1916, 2016. <https://doi.org/10.1104/pp.15.01935>

SABOYA, L. M. F.; MEDEIROS, R. M.; HOLANDA, R. M.; FRANÇA, M. V.; ARAÚJO, W. R.; ROLIM NETO, F. C. Métodos das classificações climáticas de Thorntwaite e Köppen para Recife–PE, Brasil. **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218**, v. 2, n. 8, p. e28575, 2021. <https://doi.org/10.47820/recima21.v2i8.575>

SACRAMENTO, B.; CRUZ, T.; SILVA, L.; MOTA, K.; NETO, A. A. Pigmentos e teores de solutos orgânicos em plantas de aguapé sob estresse salino. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 18, 2014.

SAFDAR, H.; AMIN, A.; SHAFIQ, Y.; ALI, A.; YASIN, R.; SHOUKAT, A.; HUSSAN, M.; U.; SARWAR, M. I. A review: Impact of salinity on plant growth. **Nature and Science**, v. 17, n. 1, p. 34-40, 2019. <https://doi.org/10.7537/marsnsj170119.06>

SANTOS, M. A.; FREIRE, M. B. G. S.; ALMEIDA, B. G.; LINS, C. M.; SILVA, E. M. Dinâmica de íons em solo salino-sódico sob fitorremediação com *Atriplex nummularia* e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 4, p. 397-404, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000400007>

SANWAL, S. K.; KUMAR, P.; KESH, H.; GUPTA, V. K.; KUMAR, A.; KUMAR, A.; MEENA, B. L.; COLLA, G.; CARDARELLI, M.; KUMAR, P. Salinity Stress Tolerance in Potato Cultivars: Evidence from Physiological and Biochemical Traits. **Plants**, v. 11, n. 14, p. 1842, 2022. <https://doi.org/10.3390/plants11141842>

SAWICKA, B.; DANILČENKO, H.; JARIENE, E.; SKIBA, D.; RACHOŃ, L.; BARBAŚ, P.; PSZCZÓŁKOWSKI, P. Nutritional value of Jerusalem artichoke tubers (*Helianthus tuberosus* L.) grown in organic system under Lithuanian and Polish conditions. **Agriculture**, v. 11, n. 5, p. 440, 2021. <https://doi.org/10.3390/agriculture11050440>

SCHOLANDER, P. F.; BRADSTREET, E. D.; HEMMINGSEN, E. A.; HAMMEL, H. T. Pressão de seiva em plantas vasculares: A pressão hidrostática negativa pode ser medida em plantas. **Ciência**, v. 148, n. 3668, p. 339-346, 1965. <https://doi.org/10.1126/science.148.3668.339>

SCHOSSLER, T. R.; MACHADO, D.; ZUFFO, A. M.; ANDRADE, F.; PIAUILINO, A. Salinidade: efeitos na fisiologia e na nutrição mineral de plantas. **Enciclopédia biosfera**, v. 8, n. 15, 2012.

SHAO, T.; GU, X.; ZHU, T.; PAN, X.; ZHU, Y.; LONG, X. RENGEL, Z. Industrial crop Jerusalem artichoke restored coastal saline soil quality by reducing salt and increasing diversity of bacterial community. **Applied Soil Ecology**, v. 138, p. 195-206, 2019. <https://doi.org/doi:10.1016/j.apsoil.2019.03.003>

SILVA, A. O.; KLAR, A. E.; SILVA, Ê. F. F.; TANAKA, A. A.; JUNIOR, J. F. S. Relações hídricas em cultivares de beterraba em diferentes níveis de salinidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 1143-1151, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013001100003>

SILVA, A. R. A. **Respostas e adaptações de plantas de coqueiro “anão verde” às interações entre deficiência hídrica e salinidade do solo**. 2015. 239 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

SILVA, A. R. A.; BEZERRA, F. M. L.; LACERDA, C. F.; SOUSA, C. H. C.; CHAGAS, K. L. Pigmentos fotossintéticos e potencial hídrico foliar em plantas jovens de coqueiro sob estresses hídrico e salino. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 10, n. 4, p. 317-325, 2016. <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v10i4.3650>

SILVA, A. R. A.; BEZERRA, F. M. L.; LACERDA, C. F.; SOUSA, C. H. C.; BEZERRA, M. A. Physiological responses of dwarf coconut plants under water deficit in salt-affected soils. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 2, p. 447-457, 2017. <https://doi.org/10.1590/198321252017v30n220rc>

SILVA, M. O.; FREIRE, M. B. G. S.; MENDES, A. M.; FREIRE, F. J.; DUDA, G. P.; SOUSA, C. E. Risco de salinização em quatro solos do Rio Grande do Norte sob irrigação com águas salinas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 2, n. 1, p. 8-14, 2007.

SILVA, M. V. T.; SOUSA LIMA, R. M.; OLIVEIRA, F. L.; CHAVES, S. W. P.; MEDEIROS, J. F. CE e RAS do extrato de saturação do solo sob diferentes níveis de salinidade e doses de nitrogênio no cultivo da abobora. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n. 2, p. 277-284, 2014.

SILVEIRA, J. A. G.; SILVA, S. L. F.; SILVA, E. N.; VIÉGAS, R. A. **Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas**. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES-FILHO, E. (ed.). Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. 2.ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 181-196.

SINGH, A. Soil salinity: A global threat to sustainable development. **Soil Use and Management**, v. 38, n. 1, p. 39-67, 2022. <https://doi.org/10.1111/sum.12772>

SOARES FILHO, W. S.; GHEYI, H. R.; BRITO, M. E. B; NOBRE, R. G.; FERNANDES, P. D.; MIRANDA, R. S. **Melhoramento genético vegetal e seleção de cultivares tolerantes à salinidade**. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES-FILHO, E. (Ed.). Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados. Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 259-274.

TAÏBI, K.; TAÏBI, F.; ABDERRAHIM, L. A.; ENNAJAH, A.; BELKHODJA, M.; MULET, J. M. Effect of salt stress on growth, chlorophyll content, lipid peroxidation and antioxidant defence systems in *Phaseolus vulgaris* L. **South African Journal of Botany**, v. 105, p. 306-312, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.03.011>

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017. p. 858.

TERZIĆ, S.; ATLAGIĆ, J.; MAKSIMOVIĆ, I.; ZEREMSKI, T.; ZORIĆ, M.; MIKLIČ, V.; BALALIĆ, I. Genetic variability for concentrations of essential elements in tubers and leaves of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 136, p. 135-144, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.01.016>

UMAR, M.; UDDIN, Z.; SIDDIQUI, Z. S. Responses of photosynthetic apparatus in sunflower cultivars to combined drought and salt stress. **Photosynthetica**, v. 57, n. 2, p. 627-639, 2019. <https://doi.org/10.32615/ps.2019.043>

WILLADINO, L.; CAMARA, T. Tolerância das plantas à salinidade: aspectos fisiológicos e bioquímicos. **Enciclopédia biosfera**, v. 6, n. 11, 2010.

XUE, Y. F.; LIU, Z. P. Antioxidant enzymes and physiological characteristics in two Jerusalem artichoke cultivars under salt stress. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 55, p. 776-781, 2008. <https://dx.doi.org/10.1134/s102144370806006x>

YAN, K.; BIAN, T.; HE, W.; HAN, G.; LV, M.; GUO, M.; LU, M. Root Abscisic Acid Contributes to Defending Photoinhibition in Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) under Salt Stress. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 19, n. 12, p. 3934, 2018b. <https://doi.org/10.3390/ijms19123934>

YAN, K.; MEI, H.; DONG, X.; ZHOU, S.; CUI, J.; SUN, Y. Dissecting photosynthetic electron transport and photosystems performance in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) under salt stress. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 905100, 2022. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.905100>

YAN, K.; ZHAO, S.; CUI, M.; HAN, G.; WEN, P. Vulnerability of photosynthesis and photosystem I in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) exposed to waterlogging. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 125, p. 239-246, 2018a. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.02.017>

YANG, M.; SUN, X.; ZHU, J.; LIU, Y.; CHEN, N.; ZHAO, G. Physiological and proteomics insights into salt tolerance of two Jerusalem artichoke cultivars. **Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology**, v. 30, p. 613-622, 2021. <https://doi.org/10.1007/s13562-020006402>

ZHANG, A.; ZANG, W.; ZHANG, X.; MA, Y.; YAN, X.; PANG, Q. Global proteomic mapping of alkali stress regulated molecular networks in *Helianthus tuberosus* L. **Plant and Soil**, v. 409, n. 1-2, p. 175-202, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11104-016-2945-7>

ZHANG, M.; CHEN, Q.; SHEN, S. Physiological responses of two Jerusalem artichoke cultivars to drought stress induced by polyethylene glycol. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 33, n. 2, p. 313-318, 2010. <https://doi.org/10.1007/s11738-010-0549-z>

ZHAO, G. M.; LIU, Z. P.; CHEN, M. D.; KOU, W. F. Effect of Saline Aquaculture Effluent on Salt-Tolerant Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) in a Semi-Arid Coastal Area of China. **Pedosphere**, v. 16, n. 6, p. 762-769, 2006. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(06\)60112-4](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(06)60112-4)

4 CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE *Helianthus tuberosus* L. CULTIVADA SOB APLICAÇÃO DE DIFERENTES FONTES DE ADUBAÇÃO EM SOLO DO AGRESTE DE PERNAMBUCO

Resumo

Objetivou-se com o presente estudo avaliar o comportamento de variáveis agronômicas e produtivas de plantas de *Helianthus tuberosus* L. e a composição química do solo sob aplicação de diferentes fontes de adubação. O experimento foi conduzido sob condições de campo entre os meses de maio e setembro de 2021, em área experimental do Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA), em Caruaru – PE, no Agreste Pernambucano. O experimento foi conduzido sob um delineamento em blocos casualizados (DBC), aplicando-se os tratamentos: controle (sem adubação – T1), adubação com NPK mineral (T2), adubação com composto orgânico (T3), adubação com esterco caprino (T4) e adubação com a combinação de 50% de composto orgânico + 50% de esterco caprino (T5), com quatro repetições em blocos. Foram avaliadas: produção de biomassa, estado nutricional, pigmentos fotossintéticos, teor de sólidos solúveis, potencial produtivo total, atividade enzimática e composição do solo após o período experimental. As variáveis morfológicas foram influenciadas pela aplicação das fontes de adubação, com destaque para os tratamentos com adubação mineral e a combinação de composto orgânico + esterco caprino. A produção de biomassa teve sua maior acumulação nos tratamentos com adubação mineral e composto orgânico. O estado nutricional das frações avaliadas das plantas foi incrementado em todos os tratamentos com adubação em comparação com o controle, sendo o potássio (K) e o cálcio (Ca) os elementos de maior acúmulo em todos os órgãos vegetais analisados. A fertilidade do solo foi potencializada com a adubação e o cultivo da planta, favorecendo a disponibilidade de fósforo (P), cálcio (Ca), elevando a CTC e o pH do solo. O tratamento com adubação mineral propiciou a diminuição do pH, favorecida pelo uso de sulfato de amônio, e aumentou a CE do solo, mas sem causar risco de salinização. O potencial produtivo total foi maior nos tratamentos com adubação mineral e composto orgânico, mas os demais tratamentos com esterco caprino e a combinação composto orgânico + esterco caprino também promoveram valores superiores ao do tratamento sem adubação. A atividade das enzimas ascorbato peroxidase (APX) e catalase (CAT) foi influenciada pelas diferentes fontes de adubação, indicando seu potencial antioxidante contra o estresse oxidativo.

Palavras-chave: Jerusalem artichoke. Compostos orgânicos. Cultivo alternativo. Agricultura orgânica.

GROWTH AND PRODUCTION OF *Helianthus tuberosus* L. CULTIVATED UNDER VARIOUS FERTILIZATION SOURCES IN SOIL OF THE AGRESTE OF PERNAMBUCO

Abstract

This study aimed to assess the agronomic and productive dynamics of *Helianthus tuberosus* L. plants and the resultant soil chemical changes by applying different fertilizer sources. The field experiment spanned from May to September 2021 at the Pernambuco Agronomic Institute (IPA) in Caruaru – PE, situated in the Agreste region of Pernambuco. Employing a randomized block design (DBC), the treatments included a control group (no fertilization – T1), mineral NPK fertilization (T2), organic compound fertilization (T3), goat manure fertilization (T4), and a combination of 50% organic compost + 50% goat manure (T5), each replicated four times. Evaluated parameters included biomass production, nutritional status, photosynthetic pigments, soluble solids content, total productive potential, enzymatic activity, and soil composition post-experimental period. Different fertilizer sources significantly influenced morphological variables, particularly in treatments involving mineral fertilizer and the combination of organic compost + goat manure. Biomass production achieved its highest accumulation in mineral fertilizer and organic compost treatments. Nutritional enhancement across all plant fractions was observed in fertilizer treatments compared to the control, with potassium (K) and calcium (Ca) showing the highest accumulation across analyzed plant organs. Fertility improvement was evident in the soil, with increased phosphorus (P), calcium (Ca), cation exchange capacity (CEC), and soil pH due to fertilization and plant cultivation. Using mineral fertilizer led to a decrease in pH, attributed to ammonium sulfate, and elevated soil electrical conductivity (EC) without posing a salinization risk. The total productive potential was maximized with mineral fertilizer and organic compost treatments. However, treatments involving goat manure and the combination of organic compound + goat manure also exhibited higher values than the unfertilized treatment. Enzymatic activities, specifically ascorbate peroxidase (APX) and catalase (CAT) were influenced by distinct fertilizer sources, signifying their antioxidant potential against oxidative stress.

Keywords: Jerusalem artichoke. Organic compounds. Alternative cultivation. Organic agriculture.

4.1 Introdução

A produção extra de alimentos vem ganhando destaque nos últimos anos pelo crescente aumento populacional, demandando da agricultura a intensificação máxima dos sistemas produtivos. O ambiente produtor desta demanda sofre com o passar das décadas pela exploração irracional dos recursos naturais não renováveis, que porventura causam desequilíbrios ao ambiente. O solo é um dos principais fatores que influenciam na produção agrícola e, associado ao manejo da sua fertilidade, tem a capacidade de potencializar a produtividade das culturas.

O uso de fertilizantes minerais é necessário para aumentar o rendimento das culturas, mas sua eficácia pode durar apenas poucos anos, exigindo o uso consistente a longo prazo. Além disso, o uso indiscriminado de fertilizantes pode ser prejudicial ao meio ambiente. O alto custo é outro fator limitante à utilização dos fertilizantes minerais, tornando-se muitas vezes inviáveis aos pequenos agricultores.

Nos últimos anos, a atenção na busca de fontes alternativas aos adubos minerais tem se intensificado, ganhando destaque o uso de adubos orgânicos. Sua aplicação ao solo propicia melhorias em seus atributos físicos, químicos e biológicos, propiciando às plantas seu requerido status nutricional. Do ponto de vista ambiental, mantém a biodiversidade e fomenta a melhoria dos agroecossistemas.

O *Helianthus tuberosus* L. tem se destacado quanto à sua potencialidade agrônômica, destacando-se na produção de alimentos, biocombustíveis, alimentação humana, forragem animal, fitoremediação de metais no solo e fins farmacêuticos. Considerada uma cultura rústica e cultivada sob condições adversas, proporciona rendimento elevado dos seus principais órgãos vegetais. Devido a sua rusticidade, desenvolve-se em solos com baixa fertilidade, excesso de sais solúveis, limitada demanda hídrica, sob diferentes condições climáticas, tendo, ainda, características de resistência a pragas e doenças.

Mesmo tendo baixa exigência em adubação, a expressão do máximo potencial produtivo da planta só será possível com a incrementação dos teores de macro e micronutrientes no solo, que favorecerão seu desenvolvimento. O aumento da fertilidade do solo cultivado pode ser obtido com adubos orgânicos como esterco bovino, caprino, ovino, suíno, avícola, compostos orgânicos de base alimentar ou os fertilizantes minerais.

A compreensão do comportamento de *Helianthus tuberosus* L. mediante adubação orgânica é essencial para o manejo adequado da cultura e melhoria das respostas em variáveis de interesse agrônômico. Diante do exposto, objetivou-se com este estudo avaliar a influência de diferentes fontes de adubação (orgânica, mineral e combinada) nos principais caracteres agrônômicos da cultura.

4.2 Material e Métodos

4.2.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido sob condições de campo entre os meses de maio e setembro de 2021, em área experimental do Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA), Caruaru – PE, Agreste Pernambucano. Coordenadas geográficas: 08°14'18,2" S de latitude e 35°54'57,1" W de longitude, e altitude média de aproximadamente 537 m.

De acordo com a classificação de Thornthwaite, o clima é do tipo Dd'a' (Semiárido megatérmico) com duas estações climáticas: uma chuvosa (março a agosto) e outra seca (setembro a fevereiro). A precipitação média anual de 640 mm, umidade relativa do ar de 67% e temperatura média anual de 23,5 °C (ALVES et al., 2019). Os dados de precipitação durante a fase experimental foram coletados em pluviômetro instalado na sede da estação experimental do IPA em Caruaru (Tabela 1).

Tabela 1 – Dados de precipitação da Estação Experimental do Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA) em Caruaru – PE durante o período da condução do experimento

Mês	Precipitação (mm)
Maio/2021	130,8
Junho/2021	53,2
Julho/2021	61,0
Agosto/2021	74,6
Setembro/2021	20,4

4.2.2 Estrutura física e preparo da área experimental

O experimento foi instalado em área de campo aberto, na Estação Experimental José Nilson de Melo, campus experimental do IPA (Caruaru/PE). A área correspondia a 10 m de largura e 30 m de comprimento, totalizando 300 m².

A vegetação espontânea da área foi roçada e incorporada com trator acoplado a uma roçadeira, sendo o solo nivelado. Manualmente, foram construídos canteiros para plantio dos tubérculos de *Helianthus tuberosus* L., formando vinte (20) parcelas com área individual de 12 m² cada.

No preparo da área, foram coletadas amostras de solo deformadas e indeformadas para caracterização físico-química do solo antes do experimento. O solo da área tem classificação

de Neossolo Regolítico (ALVES et al., 2019), com textura franco arenosa. Após a secagem, as amostras de solo foram destorroadas e passadas em peneira de 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar, para análises de caracterização química e física (Tabelas 2 e 3).

Tabela 2 – Caracterização química do solo da área experimental na Estação Experimental do IPA (Caruaru/PE) utilizado no cultivo de *Helianthus tuberosus* L.

pH _(1:2,5)	P	Complexo sortivo							V	PST	
		K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	SB	(H ⁺ +Al ³⁺)	T			
-	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹							—	%	
7,02	18,52	0,50	11,46	0,91	0,44	13,31	1,05	14,36	92,69	3,06	
Extrato de saturação											
CE _{es}	pH _{es}	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Cl ⁻		RAS			
dS m ⁻¹	-	mmol _c L ⁻¹					—		(mmol _c L ⁻¹) ^{0,5}		
1,14	7,29	0,95	9,68	4,10	1,58	5,00		0,60			

pH_(1:2,5): potencial hidrogeniônico em água; SB: soma de bases; T: capacidade de troca de cátions; V: saturação por bases; PST: porcentagem de sódio trocável; CE_{es}: condutividade elétrica do extrato de saturação; pH_{es}: potencial hidrogeniônico do extrato de saturação; RAS: relação de adsorção de sódio.

Tabela 3 – Caracterização física do solo da área experimental na Estação Experimental do IPA (Caruaru/PE) utilizado no cultivo de *Helianthus tuberosus* L.

Composição granulométrica			Classe textural	Densidade do solo	Densidade das partículas	Porosidade total
Areia	Silte	Argila				
g kg ⁻¹			-	kg dm ⁻³		cm ³ cm ⁻³
685	265	50	Franco arenosa	1,21	2,48	0,32

4.2.3 Material vegetal

O plantio de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) foi realizado por propagação vegetativa por meio de tubérculos. O material vegetal utilizado pertencia à coleção particular do gestor ambiental Guilherme Reis Ranieri, produzidas no município de Itu, interior do estado de São Paulo. O cultivo das plantas de onde se originaram os tubérculos é manejado agroecologicamente.

4.2.4 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi conduzido sob um delineamento em blocos casualizados (DBC), com o fator fontes de adubação, na forma dos tratamentos: controle (sem adubação – T1), adubação com NPK mineral (T2), adubação com composto orgânico (T3), adubação com esterco caprino (T4) e adubação com a combinação de 50% composto orgânico + 50% de esterco caprino (T5), com quatro repetições em blocos. Cada parcela experimental foi constituída de um total de 27 plantas, sendo avaliadas as 7 (sete) plantas da linha central como área útil, descartando-se a bordadura.

O experimento foi distribuído em quatro blocos com cinco parcelas. Cada parcela teve as dimensões de 3 m x 4 m, com área total de 12 m², sendo constituída de 3 (três) linhas no espaçamento de 1 m entre linhas e de 0,4 m entre plantas. Entre as parcelas foi deixado um espaçamento de 1,0 m no sentido da largura (entre linhas) e de 0,66 m no comprimento (entre plantas).

No tratamento sob aplicação de NPK mineral (T2), foram utilizadas as fontes: sulfato de amônio [(NH₄)₂SO₄] com 18% de N; superfosfato simples [Ca(H₂PO₄)₂ + CaSO₄.2H₂O] com 18% de P₂O₅ e cloreto de potássio (KCl) com 58% de K₂O. A adubação mineral seguiu a recomendação de Aquino et al. (1993) para a cultura do girassol (*Helianthus annuus* L.), planta da mesma família botânica da espécie em estudo (*Asteraceae*), proposta pelo Manual de Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado do Ceará. Baseado no resultado da caracterização inicial do solo (Tabela 2), determinou-se a necessidade de 60:50:30 kg ha⁻¹ de N: P₂O₅: K₂O, respectivamente. No plantio, foram aplicadas as doses correspondentes a 111,11 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio (1/3), 277,77 kg ha⁻¹ de superfosfato simples e 51,72 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio. Em cobertura, aos 40 dias após a emergência das plantas, foram aplicados 2/3 de sulfato de amônio restantes (222,22 kg ha⁻¹). Na tabela 4 estão detalhadas as quantidades respectivas dos adubos aplicados por parcela e cova, referente ao tratamento T2.

Os tratamentos com uso de fontes orgânicas foram aplicados pelo uso de composto orgânico (T3) fornecido pela empresa de saneamento ambiental Lógica Ambiental Ltda. e o esterco caprino curtido (T4) foi coletado no setor de ovinocaprinocultura do Departamento de Zootecnia da UFRPE. O tratamento (T5), foi constituído pela mistura dessas duas fontes orgânicas usadas no T3 e no T4, numa proporção de 50% de cada. A composição química do composto orgânico e do esterco caprino utilizados está apresentada na tabela 5.

Tabela 4 – Quantidades de sulfato de amônio (N), superfosfato simples (P₂O₅) e cloreto de potássio (K₂O) utilizados como fertilizante químico no tratamento T2 no cultivo de *Helianthus tuberosus* L.

Tratamento T2	Sulfato de amônio (N)	Superfosfato simples (P ₂ O ₅)	Cloreto de potássio (K ₂ O)
	(g)		
Parcela	199,5	166,5	31,03
Cova	7,38	6,17	1,14
Total	798	666	124,12

Tabela 5 – Composição química do composto orgânico e do esterco caprino utilizados como adubos orgânicos no cultivo de *Helianthus tuberosus* L.

Fonte	pH _{água} (1:2,5)	pH _{CaCl2}	N	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	MO
	g kg ⁻¹ MS								
Composto orgânico	8,82	8,28	12,5	9,53	11,06	8,04	23,34	12,6	255,1
Esterco caprino	7,98	7,55	25,9	5,42	8,74	5,07	30,14	7,26	688,0

pH_{água(1:2,5)}: potencial hidrogeniônico em água; pH_{CaCl2}: potencial hidrogeniônico em cloreto de cálcio; MO: matéria orgânica.

A recomendação para as fontes orgânicas seguiu a proposição de Awad e Ahmed (2019), sendo aplicadas doses correspondentes a 12 t ha⁻¹. Para isso, foram distribuídos 57,6 kg do composto orgânico (T3) e do esterco caprino (T4) entre as quatro parcelas, em que cada parcela recebeu 14,4 kg e cada cova 533 g. O tratamento T5, composto por 50% de composto orgânico e 50% do esterco caprino, seguiu a recomendação citada anteriormente, equivalente a 50% do composto orgânico (266,5 g cova⁻¹) e 50% do esterco caprino (266,5 g cova⁻¹).

4.2.5 Instalação e condução do experimento

Após o trabalho de limpeza da área e confecção dos canteiros, ocorreu a demarcação da área experimental, em seus respectivos blocos e parcelas. Os leirões foram construídos a uma altura de, aproximadamente, 25 cm em relação à superfície do solo. As covas foram abertas de forma manual com o auxílio de uma cavadeira articulada. Finalizado tal procedimento, foi feita a incorporação dos produtos de cada tratamento nas covas, misturando-os manualmente ao solo em cada cova quando os canteiros se encontravam úmidos.

O plantio dos tubérculos de *Helianthus tuberosus* L. ocorreu 48 h após a incorporação das fontes de adubação, de forma manual, depositando-se um tubérculo por cova à profundidade de, aproximadamente, 4 cm. No total, foram 540 tubérculos distribuídos entre as 20 parcelas experimentais. Para isso, foram selecionados os tubérculos que apresentavam forma e tamanho regulares, buscando uma homogeneidade no plantio.

Após a instalação da cultura, foram realizadas capinas manuais semanalmente ou quando se diagnosticava necessidade de limpeza da área, pelo aumento de plantas invasoras. As limpezas foram realizadas a mão e com a ajuda de profissionais do IPA – Caruaru com o manuseio de enxadas. O controle do crescimento das plantas espontâneas na área visou minimizar o aparecimento de possíveis pragas e doenças. Mesmo assim, foi possível constatar ataque da lagarta-preta (*Spodoptera cosmioides*) nas folhas, que foram imediatamente retiradas e mortas. Destaca-se que houve baixa incidência associada ao monitoramento desta praga, o que não comprometeu o desenvolvimento da cultura, não sendo necessária a aplicação de defensivos químicos. O experimento teve duração de 120 dias, contados a partir do plantio dos tubérculos.

4.2.6 Manejo da irrigação

O experimento teve como foco o cultivo sob condições de sequeiro, visto que o período experimental foi conduzido na época de maior incidência de precipitação na região. Mas, devido à imprevisibilidade e sazonalidade das chuvas e visando a garantia hídrica das plantas em eventuais períodos de estiagem, instalou-se sistema de irrigação localizada por gotejamento. Com mangueira gotejadora (20 cm - 1,5 L h⁻¹ got⁻¹), a água foi conduzida até as mangueiras por gravidade, a partir de caixa d'água localizada em um ponto mais alto, próximo a área experimental.

As irrigações foram realizadas apenas em períodos em que não havia chuva, baseadas na avaliação da umidade do solo in loco e pelas características morfológicas das plantas mediante o baixo suprimento hídrico. O tempo de irrigação era de aproximadamente 1 h e, quando necessárias, as irrigações ocorriam exclusivamente durante as manhãs.

4.2.7 Variáveis analisadas

4.2.7.1 Altura da planta

Altura das plantas da parcela útil foi mensurada aos 35, 80 e 120 dias após o plantio, com trena graduada em centímetros. Foi selecionada a haste principal de cada planta e realizada a medição a partir da superfície do solo até a extremidade da haste, sendo o valor expresso em centímetros (cm).

4.2.7.2 Número de folhas

O número de folhas foi obtido pela contagem manual e direta a partir da folha nº 1 partindo do ápice, expresso em unidade por planta da parcela útil. As avaliações foram realizadas aos 35, 80 e 120 dias após o plantio.

4.2.7.3 Diâmetro do caule

Realizado com paquímetro digital, o diâmetro do caule foi medido a uma altura de 3 cm da superfície do solo, expresso em milímetros (mm), com medidas determinadas aos 35, 80 e 120 dias após o plantio, também nas plantas da parcela útil.

4.2.7.4 Número de hastes primárias e secundárias

As hastes foram contadas manualmente diretamente das plantas da parcela útil aos 35, 80 e 120 dias após o plantio, e divididas em primárias e secundárias conforme a posição de saída do caule da planta. Os valores foram expressos em unidade.

4.2.7.5 Produção de biomassa

Ao fim do experimento (120 dias), a biomassa produzida pelas plantas foi colhida e separadas nas frações folha, caule, raiz e tubérculo. Cada fração foi individualmente pesada para determinação da produção de matéria fresca produzida. Posteriormente, estas frações da planta foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas para secar em estufa de circulação forçada de ar, em temperatura na faixa de 65 °C, até peso constante. Depois de seca, cada fração da planta foi pesada para quantificação da matéria seca por parte vegetal.

4.2.7.6 Pigmentos fotossintéticos foliares

Os teores de clorofila a, b, total e carotenoides, foram determinados ao final do ciclo experimental, por método destrutivo, pesando 0,1 g de material fresco das folhas, cortado em pequenos pedaços e inserido em tubos de ensaio rosqueados cobertos por papel alumínio para evitar passagem de radiação. Posteriormente, foram adicionados 10 mL de álcool etílico absoluto a 99,8% e armazenado sob refrigeração por 48 h.

Após incubação, os teores de clorofila a, b, total e carotenoides foram quantificados em espectrofotômetro, por absorbância. As leituras das amostras foram realizadas em comprimentos de onda de 664, 647 e 470 nm. Os valores foram calculados pelas fórmulas a seguir, conforme metodologia de Lichtenthaler e Buschamann (2001). Os resultados foram expressos em miligramas de clorofila por grama de matéria fresca (mg g^{-1}).

$$\text{Clorofila}_a = 13,36A_{664\text{nm}} - 5,19A_{647\text{nm}}$$

$$\text{Clorofila}_b = 27,43A_{647\text{nm}} - 4,68A_{664\text{nm}}$$

$$\text{Clorofila}_{\text{total}} = \text{clorofila}_a + \text{clorofila}_b$$

$$\text{Carotenoides} = [1000A_{470\text{nm}} - 2,13 (\text{Clorofila}_a) - 97,64 (\text{Clorofila}_b/209)]$$

4.2.7.7 Sólidos solúveis totais (°Brix)

Foram determinados os teores de sólidos solúveis totais (°Brix) nos tubérculos de *Helianthus tuberosus* L. ao final do ciclo experimental. Os tubérculos colhidos passaram por um processo de lavagem em água corrente e assepsia, para eliminação de restos de solo e outras impurezas. Posteriormente, foram descascados para obtenção da polpa, na qual foi feita a extração de seiva para a determinação do °Brix, quantificado por refratômetro digital.

4.2.7.8 Avaliação do estado nutricional das plantas

Para avaliação do estado nutricional das plantas de *Helianthus tuberosus* L., foram tomadas amostras do material vegetal seco em estufa das folhas, caule, raiz e tubérculos, colhidos ao final do experimento. O material vegetal seco foi moído em moinho do tipo Willey e passou por digestão em via úmida a quente, pela mistura de ácido nítrico (HNO_3) + ácido perclórico (HClO_4) na relação de 3:1. Nos extratos obtidos, foram determinados os teores de P, K, Ca, Mg e Na (EMBRAPA, 2009).

O fósforo (P) foi determinado por espectrofotometria de luz visível, em comprimento de onda de 420 nm, pelo método amarelo-de-vanadato. O potássio (K^+) e o sódio (Na^+) foram

dosados por fotometria de emissão de chama, sendo o cálcio (Ca^{2+}) e o magnésio (Mg^{2+}) determinados por espectrofotometria de absorção atômica.

4.2.7.9 Atividade enzimática

Foram coletadas amostras foliares da terceira folha completamente expandida, contada a partir do ápice caulinar até o colo da planta. As amostras de folha foram imediatamente envolvidas em papel alumínio e imersas em nitrogênio líquido (N_2) e, posteriormente, foram armazenadas em ultrafreezer a $-80\text{ }^\circ\text{C}$ até o momento da preparação dos extratos para determinação da atividade das enzimas.

A atividade da catalase (CAT) foi determinada pelo método descrito por Beers e Sizer (1952). Utilizou-se uma solução de contendo $1390\text{ }\mu\text{L}$ do tampão fosfato de potássio monobásico 100 mM + EDTA $0,0001\text{ mM}$ a pH $7,0$, $60\text{ }\mu\text{L}$ de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) 500 mM e $50\text{ }\mu\text{L}$ do extrato vegetal. A atividade da CAT foi determinada seguindo a decomposição do H_2O_2 por 300 segundos com leituras a cada 30 segundos, por meio de leituras no espectrofotômetro a 240 nm , à temperatura de $30\text{ }^\circ\text{C}$.

A atividade da ascorbato peroxidase (APX) foi determinada seguindo o protocolo descrito por Nakaso e Asada (1981). O meio de reação tinha um volume total de $1,5\text{ mL}$, constituído por $1335\text{ }\mu\text{L}$ do tampão fosfato de potássio monobásico a 50 mM + EDTA $0,0001\text{ mM}$ a pH $6,0$, $75\text{ }\mu\text{L}$ de ascorbato 10 mM , $15\text{ }\mu\text{L}$ de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e $75\text{ }\mu\text{L}$ do extrato vegetal. A atividade da APX foi determinada pela taxa de oxidação do ascorbato pelas leituras obtidas pelo espectrofotômetro com comprimento de onda a 290 nm a $30\text{ }^\circ\text{C}$, durante 60 segundos.

Na determinação da atividade da superóxido dismutase (SOD) seguiu-se o método proposto por Giannopolitis e Ries (1977). A atividade da SOD é relacionada a quantidade de formazona púrpura produzida através conversão do nitro blue tetrazolium (NBT). A solução de reação com $2,0\text{ mL}$ foi constituída de $1660\text{ }\mu\text{L}$ do tampão fosfato de potássio 50 mM + EDTA $0,1\text{ mM}$ + L – metionina 13 mM a pH $6,0$, $200\text{ }\mu\text{L}$ de NBT $750\text{ }\mu\text{M}$, $40\text{ }\mu\text{L}$ de riboflavina 1 mM e $100\text{ }\mu\text{L}$ do extrato vegetal. A solução foi armazenada em tubos de vidros e exposta a iluminação com lâmpada fluorescente de 30 watts por 5 minutos. Depois, foi desligada a luz e os tubos mantidos no escuro. A atividade da SOD foi quantificada em espectrofotômetro sob comprimento de onda de 560 nm .

4.2.7.10 Atributos químicos do solo

Ao final do experimento, foram coletadas amostras do solo de cada tratamento para avaliação dos atributos químicos. As amostras foram postas para secar ao ar e à sombra, destorroadas e peneiradas em malha de 2 mm. Para determinação dos elementos da fase solúvel do solo, foi realizado o preparo de pasta saturada e a extração do extrato solúvel por sucção a vácuo. No extrato da pasta saturada, foram medidos o pH e a condutividade elétrica (CE a 25 °C), sendo determinados os cátions solúveis (K^+ e Na^+ por fotometria de emissão de chama; Ca^{2+} e Mg^{2+} por espectrofotometria de absorção atômica) e o ânion Cl^- por titulometria. Com os resultados, foi calculada a relação de adsorção de sódio (RAS) (RICHARDS, 1954; FREIRE et al., 2016).

Ainda no solo, foi medido o pH em água (1:2,5), e determinados os cátions da fase trocável (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^+), extraídos com acetato de amônio (NH_4OAc) 1 mol L^{-1} a pH 7,0. O K^+ e o Na^+ foram determinados por fotometria de chama, já o Ca^{2+} e o Mg^{2+} por espectrofotometria de absorção atômica. Com os resultados, foram calculadas a capacidade de troca de cátions (CTC), a saturação por bases (V) e a porcentagem de sódio trocável (PST) (FREIRE et al., 2016).

Pelo valor de pH observado ser levemente ácido nas amostras de solo do tratamento com adubação mineral (T2), foi determinada a acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$), extraída com solução de acetato de cálcio [$(CH_3COO)_2Ca \cdot H_2O$] 0,5 mol L^{-1} a pH 7,1-7,2] e titulada com solução de hidróxido de sódio 0,025 mol L^{-1} (NaOH) (EMBRAPA, 2009).

4.2.7.11 Potencial produtivo

A colheita dos tubérculos foi realizada ao final do ciclo experimental de 120 dias após o plantio, no mesmo momento de corte da parte aérea das plantas. Após a limpeza dos mesmos, foi feita a pesagem para a obtenção da produção de matéria fresca de colmos produzida por planta em cada tratamento. Em função do espaçamento adotado no cultivo, foi possível calcular o número de plantas por hectare e estimar o potencial produtivo total da cultura, com valores expressos em $kg\ ha^{-1}$.

4.2.8 Análises estatísticas

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), pelo teste F a 1 e 5% de probabilidade ($p \leq 0,01$ ou $p \leq 0,05$). Quando identificado efeito significativo na análise de variância, os dados obtidos foram submetidos ao teste de comparação de médias de Tukey ($p \leq 0,05$). Utilizou-se o software estatístico Sisvar versão 5.6.

4.3 Resultados e Discussão

4.3.1 Número de folhas, diâmetro do caule, altura da planta e número de hastes

Foram observados efeitos significativos das fontes de adubação na primeira (1ª) avaliação apenas para a variável diâmetro do caule ($p \leq 0,05$) (Tabela 6). Na segunda (2ª) avaliação, constatou-se efeito da adubação nas variáveis número de folhas e hastes secundárias ($p \leq 0,05$), no entanto, na terceira (3ª) avaliação não se identificou efeito algum nas variáveis morfológicas avaliadas ($p > 0,05$).

Na primeira (1ª) avaliação, o diâmetro do caule foi maior sob adubação com composto orgânico (T3), chegando a 5,62 cm, e o tratamento sem adubação teve o menor diâmetro (3,40 cm) (Figura 1). Os demais tratamentos também se destacaram com aumento no diâmetro quando comparado ao tratamento sem adubação, enfatizando que a melhoria da fertilidade do solo com a aplicação das fontes proporcionou um aumento biométrico da variável analisada.

Seguindo a mesma tendência, na segunda (2ª) avaliação foram constatadas diferenças nas variáveis número de folhas e número de hastes secundárias. O tratamento com adubação mineral se destacou com o maior número de folhas, com valores médios de 177,27 folhas planta⁻¹, que diferiu dos resultados obtidos sob aplicação das demais fontes (Figura 1). O número de hastes secundárias também foi maior sob cultivo com adubação mineral, atingindo valor médio de 20,25 folhas planta⁻¹. E, na terceira (3ª) avaliação não foram identificadas influências significativas dos tratamentos sobre estas variáveis de planta avaliadas.

Com objetivo de avaliar a influência da adubação orgânica nas características morfológicas de plantas de *Helianthus tuberosus* L., Awad e Ahmed (2018) constataram que as combinações entre esterco de pombo (75%) e esterco bovino (25%), e entre esterco avícola (75%) e esterco bovino (25%) aumentaram o número de folhas na primeira safra. Contudo, na segunda safra, houve maior número de folhas sob os tratamentos com combinação entre esterco bovino (75%) e esterco de pombo (25%), e entre esterco avícola (75%) e esterco de pombo (25%). As hastes laterais foram mais incidentes sob adubação com as combinações entre esterco de pombo (75%) e esterco bovino (25%) e entre esterco avícola (75%) e esterco bovino (25%). Tais respostas indicam a importância dos adubos orgânicos na nutrição das plantas. Além de serem uma fonte rica de macro e micronutrientes, melhoram as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (ANWAR; RAMADAN; EASILY, 2011).

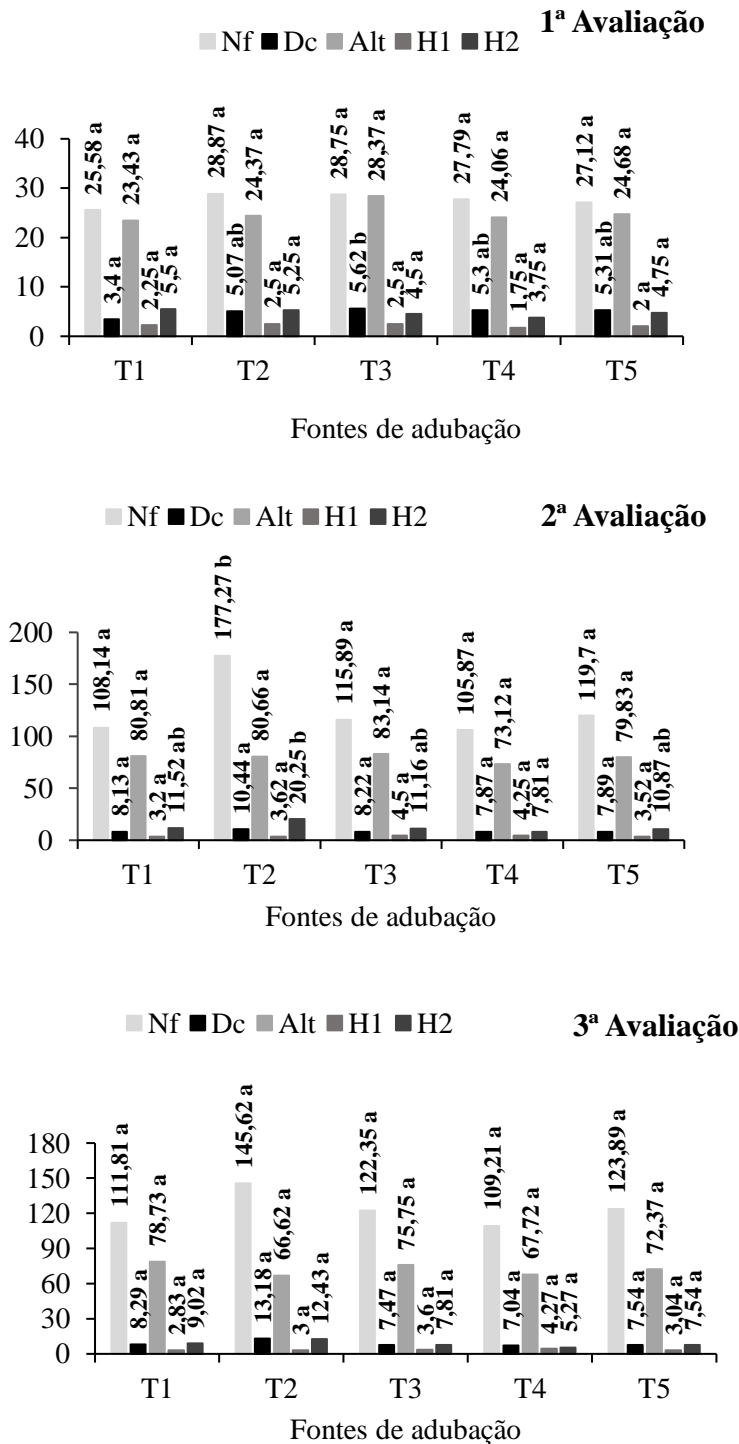
Tabela 6 – Resumo da análise da variância (ANOVA) das variáveis número de folhas, diâmetro do caule, altura da planta e hastes primárias e secundárias de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada sob aplicação de diferentes fontes de adubação

FV	GL	Quadrado médio - 1ª avaliação morfológica				
		Número de folhas	Diâmetro do caule	Altura da planta	Hastes 1ª	Hastes 2ª
Bloco	3	1,98 ^{NS}	0,391 ^{NS}	12,27 ^{NS}	0,666 ^{NS}	3,78 ^{NS}
Fontes	4	7,27 ^{NS}	3,13*	15,19 ^{NS}	0,425 ^{NS}	1,87 ^{NS}
Resíduo	12	4,89	0,837	5,48	0,958	2,74
Total	19					
CV (%)		8,01	18,51	9,37	44,50	34,86
FV	GL	Quadrado médio - 2ª avaliação morfológica				
		Número de folhas	Diâmetro do caule	Altura da planta	Hastes 1ª	Hastes 2ª
Bloco	3	4314,93*	1,76 ^{NS}	143,98 ^{NS}	1,07 ^{NS}	86,82*
Fontes	4	3492,15*	4,75 ^{NS}	57,13 ^{NS}	1,15 ^{NS}	87,25*
Resíduo	12	1044,74	1,97	75,30	1,62	20,71
Total	19					
CV (%)		25,78	16,50	10,91	33,40	36,93
FV	GL	Quadrado médio - 3ª avaliação morfológica				
		Número de folhas	Diâmetro do caule	Altura da planta	Hastes 1ª	Hastes 2ª
Bloco	3	6337,13*	7,11 ^{NS}	185,66 ^{NS}	1,00 ^{NS}	10,02 ^{NS}
Fontes	4	827,54 ^{NS}	25,85 ^{NS}	106,34 ^{NS}	1,39 ^{NS}	27,54 ^{NS}
Resíduo	12	1127,70	11,05	108,30	0,909	10,24
Total	19					
CV (%)		27,40	37,18	14,41	28,47	38,03

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; (**) significativo pelo teste F a 1% de probabilidade; (*) significativo pelo teste F a 5% de probabilidade; (^{NS}) não significativo pelo teste F; CV: coeficiente de variação.

Verás et al. (2018) observaram que o esterco caprino promoveu aumento nas variáveis número de folhas e altura das plantas na cultura do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.), em comparação com a torta de mamona. Os autores justificaram os maiores valores obtidos com a fonte em destaque pela maior concentração de nutrientes e matéria orgânica no esterco caprino, visto que as plantas sob adubação com este produto tiveram melhores condições de desenvolvimento.

Figura 1 – Número de folhas (Nf), diâmetro do caule em mm (Dc), altura da planta em cm (Alt), número de hastes primárias (H1) e secundárias (H2) de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada sob aplicação de diferentes fontes de adubação (T1: controle, T2: fertilizante químico, T3: composto orgânico, T4: esterco caprino, T5: 50% composto orgânico e 50% esterco caprino). Colunas de mesma coloração seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)



4.3.2 Produção de biomassa

As fontes de adubação atuaram apenas na produção de matéria fresca de raízes e matéria fresca e seca de tubérculos ($p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$) (Tabela 7). Houve maior produção de matéria fresca de raízes em plantas cultivadas nos tratamentos com adubação mineral (T2) e com a mistura composto orgânico (50%) + esterco caprino (50%) (T5) (Figura 2). Já para matéria fresca dos tubérculos, foi evidenciada maior biomassa nos tratamentos com a fonte mineral (T2) e o composto orgânico (T3). Em relação a matéria seca dos tubérculos, foi registrada a maior biomassa no tratamento adubado com composto orgânico, atingindo $309,26 \text{ g planta}^{-1}$ de MS. Vale destacar que para todos os tratamentos com adubação, esta variável foi maior em relação ao tratamento sem adubação (T1) (Figura 2).

Tabela 7 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para os dados das variáveis matéria fresca das folhas (MFF), do caule (MFC), da raiz (MFR) e dos tubérculos (MFT) e matéria seca das folhas (MSF), do caule (MSC), da raiz (MSR) e dos tubérculos (MST) de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada sob aplicação de diferentes fontes de adubação

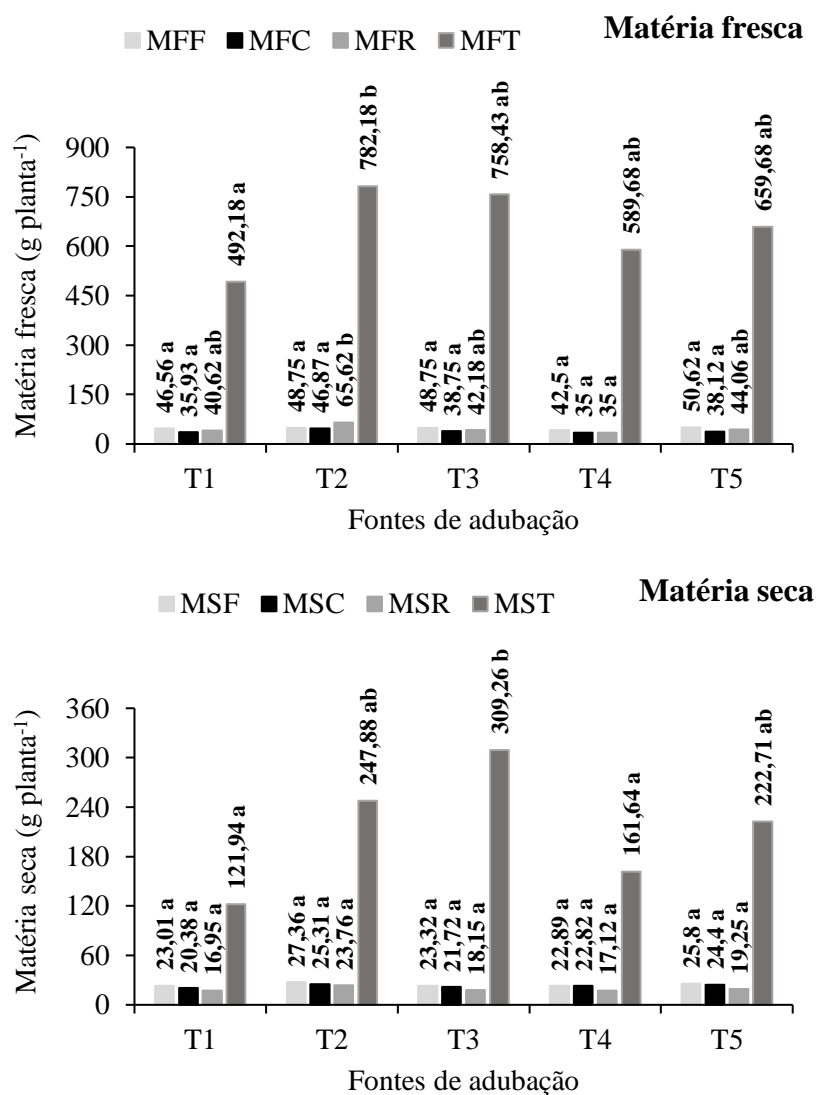
FV	GL	Quadrado médio - matéria fresca			
		MFF	MFC	MFR	MFT
Bloco	3	579,03*	149,24*	28,95 ^{NS}	32264,86 ^{NS}
Fontes	4	38,75 ^{NS}	88,20 ^{NS}	552,07*	57661,25*
Resíduo	12	97,65	41,43	137,22	15948,59
Total	19				
CV (%)		20,83	16,53	25,75	19,54
FV	GL	Quadrado médio - matéria seca			
		MSF	MSC	MSR	MST
Bloco	3	27,11 ^{NS}	50,10 ^{NS}	26,32 ^{NS}	6761,74 ^{NS}
Fontes	4	16,08 ^{NS}	15,80 ^{NS}	31,20 ^{NS}	21506,89**
Resíduo	12	29,92	33,36	39,98	3306,53
Total	19				
CV (%)		22,35	25,19	33,20	27,04

FV: fontes de variação; GL: graus de liberdade; (**) significativo pelo teste F a 1% de probabilidade; (*) significativo pelo teste F a 5% de probabilidade; (^{NS}) não significativo pelo teste F; CV: coeficiente de variação.

Awad e Ahmed (2019), trabalhando com diferentes combinações de adubos orgânicos em cultivo de *Helianthus tuberosus* L. em solo calcário salino, comprovaram que todas as combinações com esterco bovino, avícola e de pombos promoveram melhoria na produção de matéria fresca e seca dos constituintes da planta, com destaque para as misturas com 50% de esterco de pombo + 50% de esterco avícola e de 25% do esterco bovino + 25% de esterco

avícola + 50% do esterco de pombos. Os autores atribuem os resultados aos altos teores de nitrogênio nos estercos utilizados na adubação, sendo prontamente absorvido e assimilado pelas plantas.

Figura 2 – Matéria fresca das folhas (MFF), do caule (MFC), da raiz (MFR) e dos tubérculos (MFT) e matéria seca das folhas (MSF), do caule (MSC), da raiz (MSR) e dos tubérculos (MST) de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada sob aplicação de diferentes fontes de adubação (T1: controle, T2: fertilizante químico, T3: composto orgânico, T4: esterco caprino, T5: 50% composto orgânico e 50% esterco caprino). Colunas de mesma coloração seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)



Gao, Zhu e Wang (2016) asseguram que a fertilização nitrogenada tem a capacidade de impulsionar o aumento da produtividade de tubérculos e da biomassa aérea. Por outro lado, o desenvolvimento radicular pode estar diretamente relacionado ao suprimento adequado de

fósforo, tendo em vista sua essencialidade no crescimento das raízes. Rocha et al. (2018) afirmaram que o suprimento de fósforo proporcionou a máxima produção de biomassa vegetal da raiz em plantas de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.). Segundo Ndukwe et al. (2011), os adubos orgânicos são uma fonte valiosa de nutrientes para as culturas agrícolas e matéria orgânica para o solo, contribuindo na melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas deste corpo natural.

Awad e Ahmed (2019) relataram que a combinação de adubo orgânico 50% de esterco avícola + 50% de esterco de pombo promoveu o maior rendimento fresco e seco de tubérculos, 987,17 e 352,92 g planta⁻¹, respectivamente. Já no tratamento com adubação mineral com NPK, foram observados valores inferiores de produção de tubérculos quando comparado com o tratamento acima, com valores de matéria fresca e seca de 236,11 e 118,40 g planta⁻¹, respectivamente. O incremento na produção de matéria fresca e seca de tubérculos com a aplicação dos adubos orgânicos combinados chegou a valores percentuais de 76,08 e 66,45%, respectivamente.

4.3.3 Pigmentos fotossintéticos foliares

Os resultados da análise de variância (ANOVA) para os pigmentos fotossintéticos são apresentados na tabela 8. Observou-se que as fontes de adubação influenciaram os teores de clorofila “a” (Clf_a), clorofila “b” (Clf_b) e clorofila “total” (Clf_{total}), com $p \leq 0,01$ e $p \leq 0,05$, enquanto os teores de carotenoides (Caf) não se constatou nenhuma diferenciação mediante os tratamentos aplicados ($p > 0,05$).

Os teores de Clf_a nas folhas de *Helianthus tuberosus* L. foram expressivamente maiores sob cultivo com adubação mineral (T2), diferenciando de todos os demais tratamentos, que não se diferenciaram entre si. A Clf_a atingiu valor médio no tratamento T2 de 0,792 mg g⁻¹. O maior valor médio para a Clf_b foi constatado no tratamento com adubação mineral (T2) e diferindo dos demais tratamentos testados, com teor de 0,525 mg g⁻¹. Seguindo o mesmo comportamento, o teor máximo de Clf_{total} foi quantificado no tratamento com adubação mineral (T2), de 1,32 mg g⁻¹, sendo distinta dos encontrados nos demais tratamentos. Os teores de Caf não sofreram influência das fontes de adubação (Figura 3).

Em estudo com a cultura da alface (*Lactuca sativa* L.), da mesma família da espécie deste estudo, Fernandes et al. (2020) esclarecem que a adubação com superfosfato simples levou a valores médios superiores de Clf_a em relação ao tratamento sem adubação e os tratamentos organominerais. Os autores especificam a rápida disponibilização promovida pelos

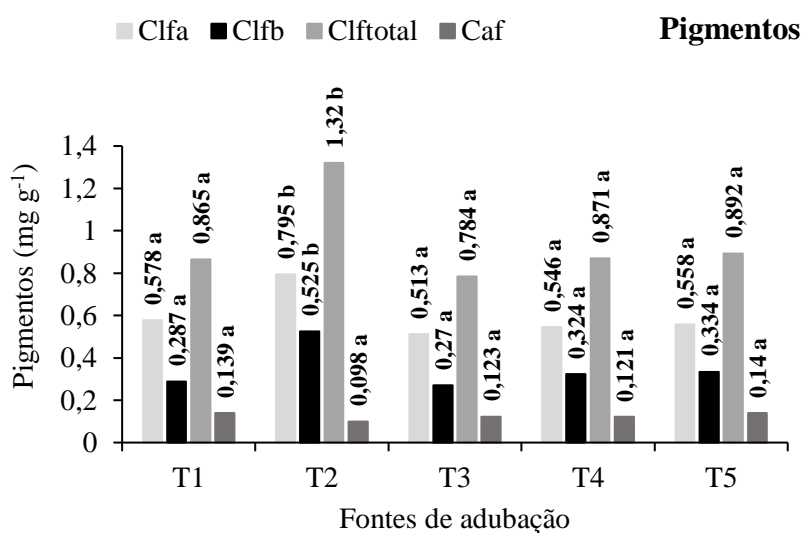
fertilizantes minerais favorecendo sua assimilação, diferentemente dos compostos orgânicos que, geralmente, apresentam uma dinâmica de disponibilidade dos nutrientes mais lenta.

Tabela 8 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para as variáveis clorofila “a” (Clf_a), clorofila “b” (Clf_b), clorofila “total” (Clf_{total}) e carotenoides (Caf) de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada sob aplicação de diferentes fontes de adubação

FV	GL	Quadrado médio			
		Clf_a	Clf_b	Clf_{total}	Caf
Bloco	3	0,026*	0,025**	0,069**	0,0008 ^{NS}
Fontes	4	0,050**	0,041**	0,181**	0,001 ^{NS}
Resíduo	12	0,006	0,001	0,010	0,0004
Total	19				
CV (%)		13,55	12,42	11,04	16,79

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; (**) significativo pelo teste F a 1% de probabilidade; (*) significativo pelo teste F a 5% de probabilidade; (^{NS}) não significativo pelo teste F; CV: coeficiente de variação.

Figura 3 – Teores de clorofila “a” (Clf_a), clorofila “b” (Clf_b), clorofila “total” (Clf_{total}) e carotenoides (Caf) de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada sob aplicação de diferentes fontes de adubação (T1: controle, T2: fertilizante químico, T3: composto orgânico, T4: esterco caprino, T5: 50% composto orgânico e 50% esterco caprino). Colunas de mesma coloração seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)



Seguindo a mesma tendência, Santos (2016) verificou não haver diferenças significativas entre a adubação mineral e algumas fontes orgânicas testadas para a variável Clf_a

na cultura do feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.), em que o tratamento de composto bovino promoveu o melhor índice para a variável mencionada. O composto orgânico e o esterco caprino são fontes alternativas de adubação eficientes e ambientalmente sustentáveis e diversos estudos elucidam esta afirmativa, como Moura Neto et al. (2021) com rúcula (*Eruca sativa* L.) sob adubação com esterco caprino, que apresentaram crescimento nos teores de Clf_a com pico máximo sob dosagem de 0,6 kg de esterco. Assim como, um composto a base de minhoca com dose de 500 g kg^{-1} atingiu seu pico máximo do teor de Clf_a em folhas de girassol (*Helianthus annuus* L.) cultivados em um Latossolo amarelo, segundo investigações de Oliveira et al. (2016). A elevação dos teores de Clf_a no presente estudo e nos supracitados podem, possivelmente, ter relação direta com os teores de nitrogênio (N) fornecidos pelas fontes de adubação, que influenciam no desenvolvimento e produção das plantas, além da Clf_a ser o pigmento responsável por realizar a fase fotoquímica da fotossíntese (TAIZ et al., 2017; COSTA et al., 2019).

As respostas das fontes de adubação para a Clf_b do presente estudo vão de encontro ao apresentado por Freitas et al. (2020), que quantificou teores da respectiva variável em plantas de girassol (*Helianthus annuus* L.) sob adubação com NPK mineral e organomineral. Segundo os autores, a pigmentação tende a aumentar com o maior fornecimento de nitrogênio (N) presente nas fontes de adubação e sua disponibilização direta as plantas. Contrariando o presente estudo, Santos (2016) observaram valores médios superiores de Clf_b no feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) adubados com esterco bovino e composto caprino (50%) + adubo foliar organomineral (5%). A autora destaca que a variável no tratamento sob adubação mineral apresentou uma redução em relação aos demais tratamentos citados. A Clf_b auxilia na absorção ampliada da faixa de luz e na transferência da energia radiante para os centros de reação, complementando assim a captação de luz, sendo considerada um pigmento acessório nos processos fotossintéticos das plantas (TAIZ et al., 2017).

Resultados análogos ao presente estudo foram obtidos por Awad e Ahmed (2019) para os teores de Clf_{total} em folhas de *Helianthus tuberosus* L. sob diferentes combinações de compostos orgânicos em solo calcário salino. O maior índice de Clf_{total} foi registrado por tratamento com adubação mineral (sulfato de amônio, superfosfato simples e sulfato de potássio), seguido pelo tratamento com a combinação de 50% de esterco avícola + 25% de esterco bovino + 25% de esterco de pombo na primeira (1ª) safra. Por outro lado, na segunda (2ª) safra os maiores valores foram registrados nos tratamentos combinação de 50% de esterco avícola + 50% de esterco de pombo, seguido pelo tratamento com adubação mineral. Abbass e

Hussein (2020) em estudo com *Helianthus tuberosus* L. com o objetivo de avaliar o efeito da pulverização foliar com extratos orgânicos e adubação com fonte a base de potássio (K) e zinco (Zn) em parâmetros de crescimento e rendimento. Tanto a pulverização foliar como adubação via solo, apresentaram excelentes teores de Clf_{total} de 73,13 mg 100g⁻¹ e 74,49 mg 100g⁻¹. Rodrigues et al. (2018) em estudo com alface (*Lactuca sativa* L.) sob aplicação de diferentes doses de esterco caprino, constatou que a dose com 7,5 kg m⁻² de esterco caprino + 7,5 ml m⁻² de biofertilizante propiciou a maior resposta quando comparado aos demais tratamentos. Segundo os autores, as plantas apresentavam coloração verde intensa, o que pode ser atribuído ao excelente estado nutricional das plantas, principalmente, associado ao nitrogênio (N). Estes resultados evidenciam que os teores de Clf_{total} nas folhas das plantas estão diretamente relacionados com a adubação que é aplicada ao vegetal. Assim, o monitoramento desses índices direciona ao manejo adequada da adubação e escolhas de fontes nutricionais viáveis ao desenvolvimento das plantas (OLIVEIRA et al., 2018).

4.3.4 Estado nutricional das plantas

Os resultados da análise de variância (ANOVA) expressos na tabela 9, indicaram haver influência estatisticamente significativa nos teores nutricionais das folhas para os elementos potássio (K) e sódio (Na) e nos tubérculos para o cálcio (Ca) sob o cultivo de diferentes fontes de adubação testadas ($p \leq 0,01$ e $p \leq 0,05$). Os demais íons nas suas respectivas partições não apresentaram variações significativas mediante a aplicação das fontes de adubação ($p > 0,05$).

A aplicação das fontes de adubação no solo para cultivo de *Helianthus tuberosus* L. proporcionou maiores valores médios de potássio (K) nas folhas no tratamento com 50% d composto orgânico + 50% do esterco caprino (T5) com teor de 18,34 g kg⁻¹ MS, mesmo não diferindo do tratamento com maior teor, o controle (T1) apresentou o maior valor médio de 21,74 g kg⁻¹ MS de potássio (K). O sódio (Na) apresentou o mesmo comportamento do elemento anterior, com sua concentração máxima ocorrendo no tratamento sem adubação (T1) seguido pelo tratamento T5, com teores de 10,43 e 9,42 g kg⁻¹ MS, respectivamente, não havendo diferença estatística entre os dois tratamentos.

Tabela 9 – Resumo da análise de variância para os dados dos teores nutricionais de fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) na folha, caule, raiz e tubérculos de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada sob aplicação de diferentes fontes de adubação

FV	GL	Quadrados médios (Folha)				
		P	K	Na	Ca	Mg
Bloco	3	3,76 ^{NS}	306,54*	36,85**	20,06 ^{NS}	3,25 ^{NS}
Fontes	4	6,96 ^{NS}	140,14**	28,88**	6,35 ^{NS}	9,32 ^{NS}
Resíduo	12	3,46	32,61	4,07	24,06	3,59
Total	19					
CV (%)		53,12	41,54	28,79	22,47	21,36
FV	GL	Quadrados médios (Caule)				
		P	K	Na	Ca	Mg
Bloco	3	0,659 ^{NS}	4,94 ^{NS}	0,975 ^{NS}	12,13 ^{NS}	0,636 ^{NS}
Fontes	4	0,805 ^{NS}	29,83 ^{NS}	53,13 ^{NS}	12,45 ^{NS}	8,42 ^{NS}
Resíduo	12	0,334	18,83	2,60	12,50	5,42
Total	19					
CV (%)		41,57	46,23	39,40	24,15	39,48
FV	GL	Quadrados médios (Raiz)				
		P	K	Na	Ca	Mg
Bloco	3	0,280 ^{NS}	4,27 ^{NS}	3,51 ^{NS}	6,24 ^{NS}	0,121 ^{NS}
Fontes	4	0,185 ^{NS}	35,25 ^{NS}	7,52 ^{NS}	12,00 ^{NS}	0,140 ^{NS}
Resíduo	12	0,275	24,16	7,64	10,46	0,165
Total	19					
CV (%)		36,86	45,94	53,67	10,72	19,51
FV	GL	Quadrados médios (Tubérculos)				
		P	K	Na	Ca	Mg
Bloco	3	0,177 ^{NS}	47,84 ^{NS}	7,01 ^{NS}	12,12 ^{NS}	0,004 ^{NS}
Fontes	4	0,377 ^{NS}	5,61 ^{NS}	0,194 ^{NS}	85,74**	0,005 ^{NS}
Resíduo	12	0,136	20,01	2,82	13,22	0,075
Total	19					
CV (%)		13,27	22,02	12,33	9,97	15,09

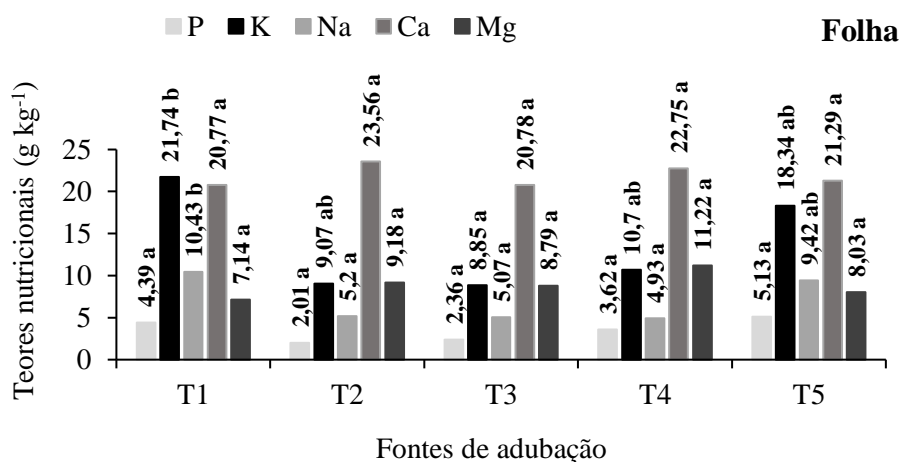
FV – fontes de variação; GL – graus de liberdade; (**) significativo pelo teste F a 1% de probabilidade; (*) significativo pelo teste F a 5% de probabilidade; (^{NS}) não significativo pelo teste F; CV – coeficiente de variação.

Os demais macronutrientes não tiveram diferença significativa entre as fontes e o controle, mas com os maiores teores nas folhas para o fósforo (P) no tratamento T5 (5,13 g kg⁻¹ MS), o cálcio (Ca) no tratamento com adubação mineral (T2) com teor de 23,56 g kg⁻¹ MS e o magnésio (Mg) no tratamento com esterco caprino (T4) com teor de 11,22 g kg⁻¹ MS (Figura 4). Awad e Ahmed (2018), em estudo com fontes de adubação orgânica e combinações para

fertilização do solo no cultivo de *Helianthus tuberosus* L., encontrou os maiores teores de potássio (K) na combinação de 75% de esterco avícola + 25% de esterco de pombo, atingindo 21 g kg⁻¹ MS, enquanto o tratamento com adubação mineral atingiu teor médio de 17,4 g kg⁻¹ MS. Tais resultados não apresentaram diferenças significativas, mediante conclusão do teste estatístico de comparação das médias. Os autores citam ainda que o esterco avícola possui de altas concentrações de potássio (K).

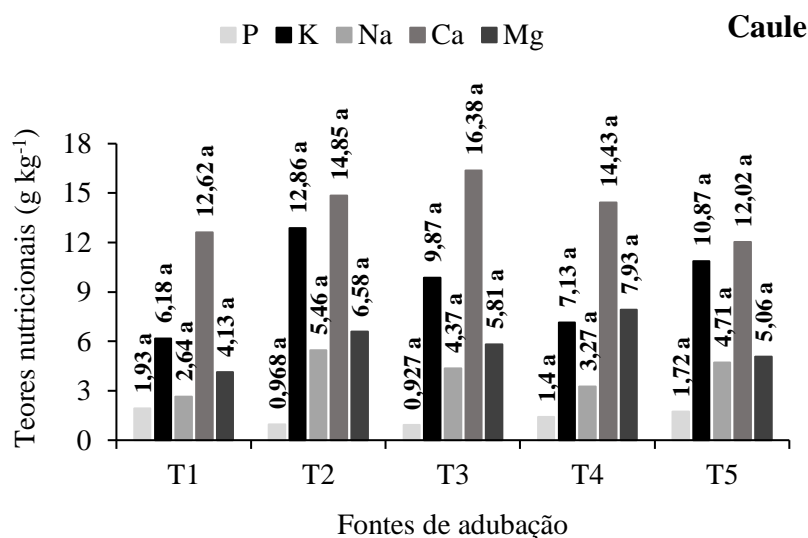
As investigações de Terzić et al. (2012) visando determinar as concentrações dos macronutrientes essenciais em folhas de 141 acessos de *Helianthus tuberosus* L., constatou teores médios de potássio (K) na casa de 24,73 g kg⁻¹ MS. Para os demais elementos, os autores mencionam que os teores de fósforo (P) foram 1,95 g kg⁻¹ MS, para cálcio (Ca) 34,92 g kg⁻¹ MS e magnésio (Mg) 8,61 g kg⁻¹ MS. Os resultados elucidados pelos autores em relatos na literatura, corroboram e se aproximam dos encontrados neste presente estudo. Em consequência a estas averiguações, o ideal suprimento que potássio (K) influencia diretamente o aumento da produtividade e melhoria de tubérculos e raízes, visto que o elemento é responsável pela assimilação de CO₂, síntese de amido e translocação de carboidratos das folhas para as raízes tuberosas das culturas, onde os carboidratos são a principais substâncias fortemente armazenada neste órgão da planta (SILVA et al., 2017).

Figura 4 – Teores nutricionais de fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) nas folhas de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada sob aplicação de diferentes fontes de adubação (T1: controle, T2: fertilizante químico, T3: composto orgânico, T4: esterco caprino, T5: 50% composto orgânico e 50% esterco caprino). Colunas de mesma coloração seguidas de mesma letra dentro de cada fonte de adubação não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)



Os resultados obtidos neste trabalho para os teores nutricionais no caule das plantas de *Helianthus tuberosus* L. não apresentaram diferenças estatisticamente significativas para nenhum dos macroelementos e o sódio (Na). Os teores de cálcio (Ca) foram os mais representativos com maior valor quantificado na fonte de adubação com composto orgânico (16,38 g kg⁻¹ MS). O fósforo (P) obteve sua maior concentração no tratamento sem adubação (T1) com teor de 1,93 g kg⁻¹ MS, o potássio (K) e o sódio (Na) no tratamento com adubação mineral (T2) com teores de 12,86 e 5,46 g kg⁻¹ MS, respectivamente, e o magnésio (Mg) no tratamento com esterco caprino (T4) com maior teor de 7,93 g kg⁻¹ MS (Figura 5). Silva et al. (2011) constatou que a aplicação de biofertilizante bovino no cultivo de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* L.) aumentou os teores dos macronutrientes essenciais no caule e obedecendo a seguinte ordem de extração dos elementos: Ca > K > Na > P.

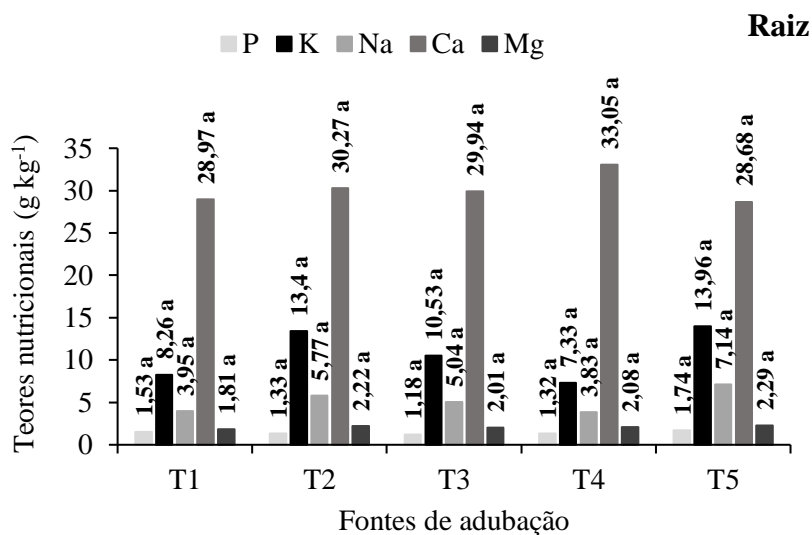
Figura 5 - Teores nutricionais de fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) no caule de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada sob aplicação de diferentes fontes de adubação (T1: controle, T2: fertilizante químico, T3: composto orgânico, T4: esterco caprino, T5: 50% composto orgânico e 50% esterco caprino). Colunas de mesma coloração seguidas de mesma letra dentro de cada fonte de adubação não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)



Assim como no caule, as raízes de *Helianthus tuberosus* L. não tiveram variações significativas nos teores nutricionais sob cultivo frente as diferentes fontes de adubação e o controle. Os maiores teores dos elementos fósforo (P), potássio (K), sódio (Na) e magnésio (Mg) foram constatados sob adubação com a fonte combinada de 50% composto orgânico + 50% esterco caprino (T5) com valores de 1,74, 13,96, 7,14 e 2,29 g kg⁻¹ MS, respectivamente.

Já o cálcio (Ca) alcançou sua maior acumulação na partição analisada sob adubação com esterco caprino com teor de 33,05 g kg⁻¹ MS (Figura 6).

Figura 6 – Teores nutricionais de fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) nas raízes de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada sob aplicação de diferentes fontes de adubação (T1: controle, T2: fertilizante químico, T3: composto orgânico, T4: esterco caprino, T5: 50% composto orgânico e 50% esterco caprino). Colunas de mesma coloração seguidas de mesma letra dentro de cada fonte de adubação não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)

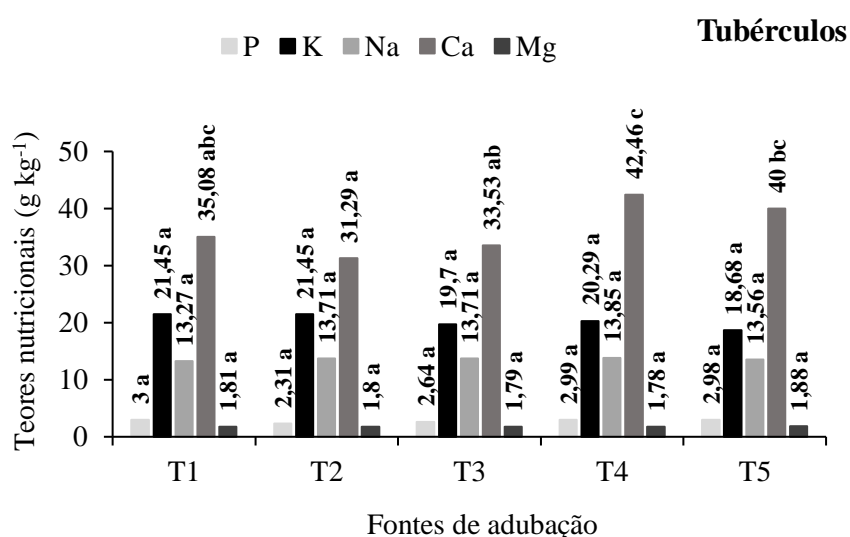


Maia et al. (2013) em estudo com tomate cereja (*Solanum lycopersicum* L.) sob adubação com doses de esterco bovino, detectou o incremento de todos os macronutrientes essenciais, sob as doses de 300 e 400 g kg⁻¹ de esterco. Silva et al. (2017) relata que o bom suprimento de nitrogênio (N), potássio (K) e cálcio (Ca) aumentaram a produtividade de raízes de cenoura e a aplicação desproporcionou reduziu significativamente a formação radicular. Chiodini et al. (2013) concluíram que os compostos orgânicos incorporados ao solo ricos em elementos essenciais para as plantas, tem a capacidade de estimular diretamente o crescimento e desenvolvimento dos vegetais, especialmente das raízes. Uma raiz saudável e vigorosa tem a capacidade de absorver e acumular mais nutrientes, não causando carência nutricional as plantas. Destacando assim, a importância do cálcio (Ca) para o desenvolvimento das raízes, visto seu papel na formação da parede celular e membranas (ALMEIDA et al., 2013).

Já para os tubérculos de *Helianthus tuberosus* L. também tiveram expressiva acumulação de cálcio (Ca), e estatisticamente se constatou efeito das fontes de adubação em análise pelo teste de médias. Os tratamentos com esterco caprino (T4) e a combinação 50% de composto orgânico + 50% de esterco caprino (T5) obtiveram os maiores teores quantificados

neste órgão da planta, e não diferiram entre si segundo o teste estatístico. A caracterização química das duas fontes utilizadas comprovou a riqueza em cálcio (Ca) nos dois materiais (Tabela 6), o que se refletiu diretamente nas concentrações do elemento nos tubérculos, e com destaque para os teores quando comparado com a adubação mineral (T2), que obteve valores inferiores ao das fontes orgânicas. Os teores dos demais nutrientes não apresentaram efeito significativo mediante a aplicação das fontes orgânicas no cultivo. O teor de fósforo (P) atingiu maior acúmulo no tratamento sem adubação (T1), o potássio (K) nos tratamentos sem adubação (T1) e adubação mineral (T2), o sódio (Na) sob esterco caprino (T4) e o magnésio (Mg) na combinação 50% de composto orgânico + 50% de esterco caprino (T5), com teores de 3 g kg⁻¹ MS, 21,45 g kg⁻¹ MS, 13,85 g kg⁻¹ MS e 1,88 g kg⁻¹ MS, respectivamente (Figura 7).

Figura 7 – Teores nutricionais de fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) nos tubérculos de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivada sob aplicação de diferentes fontes de adubação (T1: controle, T2: fertilizante químico, T3: composto orgânico, T4: esterco caprino, T5: 50% composto orgânico e 50% esterco caprino). Colunas de mesma coloração seguidas de mesma letra dentro de cada fonte de adubação não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)



Os resultados relatados por Awad e Ahmed (2019) em cultivo com *Helianthus tuberosus* L. com diferentes adubos orgânicos combinados em solo calcário salino, enaltecem a influência das combinações com fontes orgânicas no incremento de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). O fósforo (P) atingiu teor máximo na combinação com 50% de esterco bovino + 25% de esterco avícola + 25% de esterco de pombo (7,0 g kg⁻¹ MS) e o potássio (K) na combinação com 50% de esterco bovino + 50% de esterco de pombo (14,4 g kg⁻¹ MS).

Segundo Sawicka et al. (2021) os teores de cálcio (Ca) e potássio (K) nesta espécie de tuberosa é maior que em tubérculos de batata, cenoura e beterraba, contendo em média concentrações de 43,7 a 51,2 g kg⁻¹, valores condizentes com os deste estudo. Devido sua baixa mobilidade na planta, altas concentrações de cálcio (Ca) podem ser encontradas em seu sistema radicular e armazenados nos tubérculos de plantas tuberosas, como evidenciamos no presente estudo e corroborado por Sawicka e Kalembasa (2013). Em estudo com 141 acessos de *Helianthus tuberosus* L. com a finalidade de determinar as concentrações elementos essenciais nos tubérculos, Terzić et al. (2012) quantificou teores médios de fósforo (P) na casa de 2,31 g kg⁻¹ MS, potássio (K) de 22,72 g kg⁻¹ MS, cálcio (Ca) de 2,23 g kg⁻¹ e magnésio (Mg) de 0,97 g kg⁻¹ MS. Tais teores de cálcio (Ca) contrariam os do presente estudo, mas os autores justificam que dependendo da cultivar, localização e condições climáticas e de cultivo, a dinâmica do elemento nos tubérculos pode acarretar em diversas variações. Atrelado a estas discussões, o cálcio (Ca) se faz importante, principalmente, na fase de tuberização e enchimento dos tubérculos, período em que ocorre maior demanda pelo elemento, sendo assim, a necessidade da boa disponibilidade do íon no ambiente de cultivo (FERNANDES; SORATTO; SILVA, 2011)

4.3.5 Atributos químicos do solo

Os atributos químicos do solo pH_{água(1:2,5)}, fósforo, cátions trocáveis, a capacidade de troca de cátions e porcentagem de sódio trocável foram influenciados pela aplicação de diferentes fontes de adubação no cultivo de *Helianthus tuberosus* L. ($p \leq 0,01$) (Tabela 10).

Numa análise geral, é observado que os teores de fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) foram incrementados no solo após aplicação das fontes de adubação orgânica quando comparados com os teores da caracterização inicial (Tabela 2), além de elevar a capacidade de troca de cátions (T) e a porcentagem de sódio trocável (PST) nos tratamentos com composto orgânico (T3) e na combinação de 50% de composto orgânico + 50% de esterco caprino (T5). A adubação mineral (T2) promoveu a queda do pH_{água(1:2,5)} para 5,7 quando a caracterização inicial do solo obteve valor médio de 7,02. Os demais tratamentos foram na contramão ao do mencionado acima, com valores de 7,51 para o tratamento sem adubação (T1), 7,47 para os tratamentos com composto orgânico (T3) e a combinação 50% de composto orgânico + 50% de esterco caprino (T5) e 7,31 para o tratamento com esterco caprino (T4).

Tabela 10 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para os dados de potencial hidrogeniônico (pH água 1:2,5), potássio (K⁺), sódio (Na⁺), cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) trocáveis, fósforo (P), capacidade de troca de cátions (CTC) e porcentagem de sódio trocável (PST) do solo após cultivo com *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) sob aplicação de diferentes fontes de adubação

FV	GL	Quadrados médios			
		pH _{água(1:2,5)}	P	K ⁺	Na ⁺
Bloco	3	0,217 ^{NS}	56,12 ^{NS}	0,146 ^{NS}	0,151 ^{NS}
Fontes	4	2,43 ^{**}	1385,64 ^{**}	0,671 ^{**}	0,876 ^{**}
Resíduo	12	0,307	126,55	0,046	0,137
Total	19				
CV (%)		7,81	28,58	24,05	43,50

FV	GL	Quadrados médios			
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	T	PST
Bloco	3	4,30 ^{NS}	0,705 ^{NS}	9,74 ^{NS}	11,61 ^{NS}
Fontes	4	201,24 ^{**}	17,26 ^{**}	185,35 ^{**}	61,74 ^{**}
Resíduo	12	2,24	2,33	8,78	6,70
Total	19				
CV (%)		10,17	64,43	15,13	47,63

FV – fontes de variação; GL – graus de liberdade; (**) significativo pelo teste F a 1% de probabilidade; (*) significativo pelo teste F a 5% de probabilidade; (^{NS}) não significativo pelo teste F; CV – coeficiente de variação.

Tais resultados apresentaram uma evolução do pH_{água(1:2,5)} em comparação ao do inicial do experimento. Destacadamente, adubação mineral (T2) ao contrário dos demais tratamentos com adubação orgânica, teve queda nos teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) que consequentemente contribuíram para a diminuição da capacidade de troca de cátions do solo (T), além de propiciar o aumento do sódio (Na) que influenciou diretamente na elevação da porcentagem de sódio provável (PST), atingindo o maior valor entre todos os tratamentos. A incrementação da capacidade de troca de cátions (T) nos tratamentos orgânicos é atribuída rigorosamente a subida de todos os cátions trocáveis, que foram impulsionados pela riqueza química dos compostos de natureza orgânica aplicada ao solo como forma alternativa de sua fertilização (Tabela 5). Os valores médios dos atributos do solo após ciclo experimental da *Helianthus tuberosus* L. sob as diferentes fontes de adubação estão apresentados na tabela 11.

Tabela 11 – Atributos químicos do solo após cultivo com *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) sob aplicação de diferentes fontes de adubação (T1: controle, T2: fertilizante químico, T3: composto orgânico, T4: esterco caprino, T5: 50% composto orgânico e 50% esterco caprino) (Complexo sortivo)

Fontes	pH _{água(1:2,5)}	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CTC	PST
-		mg kg ⁻¹	----- cmol _c kg ⁻¹ -----					%
T1	7,51 a	16,28 c	0,469c	0,365 c	21,19 a	0,955 bc	23,01 ab	1,61 b
T2	5,7 b	26,81 bc	0,843 bc	0,822 abc	3,44 d	0,255 c	8,90 c	10,22 a
T3	7,47 a	48,29 ab	1,33 a	1,43 a	12,38 c	1,55 bc	16,73 b	8,65 a
T4	7,31 a	64,65 a	0,527 c	0,432 bc	18,91 ab	5,11 a	25,04 a	1,73 b
T5	7,47 a	40,22abc	1,29 ab	1,2 ab	17,73 b	3,97 ab	24,23 a	4,97 ab

Médias seguidas de mesma letra dentro de cada fonte de adubação não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

Os atributos químicos do solo da fase solúvel são apresentados na tabela 12 mediante o resumo da análise de variância (ANOVA). Foram observados efeitos significativos no pH_{es}, na condutividade elétrica (CE_{es}), nos teores de potássio (K⁺), sódio (Na⁺), cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) solúveis e na razão de adsorção de sódio (RAS) no cultivo de *Helianthus tuberosus* L. sob diferentes fontes de adubação ao final do ciclo experimental ($p \leq 0,01$ e $p \leq 0,05$).

Awad e Sweed (2020) em estudo com *Helianthus tuberosus* L. objetivando identificar a influência de diferentes fontes orgânicas nas características químicas de um solo calcário salino, constatou que os teores de fósforo (P) e potássio (K) na camada de 0 – 30 cm foram maiores nos tratamentos com adubação com NPK, com 75% de esterco de esterco avícola + 25% com esterco de pombo e 50% de esterco bovino + 50% de esterco avícola. Já na camada de 30 – 60 cm, os teores de fósforo (P) e potássio (K) foram maiores nos tratamentos com 100% de esterco de pombo, 50% de esterco bovino + 50% de esterco avícola e 75% de esterco bovino + 25% de esterco avícola. O acúmulo de fósforo (P) e potássio (K) nos tratamentos com adubos orgânicos pode ser atribuído a liberação de ácidos orgânicos durante a decomposição microbiana da matéria orgânica, o que ajuda na solubilidade destes elementos no solo, enfatizam os autores.

Tabela 12 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para os dados de potencial hidrogeniônico do extrato de saturação (pH_{es}), condutividade elétrica (CE_{es}), potássio (K⁺), sódio (Na⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺) e razão de adsorção de sódio (RAS) do extrato de saturação do solo após cultivo com *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) sob aplicação de diferentes fontes de adubação

FV	GL	Quadrados médios			
		pH _{es}	CE _{es}	K ⁺	Na ⁺
Bloco	3	0,769 ^{NS}	0,042 ^{NS}	4,53 ^{NS}	1,53 ^{NS}
Fontes	4	2,99 ^{**}	4,87 ^{**}	9,79 [*]	8,05 [*]
Resíduo	12	0,418	0,193	2,15	1,74
Total	19				
CV (%)		8,54	22,01	62,47	49,67

FV	GL	Quadrados médios		
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	RAS
Bloco	3	4,41 ^{NS}	2,24 ^{NS}	0,084 ^{NS}
Fontes	4	130,12 ^{**}	44,66 ^{**}	0,654 [*]
Resíduo	12	21,56	6,52	0,168
Total	19			
CV (%)		37,76	35,34	47,23

FV – fontes de variação; GL – graus de liberdade; (**) significativo pelo teste F a 1% de probabilidade; (*) significativo pelo teste F a 5% de probabilidade; (NS) não significativo pelo teste F; CV – coeficiente de variação.

Assim como neste estudo, os autores supracitados também evidenciaram a diminuição do pH no tratamento com adubação mineral, onde a fertilização com nitrogênio (N) na forma de sulfato de amônio ((NH₄)₂SO₄) resultou na acidificação do solo. Já as observações de Cairo-Cairo et al. (2023) com o intuito de avaliar o efeito da cama de frango em indicadores da fertilidade do solo, indicou resultados com o aumento do pH do solo que contribuiriam na maior disponibilidade de fósforo (P) e potássio (K). Souza et al. (2012) avaliando a aplicação de compostos do abate de caprinos e ovinos nos atributos químicos de um Latossolo, promoveu a elevação da fertilidade do solo, com o aumento do pH, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e a capacidade de troca de cátions (T).

Indo de encontro a tendência deste estudo e aos abordados, Mambo, Mataa e Chishala (2018) utilizaram compostos orgânicos a base de torta de pinha-manso, esterco avícola e de curral na fertilização do solo em cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* L.), e todas as fontes promoveram aumentos significativos nos teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e no pH do solo. Quanto ao aumento da porcentagem de sódio trocável (PST) no tratamento com adubação mineral (T2), o valor de 10,22% ainda não configura o solo com características associadas a sodicidade, visto que o solo para apresentar problemas de excesso

de sódio (Na) necessitaria de uma PST \geq 15%, parcial não observada em nenhum dos tratamentos (USSL STAFF, 1954).

O comportamento dos atributos químicos do solo no extrato de saturação seguiu uma tendência de aumento sob a aplicação das fontes de adubação na maioria dos parâmetros. O pH_{es} em todos os tratamentos teve uma elevação em comparação a caracterização inicial (Tabela 2), exceto no tratamento com adubação mineral (T2), que atingiu pH_{es} de 6,28, sendo o menor valor entre os demais tratamentos, e tendo a combinação com 50% de composto orgânico + 50% de esterco caprino (T5) com o maior pH_{es} de 8,55. A condutividade elétrica do solo (CE_{es}) apresentou a mesma predisposição de aumento quando comparado solo no inicial da fase de instalação do cultivo, com valor máximo atingido pela adubação com NPK mineral (T2), e também com as demais fontes propiciando acréscimos na CE_{es}. Os cátions solúveis tenderam a incrementasse no solo com a aplicação das fontes de adubação, se destacando com maior acúmulo de potássio (K⁺) o cultivo sob adubação mineral (T2), o sódio (Na⁺) com adubação na combinação de 50% de composto orgânico + 50% de esterco caprino (T5), o cálcio (Ca²⁺) no tratamento mineral (T2), o magnésio (Mg²⁺) na adubação com esterco caprino e a razão de adsorção de sódio (RAS) no tratamento com composto orgânico (T3). Na tabela 13, é possível aferir mediante a análise por teste de média a dinâmica comportamental de todos os atributos químicos analisados no solo em cada tratamento.

Tabela 13 – Atributos químicos do solo após cultivo com *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) sob aplicação de diferentes fontes de adubação (T1: controle, T2: fertilizante químico, T3: composto orgânico, T4: esterco caprino, T5: 50% composto orgânico e 50% esterco caprino) (Extrato de saturação)

Fontes	pH _{es}	CE _{es} dS m ⁻¹	K ⁺ ----- mmol _c L ⁻¹ -----	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	RAS (mmol _c L ⁻¹) ^{0,5}
T1	7,36 ab	0,91 c	0,59 a	1 a	4,17 b	2,35 b	0,552 ab
T2	6,28 b	3,8 a	3,99 a	3,36 a	20,19 a	9,33 a	0,915 ab
T3	7,55 ab	1,67 bc	3,17 ab	3,74 a	11,6 ab	5,15 ab	1,33 a
T4	8,14 a	1,45 bc	0,757 ab	1,24 a	12,06 ab	10,12 a	0,375 b
T5	8,55 a	2,15 b	3,23 ab	3,93 a	13,45 ab	9,17 a	1,17ab

Médias seguidas de mesma letra dentro de cada fonte de adubação não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

O estudo de Awad e Sweed (2020) utilizando adubos orgânicos de forma isolada e combinada em cultivo com *Helianthus tuberosus* L. em solo calcário salino, encontraram incrementos de cátions solúveis em todos os tratamentos aplicados, tendo os maiores teores para potássio (K^+), sódio (Na^+), cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) na combinação com 50% de esterco de pombo + 25% de esterco bovino + 25% de esterco avícola (0,80, 7,09, 14,74 e 6,25 $mg L^{-1}$, respectivamente). A condutividade elétrica (CE_{es}) atingiu pico máximo na combinação de 75% de esterco avícola + 25% de esterco de pombo (21,45 $dS m^{-1}$).

O tratamento com adubação mineral teve uma CE_{es} de 6,67 $dS m^{-1}$, e o tratamento com 50% de esterco de pombo + 25% de esterco bovino + 25% de esterco avícola obteve a menor CE_{es} de 2,75 $dS m^{-1}$. Já a razão de adsorção de sódio (RAS) teve seu valor mais alto na combinação 75% de esterco avícola + 25% de esterco de pombo com 21,89 ($mmol_c L^{-1}$)^{0,5} e o mais baixo na combinação com 50% de esterco avícola + 25% do esterco bovino + 25% do esterco de pombo com RAS de 1,80 ($mmol_c L^{-1}$)^{0,5}. O pH_{es} foi elevado em todos os tratamentos com maior valor de 7,86 no tratamento com adubação combinada de 75% de esterco bovino + 25% de esterco de pombo. Segundo Pires et al. (2008) a elevação do pH adubado com compostos orgânicos pode ser atribuída ao fato da formação de radical amina, pelo processo conhecido como aminação. Os autores ainda mencionam que o aumento da CE_{es} pode estar vinculado a alta solubilidade das fontes de adubação, principalmente os minerais, que contribuem para a evolução da CE_{es} , fato corroborado neste presente estudo para a variável em discussão.

Os resultados de CE_{es} do presente estudo mesmo com uma tendência de crescimento, ainda não é configurado ao solo problemas de salinidade, visto que segundo USSL Staff (1954) o solo só é considerado salino quando a $CE_{es} \geq 4 dS m^{-1}$. O aumento substancial dos cátions solúveis na solução do solo é facultado a riqueza destes íons nos compostos aplicados no cultivo de *Helianthus tuberosus* L., e no que diz respeito às suas vantagens favorece a maior disponibilidade de nutrientes as plantas, redução de processos erosivos, estimula a atividade biológica, melhora a agregação das partículas do solo, maior retenção de água e aumento das taxas de infiltração (GOULART et al., 2018).

4.3.6 Sólidos solúveis totais (*°Brix*)

Diante dos resultados demonstrados pela análise de variância (ANOVA) na tabela 14, observou-se que as fontes de adubação testadas no cultivo de *Helianthus tuberosus* L. não

causaram efeito estatisticamente significativo para a variável sólidos solúveis totais (°Brix) nos tubérculos ($p > 0,05$).

Tabela 14 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para os dados de sólidos solúveis totais em tubérculos (°Brix) de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) sob aplicação de diferentes fontes de adubação

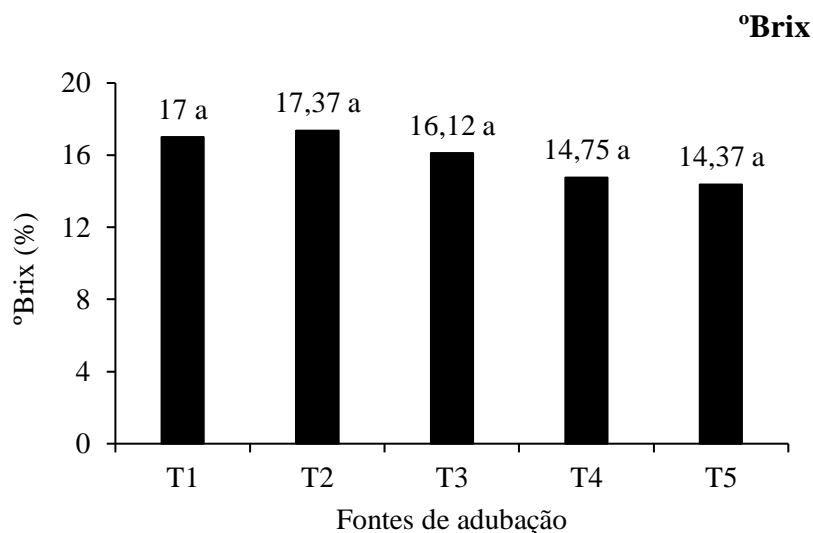
FV	GL	Quadrado médio
		°Brix
Bloco	3	0,545 ^{NS}
Fontes	4	7,08 ^{NS}
Resíduo	12	2,43
Total	19	
CV (%)		9,79

FV – fontes de variação; GL – graus de liberdade; (**) significativo pelo teste F a 1% de probabilidade; (*) significativo pelo teste F a 5% de probabilidade; (^{NS}) não significativo pelo teste F; CV – coeficiente de variação.

Numericamente, os sólidos solúveis totais (°Brix) tiveram o maior valor percentual no tratamento com adubação mineral (T2) e o menor na combinação com 50% de composto orgânico + 50% de esterco caprino (T5), 17,37 e 14,37%, respectivamente (Figura 8). Puttha et al. (2013) estudando as características morfológicas e agronômicas de diferentes acessos de *Helianthus tuberosus* L., observou que o valor médio do °Brix nos tubérculos foi de 21%. Em estudo com irrigação com água salina no cultivo de *Helianthus tuberosus* L., Dias et al. (2016) verificou que os tubérculos apresentaram uma variação de 20,4 a 29,4% no teor de sólidos solúveis totais.

Fernandes et al. (2016) estudando cultivares de batata (*Solanum tuberosum* L.) sob adubação de fosfatada, observou que a disponibilidade de fósforo (P) promoveu incrementos nos valores de sólidos solúveis totais (°Brix), ou seja, a adubação fosfatada aumentou a proporção de açúcares presentes nos tubérculos. O estudo de Silva et al. (2021) com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) adubada com torta de filtro enriquecida, verificou um aumento no teor de sólidos solúveis totais (°Brix), sendo considerados pelos mesmos uma alternativa viável a adubação mineral. Os autores ainda mencionam a riqueza da torta de filtro em nitrogênio (N), que é um elemento essencial para a biossíntese de açúcares na planta, podendo ser translocado para o colmo e tubérculos, aumentando assim, a concentração de carboidratos (SALLES et al., 2017).

Figura 8 – Teor de sólidos solúveis totais (°Brix) em tubérculos de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivados sob aplicação de diferentes fontes de adubação (T1: controle, T2: fertilizante químico, T3: composto orgânico, T4: esterco caprino, T5: 50% composto orgânico e 50% esterco caprino). Médias seguidas de mesma letra dentro de cada fonte de adubação não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)



4.3.7 Potencial produtivo total

Partindo dos resultados gerados pela análise de variância (ANOVA), foi possível inferir que a produtividade total dos tubérculos ao final do ciclo experimental teve influência positiva mediante o uso das fontes de adubação testadas (Tabela 15). Estatisticamente, pode-se observar efeito significativo entre os tratamentos e sendo possível interpretar o melhor desempenho por parte das fontes na produtividade dos tubérculos de *Helianthus tuberosus* L. ($p \leq 0,01$).

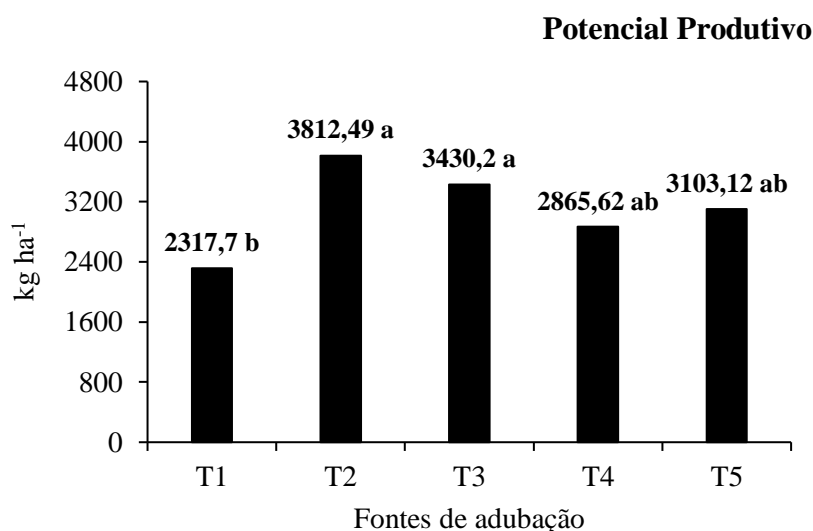
O desempenho produtivo dos tubérculos teve na adubação mineral (T2) a maior produtividade com $3812,49 \text{ kg ha}^{-1}$ seguido pelo tratamento com composto orgânico (T3) com produtividade de $3430,20 \text{ kg ha}^{-1}$, mas que não apresentaram diferenças significativas mediante análise por teste de média, ou seja, demonstrando que a adubação com a fonte orgânica citada desempenha de forma eficiente o mesmo potencial que a adubação com fontes minerais a base de NPK. O menor potencial produtivo ficou com o tratamento sem adubação (T1) produzindo $2317,70 \text{ kg ha}^{-1}$ de tubérculos, e evidenciando que o suprimento da fertilidade do solo tem a capacidade de potencializar o desenvolvimento produtivo das culturas de interesse agrícola. Os tratamentos com esterco caprino (T4) e a combinação de 50% de composto orgânico + 50% de esterco caprino (T5) tiveram produtividade superior ao solo sem adubação (T1) e os mesmos não diferiram entre si, e produziram $2865,62$ e $3103,12 \text{ kg ha}^{-1}$ de tubérculos (Figura 9).

Tabela 15 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para os dados do potencial produtivo total dos tubérculos de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) sob aplicação de diferentes fontes de adubação

FV	GL	Quadrado médio
		Potencial produtivo
Bloco	3	296445,02 ^{NS}
Fontes	4	1283442,55 ^{**}
Resíduo	12	234594,45
Total	19	
CV (%)		15,59

FV – fontes de variação; GL – graus de liberdade; (**) significativo pelo teste F a 1% de probabilidade; (*) significativo pelo teste F a 5% de probabilidade; (^{NS}) não significativo pelo teste F; CV – coeficiente de variação.

Figura 9 – Potencial produtivo total dos tubérculos de *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivados sob aplicação de diferentes fontes de adubação (T1: controle, T2: fertilizante químico, T3: composto orgânico, T4: esterco caprino, T5: 50% composto orgânico e 50% esterco caprino). Médias seguidas de mesma letra dentro de cada fonte de adubação não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)



Awad e Ahmed (2018) avaliando os impactos da adubação orgânica no desempenho de *Helianthus tuberosus* L., constatou que a produtividade de tubérculos registrou maiores valores sob adubação com combinação de 75% de esterco avícola + 25% de esterco de pombo, tendo valores produtivos de 20423,20 e 9730,56 kg fed⁻¹, na primeira (1^a) e segunda (2^a) safra, respectivamente. A aplicação do tratamento citado em ambas as épocas de cultivo aumentou

significativamente a produtividade total em relação ao tratamento com adubação mineral. Também utilizando fontes de adubação combinada em cultivo de *Helianthus tuberosus* L. em solo calcário salino, Awad e Sweed (2020) apurou que as combinações com 50% de esterco bovino + 50% de esterco avícola, 75% de esterco de pombo + 25% de esterco bovino e 75% de esterco avícola + 25% de esterco de pombo aumentaram a produtividade total dos tubérculos para 50,56, 48,63 e 48,58 ton ha⁻¹, respectivamente, sendo o tratamento com adubação mineral registrando uma produtividade de 27,41 ton ha⁻¹. Seguindo a mesma abordagem, Awad e Ahmed (2019) avaliaram a produtividade total de tubérculos de *Helianthus tuberosus* L. sob adubação com diferentes combinações de fontes orgânicas em comparação com adubação mineral (NPK), e comprovaram que os maiores valores de produtividade foram encontrados nos tratamentos com combinação de 50% de esterco bovino + 50% de esterco avícola e 50% de esterco bovino + 50% de esterco de pombo (50,56 e 42,25 ton ha⁻¹, respectivamente) no primeiro (1º) cultivo. No segundo (2º) cultivo, as combinações que expressaram a maior produtividade foram as com 50% de esterco bovino + 50% esterco de pombo e 50% de esterco bovino + 25% de esterco avícola + 25% de esterco de pombo, produzindo um rendimento total de 24,38 e 20,01 ton ha⁻¹, respectivamente. Os menores valores foram encontrados nos tratamentos com adubação mineral e 100% de esterco avícola, com rendimento de 27,41 e 14,43 ton ha⁻¹. Os autores supracitados correlacionam que o aumento da produtividade dos tubérculos mediante adubação orgânica pode ser atribuído aos altos níveis de nutrientes nos esterco que podem estimular o crescimento vegetativo e acelerar a taxa fotossintética. Ng'etich, Aguyohj e Ogweno (2012) trazem argumentações claras que a produtividade dos tubérculos também é associada a melhoria que os adubos orgânicos proporcionam ao solo, como na agregação, na aeração, no aumento da capacidade de retenção de água e oferece boas condições ambientais para o sistema radicular. E finaliza ponderando que os adubos orgânicos são compostos de liberação lenta e tendem a atender as plantas em todos os estágios crescimento e desenvolvimento.

Em cultivo de batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) em função da adubação orgânica e mineral, Rós, Narita e Hirata (2014) estimaram a maior produtividade obtida com esterco de galinha seguida pela adubação combinada de fertilizantes (Orgânica + mineral), com valores de 25,6 e 24,8 ton ha⁻¹, respectivamente. Aguirre et al. (2020) avaliando a adubação orgânica e mineral em cultivo de batata-doce, obteve maior produtividade sob adubação orgânica na cultivar BRS Amélia com 7,75 ton ha⁻¹ e na adubação mineral na cultivar Rainha branca com 4,50 ton ha⁻¹. A riqueza nutricional que é conferida aos compostos orgânicos tende a melhorar

a qualidade do solo e o estado nutricional das plantas, que auxiliam diretamente no seu cultivo, e permitindo melhorar parâmetros físicos, químicos e biológicos do solo, que traduzem em respostas de máxima produtividade das culturas de interesse agrícola (SILVA et al., 2015).

4.3.8 Atividade enzimática

A análise de variância (ANOVA) indicou que as enzimas do complexo oxidativo em *Helianthus tuberosus* L. foram afetadas significativamente pelas fontes de adubação, mas especificamente para ascorbato peroxidase (APX) e catalase (CAT), com $p \leq 0,01$. A enzima superóxido dismutase (SOD) foi na contramão, não indicando influência significativa dos tratamentos com adubação, com $p > 0,05$ (Tabela 16).

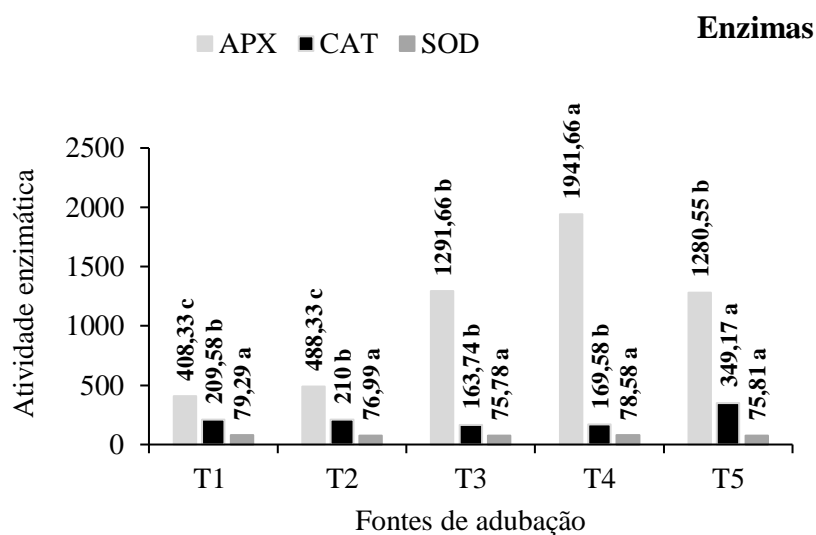
Tabela 16 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para os dados das enzimas ascorbato peroxidase (APX), catalase (CAT) e superóxido dismutase (SOD) em *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) sob aplicação de diferentes fontes de adubação

FV	GL	Quadrados médios		
		APX	CAT	SOD
Bloco	3	98798,44 ^{NS}	8357,79 ^{NS}	2,08 ^{NS}
Fontes	4	1628018,78 ^{**}	22598,81 ^{**}	10,22 ^{NS}
Resíduo	12	72676,62	3024,73	5,17
Total	19			
CV (%)		24,91	24,95	2,94

FV – fontes de variação; GL – graus de liberdade; (**) significativo pelo teste F a 1% de probabilidade; (*) significativo pelo teste F a 5% de probabilidade; (NS) não significativo pelo teste F; CV – coeficiente de variação.

Pôde-se observar alterações no metabolismo da enzima ascorbato peroxidase (APX), destacando a maior atividade no tratamento com esterco caprino (T4), onde a mesma diferiu estatisticamente dos demais tratamentos. Em relação a catalase (CAT), que também apresentou diferenças entre os tratamentos, a combinação com 50% de composto orgânico + 50% de esterco caprino (T5) obteve a maior atividade entre os demais tratamentos e diferiu significativamente de todos. Já a superóxido dismutase (SOD) mesmo não tendo sofrido influência das fontes de adubação, teve sua maior atividade enzimática no tratamento sem adubação (T1). Na figura 10, pode-se observar o comportamento enzimático mediante a aplicação das fontes de adubação.

Figura 10 – Atividade das enzimas ascorbato peroxidase em $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ gMF}^{-1} \text{ min}^{-1}$ (APX), catalase em $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ gMF}^{-1} \text{ min}^{-1}$ (CAT) e superóxido dismutase em $\text{U gMF}^{-1} \text{ min}^{-1}$ (SOD) em *Helianthus tuberosus* L. (cv. Stampede) cultivados sob aplicação de diferentes fontes de adubação (T1: controle, T2: fertilizante químico, T3: composto orgânico, T4: esterco caprino, T5: 50% composto orgânico e 50% esterco caprino). Colunas de mesma coloração seguidas de mesma letra dentro de cada fonte de adubação não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)



Costa et al. (2021) avaliando a atividade enzimática no girassol (*Helianthus annuus* L.) sob estresse hídrico e adubadas com resíduos de suplementação animal, constataram maior atividades das enzimas ascorbato peroxidase (APX) e catalase (CAT). A ascorbato peroxidase (APX) desempenha papel fundamental na eliminação dos radicais de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) nos cloroplastos e citossol, sendo que, mudanças na atividade da enzima podem estar correlacionadas com a tolerância da planta a estresses. Já o decréscimo da catalase (CAT) pode ocasionar acúmulo de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), aumentando a peroxidação lipídica e danos nas membranas das plantas. Então o aumento da catalase (CAT) é importante para eliminar os radicais de peróxido de hidrogênio (H_2O_2). O nível das enzimas antioxidantes pode determinar a vulnerabilidade das plantas aos estresses, tendo os mecanismos de defesa comandados pela ação das enzimas ascorbato peroxidase (APX), catalase (CAT) e superóxido dismutase (SOD), que foram evidenciadas neste estudo (CARNEIRO et al., 2011; KAHLI et al., 2021).

4.4 Conclusões

As variáveis morfológicas de *Helianthus tuberosus* L. foram influenciadas pela aplicação das fontes de adubação, com maior relevância os tratamentos com adubação mineral e a combinação de 50% de composto orgânico + 50% de esterco caprino.

A produção de biomassa de *Helianthus tuberosus* L. teve sua maior acumulação de matéria fresca das folhas na combinação de 50% de composto orgânico + 50% de esterco caprino e de tubérculos no tratamento com adubação mineral. A matéria seca das folhas teve maior acúmulo no tratamento com adubação mineral e os tubérculos no tratamento com composto orgânico.

O estado nutricional das partições da planta foi incrementado em todos os tratamentos com adubação em comparação com o tratamento sem adubação, tendo o potássio (K) e o cálcio (Ca) como os elementos de maior acúmulo em todos os órgãos vegetais analisados.

A fertilidade do solo foi potencializada com a adubação e o cultivo da planta, favorecendo os teores de fósforo (P), cálcio (Ca), elevando a CTC e o pH do solo. O tratamento com adubação mineral propiciou a diminuição do pH em água, favorecida pelo uso de sulfato de amônio, e aumentou a CE do solo, mas sem causar risco de salinização.

O potencial produtivo total foi maior nos tratamentos com adubação mineral e composto orgânico, mas os demais tratamentos com esterco caprino e a combinação com 50% de composto orgânico + 50% de esterco caprino também apresentaram valores superiores ao tratamento sem adubação.

A atividade das enzimas ascorbato peroxidase (APX) e catalase (CAT) foi influenciada pelas diferentes fontes de adubação, indicando seu potencial antioxidante contra o estresse oxidativo.

Referências Bibliográficas

- ABBASS, J. A.; HUSSEIN, Q. M. Effect of spraying organic fertilizer extract, potassium and zinc fertilizer on growth and yield of Jerusalem artichoke *Helianthus tuberosus* L. and its content of inuline. **Plant Archives**, v. 20, n. 1, p. 137-149, 2020.
- AGUIRRE, T. R.; OLIVEIRA, C. P.; VILETE, V. F.; NASCIMENTO, W. P.; GOMES, V. V.; SILVA, S. M. A.; FONSECA, J. N. Avaliação da adubação orgânica e mineral no cultivo de batata-doce na região Amazônica. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 62133-62142, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n8-586>
- ALVES, F. A. L.; CAVALCANTE, F. S.; OLIVEIRA-JÚNIOR, I. S.; FERRAZ, I.; SIQUEIRA, S. M. Competição de variedades de algodão herbáceo para cultivo no agreste pernambucano. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 24, n. 1, p. e1971242019, 2019. <https://doi.org/10.12661/pap.2019.003>
- ALMEIDA, T. B. F.; MELLO PRADO, R., FLORES, R. A.; POLITI, L. S.; BARBOSA, J. C. Avaliação nutricional do almeirão cultivado em soluções nutritivas suprimidas de macronutrientes. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 12, n. 3, p. 211-220, 2013. <https://doi.org/10.18188/sap.v12i3.5133>
- ANWAR, R. S. M.; RAMADAN, M. M. A.; EASILY, I. A. S. Effect of different rates of farm yard manure and plant spacing on growth; yield and quality of Jerusalem artichoke plants under sandy soil conditions. **Journal of Plant Production**, v. 2, n. 9, p. 1123-1135, 2011. <https://doi.org/10.21608/JPP.2011.85644>
- AQUINO, A. B.; AQUINO, B. F.; HERNANDEZ, F. F. F.; HOLANDA, F. J. M.; FREIRE, J. M.; CRISÓSTOMO, L. A.; COSTA, R. I.; UCHÔA, S. C. P.; FERNANDES, V. L. B. Recomendações de adubação e calagem para o estado do Ceará. Fortaleza: UFC, 1993. p. 247.
- AWAD, A. A. E. A.; AHMED, H. M. Impact of organic manure combinations on performance and rot infection of stressed-Jerusalem artichoke plants. **Egyptian Journal of Soil Science**, v. 58, n. 4, p. 417-433, 2018. <https://doi.org/10.21608/EJSS.2018.6151.1216>
- AWAD, A. A. E. A.; AHMED, H. M. Response of Jerusalem artichoke plants grown under saline calcareous soil to application of different combined organic manures. **Egyptian Journal of Soil Science**, v. 59, n. 2, p. 117-130, 2019. <https://doi.org/10.21608/ejss.2019.10677.1256>
- AWAD, A. A.; SWEED, A. A. Influence of organic manures on soil characteristics and yield of Jerusalem artichoke. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 51, n. 8, p. 1101-1113, 2020. <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1751189>
- BEERS, R. F.; SIZER, I. W. A spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase. **Journal of Biological Chemistry**, v. 195, n. 1, p. 133-140, 1952. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(19\)50881-X](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(19)50881-X)

CAIRO-CAIRO, P.; DIAZ-MARTIN, B.; MACHADO-DE-ARMAS, J.; RODRIGUEZ-LOPEZ, O. Effects of poultry manure on structure and some indicators of fertility in tropical soils. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 69, n. 13, p. 2692-2702, 2023.
<https://doi.org/10.1080/03650340.2023.2171020>

CARNEIRO, M. M. L. C.; DEUNER, S.; OLIVEIRA, P. V.; TEIXEIRA, S. B.; SOUSA, C. P.; BACARIN, M. A.; MORAES, D. M. Atividade antioxidante e viabilidade de sementes de girassol após estresse hídrico e salino. **Revista brasileira de sementes**, v. 33, n. 4, p. 752-761, 2021. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222011000400017>

CHIODINI, B. M.; SILVA, A. G.; NEGREIROS, A. B.; MAGALHÃES, L. B. Matéria orgânica e a sua influência na nutrição de plantas. **Revista Cultivando o Saber**, v. 6, n. 1, p. 181-190, 2013.

COSTA, F. H. R.; GUILHERME, J. M. S.; BARBOSA, A. S.; CANJÁ, J. F.; FREIRE, M. H. C.; SOUSA, G. G. Água salina e formas de adubação na cultura da abobrinha. **Revista brasileira de agricultura irrigada**, v. 13, n. 6, p. 3757-3764, 2019.
<https://doi.org/10.7127/rbai.v13n6001160>

COSTA, F. R. S.; MOURA, L. F.; ALBUQUERQUE, L. B.; LIMA, T. L. A.; BRITO, P. O. B.; GONDIM, F. A. Crescimento e atividade enzimática de plântulas de girassol sob estresse hídrico cultivadas com resíduo industrial em diferentes granulometrias. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 16, n. 4, p. 358-365, 2021.

DIAS, N. S.; FERREIRA, J. F.; LIU, X.; SUAREZ, D. L. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) maintains high inulin, tuber yield, and antioxidant capacity under moderately-saline irrigation waters. **Industrial Crops and Products**, v. 94, p. 1009-1024, 2016.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.09.029>

FREITAS, G. Q.; CABRAL FILHO, F. R.; TEIXEIRA, M. B.; SILVA COSTA, A. S.; ALVES, D. K. M.; CUNHA, F. N.; GOMES, L. F. Área foliar e índice SPAD do girassol sob irrigação e adubação organomineral. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p. e432985654, 2020. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i8.5654>

FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P.; SILVA, B. L. Extração e exportação de nutrientes em cultivares de batata: I-Macronutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 6, p. 2039-2056, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000600020>

FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P.; EVANGELISTA, R. M.; JOB, A. L. Influência do fósforo na qualidade e produtividade de tubérculos de cultivares de batata de duplo propósito. **Horticultura Brasileira**, v. 34, n. 3, p. 346-355, 2016.
<https://doi.org/10.1590/S0102-05362016003007>

FERNANDES, P. H.; PORTO, D. W. B.; FRANÇA, A. C.; FRANCO, M. H. R.; MACHADO, C. M. M. Uso de fertilizantes organominerais fosfatados no cultivo da alface e de milho em sucessão. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 37907-37922, 2020.
<https://doi.org/10.34117/bjdv6n6-365>

GAO, K.; ZHU, T.; WANG, Q. Nitrogen fertilization, irrigation, and harvest times affect biomass and energy value of *Helianthus tuberosus* L. **Journal of Plant Nutrition**, v. 39, n. 13, p. 1906-1914, 2016. <https://doi.org/10.1080/01904167.2016.1189938>

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide Dismutases: I. Occurrence in Higher Plants. **Plant Physiology**, v. 59, p. 309-314, 1977. <https://doi.org/10.1104/pp.59.2.309>

GOULART, R. G. T.; SANTOS, C. A.; OLIVEIRA, C. M.; COSTA, E. S. P.; OLIVEIRA, F. A.; ANDRADE, N. F.; CARMO, M. G. F. Desempenho agrônômico de cultivares de alface sob adubação orgânica em Seropédica, RJ. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 8, n. 3, 2018. <https://doi.org/10.21206/rbas.v8i3.3011>

KAHLI, H.; SBARTAI, H.; COHEN-BOUHACINA, T.; BOURGUIGNON, J. Characterization of cadmium accumulation and phytoextraction in three species of the genus *Atriplex* (*canescens*, *halimus* and *nummularia*) in the presence or absence of salt. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 166, p. 902-911, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.06.027>

LICHTENTHALER, H. K.; BUSCHMANN, C. Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. **Current protocols in food analytical chemistry**, v. 1, n. 1, p. F4.3.1-F4.3.8, 2001. <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0403s01>

MAIA, J. T. L. S.; CLEMENTE, J. M.; SOUZA, N. H.; SILVA, J. O.; MARTINEZ, H. E. P. Adubação orgânica em tomateiros do grupo cereja. **Biotemas**, v. 26, n. 1, p. 37-44, 2013. <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2013v26n1p37>

MAMBO, W.; MATAA, M.; CHISHALA, B. H. Comparative effects of jatropha seedcake, chicken and kraal manures on selected soil properties, growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum*). **International Journal of Agricultural Research, Innovation and Technology (IJARIT)**, v. 8, n. 1, p. 1-6, 2018.

MOURA NETO, A.; MOURA, B. S.; SOUSA, L. L.; PORTELA, W. N.; LIMA, E. A.; JÚNIOR, Â. D. S. G.; ROCHA, J. G. J. H. Teores de clorofila da rúcula em função de diferentes ambientes e doses de esterco caprino. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 6502-6512, 2021. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n1-441>

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplast. **Plant Cell Physiol**, v. 22, p. 867-880, 1981. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232>

NDUKWE, O. O.; MUONEKE, C. O.; BAIYERI, K. P.; TENKOUANO, A. Growth and yield responses of plantain genotypes as influenced by organic and inorganic fertilizers. **Journal of plant nutrition**, v. 34, p. 700-716, 2011. <https://doi.org/10.1080/01904167.2011.540686>

NG'ETICH O. K.; AGUYOHJ, N.; OGWENO, J. O. Effect of composted farmyard manure on growth and yield of Spider plants (*Cleome gynandra*). **International Journal of Science and Nature**, v. 3, n. 3, p. 514-520, 2012.

OLIVEIRA, W. C.; NASCIMENTO, M. H.; SANTOS, A. R.; SOUZA, L. S. Efeito da matéria orgânica no crescimento de plantas de girassol (*Helianthus annuus* L.) cultivadas em Latossolo Amarelo. **Revista Biociências**, v. 22, n. 1, p. 1-9, 2016.

OLIVEIRA, R. C.; SILVA, J. E. R.; AGUILAR, A. S.; PERES, P.; LUZ, J. M. Q. Uso de fertilizante organomineral no desenvolvimento de mudas de rúcula. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 14, n. 1, p. 1-6, 2018.

PIRES, A. A.; MONNERAT, P. H.; MARCIANO, C. R.; PINHO, L. G. D. R.; ZAMPIROLI, P. D.; ROSA, R. C. C.; MUNIZ, R. A. Efeito da adubação alternativa do maracujazeiro-amarelo nas características químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 1997-2005, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000500021>

PUTTHA, R.; JOGLOY, S.; SURIHARN, B.; WANGSOMNUK, P. P.; KESMALA, T.; PATANOTHAI, A. Variations in morphological and agronomic traits among Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) accessions. **Genetic resources and crop evolution**, v. 60, p. 731-746, 2023. <https://doi.org/10.1007/s10722-012-9870-2>

RICHARDS, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington D.C.: U.S. Salinity Laboratory, 1954. p. 160.

ROCHA, W. S.; DOS SANTOS, M. G.; SAKAI, T. R. P.; DA SILVA, T. A.; FIDELIS, R. R.; SANTOS, M. M. Acúmulo de biomassa em função de doses de fósforo e inoculação de rizóbio em feijão-caupi. **Revista de Ciências Agrônômicas**, v. 27, n. 2, p. 273-286, 2018. <https://doi.org/10.32929/2446-8355.2018v27n2p273-286>

RODRIGUES, R. M. P.; FRANÇA, K. D. S.; DIDOLANVI, O. D.; OLIVEIRA, R. L.; SOUSA, M. L. L.; CARVALHO, R. S. Rendimento da (*Lactuca sativa* L) sob aplicação de diferentes dosagens de esterco caprino. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n. 1, 2018.

RÓS, A. B.; NARITA, N.; HIRATA, A. C. S. Produtividade de batata-doce e propriedades físicas e químicas de solo em função de adubação orgânica e mineral. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 205-214, 2014. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n1p205>

SALLES, J. S.; STEINER, F.; ABAKER, J. E. P.; FERREIRA, T. S.; MARTINS, G. L. M. Resposta da rúcula à adubação orgânica com diferentes compostos orgânicos. **Journal of Neotropical Agriculture**, v. 4, n. 2, p. 35-40, 2017. <https://doi.org/10.32404/rean.v4i2.1450>

SANTOS, E. M. Produção e qualidade da variedade local de feijão Gurgutuba em resposta a diferentes adubações. 2016. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Agroalimentar) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

SAWICKA, B.; KALEMBASA, S. Fluctuation of Protein Nitrogen Level in Tubers of *Helianthus tuberosus* L. Caused by Varying Levels of Nitrogen Fertilisation. **Ecological Chemistry and Engineering**, v. 20, n. 2, p. 213-223, 2013. [https://doi.org/10.2428/ecea.2013.20\(02\)022](https://doi.org/10.2428/ecea.2013.20(02)022)

SAWICKA, B.; DANILČENKO, H.; JARIENE, E.; SKIBA, D.; RACHOŃ, L.; BARBAŚ, P.; PSZCZÓŁKOWSKI, P. Nutritional Value of Jerusalem Artichoke Tubers (*Helianthus*

tuberosus L.) Grown in Organic System under Lithuanian and Polish Conditions. **Agriculture**, v. 11, n. 5, p. 440, 2021. <https://doi.org/10.3390/agriculture11050440>

SILVA, D. C. O.; ALVES, J. M. A.; UCHÔA, S. C. P.; SOUSA, A. A.; BARRETO, G. F.; SILVA, C. N. Curvas de crescimento de plantas de mandioca submetidas a doses de potássio. **Revista de Ciências Agrárias-Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 60, n. 2, p. 158-165, 2017. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2468>

SILVA, A. G.; CAVALCANTE, A. C. P.; OLIVEIRA, D. S.; SILVA, M. J. R. Crescimento inicial de *Phaseolus lunatus* L. submetido a diferentes substratos orgânicos e aplicação foliar de urina de vaca. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 11, n. 1, p. 131-135, 2015. <https://doi.org/10.30969/acsa.v11i1.544>

SILVA, F. L.; LACERDA, C. F.; SOUSA, G. G.; NEVES, A. L.; SILVA, G. L.; SOUSA, C. H. Interação entre salinidade e biofertilizante bovino na cultura do feijão-de-corda. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 383-389, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000400009>

SILVA, J. H. B.; DO NASCIMENTO, M. A.; DA SILVA, A. V.; NETO, F. P.; ARAÚJO, J. R. E. S.; SILVA, J. M.; MIELEZRSKI, F. Brotação inicial, teor de sólidos solúveis e índice de maturação da cana-de-açúcar submetida à adubação com torta de filtro enriquecida. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 32575-32592, 2021. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n3-805>

SILVA, L. M.; AGUIAR BASÍLIO, S.; JUNIOR, R. L. S.; BENETT, K. S. S.; BENETT, C. G. S. Aplicação de nitrogênio, potássio e cálcio na cultura da cenoura. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 3, p. 69-76, 2017. <https://doi.org/10.32404/rean.v4i3.1412>

SOUZA, H. A.; OLIVEIRA, E. L.; MODESTO, V. C.; MONTES, R. M.; NATALE, W. **Atributos químicos do solo tratado com composto orgânico de carcaça e despojo de abate de caprinos e ovinos**. Sobral: Embrapa Caprinos e Ovinos; 2012. (Comunicado técnico, 127).

STAFF, U. S. L. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Agriculture handbook, 1954. p. 83-100.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017.

TERZIĆ, S.; ATLAGIĆ, J.; MAKSIMOVIĆ, I.; ZEREMSKI, T.; ZORIĆ, M.; MIKLIČ, V.; BALALIĆ, I. Genetic variability for concentrations of essential elements in tubers and leaves of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 136, p. 135-144, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.01.016>

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de espécies com potencial tolerância a conviver em ambientes adversos é de extrema importância, visto que áreas com estas características, entre outros fatores, estão se tornando cada vez mais abundantes, e faz necessário o conhecimento dos mecanismos de adaptabilidade destas plantas e de sua capacidade de resistirem a estes ambientes.

Mesmo com as adversidades levantadas, técnicas de melhoria da qualidade dos solos e a aplicabilidade de águas salinas, frequentes nestas regiões, têm aguçado a busca por estratégias de manejo, visando a melhor convivência e aproveitamento dos recursos oriundos deste ambiente. Entretanto, informações sobre estratégias de manejo destes recursos e culturas alternativas adaptadas a salinidade são limitadas.

Nossas descobertas destacam as respostas diferenciadas de *Helianthus tuberosus* L. a vários regimes de irrigação com águas oriundas de dessalinizador e fertilização em solos semiáridos com fontes orgânicas. O estudo fornece informações valiosas sobre a otimização das práticas de gestão da cultura para aumentar a produtividade agrícola e a sustentabilidade em regiões que enfrentam estresses abióticas.

Neste contexto, a agricultura bioessalina e o uso fontes hídricas alternativas apresenta um potencial promissor para desempenhar um importante papel na produção de alimentos, sendo essenciais pesquisas para vislumbrar a capacidade de uso de espécies vegetais tolerantes e com aptidão agrícola, e a possibilidade de cultivo em áreas salinizadas e seu uso efetivo, assim como a utilização de águas salinas não adequadas à agricultura convencional.