

ALINE SHEYLA LEAL DE OLIVEIRA

TROCAS GASOSAS E CRESCIMENTO DE *Atriplex nummularia* Lindl. IRRIGADA COM
ÁGUA PROVENIENTE DE REJEITO SALINO

SERRA TALHADA-PE

2017

ALINE SHEYLA LEAL DE OLIVEIRA

TROCAS GASOSAS E CRESCIMENTO DE *Atriplex nummularia* Lindl. IRRIGADA COM
ÁGUA PROVENIENTE DE REJEITO SALINO

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Soares de Souza
Coorientadores: Prof. Dr. Luiz Guilherme Medeiros Pessoa; Prof. Dr. Sérgio Luiz Ferreira da Silva

SERRA TALHADA-PE

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

M488t Oliveira, Aline Sheyla Leal de

Trocas gasosas e crescimento de *Atriplex nummularia* Lindl irrigada com água proveniente de rejeito salino / Aline Sheyla Leal de Oliveira. - Serra Talhada, 2017.

86 f. : il.

Orientador: Eduardo Soares de Souza.

Coorientadores: Luiz Guilherme Medeiros Pessoa; Sérgio Luiz Ferreira da Silva.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada, PE, 2017.

Inclui referências e apêndices.

1. Trocas gasosas. 2. Rejeito salino. 3. Halófitas. I. Souza, Eduardo Soares de, orient. II. Pessoa, Luiz Guilherme Medeiros, coorient. III. Silva, Sérgio Luiz Ferreira da, coorient. IV. Título.

DD 631

ALINE SHEYLA LEAL DE OLIVEIRA

TROCAS GASOSAS E CRESCIMENTO DE *Atriplex nummularia* Lindl. IRRIGADA COM
ÁGUA PROVENIENTE DE REJEITO SALINO

Dissertação apresentada à universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

APROVADA em 28 de Julho de 2017.

Banca examinadora

Dr. Eduardo Soares de Souza – UAST/UFRPE
Orientador

Dr. Genival Barros Júnior – UAST/UFRPE
Examinador Externo

Dr. Maria Betânia Galvão dos Santos Freire – DEPA/UFRPE
Examinadora Externa

Aos meus pais, Maria Eunice Leal de Oliveira e Antônio Fernando Avelino de Oliveira pelo apoio, carinho e confiança sempre depositados em mim.
Ao meu tio Manoel Matias Ferraz e ao meu esposo Rodolfo Marcondes Silva Souza, pelo apoio incondicional e constante incentivo em todos os momentos.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Maria Eunice Leal de Oliveira e Antônio Fernando Avelino de Oliveira pelo amor, apoio, e ensinamentos de princípios éticos valiosos que levo para toda uma vida.

Ao meu tio e padrinho Manoel Matias Ferraz pelo carinho, apoio e incentivo incondicional desde o início da minha jornada acadêmica.

Ao meu amado esposo Rodolfo Marcondes Silva Souza pelo amor, companheirismo, compreensão, paciência, incentivo e apoio incondicional sempre dedicados à mim em todos os momentos.

Ao Prof.º Dr. Eduardo Soares de Souza pela orientação neste trabalho, pelos conhecimentos transmitidos, apoio, dedicação, e paciência sempre dedicados.

Aos meus coorientadores Prof.º Dr. Luiz Guilherme Medeiros Pessoa e o Prof.º Dr. Sérgio Luiz Ferreira da Silva, pelos ensinamentos, apoio, paciência e incentivo sempre dedicados.

Aos colegas e amigos Eduardo Santos, Erison Amaral, Debora Silva, Fernando Barros, Leandro Souza, Marília Medeiros, Raliuson Silva, Rodolfo Souza, João Cláudio e Victor Gomes do Grupo de Estudos em Ecohidrologia do Semiárido (GEES) pelas ajudas durante a condução experimental, pelo apoio, paciência, compreensão, amizade, e carinho sempre dedicados.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE/UAST), e ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal pela oportunidade da formação acadêmica a nível de mestrado.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal e da Unidade Acadêmica de Serra Talhada pelos conhecimentos transmitidos, paciência, apoio e incentivo.

A todos os amigos, colegas e funcionários do Programa da Pós-Graduação em Produção Vegetal pelo apoio, paciência, atenção, amizade e carinho sempre dedicados à mim.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelo apoio financeiro durante o curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento do projeto de pesquisa - Chamada Universal - MCTI/CNPq Nº 14/2014.

À Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), pelo financiamento do projeto REHIDRO 1830.

RESUMO

A salinidade do solo e da água constitui um dos principais problemas para a agricultura das regiões áridas e semiáridas. As espécies de plantas do gênero *Atriplex* (*Atriplex nummularia* Lindl), tolerantes a salinidade e ao estresse hídrico, surgem como opção para o cultivo utilizando água salina residuária de dessalinizadores, comuns nessas regiões, reduzindo o descarte desse efluente ao meio ambiente. Dessa forma, objetivou-se avaliar o efeito da interação entre níveis de umidade do solo e de salinidade da água de irrigação, nas trocas gasosas e no crescimento de Erva-sal (*Atriplex nummularia* Lindl). A Erva-sal foi cultivada em vasos com solos sob dois níveis de umidade (50 e 100% da capacidade de campo) e irrigadas com águas a 0, 25, 50, 75 e 100% de rejeito salino, correspondendo a condutividades elétricas (CE) de 0,39; 1,54; 2,15; 2,79; e 3,63 dS m⁻¹. O experimento foi conduzido em casa de vegetação durante 163 dias, com o arranjo fatorial de 2x5, em delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições. Avaliou-se os parâmetros fotossintéticos, biométricos e a biomassa das plantas. A irrigação com água de rejeito salino com maiores CE reduziu as trocas gasosas de plantas de Erva-sal, diminuindo a taxa fotossintética líquida, condutância estomática, transpiração e concentração intracelular de CO₂. Apesar de se tratar de uma planta halófito, a Erva-sal teve a fotossíntese reduzida com o aumento da CE na água de irrigação (1,54 a 3,63 dS m⁻¹) após 17 dias. Em condições favoráveis de umidade (100% da capacidade de campo), o incremento de rejeito salino na água de irrigação não interfere na eficiência no uso de água e de carboxilação das plantas. O crescimento e a biomassa das plantas de Erva-sal são estimulados sob irrigação com água salina (CE ≤ 3,63 dS m⁻¹) quando o conteúdo de água no solo é mantido na capacidade de campo.

Palavras-chave: Fotossíntese, Halófito, Salinidade.

ABSTRACT

The salinity of soil and water is one of the main problems for agriculture in the arid and semi-arid regions. The species of plants of the genus *Atriplex* (*Atriplex nummularia* Lindl), tolerant to the salinity and the water stress, appear as an option for the cultivation using saline wastewater of desalinizers, common in these regions, reducing the discharge of this effluent to the environment. Thus, the objective was to evaluate the effect of interaction between levels of soil moisture and irrigation water salinity, gas exchange and growth of saltbush (*Atriplex nummularia* Lindl). The saltbush was cultivated in pots with soils under two moisture levels (50 and 100% of the field capacity) and irrigated with waters at 0, 25, 50, 75 and 100% of saline waste, corresponding to electrical conductivities (EC) of 0,39; 1,54; 2,15; 2,79; and 3,63 dS m⁻¹. The experiment was conducted in a greenhouse for 163 days, with a factorial arrangement of 2x5, in a randomized complete block design, with four replications. The photosynthetic, biometric and biomass parameters of the plants were evaluated. Irrigation with saline wastewater with higher EC reduced the gas exchange of saltbush plants, reducing the net photosynthetic rate, stomatal conductance, transpiration and intracellular CO₂ concentration. Although it is a halophyte plant, saltbush has reduced photosynthesis with increasing EC in irrigation water (1,54-3,63 dS m⁻¹) after 17 days. Under favorable conditions of humidity (100% of the field capacity), the increase of salt reject in the irrigation water does not interfere with the water use and carboxylation efficiency of the plants. Growth and biomass of saltbush plants are stimulated under irrigation of saline water (EC ≤ 3,63 dS m⁻¹) when soil water content is maintained at field capacity.

Keywords: Photosynthesis, Halophyte, Salinity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mecanismos anatômicos de tolerância aos sais nas plantas halófitas do gênero <i>Atriplex</i> (GLENN, BROWN & O'LEARY, 1998).....	32
Figura 2. Valores médios diários da temperatura (T_{ar} °C), umidade relativa do ar (UR%) e precipitação diária (mm) registradas no local durante o experimento, outubro a dezembro de 2016 (1-81 dias) e de janeiro a março de 2017 (82-163 dias) (INMET, 2017).....	37
Figura 3. Determinação da umidade (θ) ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) na capacidade de campo do solo (CC) do Cambissolo Háplico, utilizado no experimento, por um período de observação de 93 horas..	39
Figura 4. Determinação das trocas gasosas de plantas de Erva-sal (<i>Atriplex nummularia</i> L.) com o analisador de gases infravermelho (IRGA), modelo Licor Li 6400 XT (A) e detalhe da pinça (B).....	42
Figura 5. Determinação do comprimento da parte aérea (cm) (A) e do diâmetro do caule (mm) (B) das plantas de Erva-sal (<i>Atriplex nummularia</i> L.).....	43
Figura 6. Determinação do potencial hídrico foliar (Ψ_h) das plantas de Erva-sal (<i>Atriplex nummularia</i> L.) com auxílio da câmara de Scholander.....	43
Figura 7. Determinação do teor de clorofilas (<i>Chl a</i> , <i>Chl b</i> e <i>Chl total</i>), realizada com o auxílio de espectrofotômetro (biochrom) nas absorvâncias de 645, 652 e 663 nm.....	45
Figura 8. Taxa fotossintética líquida (<i>A</i>) (A), transpiração (<i>T</i>) (B) e concentração intracelular de CO_2 (<i>Ci</i>) de plantas de Erva-sal (<i>Atriplex nummularia</i> L.) submetidas a irrigação com águas com CE iguais a 0,39; 1,54; 2,15; 2,79; e 3,63 dS m^{-1} e com as umidades dos solos mantidas a 50 e 100% da capacidade de campo (CC) por um período de 86 dias de avaliação.	46
Figura 9. Relação entre a taxa fotossintética líquida (<i>A</i>) e a transpiração (<i>T</i>) de plantas de Erva-sal (<i>Atriplex nummularia</i> L.) submetidas a irrigação com águas com CE iguais a 0,39; 1,54; 2,15; 2,79; e 3,63 dS m^{-1} e com as umidades dos solos mantidas a 50 e 100% da capacidade de campo (CC), por um período de 86 dias de avaliação.....	48
Figura 10. Taxa fotossintética líquida (<i>A</i>) (A, B e C), condutância estomática (g_s) (D, E e F), concentração intracelular de CO_2 (<i>Ci</i>) (G, H e I) e eficiência do uso da água (<i>EUA</i>) (J, K e L) de plantas de Erva-sal (<i>Atriplex nummularia</i> L.), submetidas a irrigação com águas com CE iguais a 0,39; 1,54; 2,15; 2,79 e 3,63 dS m^{-1} e com as umidades dos solos mantidas a 50 e 100% da capacidade de campo (CC), aos 17, 46 e 79 dias de avaliação após a primeira irrigação.....	50

Figura 11. Relação entre valores médios do potencial hídrico foliar (Ψ_h) de plantas de Erva-sal (<i>Atriplex nummularia</i> L.) e da CEes (dS m^{-1}) do extrato da pasta de saturação do solo, submetidas a irrigação com águas com CE iguais a 0,39; 1,54; 2,15; 2,79 e 3,63 dS m^{-1} e com as umidades dos solos mantidas a 50 e 100% da capacidade de campo (CC), por um período de 163 dias de avaliação.....	56
Figura 12. Taxa de crescimento da parte aérea (Tc) (A e B) das plantas de Erva-sal (<i>Atriplex nummularia</i> L.) submetidas a irrigação com águas com CE iguais a 0,39; 1,54; 2,15; 2,79 e 3,63 dS m^{-1} e com as umidades dos solos mantidas a 50 e 100% da capacidade de campo (CC), por um período de 140 dias de avaliação.....	57
Figura 13. Incremento final da parte aérea (IFA) (cm) (A), massa seca das folhas (B) e massa seca da parte aérea (caule+folhas) (g) (C) de plantas de Erva-sal (<i>Atriplex nummularia</i> L.) submetidas a irrigação com águas com CE iguais a 0,39; 1,54; 2,15; 2,79 e 3,63 dS m^{-1} e com as umidades dos solos mantidas a 50 e 100% da capacidade de campo (CC), por um período de 163 dias de avaliação.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação do solo quanto ao nível de salinidade, baseado na condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes), pH e porcentagem de sódio trocável (PST) do solo..	20
Tabela 2. Distribuição global de solos salinos e sódicos.....	21
Tabela 3. Classificação da salinidade da água para irrigação.....	25
Tabela 4. Caracterização física e química da amostra de Cambissolo Háplico utilizado no experimento.....	38
Tabela 5. Umidades de solo (θ) ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) baseadas na capacidade de campo (CC) do solo, correspondendo as suas respectivas lâminas (mm) e volumes de água (L/vaso) na irrigação das plantas de Erva-sal (<i>Atriplex nummularia</i> L.) por um período de 163 dias de avaliação..	40
Tabela 6. Caracterização química da água de irrigação utilizada no cultivo de Erva-sal (<i>Atriplex nummularia</i> L.) em vasos durante 163 dias.....	40
Tabela 7. Avaliação das trocas gasosas em plantas de Erva-sal (<i>Atriplex nummularia</i> L.) submetidas a irrigação com águas com CE iguais a 0,39; 1,54; 2,15; 2,79 e 3,63 dS m^{-1} e com as umidades dos solos mantidas a 50 e 100% da capacidade de campo (CC), aos 17, 46 e 79 dias de irrigação.....	54
Tabela 8. Teor de clorofilas (<i>Chl a</i> , <i>b</i> e <i>total</i>) de folhas de plantas de Erva-sal (<i>Atriplex nummularia</i> L.) submetidas a irrigação com águas com CE iguais a 0,39; 1,54; 2,15; 2,79 e 3,63 dS m^{-1} e com as umidades dos solos mantidas a 50 e 100% da capacidade de campo (CC), por um período de 163 dias de avaliação.....	55
Tabela 9. Incremento final da parte aérea (IFA) e do diâmetro do caule (IFD) de plantas de Erva-sal (<i>Atriplex nummularia</i> L.) submetidas a irrigação com águas com CE iguais a 0,39; 1,54; 2,15; 2,79 e 3,63 dS m^{-1} e com as umidades dos solos mantidas a 50 e 100% da capacidade de campo (CC), por um período de 163 dias de avaliação.....	59
Tabela 10. Valores médios de Na^+ , K^+ , CEes e do pH do extrato da pasta de saturação do solo, sob a irrigação com águas com CE iguais a 0,39; 1,54; 2,15; 2,79 e 3,63 dS m^{-1} e com as umidades dos solos mantidas a 50 e 100% da capacidade de campo (CC), por um período de 163 dias de avaliação.....	63
Tabela A1. Parâmetros da análise de regressão da correlação entre a condutividade elétrica (CE) da água de irrigação e as trocas gasosas de Erva-sal (<i>A. nummularia</i>), mantidas a duas umidades de solo (50 e 100% da capacidade de campo) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas, aos 17, 46 e 79 dias de avaliação.....	75

Tabela A2. Parâmetros da análise de regressão da correlação entre a taxa fotossintética líquida (A) e transpiração (T) de Erva-sal (<i>A. nummularia</i>) mantidas a duas umidades de solo (50 e 100% da capacidade de campo) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), durante 86 dias de avaliação.....	76
Tabela A3. Parâmetros da análise de regressão da correlação entre a condutividade elétrica (CE) da água de irrigação e do potencial hídrico foliar (Ψ_h) de Erva-sal (<i>A. nummularia</i>), mantidas a duas umidades de solo (50 e 100% da capacidade de campo) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas, aos 163 dias de avaliação.....	76
Tabela A4. Parâmetros da análise de regressão da correlação entre a condutividade elétrica (CE) da água de irrigação com a taxa de crescimento da parte aérea (T_c) (cm dia^{-1}) de Erva-sal (<i>A. nummularia</i>) mantidas a duas umidades de solo (50 e 100% da capacidade de campo) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas, durante 140 dias de avaliação.....	76
Tabela A5. Parâmetros da análise de regressão da correlação entre a condutividade elétrica (CE) da água de irrigação com o incremento final da parte aérea (IFA) (cm), massa seca das folhas (MS_{folha}) e massa seca da parte aérea ($MS_{\text{aérea}}$) (g) de Erva-sal (<i>A. nummularia</i>) mantidas a duas umidades de solo (50 e 100% da capacidade de campo) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas, aos 163 dias de avaliação.....	76
Tabela A6. Análise de variância da taxa fotossintética líquida (A) de Erva-sal (<i>A. nummularia</i>) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 17 dias de avaliação.....	77
Tabela A7. Análise de variância da condutância estomática (g_s) de Erva-sal (<i>A. nummularia</i>) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 17 dias de avaliação.....	77
Tabela A8. Análise de variância da concentração intracelular de CO_2 (C_i) de Erva-sal (<i>A. nummularia</i>) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 17 dias de avaliação.....	77
Tabela A9. Análise de variância da transpiração (T) de Erva-sal (<i>A. nummularia</i>) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 17 dias de avaliação.....	78
Tabela A10. Análise de variância da eficiência do uso de água (EUA) de Erva-sal (<i>A. nummularia</i>) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 17 dias de avaliação.....	78

Tabela A11. Análise de variância da eficiência instantânea de carboxilação (<i>EiC</i>) de Erva-sal (<i>A. nummularia</i>) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 17 dias de avaliação.....	78
Tabela A12. Análise de variância da taxa fotossintética líquida (<i>A</i>) de Erva-sal (<i>A. nummularia</i>) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 46 dias de avaliação.....	79
Tabela A13. Análise de variância da condutância estomática (<i>g_s</i>) de Erva-sal (<i>A. nummularia</i>) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 46 dias de avaliação.....	79
Tabela A14. Análise de variância da concentração intracelular de CO ₂ (<i>C_i</i>) de Erva-sal (<i>A. nummularia</i>) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 46 dias de avaliação.....	79
Tabela A15. Análise de variância da transpiração (<i>T</i>) de Erva-sal (<i>A. nummularia</i>) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 46 dias de avaliação.....	80
Tabela A16. Análise de variância da eficiência do uso de água (<i>EUA</i>) de Erva-sal (<i>A. nummularia</i>) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 46 dias de avaliação.....	80
Tabela A17. Análise de variância da eficiência instantânea de carboxilação (<i>EiC</i>) de Erva-sal (<i>A. nummularia</i>) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 46 dias de avaliação.....	80
Tabela A18. Análise de variância da taxa fotossintética líquida (<i>A</i>) de Erva-sal (<i>A. nummularia</i>) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 79 dias de avaliação.....	81
Tabela A19. Análise de variância da condutância estomática (<i>g_s</i>) de Erva-sal (<i>A. nummularia</i>) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 79 dias de avaliação.....	81
Tabela A20. Análise de variância da concentração intracelular de CO ₂ (<i>C_i</i>) de Erva-sal (<i>A. nummularia</i>) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 79 dias de avaliação.....	81
Tabela A21. Análise de variância da transpiração (<i>T</i>) de Erva-sal (<i>A. nummularia</i>) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 79 dias de avaliação.....	82

Tabela A22. Análise de variância da eficiência do uso de água (<i>EUA</i>) de Erva-sal (<i>A. nummularia</i>) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 79 dias de avaliação.....	82
Tabela A23. Análise de variância da eficiência instantânea de carboxilação (<i>EiC</i>) de Erva-sal (<i>A. nummularia</i>) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 79 dias de avaliação.....	82
Tabela A24. Análise de variância do potencial hídrico foliar (Ψ_h) de Erva-sal (<i>A. nummularia</i>) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 163 dias de avaliação.....	83
Tabela A25. Análise de variância do teor de clorofila a (<i>Chl a</i>) de Erva-sal (<i>A. nummularia</i>) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 163 dias de avaliação.....	83
Tabela A26. Análise de variância do teor de clorofila b (<i>Chl b</i>) de Erva-sal (<i>A. nummularia</i>) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 163 dias de avaliação.....	83
Tabela A27. Análise de variância do teor de clorofila total (<i>Chl total</i>) de Erva-sal (<i>A. nummularia</i>) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 163 dias de avaliação.....	84
Tabela A28. Análise de variância da taxa de crescimento da parte aérea (<i>Tc</i>) (cm) de Erva-sal (<i>A. nummularia</i>) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), para o tempo de 60 dias.....	84
Tabela A29. Análise de variância da taxa de crescimento da parte aérea (<i>Tc</i>) (cm) de Erva-sal (<i>A. nummularia</i>) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), para o tempo de 115 dias.....	84
Tabela A30. Análise de variância da taxa de crescimento da parte aérea (<i>Tc</i>) (cm) de Erva-sal (<i>A. nummularia</i>) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), para o tempo de 140 dias.....	85
Tabela A31. Análise de variância do incremento final da parte aérea (<i>IFA</i>) (cm) de Erva-sal (<i>A. nummularia</i>) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 163 dias de avaliação.....	85
Tabela A32. Análise de variância do incremento final do diâmetro (<i>IFD</i>) (mm) de Erva-sal (<i>A. nummularia</i>) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 163 dias de avaliação.....	85

Tabela A33. Análise de variância da massa seca das folhas (g) de Erva-sal (<i>A. nummularia</i>) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 163 dias de avaliação.....	86
Tabela A34. Análise de variância da massa seca da parte aérea (caule+folhas) (g) de Erva-sal (<i>A. nummularia</i>) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 163 dias de avaliação.....	86
Tabela A35. Análise de variância da massa seca da raiz (g) de Erva-sal (<i>A. nummularia</i>) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 163 dias de avaliação.....	86

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	18
2 - REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1 - SALINIDADE DOS SOLOS.....	20
2.2 - CAUSAS DA SALINIDADE DO SOLO E DO LENÇOL FREÁTICO.....	22
2.3 - CONSEQUÊNCIAS DA SALINIDADE NAS REGIÕES ÁRIDAS E SEMIÁRIDAS	23
2.4 - QUALIDADE DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO.....	24
2.5 - ÁGUA DE REJEITO SALINO E SUA REUTILIZAÇÃO NA AGRICULTURA... ..	25
2.6 - ERVA-SAL (<i>Atriplex nummularia</i> Lindl) UMA FITORREMEIADORA DE SOLOS SALINOS.....	27
2.7 - ORIGEM, CARACTERIZAÇÃO BOTÂNICA E OBTENÇÃO DE MUDAS DE ERVA-SAL (<i>Atriplex nummularia</i> Lindl).....	29
2.8 - TOLERÂNCIA DAS PLANTAS HALÓFITAS AO ESTRESSE SALINO.....	30
2.9 - EFEITO DA SALINIDADE NAS TROCAS GASOSAS, PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS E NO CRESCIMENTO DAS PLANTAS.....	32
2.9.1 - Trocas gasosas.....	32
2.9.2 - Pigmentos fotossintéticos.....	33
2.9.3 - Crescimento das plantas.....	34
2.10 - EFEITO DO ESTRESSE HÍDRICO NAS TROCAS GASOSAS DAS PLANTAS	35
3 - MATERIAL E MÉTODOS	36
3.1 - ÁREA DE ESTUDO E CONDIÇÕES CLIMÁTICAS.....	36
3.2 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DO SOLO UTILIZADO.....	37
3.3 - OBTENÇÃO DAS MUDAS DE ERVA-SAL (<i>Atriplex nummularia</i> L.).....	38
3.4 - COMPOSIÇÃO DOS TRATAMENTOS E CONDUÇÃO EXPERIMENTAL.....	39
3.5 - VARIÁVEIS AVALIADAS NAS PLANTAS DE ERVA-SAL (<i>Atriplex nummularia</i> L.).....	41
3.5.1 - Trocas gasosas.....	41
3.5.2 - Biometria das plantas.....	42
3.5.3 - Potencial hídrico foliar (Ψ_h).....	43
3.5.4 - Teor de clorofilas.....	44
3.5.5 - Biomassa das plantas.....	45
3.5.6 - Análise química do solo.....	45

3.6 - DELINEAMENTO E ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	45
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
4.1 - EFEITO DA SALINIDADE E DA UMIDADE DO SOLO NAS TROCAS GASOSAS.....	46
4.2 - EFEITO DA UMIDADE DO SOLO NAS TROCAS GASOSAS.....	53
4.3 - EFEITO DA UMIDADE DO SOLO NOS PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS.....	54
4.4 - EFEITO DA SALINIDADE E DA UMIDADE DO SOLO NO POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR (Ψ_h).....	55
4.5 - EFEITO DA SALINIDADE E DA UMIDADE DO SOLO NO CRESCIMENTO E NA BIOMASSA.....	57
5 - CONCLUSÕES.....	64
REFERÊNCIAS.....	65
APÊNDICE.....	75

1 - INTRODUÇÃO

A exploração dos recursos naturais tem aumentado com o passar dos anos para atender a demanda de alimentos para uma população mundial cada vez mais crescente. Estima-se que em 2025 (UNITED NATIONS, 2014) a população mundial alcançará 8,1 bilhões de pessoas e que em 2050 (PANTA et al., 2016) alcançará 9,6 bilhões de pessoas.

A necessidade alimentar de uma população cada vez mais crescente, tem intensificado a exploração de terras e dos recursos hídricos e gerado sérios desequilíbrios ambientais e sociais, destacando-se em especial o aumento da salinidade e da sodicidade dos solos, considerado um dos principais problemas para a agricultura mundial (HU et al., 2005; DONG, 2010). Pressupõe-se que 397 milhões de hectare de terras no mundo sejam afetados pela salinidade e 434 milhões de hectare pela sodicidade, ou seja, mais de 800 milhões de hectare (FAO, 2005; RENGASAMY, 2006) que representam 6% da área total mundial (MUNNS, 2005; GEISLER et al., 2015) e mais de 30% do solo irrigado mundial (FAO, 2011).

No âmbito global, as regiões áridas e semiáridas são mais susceptíveis à salinização (PEDROTTI et al., 2015) devido às características pedogenéticas dos solos associada aos fatores climáticos, como precipitação pluvial baixa e irregular, altas temperaturas e elevada evapotranspiração potencial, os quais contribuem para o aumento da ascensão de sais até a superfície do solo. No Brasil estima-se que 11% das terras irrigadas estão salinizadas, sendo cerca de 9 milhões de hectares no semiárido (PESSOA et al., 2016). Em ambientes Semiáridos, além dos recursos hídricos escassos, a qualidade das águas são comprometidas em virtude dos sais presentes em sua grande maioria nas águas disponíveis em açudes, baixadas, vales e poços subterrâneos, principais reservatórios para o uso agrícola na região (ANTONINO et al., 2001; ANTONINO et al., 2005; SOUSA NETO et al., 2011).

A maioria dos solos salinos possuem grandes quantidades de sais solúveis denominados cloretos, sulfatos e bicarbonatos de Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} (SZABOLCS, 1989; QADIR et al., 2007; RENGASAMY, 2010). Esses íons em excesso comprometem as propriedades físicas e químicas dos solos e afetam o crescimento e a produtividade das plantas devido ao estresse osmótico e iônico (CHINNUSAMY et al., 2005; ASHRAF, 2009; ASHRAF et al., 2010).

A ação antrópica constitui um forte agravante para o aumento da salinização dos solos e do lençol freático com o excesso de agricultura irrigada, através do uso da fertirrigação e

irrigação com água salobra, assim como a ausência de manejo correto da irrigação e de sistema de drenagem funcional (SANTOS et al., 2013; PESSOA et al., 2016).

A necessidade do reuso de água salobra nas regiões áridas e semiáridas tem aumentado em decorrência do uso de dessalinizadores de osmose reversa (PORTO et al., 2001; PORTO et al., 2006). Dependendo do tipo de equipamento e da qualidade da água, o dessalinizador pode gerar entre 40 e 60% de rejeito salino (PORTO et al., 2001). Na maioria das vezes o rejeito é subutilizado e acaba sendo depositado nos solos sem tratamentos prévios, o que contribui para a contaminação do solo e do lençol freático pelo acúmulo de sais (PORTO et al., 2001; SOUSA NETO et al., 2011).

A utilização do rejeito salino na irrigação de plantas halófitas do gênero *Atriplex*, tolerantes a salinidade, constitui-se numa técnica de baixo custo para regiões semiáridas (LEAL et al., 2008; SANTOS et al., 2011) e alternativa de redução dos impactos negativos causados pelo não acondicionamento deste (PORTO et al., 2006).

A espécie *Atriplex nummularia* Lindl. é uma espécie promissora para revegetação de áreas degradadas em ambientes áridos e semiáridos, devido a capacidade de tolerar estresse hídrico, e por ser uma planta forrageira de grande produção de biomassa, capaz de extrair grandes quantidades de Na^+ e Cl^- do solo e acumular na parte aérea (FLOWERS & COLMER, 2008; LEAL et al., 2008; SOUZA et al., 2011).

Os mecanismos de tolerância das plantas em resposta aos efeitos dos sais são de dois tipos: os que minimizam a entrada de sal na planta; e os que minimizam a concentração de sal no citoplasma, via compartimentação dos íons nas células do vacúolo (MUNNS, 2005; MUNNS & TESTER, 2008). Assim, a halófita *Atriplex nummularia* L., popularmente conhecida por Erva-sal mantém seus processos fotoquímico, bioquímico e fotossintético de forma funcional e eficiente, mesmo sob estresse salino, em virtude do processo de ajustamento osmótico, ou seja, a compartimentação dos sais em suas células (SILVEIRA et al., 2009).

Com base na tolerância da Erva-sal ao estresse salino, supõe-se que a maior disponibilidade hídrica associada a maiores proporções de rejeito salino na água de irrigação, influenciam nos processos fotossintéticos, maximizando assim o crescimento e a produção de biomassa. O conhecimento do efeito interativo entre níveis de umidade no solo e da salinidade da água de irrigação nas respostas fisiológicas e de crescimento de halófitas, em especial a espécie *Atriplex nummularia* L., é importante para avaliar a produção de biomassa, levando

em conta que a água é um elemento importante e também limitante nas regiões áridas e semiáridas. Diante do exposto, objetivou-se avaliar o efeito da interação entre níveis de umidade do solo e de salinidade da água de irrigação, nas trocas gasosas e no crescimento de Erva-sal (*Atriplex nummularia* Lindl).

2 - REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 - SALINIDADE DOS SOLOS

O termo “solo salino” pode ser definido como um solo que contenha sais solúveis o suficiente para comprometer as propriedades físicas e químicas deste solo e afetar o crescimento e desenvolvimento das plantas, e o mais importante, o comprometimento da produtividade, em decorrência do estresse osmótico e iônico (RICHARDS, 1954; CHINNUSAMY et al., 2005; ASHRAF, 2009; ASHRAF et al., 2010).

Vale salientar que o nível da salinidade de um solo depende de um conjunto de variáveis intrínsecas e extrínsecas desse solo, como a textura, a distribuição dos sais ao longo do perfil, e a composição dos sais no solo, além das espécies de plantas que estão presentes ou são introduzidas nesse ambiente (RICHARDS, 1954).

Os principais sais solúveis presentes em solos salinos são denominados de cloretos, sulfatos e bicarbonatos de Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} (RICHARDS, 1954; SZABOLCS, 1974; QADIR et al., 2007; RENGASAMY, 2010). De acordo com o tipo e a intensidade dos sais no solo, estes podem ser classificados não salinos, salinos, salino-sódicos e sódicos (Tabela 1).

Tabela 1. Classificação do solo quanto ao nível de salinidade, baseado na condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes), pH e porcentagem de sódio trocável (PST) do solo.

Classe de solo	CEes (dS m^{-1} 25°C)	pH	PST (%)
Solo não salino	< 4	< 8,5	< 15
Solo salino	\geq 4	< 8,5	< 15
Solo salino-sódico	\geq 4	\geq 8,5	> 15
Solo sódico	< 4	\geq 8,5	\geq 15

Fonte: Richards (1954)

Os diferentes tipos de solos em função dos sais presentes influenciam no crescimento das plantas com efeitos específicos, conforme descrito por Munns (2005): i) solos salinos – os

componentes osmóticos e específicos do sal inibem o crescimento da raízes e da parte aérea das plantas; ii) solos sódicos – a fraca estrutura do solo inibe o crescimento radicular das plantas; iii) solos salino-sódicos – o pH elevado afeta a absorção de nutrientes das plantas.

Desta forma, a salinidade e a sodicidade do solo é um dos principais problemas para a agricultura mundial (HU et al., 2005; DONG, 2010) e um dos fenômenos crescentes, especialmente em regiões áridas e semiáridas (RENGASAMY, 2006; ASHRAF et al., 2010; PEDROTTI et al., 2015), onde grande parte desses solos apresentam na sua formação geológica minerais denominados de xisto, marga, calcário, silvita, gesso e halite, que dão origens aos sais solúveis (ALDABAA et al., 2015).

Szabolcs (1989) descreve em ampla escala global a distribuição dos solos afetados por sais, especificamente os solos salinos e sódicos (Tabela 2).

Tabela 2. Distribuição global de solos salinos e sódicos.

Continente	Área (milhões de hectares)		
	Solo Salino	Solo Sódico	Total
América do Norte	6,2	9,6	15,8
América Central	2,0	-	2,0
América do Sul	69,4	59,6	129,0
África	53,5	27,0	80,5
Sul da Ásia	83,3	1,8	85,1
Norte central da Ásia	91,6	120,1	211,7
Sudeste da Ásia	20,0	-	20,0
Europa	7,8	22,9	30,7
Austrália	17,4	340,0	357,4
Total	351,5	581,0	932,2

Fonte: Szabolcs (1989); Pessarakli (1999); Rengasamy (2006).

Estudos mais recentes estimam que 397 milhões de hectare de terras no mundo sejam afetados pela salinidade e 434 milhões de hectare pela sodicidade, ou seja, mais de 800 milhões (FAO, 2005; RENGASAMY, 2006), representando cerca de 6% da área total mundial (MUNNS, 2005; GEISSLER et al., 2015) e mais de 30% do solo irrigado mundial (FAO, 2011). No Brasil estima-se que 11% das terras irrigadas são salinizadas, sendo cerca de 9 milhões de hectares no semiárido (PESSOA et al., 2016).

2.2 - CAUSAS DA SALINIDADE DO SOLO E DO LENÇOL FREÁTICO

A necessidade de produção de alimentos para atender o crescimento populacional tem impulsionado a expansão das áreas agricultáveis em todo o mundo, aumentando a exploração dos recursos naturais (solo e água) e como consequência podem ser listados alguns problemas:

i) Aumento do desmatamento da vegetação nativa perene (PEDROTTI et al., 2015) e sua substituição por culturas e pastagens;

ii) Excesso da agricultura irrigada e da fertirrigação (PESSOA et al., 2016) com ausência de manejo da irrigação e de um sistema de drenagem funcional (GHEYI et al., 1997; SANTOS et al., 2013), ou este ocorre de forma incorreta, ocasionando problemas secundários, como é o caso da elevação do lençol freático (GHEYI et al., 1997);

iii) Uso de água com elevada salinidade para irrigação (GHEYI et al., 1997; PESSOA et al., 2016), em regiões com baixa precipitação pluviométrica, em decorrência da escassez de água de boa qualidade.

O uso da agricultura irrigada e da fertirrigação crescem a cada instante, assim como as consequências negativas da salinização dos solos e dos recursos hídricos. A irrigação e a fertirrigação alteram os atributos físicos e químicos dos solos com o processo de adição de sais solúveis no solo, e, se essa técnica não for realizada acompanhada de drenagem nesses solos, o risco de salinização aumenta muito, e a qualidade produtiva do solo pode ser comprometida (SANTOS et al., 2013).

O aumento da salinidade dos solos agricultáveis está associada a processos geohistóricos e antrópicos (MUNNS et al., 2002), sendo que a intensidade dos sais no solo tem um relação direta com as propriedades do mesmo, condições climáticas, com o tipo de vegetação, nível de salinidade das água subterrâneas, profundidade do solo, e o seu manejo agrícola (BOUKSILA et al., 2010). Sabe-se que grande parte das terras afetadas por sais em todo o mundo é resultante, a princípio, de causas naturais, como a natureza física e química dos solos, do acúmulo de sais ao longo do tempo e liberação desses sais solúveis das rochas, principalmente na forma de cloretos de sódio e de cálcio (SZABOLCS, 1989), no entanto, é incomum casos em que a intemperização das rochas tenha provocado diretamente em problemas decorrentes da salinidade dos solos (RICHARDS, 1954).

2.3 - CONSEQUÊNCIAS DA SALINIDADE NAS REGIÕES ÁRIDAS E SEMIÁRIDAS

No âmbito global, são nas regiões áridas e semiáridas que a salinização ocorre com maior frequência (PEDROTTI et al., 2015) devido às características pedogenéticas dos solos associada aos fatores climáticos, como precipitação pluvial baixa e irregular, altas temperaturas e elevada evapotranspiração potencial, o qual contribuem no aumento da ascensão dos sais até a superfície do solo.

A evaporação da água da superfície do solo cria um gradiente de potencial, que provoca como resposta o transporte da solução aquosa do solo (água e sais) por ascensão capilar para a superfície do solo, onde a água evapora e os sais acumulam-se e contribuem no aumento da salinidade na superfície deste solo (BOUKSILA et al., 2010).

O aumento dos sais na zona radicular leva o solo a tornar-se improdutivo em virtude do comprometimento das características físicas e químicas, contribuindo para o aumento da desertificação de terras cultivadas, especialmente em ambientes áridos e semiáridos (MONTANARELLA, 2007; MUNNS & TESTER, 2008)

Mudanças ambientais resultantes do aumento da salinização dos solos e das águas refletirão nas futuras gerações, considerando as seguintes consequências (MONTANARELLA, 2007): i) impactos na distribuição das chuvas; ii) oscilações da temperatura e elevação do nível do mar; iii) redução da fertilidade do solo devido a efeitos tóxicos do sal, implicando na menor valorização do solo; iv) redução da infiltração e da retenção de água no solo, provocando alagamentos por escoamento superficial; v) perda da biodiversidade local; vi) comprometimento da produção agrícola mundial.

Para melhorar a produtividade das culturas e a sustentabilidade dos ecossistemas é necessário montar estratégias de gestão ambiental, preferencialmente de baixo custo, e que sejam eficientes para minimizar os efeitos da salinização (SANTOS, et al., 2011). A lixiviação dos sais na zona das raízes geralmente requer grandes quantidades de água e aumenta os custos do produtor, tornando-se uma técnica inviável economicamente para produtores com baixo nível tecnológico (LEAL et al., 2008).

Em regiões áridas e semiáridas onde a disponibilidade de água doce é um recurso escasso, a reutilização de água salobra pela técnica de dessalinização por osmose reversa é bastante utilizada para o uso agrícola (PORTO et al., 2006); no entanto, outras técnicas complementares precisam serem utilizadas para destinação segura do rejeito salino gerado por essa tecnologia; e para a recuperação dos solos afetados por sais, como é o caso da utilização

de plantas halófitas fitorremediadoras, constituindo em uma solução econômica viável e não agressiva ao meio ambiente (LEAL et al., 2008).

Diante desse cenário, surge a necessidade da conservação dos recursos naturais e hídricos, assim como fontes alternativas de água de irrigação e práticas conservacionistas que proporcionem uma maior eficiência produtiva com menor desperdício e degradação ambiental.

2.4 - QUALIDADE DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

A água é um elemento essencial para a sobrevivência dos animais e vegetais na terra, e a sua limitação em termos de quantidade e/ou qualidade pode comprometer todos os aspectos de desenvolvimento da vida terrestre. Pesquisas mostram que do total da água no planeta, apenas 2,5% são consideradas “água doce”, desse total 68,9% estão em geleiras, 29,9% em condições subterrâneas, e apenas 0,3% disponíveis em rios e lagos (BRITO, SILVA & PORTO, 2007).

O uso da água para a agricultura tem aumentado a cada ano para atender as necessidades humanas, e a quantidade e a qualidade são fundamentais para a eficiência produtiva. De acordo com Ayers & Westcot (1991) a qualidade da água refere-se às características que podem afetar a sua adaptabilidade para uso específico, e são definidas por uma ou mais características físicas, químicas e biológicas.

Antes do uso da água é de suma importância a determinação das características que determinam a sua qualidade, entre as quais destacam-se (RICHARDS, 1954): i) concentração total de sais solúveis; ii) proporção relativa de sódio em relação a outros cations; iii) concentração de boro e/ou outros elementos que podem ser tóxicos; iv) concentração de bicarbonato em relação a concentração de cálcio e magnésio.

Um dos principais problemas relacionados a qualidade da água é a salinidade e a toxicidade de íons específicos. De acordo com Ayers & Westcot (1991) os sais (sódio, cloretos e boro) do solo e da água reduzem a disponibilidade da água para as plantas, chegando a ponto que afetar os rendimentos das culturas sensíveis.

Em virtude dos problemas inerentes a salinidade, existe uma classificação da água para irrigação (Tabela 3) com o objetivo de indicar o risco de salinização, podendo ser utilizada levando em consideração as condições de textura do solo, taxa de infiltração,

drenagem, quantidade da água utilizada, clima, e de acordo com a tolerância das culturas (RICHARDS, et al., 1954).

Tabela 3. Classificação da salinidade da água para irrigação.

Classe de salinidade	CE (dS m⁻¹)	Risco de salinidade
C1	< 0,70	Nenhum
C2	0,70 - 3,0	Moderado
C3	> 3,0	Severo
C4	-	-

Fonte: Ayers & Westcot (1991)

Compreendemos que a água é um elemento essencial, porém é um recurso escasso, especialmente nas regiões mais secas, as regiões áridas e semiáridas, sendo necessário o uso consciente dos recursos hídricos, e a adoção de práticas de reuso da água salina disponível.

2.5 - ÁGUA DE REJEITO SALINO E SUA REUTILIZAÇÃO NA AGRICULTURA

A crescente demanda por alimentos está diretamente relacionada com o aumento populacional mundial, e com o passar dos anos haverá uma maior exploração de terras e recursos hídricos para produzir alimentos. Segundo as estimativas, nos anos de 2025 e 2050 a população será de 8,1 e 9,6 bilhões de pessoas, respectivamente (UNITED NATIONS, 2014; PANTA et al., 2016).

A utilização de água doce vem sendo muito utilizada na agricultura irrigada com o passar dos anos, cerca de 70% de toda a água doce disponível no planeta, no entanto, nos países em desenvolvimento e nos subdesenvolvidos esses gastos são bem maiores chegando a ultrapassar os 90% (FAO, 2014).

Levando em consideração que os recursos hídricos encontram-se sobrecarregados em virtude da exploração agrícola para atender a demanda populacional, assim como ocorre um acentuado deficit hídrico nas regiões áridas e semiáridas, faz-se necessário adoção de práticas conservacionistas que proporcionem uma maior eficiência produtiva e com menor desperdício dos recursos hídricos disponíveis.

As regiões áridas e semiáridas apresentam grandes desafios, principalmente em relação a produção agrícola frente aos recursos hídricos limitados por questões de quantidade e qualidade. A maioria das reservas de água para uso agrícola no Semiárido Brasileiro

encontram-se em açudes, baixadas, vales, e poços subterrâneos, sendo a maioria dessas águas de qualidade baixa em virtude dos sais presentes, os quais constituem os principais reservatórios para o uso agrícola na região (ANTONINO, et al., 2001; ANTONINO, et al., 2005).

A recuperação e/ou conservação de áreas salinizadas e degradadas em zonas áridas e semiáridas de acordo com Tomar et al. (2003) pode ter duas alternativas: i) a exploração de plantas nativas de ambientes áridos e ii) a adoção de sistemas eficientes para utilização dos recursos hídricos salinos limitados, evitando sua perda por evapotranspiração e/ou por drenagem abaixo da zona de enraizamento das plantas no solo.

Dessa forma, é necessário a adoção de técnicas conservacionistas e de reutilização de água salobra proveniente de dessalinizadores para o cultivo de plantas tolerantes à salinidade, como as plantas halófitas que possuem elevado potencial de fitoextração de sais (Na^+ e Cl^-) dos solos salinos.

A necessidade de uso de água salina nas regiões áridas e semiáridas tem promovido uso crescente de equipamentos dessalinizadores pelo processo de osmose reversa, constituindo numa alternativa de conversão de água salobra em água de boa qualidade para abastecimento humano e de animais (PORTO et al., 2001; PEREIRA, et al., 2004). No entanto, essa tecnologia vem gerando problemas com o descarte do rejeito proveniente da dessalinização, tendo em vista que dependendo do equipamento utilizado e da qualidade da água tratada, gera-se uma grande quantidade de rejeito, entre 40 à 60% do total de água salobra tratada (PORTO et al., 2001).

Esse rejeito na maioria das vezes é subutilizado e acaba sendo depositado no solo sem tratamentos prévios, contribuindo na contaminação do lençol freático, aumentando ainda mais a salinidade e/ou sodicidade, afetando a atividade microbiana do solo, levando à inviabilidade produtiva desses solos pelo acúmulo de sais (PEREIRA et al., 2004).

No Brasil, especificamente no estado do Ceará, estima-se que cerca de 25% dos solos que receberam efluente salino apresentaram consequências sérias como erosão e salinidade (SILVA et al., 2008).

Contudo, faz necessário a reutilização de rejeito salino para fins agrícolas, como exemplo, na irrigação de plantas tolerantes, do gênero *Atriplex* (*Atriplex nummularia*) uma halófito, fitorremediadora e uma importante forrageira, podendo ser utilizada no complemento alimentar dos animais, assim, diminuindo o impacto do descarte do efluente no meio

ambiente. Também pode ser utilizado no cultivo de plantas cítricas (SOARES et al., 2006), e no cultivo de tilápia e camarão (PORTO et al., 2001; AZEVEDO et al., 2005; SILVA et al., 2008).

De acordo com Porto et al. (2006) a irrigação de plantas halófitas com efluente salino constitui em uma alternativa de redução dos impactos negativos causados pelo não acondicionamento do subproduto da dessalinização, no caso o rejeito salino. No entanto, o reuso de água proveniente de rejeito salino deve se adequar à técnicas de manejo de irrigação preventiva a salinização do solo e do lençol freático para não comprometer a qualidade física e químicas dos solos.

2.6 - ERVA-SAL (*Atriplex nummularia* Lindl) UMA FITORREMEIADORA DE SOLOS SALINOS

A *Atriplex nummularia* L. conhecida popularmente por Erva-sal é uma planta cosmopolita e possui mais 400 espécies distribuídas em vários continentes (FAO, 1996), capazes de crescerem e completarem seu ciclo de vida sob condições ambientais adversas, tolerando seca e altos níveis de salinidade (PORTO et al., 2001; RAMOS et al., 2004).

As plantas do gênero *Atriplex* apresentam baixa taxa de transpiração, alta eficiência no uso de água, com metabolismo fotossintético C₄, sendo classificadas como plantas halófitas (PORTO et al., 2000). Plantas que possuem metabolismo C₄ apresentam características que as possibilitam crescerem e se desenvolverem em ambientes secos e com altas temperaturas sem interferir na sua eficiência fotossintética (TAIZ & ZAIGER, 2006).

Algumas dessas características, intrínsecas ao metabolismo C₄, permitem que essa espécie de plantas não sofram em altas temperaturas quando comparadas as plantas C₃ (TAIZ & ZAIGER, 2006): i) A enzima PEP carboxilase possui alta afinidade com o substrato HCO₃⁻, o qual a mantém saturada e em equilíbrio com o CO₂ atmosférico, onde o oxigênio não é um competidor nessa reação. Com a alta atividade da PEP carboxilase a abertura estomática é reduzida para conservar a água, enquanto o CO₂ atmosférico é fixado em velocidade igual ou maior do que as plantas C₃. ii) Supressão da fotorrespiração em decorrência da concentração de CO₂ nas células da bainha vascular.

Devido a tolerância dos fatores abiótico a Erva-sal é umas das mais importantes espécies empregadas no controle da desertificação, em especial, na recuperação de solos

salinos em todo o mundo, pelo alto potencial de extração de quantidades consideráveis de sais nos solos (PORTO et al., 2006; SANTOS, et al., 2011; OLIVEIRA JUNIOR et al., 2016).

Estima-se que essa espécie possui uma taxa de absorção de sal de 1,15 t ha⁻¹ ano⁻¹ (PORTO et al., 2001), onde para uma produção de 5 Mg matéria seca, é extraído cerca de 1.000 kg ha⁻¹ de sal por ano do solo (SILVA et al, 2008).

A absorção dos sais no solo e acumulação destes sais pelas plantas halófitas podem reduzir o nível destes no solo, pelo menos à nível rizosférico e tornar o solo adequado para o crescimento das culturas agrícolas com melhor rendimento (ZUCCARINI, 2008; ASHRAF et al., 2010). Pereira et al. (2004) e Santos et al. (2011) afirmam que solos do semiárido, sob ação da fitoextração de *Atriplex nummularia*, apresentam melhores condições de adaptação e sobrevivência aos microrganismos em solos salinos.

A tolerância dessa espécie a salinidade é devida ao desenvolvimento de mecanismos na sua anatomia, especializados na acumulação de sais no interior da planta, e/ou, da eliminação destes sais por meio de vesículas especiais existentes na superfície das folhas, que quando cheias, se rompem liberando o sal, através de finas camadas de cristais, que se aderem à superfície da folha (PORTO et al., 2000).

Estudos evidenciam a capacidade de fitoextração de sais da *Atriplex nummularia* e considerável produção de biomassa, variando de 5 a 15 t ha⁻¹ ano⁻¹ de matéria seca sendo a maioria dos resultados entre 6 e 8 t ha⁻¹ ano⁻¹ (PORTO et al., 2000). De acordo com Silva et al. (2016) plantas de Erva-sal são eficientes na fitorremediação de solos salinos e sódicos, onde, em densidades de 2x2 m, a concentração de Na⁺ e Cl⁻ encontradas nas folhas são de 15% e 12,21%, respectivamente, equivalente a um acúmulo de 112,14 e 82,81 g planta⁻¹, respectivamente. Ainda de acordo com esses autores a fitoextração de sais de Erva-sal em densidade de 1x1 m é bastante considerável, com 358,29 kg ha⁻¹ de Na⁺ e 297,08 de Cl⁻, e um acúmulo de 82% de Na⁺ nas folhas.

A Erva-sal caracteriza-se como importante recurso forrageiro graças ao seu valor nutritivo, com níveis elevados de proteína e carboidratos digeríveis (GLENN, BROWN & O'LEARY, 1998), cerca de 17% de proteína e 70% de digestibilidade (ALVES et al., 2007; LEAL et al., 2008).

No entanto, para que se faça boa escolha e uso sustentável das espécies halófitas na recuperação de solos degradados pelo excesso de sais e na revegetação de áreas semiáridas, Geissler et al. (2015) ressaltam a importância do conhecimento detalhado sobre os

mecanismos de resistência ao sal das halófitas e seu desempenho sob condições atmosféricas futuras, com elevada concentração de CO₂. Ainda de acordo com esses autores, a halófito *Atriplex nummularia* será uma cultura bem adaptada, com bom rendimento, num futuro com o aumento da concentração de CO₂ atmosférico, onde afirmam que a concentração elevada de CO₂ atmosférica (540 ppm) aumenta a resistência de sal dessa espécie. As plantas halófitas são culturas potenciais atenuadoras do efeito estufa, devido apresentarem características adequadas para um longo prazo de sequestro de CO₂ (HARPER et al, 2007; GEISSLER et al., 2015).

2.7 - ORIGEM, CARACTERIZAÇÃO BOTÂNICA E OBTENÇÃO DE MUDAS DE ERVA-SAL (*Atriplex nummularia* Lindl)

A Erva-sal (*Atriplex nummularia* Lindl) é uma das espécies forrageiras da família Chenopodiaceae, de metabolismo fotossintético C₄, originária da Austrália, sendo introduzida no nordeste brasileiro por meio da Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas, na década de 30 (OBRAS, 1938; PORTO et al., 2001).

É uma planta do tipo arbusto e perene, podendo atingir uma altura de 3,0 m, dependendo do ambiente onde se desenvolva, com altura média de 1,50 m. O sistema radicular pode chegar até 3,50 m de profundidade (PORTO & ARAÚJO, 2000).

Classificação botânica:

Reino: *Plantae*

Subreino: *Tracheobionta*

Superdivisão: *Spermatophyta*

Divisão: *Magnoliophyta*

Classe: *Magnoliopsida*

Subclasse: *Caryophyllidae*

Ordem: *Caryophyllales*

Família: *Chenopodiaceae*

Gênero: *Atriplex* spp

Espécie: *Atriplex nummularia* Lindl.

Levando em consideração que a propagação da Erva-sal via sementes seja bem difícil, devido a baixa germinação (CAMPBELL & MATTHEWSON, 1992) normalmente recorre-se ao método de propagação vegetativa, utilizando ramos semi-lenhosos, com diâmetro inferior à 0,5 cm, e uso de hormônio indutor de enraizamento AIB (ácido indolbutírico) na forma de polvilho misturado com talco (PORTO & ARAÚJO, 2000).

2.8 - TOLERÂNCIA DAS PLANTAS HALÓFITAS AO ESTRESSE SALINO

A capacidade de algumas espécies de plantas, quando submetidas a condições de estresse salino, em completar seu ciclo com crescimento e rendimento aceitáveis caracteriza-as como plantas tolerantes (FLOWERS & COLMER, 2008). Essa tolerância pode ser compreendida como a capacidade que algumas plantas possuem em serem eficientes no uso da água, ou seja, mais carbono fixado por água perdida (MUNNS, 2005).

De acordo com Richards (1954), a tolerância ao sal de uma cultura deve ser avaliada de acordo com três critérios: i) a capacidade da cultura para sobreviver em solos salinos; ii) o rendimento da cultura em solos salinos; iii) o rendimento relativo da cultura em solos salinos em comparação com o rendimento em um solo não salino sob condições de crescimento semelhantes.

De acordo com a capacidade de adaptação ou não das plantas em se desenvolverem em ambientes salinos, temos a seguinte classificação: Glicófitas - não toleram esses ambientes e são a grande maioria das plantas; e Halófitas - são plantas tolerantes e se desenvolvem em solos salinos e conseguem completar seu ciclo.

Em geral, as halófitas possuem uma capacidade maior de acumulação de íons de sais em células da parte aérea, podendo sobreviver em ambientes onde a concentração de sal no solo excede a 200 mmol_c L⁻¹ de NaCl, equivalendo a aproximadamente 20 dS m⁻¹, onde grande maioria das espécies glicófitas (99%) não conseguiriam crescer e se desenvolver (FLOWERS & COLMER, 2008; SILVA et al., 2016).

Os mecanismos de tolerância das plantas em resposta aos efeitos específicos dos sais são de dois tipos: os que minimizam a entrada de sal na planta; e aqueles que minimizam a concentração de sal no citoplasma (MUNNS, 2005). Segundo Munns (2005) a maioria das plantas impedem a entrada do sal presente na solução do solo (98%), permitindo que apenas 2% sejam transportados no xilema para os brotos.

As plantas sob estresse salino desenvolvem e/ou ajustam componentes para se adaptarem (ASHRAF et al., 2010), tais como: i) morfológicos (redução da área foliar e aumento do espessamento foliar); ii) anatômicos (suculência e excreção de sal); iii) fisiológicas e/ou bioquímicas (ajustamento osmótico; seletividade de íons; exclusão de sal; compartimentalização iônica celular; eliminação de espécies reativas de oxigênio; acumulação de solutos compatíveis e respostas estomáticas).

De acordo com Glenn et al. (1999) o mecanismo de ajustamento osmótico nas plantas halófitas requerem pelo menos três tipos de adaptações em relação a homeostase de íons: i) capacidade de absorção rápida mas controlada de Na^+ e Cl^- em células para suportar o crescimento impulsionado pelo turgor; ii) sequestro eficiente de Na^+ e Cl^- em células do vacúolo; iii) mecanismos para melhorar o efeitos da entrada excessiva de NaCl na planta.

As plantas halófitas possuem uma diversidade de mecanismos para tolerar o excesso de sais, entre eles estão os chamados “mecanismos secundários” presentes em algumas espécies, e são de carácter anatômicos: glândulas salinas, tecidos suculentos e/ou redução do teor de água foliar e excreção de sais (GLENN et al., 1999) (Figura 1).

De acordo com Glenn, Brown & O’leary (1998) as plantas halófitas possuem células especializadas nas folhas chamadas “glândulas de sal” onde armazenam o excesso de sais (NaCl); quando cheias elas se rompem liberando os sais para a superfície foliar, formando uma camada de cor esbranquiçada, o qual reflete a luz (OSMOND et al., 1980), mantendo a folha mais fria, minimizando o estresse causado por elevadas temperaturas. Esses autores relatam ainda que é no vacúolo onde contém moléculas específicas que importam íons de Na^+ e Cl^- , funcionando como um local de armazenamento desses sais, que em altas concentrações, esse compartimento auxilia na manutenção da pressão de turgor das células, aumentando a capacidade de absorção de água dessas plantas conforme observado na Figura 1. O turgor celular das plantas halófitas é mantido pelo armazenamento de NaCl no vacúolo celular, que contém cerca de 90% da água celular (GLENN et al., 1999).

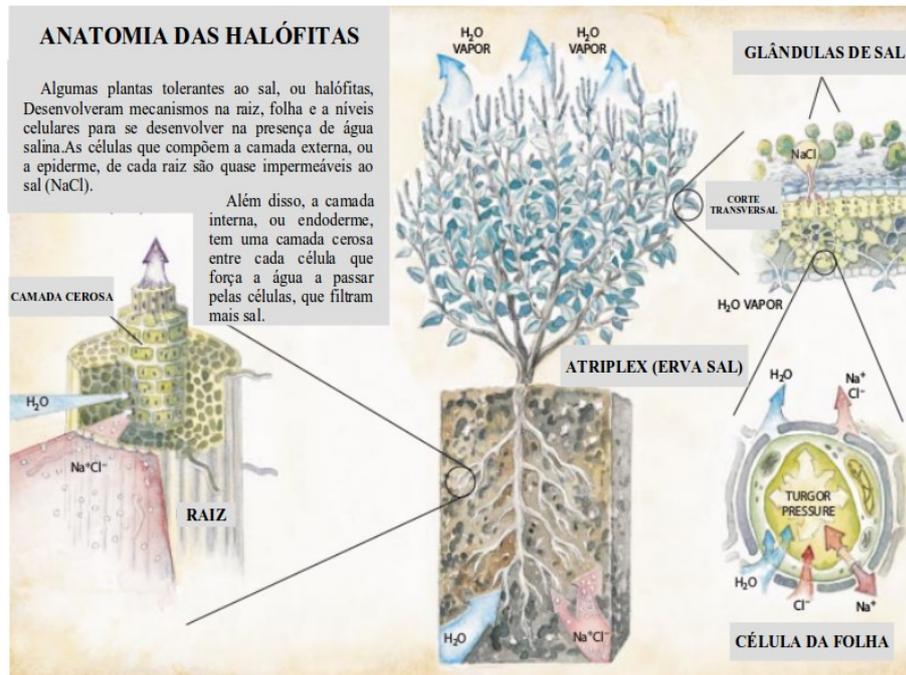


Figura 1. Mecanismos anatômicos de tolerância aos sais nas plantas halófitas do gênero *Atriplex* (GLENN, BROWN & O'LEARY, 1998).

A tolerância ao sal em plantas pode ser conseguida evitando a concentração elevada de íons, isto é, ou germinação retardada até a maturidade em condições favoráveis; a exclusão do sal da raiz ou o crescimento das raízes preferencialmente em áreas não salinas; compartimentação de sais no vacúolo ou células especializadas, tais como glândulas de sal e pelos de sal, ou armazenamento nas folhas mais velhas; e a discriminação seletiva de Na^+ contra o K^+ ou Ca^{2+} (MUNNS, 2002, 2005; FLOWERS, 2004; ASHRAF et al., 2010).

2.9 - EFEITO DA SALINIDADE NAS TROCAS GASOSAS, PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS E NO CRESCIMENTO DAS PLANTAS

2.9.1 - Trocas gasosas

Os fatores ambientais relacionados a disponibilidade hídrica, quantidade de sais na solução do solo, elevadas temperaturas e a concentração de CO_2 atmosférico, interferem diretamente nas relações das trocas gasosas das plantas, de forma que a intensidade desses fatores externos condicionam em uma maior ou menor condutância estomática, determinando a transpiração e assimilação de CO_2 pelos estômatos.

Os estômatos são estruturas porosas constituídas por um grupo de células e estão localizadas em sua maior quantidade na superfície adaxial das folhas e tem a função de regular as trocas gasosas através da abertura e/ou fechamento, sendo que o grau de abertura estomática depende diretamente do status hídrico da planta, onde determinará num maior e/ou menor fluxo de gases (LARCHER, 2006; TAIZ & ZEIGER, 2013).

A maioria das plantas cultivadas em condições de elevada salinidade estão sujeitas à estresses devido aos sais em excesso (íons de Na^+ e Cl^-) presentes na solução do solo, resultando em estresse osmótico, toxicidade de íons, deficiências minerais decorrentes de distúrbios em relação ao balanço iônico de K^+ e Ca^{2+} em relação ao Na^+ , perturbações fisiológicas e bioquímicas, modificações anatômicas, e/ou, combinações desses fatores que em síntese afetam as trocas gasosas das plantas (MUNNS, 2002; NETONDO et al., 2004).

Processos fotoquímicos e bioquímicos da fotossíntese das plantas sensíveis são afetados pelos sais, sendo os íons Na^+ e Cl^- os mais prejudiciais, onde em excesso causa fechamento estomático e contribui no aumento da resistência do mesófilo à difusão de CO_2 , assim como, pode ocorrer danos na fotossíntese devido à fatores não estomáticos, como a diminuição da atividade da Rubisco, o comprometimento da síntese de proteínas e metabolismo de lipídios, destruição da fina estrutura dos cloroplastos e danos ao sistema fotossintético das plantas (MUNNS & TESTER, 2008; BENZARTI et al., 2012).

2.9.2 - Pigmentos fotossintéticos

As clorofilas são pigmentos naturais de coloração verde encontrados nos cloroplastos das folhas e em outros tecidos vegetais, e são responsáveis pela conversão da radiação luminosa em energia sob a forma de ATP e NADPH nos cloroplastos (STREIT, 2005; LARCHER, 2006; TAIZ & ZEIGER, 2013).

As clorofilas *Chl a* é utilizada para realizar o processo fotoquímico, enquanto a *Chl b* e os carotenóides (β -caroteno e xantofilas), denominados “pigmentos acessórios”, desempenham o papel na absorção de luz e na transferência de energia radiante para os centros de reação, e atuam como protetores e reguladores (STREIT, 2005; PALLARDY, 2007).

As clorofilas são sintetizadas e/ou destruídas por fatores internos e externos das plantas, podendo afetar a fotossíntese (TAIZ & ZEIGER, 2013). Os fatores externos estão relacionados com o ambiente onde as plantas se desenvolvem, sendo o estresse salino e o

hídrico os mais prejudiciais ao processo fotoquímico e ao bioquímico, que ocorrem nas membranas dos tilacóides, e no estroma do cloroplasto, nessa ordem.

A degradação das clorofilas é iniciada por fatores externos como o estresse salino, hídrico, térmico, luminosidade excessiva, aumentos de etileno, pH dos tecidos muito ácido (3,0) (HEATON & MARANGONI, 1996; STREIT, 2005). De acordo com Netondo et al. (2004) a salinidade afeta a assimilação de CO₂ em decorrência da redução da concentração de clorofilas nas folhas de plantas e da diminuição das concentrações de íons essenciais como Ca²⁺ e Mg²⁺ nas células do mesófilo.

2.9.3 - Crescimento das plantas

O desenvolvimento das plantas desde o processo de emergência até o final do ciclo é marcado por interferências externas ambientais que dependendo da intensidade e da suscetibilidade das plantas, esses fatores podem comprometer o crescimento e o rendimento.

A salinidade limita o crescimento das plantas em decorrência de três fases (MUNNS, 2005; ASHRAF et al., 2010): i) efeito osmótico, que gera estresse hídrico devido a redução da capacidade das raízes absorverem água; ii) toxicidade iônica e de absorção, principalmente dos íons Na⁺ e Cl⁻, que podem entrar no fluxo da transpiração e causar danos nas células; e iii) translocação de nutrientes, podendo ocorrer desbalanços nutricionais pela baixa absorção de nutrientes pelas raízes, comprometendo no transporte para a parte aérea da planta, como exemplo, o desbalanço iônico de K⁺ e Ca²⁺.

Ou seja, a redução do crescimento das plantas sensíveis sob salinidade pode ser compreendida por dois instantes: o primeiro é causado pelo estresse hídrico decorrente do efeito osmótico, onde o sal está presente na solução do solo e fora das raízes; e no segundo instante, a planta é incapaz de evitar que os íons de sais atinjam níveis tóxicos nas folhas em transpiração (MUNNS, 2005).

As plantas sob salinidade apresentam uma redução da expansão da área foliar, da taxa de crescimento da parte aérea e do sistema radicular, e aumento da abscisão de folhas mais velhas por necrose e seca (PARVAIZ & SATYAWATI, 2008), menor quantidade de ramos e folhas, ciclo de vida precoce com produção de sementes, floração e frutificação (quando ocorre), sendo essas algumas das mudanças mais comuns e visíveis do efeito salino nas plantas.

2.10 - EFEITO DO ESTRESSE HÍDRICO NAS TROCAS GASOSAS DAS PLANTAS

A água é um fator fundamental para a crescimento e o rendimento dos vegetais, quando a disponibilidade hídrica é limitada, ocorre uma redução do potencial hídrico foliar e da condutância estomática para amenizar a perda de turgescência das células das folhas, ocorrendo também a redução da fixação de carbono atmosférico, principal substrato para a fotossíntese.

Quando as plantas são submetidas a estresses de diversas naturezas, tais como o hídrico e o salino, tendem a reduzir a transpiração em resposta a menor abertura estomática, ajustando seu metabolismo para obter a máxima eficiência do uso de água possível, levando em consideração que tanto a desidratação passiva como a acúmulo de sal contribuem para redução do potencial da água nas folhas das plantas (SLAMA et al., 2008).

As plantas sob limitação hídrica podem expressar uma redução na área foliar, abscisão foliar, aprofundamento das raízes, redução da abertura estomática e limitação da fotossíntese nos cloroplastos (TAIZ & ZEIGER, 2006).

O estudo das respostas das plantas ao estresse salino e hídrico é muito importante para a melhorias nas técnicas de cultivo que proporcionem maiores rendimentos em locais que apresentam escassez hídrica como regiões áridas e semiáridas (LAWLOR & TEZARA, 2009; BERTOLLI, MAZZAFERA & SOUZA, 2013).

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - ÁREA DE ESTUDO E CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

O experimento foi conduzido na Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UAST/UFRPE), município de Serra Talhada-PE, no período de 12 de outubro de 2016 à 22 de março de 2017, totalizando 163 dias de avaliação. A condução experimental procedeu-se em ambiente protegido do tipo capela, uma estrutura construída com material de ferro, com pé direito de 5,80 m, 6,0 m de comprimento e 4,0 m de largura, aberta lateralmente e coberta com telhas de polipropileno, material transparente para permitir a passagem da luz solar e obter o efeito “guarda-chuva”, oferecendo condições para crescimento e desenvolvimento das plantas de Erva-sal.

O clima local segundo Köpen é do tipo Bsw^h’ (quente e seco); precipitação média anual de 632 mm, com período mais chuvoso nos meses de janeiro à abril com cerca de 65% das chuvas anuais, enquanto nos meses de novembro à janeiro ocorrem temperaturas superiores a 32°C (COSTA et al., 2015); temperatura média máxima mensal entre 23,6-27,7°C e mínimas de 18,4-21,6°C (SECTMA, 2006).

O período experimental foi caracterizado por temperatura média diária de 28,99±2,02 °C, com máxima de 34,47±2,20 °C e mínima de 19,87±1,98 °C. A umidade relativa do ar de 42,32±11,34%, com máxima e mínima de 78,63±11,31% e 17,93±10,67%, respectivamente; e uma precipitação total de 213,2 mm; os meses de outubro a novembro apresentaram maiores déficit com 0,2 e 6,6 mm, enquanto o mês de fevereiro o maior valor acumulado com 100,6 mm (INMET, 2017) (Figura 2). Os meses de outubro e novembro (60 dias) tiveram maiores Tar e baixas UR devido a precipitação muito baixa, um total de 6,8 mm. Enquanto que de dezembro a março (103 dias) a temperatura média do ar reduziu em virtude do aumento da umidade no ambiente, consequência da maior frequência e volume das chuvas, num total de 206,4 mm.

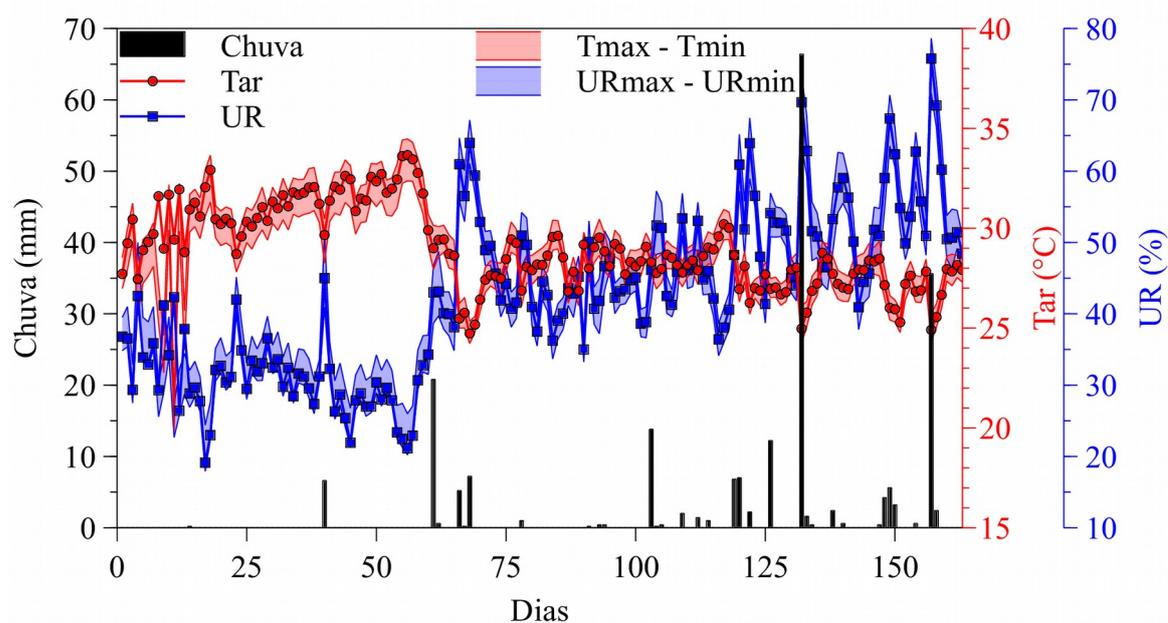


Figura 2. Valores médios diários da temperatura (Tar °C), umidade relativa do ar (UR%) e precipitação diária (mm) registradas no local durante o experimento, outubro a dezembro de 2016 (1-81 dias) e de janeiro a março de 2017 (82-163 dias) (INMET, 2017).

3.2 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DO SOLO UTILIZADO

Utilizou-se um Cambissolo Háplico (EMBRAPA, 2013), não salino (RICHARDS, 1954) e de classe textural franco arenosa (Tabela 4), coletado na superfície (0-20 cm). Esse material foi secado ao ar, destorroado, homogeneizado e passado em peneira de 4 mm, e depois acondicionado em vasos de polietileno de 30,5 cm de altura e 26 cm de diâmetro com capacidade para 20 kg de solo seco. Amostras de solo foram coletadas para caracterização e comparação dos atributos químicos com os resultados ao final do experimento, conforme a metodologia da EMBRAPA (2011). A determinação de sódio e potássio do extrato de saturação do solo foi realizada por fotometria de emissão de chamas.

Tabela 4. Caracterização física e química da amostra de Cambissolo Háplico utilizado no experimento.

Propriedade física do solo		
Areia grossa	g kg ⁻¹	384,09
Areia fina	g kg ⁻¹	320,8
Silte	g kg ⁻¹	181,2
Argila	g kg ⁻¹	113,9
Ds ¹	g cm ⁻³	1,56
Dp ²	g cm ⁻³	2,67
Pt ³	%	41
Complexo sortivo		
pH	-	6,6
Ca ²⁺	cmol _c kg ⁻¹	4,41
Mg ²⁺	cmol _c kg ⁻¹	0,88
K ⁺	cmol _c kg ⁻¹	0,54
Na ⁺	cmol _c kg ⁻¹	0,39
CTC	cmol _c kg ⁻¹	6,22
PST	%	6,27
P	mg kg ⁻¹	62,04
COT ⁴	dag kg ⁻¹	0,75
Extrato de saturação		
pH	-	7,4
CEes	dS m ⁻¹	0,47
Ca ²⁺	mmol _c L ⁻¹	9,73
Mg ²⁺	mmol _c L ⁻¹	3,72
K ⁺	mmol _c L ⁻¹	5,02
Na ⁺	mmol _c L ⁻¹	4,53
Cl ⁻	mmol _c L ⁻¹	15,0
SO ₄ ²⁻	mmol _c L ⁻¹	1,56
CO ₃ ²⁻	mmol _c L ⁻¹	0,00
HCO ₃ ⁻	mmol _c L ⁻¹	21,40
RAS	(mmol _c L ⁻¹) ^{0,5}	1,75

¹Densidade do solo; ²Densidade das partículas; ³Porosidade total; ⁴Carbono orgânico total.

3.3 - OBTENÇÃO DAS MUDAS DE ERVA-SAL (*Atriplex nummularia* L.)

Foram utilizadas mudas de Erva-sal com idade de 180 dias, uma planta por vaso, propagadas via estaquia em substrato de composto orgânico e areia (2:1). Para a confecção das estacas utilizaram-se ramos herbáceos apicais com tamanho médio entre 10-15 cm,

coletadas de uma única planta matriz para diminuir a variabilidade genética, e utilizou-se ácido indolbutírico (AIB) em talco como indutor de enraizamento.

3.4 - COMPOSIÇÃO DOS TRATAMENTOS E CONDUÇÃO EXPERIMENTAL

Determinou-se a umidade na capacidade de campo do solo de acordo com Casaroli & Van Lier (2008) (Figura 3) e equação 1.

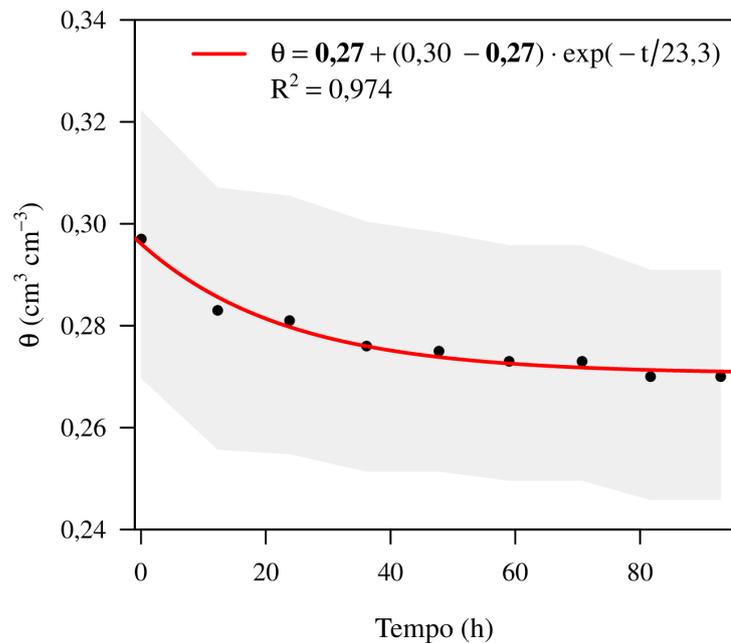


Figura 3. Determinação da umidade (θ) ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) na capacidade de campo do solo (CC) do Cambissolo Háplico, utilizado no experimento, por um período de observação de 93 horas.

$$\theta = \theta_f + (\theta_0 - \theta_f) \cdot e^{-\frac{t}{t_c}} \quad (1)$$

De acordo com Casaroli & Van Lier (2008):

θ_f = teor de água ao qual a curva tende ao infinito quando t tende ao infinito;

θ_0 = teor de água inicial ($t = 0$);

t = tempo;

t_c = o intervalo de tempo em que o teor de água diminuído de θ_0 reduz de um valor inicial para $1/e$ ($\approx 0,368$) vezes aquele valor.

Avaliaram-se dois teores de umidade no solo (θ), correspondendo a 50 e 100% da capacidade de campo (CC), as quais as plantas de Erva-sal foram mantidas durante todo o tempo de estudo (Tabela 5).

Tabela 5. Umidades de solo (θ) ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) baseadas na capacidade de campo (CC) do solo, correspondendo as suas respectivas lâminas (mm) e volumes de água (L/vaso) na irrigação das plantas de Erva-sal (*Atriplex nummularia* L.) por um período de 163 dias de avaliação.

Umidade (%CC)	θ ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	Lâmina (mm)	Volume (L/vaso)
50	0,135	33	1,75
100	0,270	66	3,50

Os tratamentos foram elaborados por meio da diluição de rejeito salino com água de boa qualidade, cujas características químicas da água de irrigação são apresentadas na Tabela 6. Os teores de sódio e potássio da água de irrigação foram determinados por fotometria de emissão de chamas.

Tabela 6. Caracterização química da água de irrigação utilizada no cultivo de Erva-sal (*Atriplex nummularia* L.) em vasos durante 163 dias.

Rejeito salino (%)	CE dS m^{-1}	pH	Na ⁺ —mmol/L—	K ⁺	Risco de salinização ¹
0	0,39	7,83	58,8	88,4	Nenhum
25	1,54	7,47	166,4	162,4	Moderado
50	2,15	7,38	249,0	225,6	Moderado
75	2,79	7,36	327,0	324,2	Moderado
100	3,63	7,33	388,6	401,6	Severo

¹Risco de salinização com base em Ayers & Westcot (1991)

As águas oriundas da diluição com o rejeito salino são classificadas em função de um grau de restrição que vai do uso moderado ao severo, enquanto a água de rejeito puro possui elevada restrição de uso para a irrigação, devido a salinidade ser muito alta (AYERS & WESTCOT, 1991). A água de boa qualidade não apresenta nenhuma restrição de uso para

irrigação. A determinação dos teores de Na^+ e K^+ da água de irrigação foi realizada por fotometria de emissão de chamas.

Inicialmente, para o estabelecimento das mudas, irrigou-se com água de boa qualidade e, após doze dias do transplântio, iniciou-se a irrigação com as águas salinas, efetuando uma irrigação semanal, sem adição de água complementar nos intervalos das irrigações. Dois vasos referência, com solo apenas, foram mantidos a 50 e 100% da capacidade de campo, ambos irrigados no mesmo dia e horário que as plantas de Erva-sal. Antes de cada irrigação, realizou-se a pesagem dos dois vasos referência para determinar o conteúdo residual de água do solo e a reposição do volume restante para atingir as capacidades de campo de 50 e 100% dos vasos com planta.

3.5 - VARIÁVEIS AVALIADAS NAS PLANTAS DE ERVA-SAL (*Atriplex nummularia* L.)

3.5.1 - Trocas gasosas

As trocas gasosas foram mensuradas semanalmente e por um período de 86 dias, onde determinou-se a taxa fotossintética líquida (A) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), a condutância estomática (g_s) ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), a concentração intracelular de CO_2 (C_i) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$), a transpiração (T) ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), a eficiência do uso da água (EUA) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}/\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e a eficiência instantânea de carboxilação (EiC) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}/\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$) em plantas.

A eficiência do uso da água (EUA) foi estimada pela relação da taxa fotossintética líquida (A)/transpiração (T), e a eficiência instantânea de carboxilação pela proporção da taxa fotossintética líquida (A)/concentração intracelular de CO_2 (C_i).

As leituras foram realizadas pelo horário da manhã (9:00–12:00 h), em folhas do terço médio das plantas totalmente expandidas e sem indícios de danos aparentes. Essas medidas foram realizadas em sistema aberto com um analisador de gases a infravermelho (IRGA), modelo Licor Li 6400 XT, sob luz e concentração de CO_2 ambiente (380 ppm), fluxo de $300 \mu\text{mol s}^{-1}$ e uma radiação fotossinteticamente ativa (PAR) de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 4A e B).

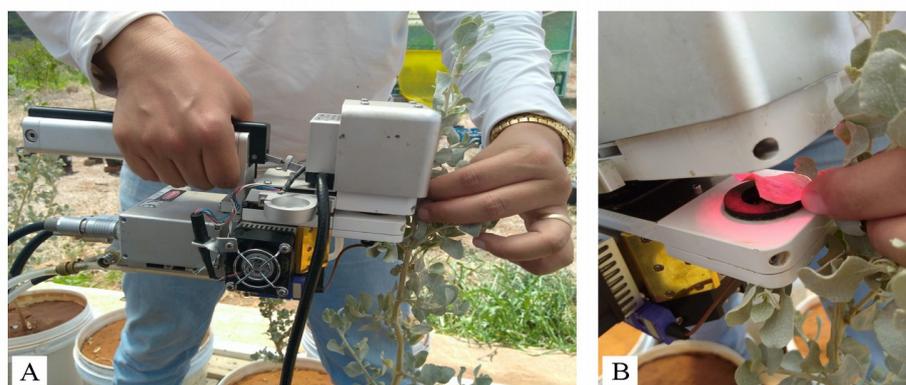


Figura 4. Determinação das trocas gasosas de plantas de Erva-sal (*Atriplex nummularia* L.) com o analisador de gases infravermelho (IRGA), modelo Licor Li 6400 XT (A) e detalhe da pinça (B).

As trocas gasosas das plantas foram mensuradas por um período de 86 dias em razão da estabilização das variáveis fotossintéticas ter ocorrido até esse momento. Assim, a irrigação com os tratamentos foi mantida e continuou-se a avaliar o crescimento das plantas, e somente ao final do experimento determinou-se o potencial hídrico foliar (Ψ_h), teor de clorofilas e a biomassa das plantas.

3.5.2 - Biometria das plantas

Mensalmente, realizaram-se medições de comprimento da parte aérea e do diâmetro do caule das plantas de Erva-sal (Figura 5A e B). Ao final do experimento (163 dias), determinou-se a taxa de crescimento da parte aérea (T_c) (cm dia^{-1}) no tempo, e o incremento final da parte aérea (IFA) (cm) e do diâmetro do caule (IFD) (mm) em relação aos dados biométricos iniciais das plantas de Erva-sal.



Figura 5. Determinação do comprimento da parte aérea (cm) (A) e do diâmetro do caule (mm) (B) das plantas de Erva-sal (*Atriplex nummularia* L.).

3.5.3 - Potencial hídrico foliar (Ψ_h)

Aos 163 dias determinou-se o potencial hídrico foliar (Ψ_h) no horário da manhã (5:00-6:00 h) de todas as plantas de Erva-sal (40 plantas). Utilizou-se o terceiro ramo contando a partir do ápice contendo folhas completamente expandidas, as medidas de Ψ_h foram realizadas com o auxílio da câmara de Scholander (Modelo 3005F01), com capacidade de pressão de 100 bar (Figura 6).



Figura 6. Determinação do potencial hídrico foliar (Ψ_h) das plantas de Erva-sal (*Atriplex nummularia* L.) com auxílio da câmara de Scholander.

3.5.4 - Teor de clorofilas

Aos 163 dias determinaram-se os pigmentos fotossintéticos, as clorofilas (*Chl a*, *Chl b* e *Chl total*) das folhas de Erva-sal. Coletaram-se folhas inteiras frescas de todas as plantas de Erva-sal (40 plantas), totalmente expandidas e sem indícios de danos aparentes, em seguida foram armazenadas em sacos plásticos e adicionados nitrogênio líquido para manter a conservação das amostras, e acondicionadas em caixa térmica com gelo e ao abrigo da luz. Em seguida, transportaram-se as amostras até o laboratório onde foram mantidas em temperaturas de -80°C. Posteriormente, realizou-se a pesagem das amostras, aproximados 138 mg de massa fresca foliar (MF planta⁻¹) em balança de precisão e acondicionadas em tubos de ensaio vedados contendo 5 mL de acetona 80% (ARNON, 1949), sendo, em seguida, colocados em ambiente protegido da luz sob temperatura de 4°C por um período de 24 horas para a extração dos pigmentos.

A determinação das concentrações de clorofilas foi realizada com o auxílio de espectrofotômetro (biochrom) nas absorvâncias de 645, 652 e 663 nm (Figura 7).

As concentrações de pigmentos finais da clorofila foram calculadas de acordo com Whitham et al. (1971), levando em consideração as medições do espectrofotômetro, o peso das amostras e o volume de acetona utilizado, conforme apresentado nas equações 1, 2 e 3.

$$Chl\ a = \frac{(12,7 \cdot A_{663} - 2,69 \cdot A_{645}) \cdot V}{1000\ MF} \quad (1)$$

$$Chl\ b = \frac{(22,9 \cdot A_{645} - 4,68 \cdot A_{663}) \cdot V}{1000\ MF} \quad (2)$$

$$Chl\ total = \frac{A_{652}}{3,45 \cdot MF} \quad (3)$$

onde,

Chl a = clorofila a (mg/g);

Chl b = clorofila b (mg/g);

Chl total = clorofila total (mg/g);

A = absorvância no comprimento de onda indicado;

V = volume final do extrato da clorofila contendo acetona;

MF = massa fresca em gramas das folhas das plantas.



Figura 7. Determinação do teor de clorofilas (*Chl a*, *Chl b* e *Chl total*), realizada com o auxílio de espectrofotômetro (biochrom) nas absorvâncias de 645, 652 e 663 nm.

3.5.5 - Biomassa das plantas

Aos 163 dias procedeu-se com a coleta das plantas de Erva-sal, separando-se por folhas, caules e raízes e, em seguida, foram acondicionadas em sacos de papel kraft e colocadas em estufa com circulação de ar quente a 70°C durante 72 horas, sendo posteriormente pesadas para determinação da massa seca.

3.5.6 - Análise química do solo

Ao final do estudo (163 dias) determinou-se os teores de Na⁺ e K⁺, a condutividade elétrica (CEes) e o pH do extrato da pasta de saturação do solo (EMBRAPA, 2011). A determinação dos teores de Na⁺ e K⁺ foi realizada por fotometria de emissão de chamas.

3.6 - DELINEAMENTO E ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os tratamentos foram dispostos em delineamento experimental de blocos ao acaso, em esquema fatorial 2x5, sendo dois níveis de umidade de solo (50 e 100% CC) x cinco níveis de condutividade elétrica (CE) da água de irrigação (0,39; 1,54; 2,15; 2,79 e 3,63 dS m⁻¹), com quatro repetições cada, perfazendo um total de 10 tratamentos.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo Teste F ($p < 0,05$) e ajustadas as funções de regressão. Quando os dados não apresentaram normalidade, aplicou-se o Teste de Box-Cox (1964). Para as análises, utilizou-se o programa estatístico R versão 3.0.1, e o pacote ExpDes.pt (R CORE TEAM, 2017).

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - EFEITO DA SALINIDADE E DA UMIDADE DO SOLO NAS TROCAS GASOSAS

A salinidade acumulada no solo até o 17º dia de irrigação das plantas de Erva-sal (*Atriplex nummularia* L.) com água de rejeito salino não interferiu no metabolismo das plantas, encontrando-se os maiores valores da taxa fotossintética líquida (A), da transpiração (T) e da concentração intracelular de CO_2 (C_i) nesta fase. A partir deste período, o efeito da baixa disponibilidade hídrica associada a salinidade da solução do solo mostrou-se mais intensa, resultando em menores valores médios das trocas gasosas (A , T e C_i) (Figura 8A, B e C).

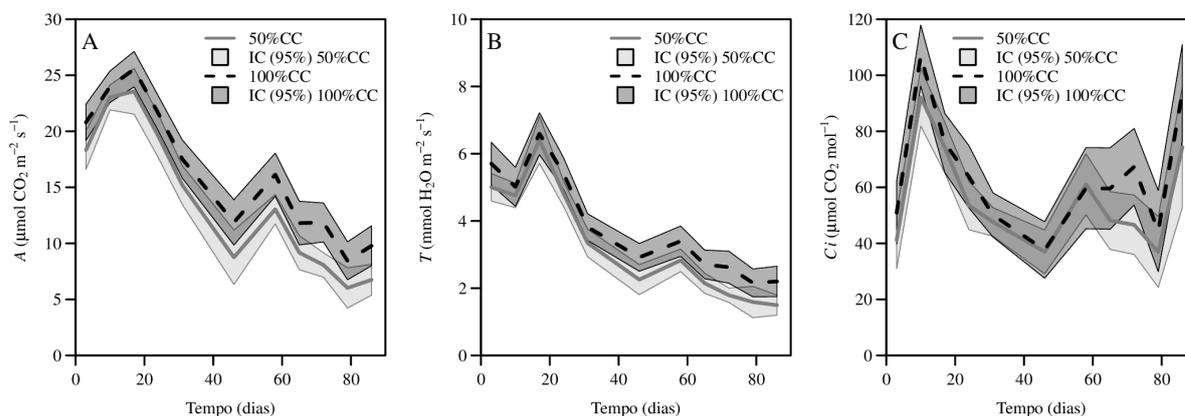


Figura 8. Taxa fotossintética líquida (A) (A), transpiração (T) (B) e concentração intracelular de CO_2 (C_i) de plantas de Erva-sal (*Atriplex nummularia* L.) submetidas a irrigação com águas com CE iguais a 0,39; 1,54; 2,15; 2,79; e 3,63 dS m^{-1} e com as umidades dos solos mantidas a 50 e 100% da capacidade de campo (CC) por um período de 86 dias de avaliação.

As trocas gasosas das plantas de Erva-sal ocorreram de forma distinta em dois momentos (Figura 8): i) Após 17 dias de indução salina do solo, iniciou-se um decréscimo das trocas gasosas que perdurou até o 46º dia, como consequência do estresse osmótico; ii) Do 46º ao 86º dia de avaliação, as trocas gasosas atingem um regime permanente, ou seja, uma estabilização no tempo, em resposta da adaptação das plantas ao estresse salino imposto.

A estabilização das variáveis fotossintéticas foi atingido aos 46 dias, evidenciando o ajustamento osmótico como parte do processo de tolerância das plantas desse gênero aos sais até o 86º dia. De acordo com Glenn et al. (1999) uma das características das plantas tolerantes a sais é a capacidade de acumular NaCl para o ajustamento osmótico, pela compartimentação dos sais. Segundo estes autores, esse é um processo comum em plantas halófitas e se dá pela compartimentação do sal absorvido, ocorrendo o acúmulo dos íons nos vacúolos das células foliares, enquanto mantém a concentração dos sais em níveis não tóxicos no citoplasma (10-150 mM), de forma que todo esse procedimento tem o objetivo de evitar a interferência dos sais nos mecanismos enzimáticos e metabólitos, e manter as proteínas das células hidratadas (DIAS & BLANCO, 2010).

As enzimas de plantas halófitas são tão sensíveis à presença de NaCl quanto as enzimas das plantas glicófitas, o que mostra que a tolerância das halófitas a sais não é uma consequência de metabolismo de resistência aos sais, mas decorrente de outros mecanismos, tais como a compartimentação dos sais, transporte dos íons para a parte aérea onde ocorre a cristalização de sais nas glândulas das folhas e a exclusão (TAIZ & ZEIGER, 2006). Entretanto, há diferenças entre os sistemas das enzimas das plantas halófitas e das glicófitas, sendo encontrados valores ótimos de K^+ e Mg^{2+} nos polissomos das folhas das halófitas, e uma maior eficiência na substituição do Na^+ por K^+ em relação às glicófitas (FLOWERS & DALMOND, 1993; GLENN et al., 1999).

A partir dos 80 dias de estresse salino observou-se um aumento dos valores médios C_i nas folhas das plantas (Figura 8C), esse comportamento mostra que no início do estresse salino as plantas de Erva-sal sofreram uma queda do C_i intracelular com o ajuste nas taxas de transpiração e condutância estomática, mas, ao final das avaliações, restabeleceu-se sua eficiência na absorção do carbono atmosférico, com valores médios semelhantes aos encontrados aos 17 dias.

As plantas de Erva-sal mantidas à umidade do solo de 100% da capacidade de campo (100% CC) apresentaram maiores valores médios das trocas gasosas (taxa fotossintética líquida (A), transpiração (T) e concentração intracelular de CO_2 (C_i) quando comparadas àquelas mantidas a 50% da capacidade de campo (50% CC) (Figuras 8A, B e C). Fica claro que o solo sob maior conteúdo de água no solo atenua o efeito do estresse osmótico em plantas de Erva-sal, mesmo quando irrigadas com água salina ($CE \leq 3,63 \text{ dS m}^{-1}$).

A correlação entre a transpiração (T) e a taxa fotossintética líquida (A) foi positiva e significativa para os dois níveis de umidades do solo (50 e 100% CC) e para as águas salinas, aos 17, 46 e 79 dias de avaliação (Figura 9).

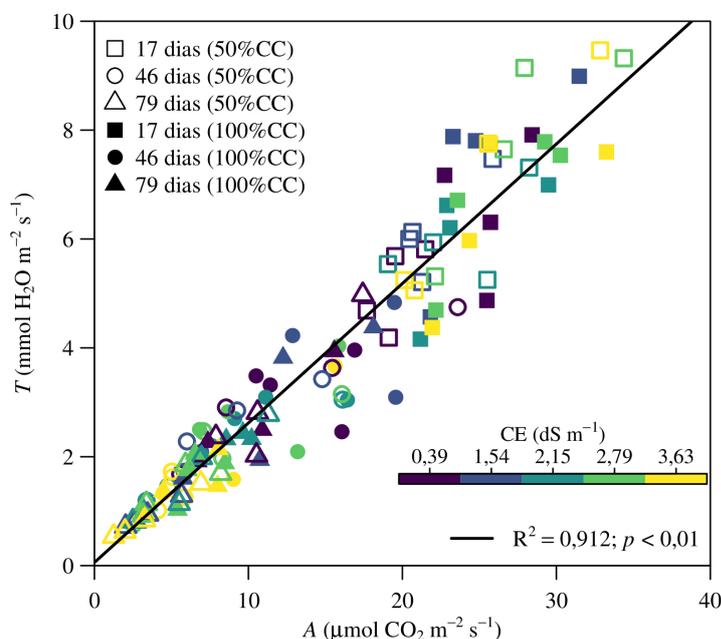


Figura 9. Relação entre a taxa fotossintética líquida (A) e a transpiração (T) de plantas de Erva-sal (*Atriplex nummularia* L.) submetidas a irrigação com águas com CE iguais a 0,39; 1,54; 2,15; 2,79; e 3,63 dS m^{-1} e com as umidades dos solos mantidas a 50 e 100% da capacidade de campo (CC), por um período de 86 dias de avaliação.

Com o passar do tempo, conforme a irrigação semanal com água salina, pôde-se observar um decréscimo na T e uma conseqüente redução linear da A . Este comportamento foi bastante expressivo no sentido do menor ($0,39 \text{ dS m}^{-1}$) ao maior ($3,63 \text{ dS m}^{-1}$) nível salino (Figura 9), ou seja, com o acúmulo de sais na solução do solo ao longo do tempo, a condutância estomática e a transpiração foram reduzidas, mantendo as células das plantas mais túrgidas.

Segundo Glenn et al. (1999), as plantas halófitas podem aumentar a eficiência do uso da água em resposta aos sais, minimizando a quantidade de água que deve ser transpirada para cada unidade de crescimento. Oliveira et al. (2017) afirmam que a redução da transpiração é uma conseqüência da diminuição da condutância estomática, resultando em menor perda de água pela planta, que tem dificuldade em absorvê-la devido à redução do potencial hídrico do

solo. Contudo, esse fenômeno fisiológico pode ser interpretado como um mecanismo adaptativo de tolerância ao excesso de sais, em vez de ser meramente uma consequência negativa da influência desses íons (MEGDICHE et al., 2008). A regulação da taxa de transpiração tem um papel importante no controle da acumulação de íons na parte aérea das plantas, devido o transporte de sais ocorrer através do fluxo de transpiração (BENZARTI et al., 2012).

Do 46º ao 79º dia, a dispersão média dos valores que correlacionam T e A foi menor, enfatizando que, nesse período, as plantas irrigadas com água de maiores valores de CE tiveram menores taxas de transpiração em relação às plantas irrigadas com água com menor CE (0,39 dS m⁻¹). Ao mesmo tempo, ocorreu uma estabilização das trocas gasosas (Figura 9). A redução da transpiração de plantas de *Atriplex nummularia* sob estresse salino também foi reportada por Araújo et al. (2006) e Geissler et al. (2015).

Aos 17 dias de irrigação, houve um estímulo na taxa fotossintética líquida (A) e na condutância estomática (g_s) das plantas quando submetidas a umidade de 50% CC para as águas com maior CE (Figura 10A e D). Com o passar do tempo, entre os 46 e 79 dias de irrigação, os valores de A e g_s diminuíram com o aumento da CE para as duas condições de umidade do solo (50 e 100% CC) (Figuras 10B, C, E e F).

As águas de irrigação com CE de 2,15 à 3,63 dS m⁻¹ provocaram a redução da abertura estomática da Erva-sal, diminuindo a condutância estomática (g_s) (Figuras 10E e F) e a taxa fotossintética líquida (A) das plantas (Figuras 10B e C), devido esses valores de CE serem mais altos, classificados com salinidade da água de moderada à severa (AYERS & WESTCOT, 1991), contendo mais sais do que as águas com CE $\leq 1,54$ dS m⁻¹.

Resultados que podem ser compreendidos como uma expressão do mecanismo de defesa das plantas halófitas ao estresse salino, ao mesmo tempo que limita a fixação e a disponibilidade de CO₂ nos cloroplastos. Geissler et al. (2015), estudando a *Atriplex nummularia* em ambiente controlado, observaram uma redução significativa das variáveis fotossintéticas, com o aumento dos níveis de NaCl na água de irrigação de 300 para 750 mmol_c L⁻¹, e ambas concentrações diferindo do controle.

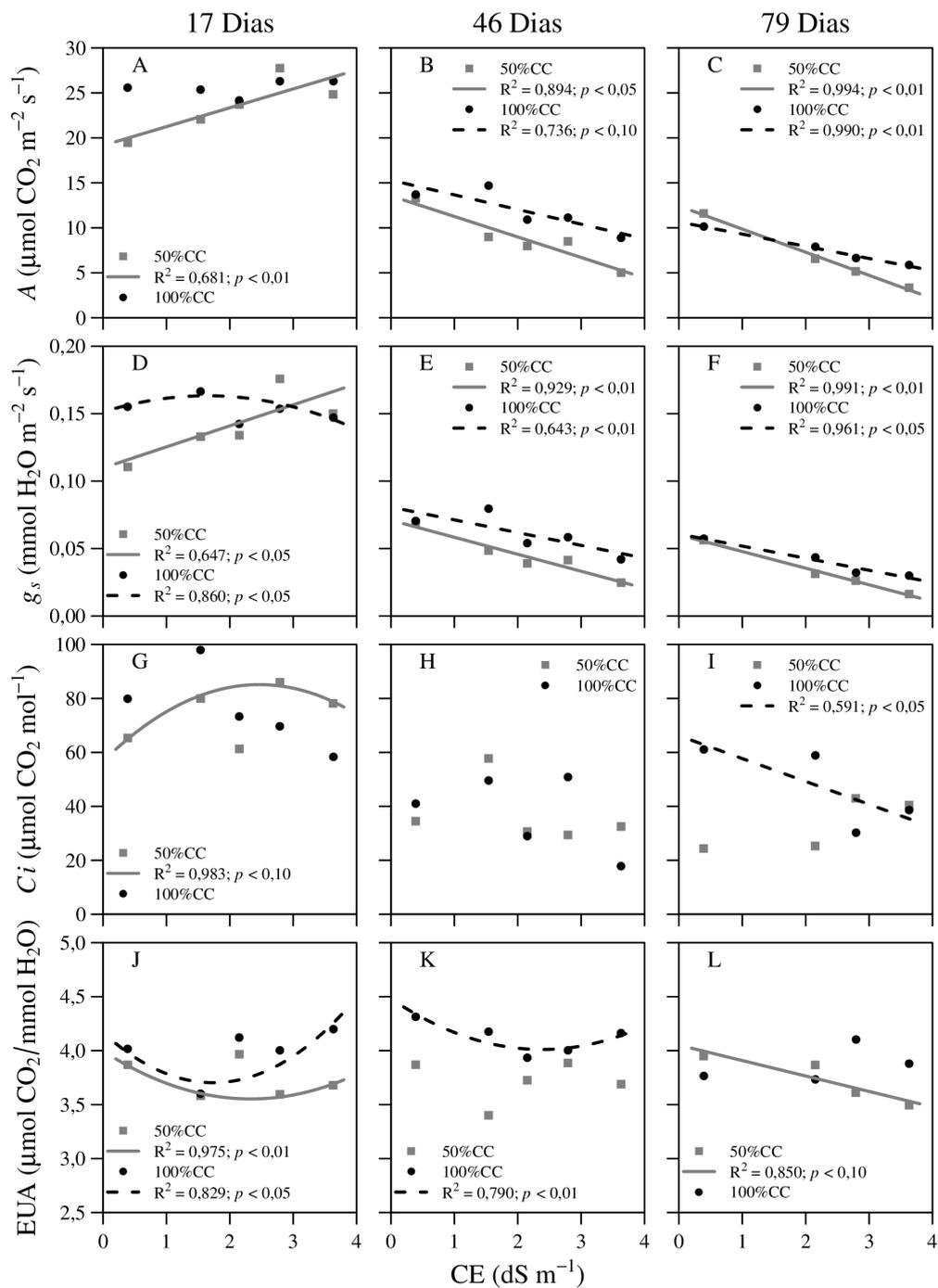


Figura 10. Taxa fotossintética líquida (A) (A, B e C), condutância estomática (g_s) (D, E e F), concentração intracelular de CO_2 (C_i) (G, H e I) e eficiência do uso da água (EUA) (J, K e L) de plantas de Erva-sal (*Atriplex nummularia* L.), submetidas a irrigação com águas com CE iguais a 0,39; 1,54; 2,15; 2,79 e 3,63 dS m^{-1} e com as umidades dos solos mantidas a 50 e 100% da capacidade de campo (CC), aos 17, 46 e 79 dias de avaliação após a primeira irrigação.

A redução da g_s limita a captação e a difusão de CO_2 para os locais de carboxilação, refletindo na diminuição da concentração intracelular de CO_2 , conduzindo assim para a redução da taxa fotossintética líquida (GEISSLER et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2017), conforme observado neste estudo. Comportamento semelhante foi verificado em espécies pertencentes ao mesmo gênero, plantas de *Atriplex portulacoides* submetidas a níveis crescentes de NaCl por um período de 40 dias, expressaram estímulo nas variáveis fotossintéticas quando irrigadas com uma concentração de 200 mM de NaCl, enquanto concentrações superiores (400, 800 e 1000 mM de NaCl) causaram diminuição na taxa fotossintética líquida, condutância estomática e na transpiração (BENZARTI et al., 2012). Enquanto Panta et al. (2016) verificaram para a espécie *Atriplex lentiformis* uma elevada tolerância à imposição dos sais via irrigação com águas entre 0-16 dS m^{-1} , em diferentes tipos de solos e níveis de irrigação, não afetando a condutância estomática das plantas.

A concentração intracelular de CO_2 (C_i) (Figura 10G, H e I) e a eficiência do uso da água (EUA) (Figura 10J, K e L) apresentaram maiores variações nos valores médios sob o efeito dos tratamentos ao longo do tempo.

Aos 17 dias de irrigação, observou-se que nos solos com umidade mantida a 50% CC, houve um comportamento crescente nos valores de C_i das plantas irrigadas com águas de CE de 1,54 à 2,79 dS m^{-1} , e posteriormente um decréscimo de C_i para as irrigações com CE 3,63 dS m^{-1} (Figura 10G). Aos 79 dias de irrigação, o C_i das plantas com umidade do solo a 100% CC expressa um declínio linear com o aumento da CE na água de irrigação (Figura 10I).

Considerando que a concentração intracelular de CO_2 no mesófilo foliar é dependente da regulação estomática, resultando na assimilação de CO_2 , pode-se concluir que o aumento do C_i conforme o aumento da CE para 50% CC (Figura 10G), no início da indução salina, foi devida a maior abertura estomática ocorrida nesse período (Figura 10D). No final das avaliações das trocas gasosas, aos 79 dias, a redução da abertura estomática foi observada nas plantas (Figura 10F) e contribuiu para a redução do C_i , observado para 100% CC (Figura 10I).

Sabe-se que a entrada do CO_2 ocorre através dos poros estomáticos, onde a partir dos espaços de ar o CO_2 se dissolve na água de paredes celulares úmidas e se difunde para a célula e o cloroplasto (TAIZ & ZEIGER, 2006). Assim, a medida que a redução da abertura estomática ocorre para evitar perdas excessivas de água, diminuindo a transpiração, a

concentração de CO_2 intracelular também tende a decrescer, levando em consideração que quando a planta fixa o CO_2 atmosférico também libera H_2O .

Aos 17 dias de indução salina, a *EUA* das plantas mantidas com a umidade do solo a 50% CC decresceu conforme aumento da CE da água de irrigação (Figura 10J), enquanto que para a umidade de 100% CC, o comportamento da *EUA* foi crescente nas maiores CE em relação a testemunha ($0,39 \text{ dS m}^{-1}$).

Aos 46 dias, as plantas de Erva-sal mantidas com a umidade do solo a 100% CC e sob irrigação com água de $0,39 \text{ dS m}^{-1}$ de CE, foram mais eficientes quanto ao uso de água (*EUA*) que os demais tratamentos ($\text{CE} > 1,54 \text{ dS m}^{-1}$), enquanto que para as plantas dos solos mantidos a 50% CC não houve diferença (Figura 10K).

A *EUA* das plantas de Erva-sal aos 79 dias teve um decréscimo linear conforme aumento da CE da água de irrigação para a umidade a 50% CC, contudo para a umidade a 100% CC não foi verificado efeito significativo entre os tratamentos (Figura 10L).

Dessa forma, pode-se concluir que a irrigação com água salina com maiores valores de CE causaram estresse osmótico nas plantas de Erva-sal ao longo do tempo devido ao acúmulo dos sais no solo, com a redução das trocas gasosas pelo ajuste da condutância estomática. No entanto, a eficiência instantânea de carboxilação não foi prejudicada por água de irrigação com $\text{CE} \leq 3,63 \text{ dS m}^{-1}$, logo, a eficiência do uso de água das plantas de Erva-sal reduziu sob maiores valores de CE da água de irrigação quando mantidas a umidade do solo 50% CC.

Plantas halófitas de metabolismo C4 tem a característica de aumentar a eficiência do uso de água em ambientes salinos e, para isso, reduzem a condutância estomática. Isto leva, também, a uma conseqüente diminuição nas taxas de transpiração e da fotossíntese líquida, mas não em proporção direta, resultando em um aumento da *EUA*, assim como ocorre a manutenção da eficiência de carboxilação instantânea (OSMOND et al., 1980; GLENN et al., 1999).

No início da manhã, quando as folhas das plantas de Erva-sal são submetidas a baixas temperaturas, seus estômatos estão abertos, possibilitando maiores taxas de g_s e A , e na medida que aumenta a temperatura do ar, com elevadas irradiâncias sob o tecido foliar a g_s é reduzida para a manutenção da turgidez foliar, só restabelecendo as altas taxas de g_s no período noturno (CUNHA, RUIZ & FREIRE, 2015). A Erva-sal possui metabolismo C4 mas sob estresse salino apresenta mudanças no metabolismo do carbono, assemelhando-se as

plantas CAM, metabolismo de carbono ácido das crassuláceas (CUNHA, RUIZ & FREIRE, 2015).

Sabe-se que as respostas estomáticas das plantas sob condições salinas são influenciadas pelo efeito osmótico dos sais fora das raízes e, quando associada à menor expansão foliar, interfere de maneira prejudicial na eficiência das trocas gasosas (MUNNS & TESTER, 2008; MELO et al., 2016), diminuindo assim a fotossíntese e a eficiência do uso de água das plantas, como observado neste trabalho.

Ao longo das avaliações, observou-se uma redução da área foliar das plantas de Erva-sal, especialmente para as plantas sob a umidade do solo a 50% CC. Essa modificação morfológica pode ter sido resultante do estresse hídrico, ou seja, o baixo conteúdo de água disponível no solo, e o turno de rega a cada 7 dias durante o período de avaliação (163 dias). Principalmente para as plantas submetidas à menor condição de umidade de solo (50% CC), em um pouco menos de 50% do volume de poros do solo, considerando que na medida que as plantas crescem demandam mais água.

4.2 - EFEITO DA UMIDADE DO SOLO NAS TROCAS GASOSAS

A partir do 46º dia, as plantas de Erva-sal mantidas com a umidade do solo a 100% CC apresentaram maiores valores médios para as variáveis fotossintéticas analisadas (taxa fotossintética líquida – A ; condutância estomática – g_s ; e transpiração – T) quando comparadas àquelas com a umidade mantidas a 50% CC, com exceção da concentração intracelular de CO_2 (C_i), que não diferiu entre as umidades de solo ao longo do tempo (Tabela 7).

Na comparação dessas variáveis (A , g_s e T) das plantas de Erva-sal sob os dois teores de umidade (50 e 100% CC) observou-se um aumento destas variáveis fotossintéticas na maior umidade em relação à menor umidade na ordem de 7,7; 26,2 e 29,9% para a taxa fotossintética líquida (A); de 7,8; 26,2 e 34,1% para a condutância estomática (g_s); e de 2,9; 22,6 e 26,4% para a transpiração (T) aos 17, 46 e 79 dias, respectivamente.

A eficiência do uso de água (EUA) manteve-se sempre maior para as plantas mantidas à maior umidade do solo (100% CC). Enquanto que a eficiência de carboxilação (EIC) esteve em maiores valores para a maior umidade do solo somente aos 46 dias.

Tabela 7. Avaliação das trocas gasosas em plantas de Erva-sal (*Atriplex nummularia* L.) submetidas a irrigação com águas com CE iguais a 0,39; 1,54; 2,15; 2,79 e 3,63 dS m⁻¹ e com as umidades dos solos mantidas a 50 e 100% da capacidade de campo (CC), aos 17, 46 e 79 dias de irrigação.

Umidade (%CC)	Dias	<i>A</i>	<i>g_s</i>	<i>C_i</i>	<i>T</i>	<i>EUA</i>	<i>EiC</i>
50	17	23,56a	0,141a	74,16a	6,41a	3,74b	0,35a**
100		25,54a	0,153a	75,82a	6,60a	3,99a	0,40a**
50	46	8,76b	0,045b	36,97a	2,26b	3,71b	0,28b*
100		11,87a	0,061a	37,65a	2,92a	4,12a	0,49a*
50	79	5,92b	0,029b	36,93a [#]	1,59b	3,67b	0,37a*
100		8,44a	0,044a	44,37a [#]	2,16a	3,92a	0,41a*

Médias seguidas por letras iguais nas colunas dentro de cada tempo, não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$); (**), (*) e (#) - transformação pelo teste Box Cox (y^{-1}), ($y^{-0,2}$) e ($y^{0,25}$), nessa ordem. Taxa fotossintética líquida (*A*) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (*g_s*) ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentração intracelular de CO₂ (*C_i*) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$), transpiração (*T*) ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), eficiência do uso da água (*EUA*) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}/\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e eficiência instantânea de carboxilação (*EiC*) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}/\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$).

Assim, a maior umidade do solo (100% CC) com água salina proporcionou maiores valores médios das trocas gasosas ao longo do tempo em relação à menor (50% CC), evidenciando que o fator hídrico influencia nos processos fotossintéticos das plantas de Erva-sal. Quando a disponibilidade de água é limitada ocorre uma menor formação de ATP e NADPH e, assim, menos CO₂ é fixado, reduzindo a eficiência do fotossistema II por depender de H₂O para geração de energia química (SILVA et al., 2015).

4.3 - EFEITO DA UMIDADE DO SOLO NOS PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS

A salinidade da água de irrigação não afetou os teores de clorofilas *a*, *b* e *total* de folhas de Erva-sal (Tabela 8), dessa forma a irrigação com água com diferentes proporções de rejeito salino com CE $\leq 3,63$ dS m⁻¹, não causam efeito tóxico que venha a interferir nos processos fotoquímicos da Erva-sal.

No entanto, observaram-se valores reduzidos das clorofilas (*Chl a* e *Chl total*) nas plantas mantidas com a umidade de 100% CC, enfatizando que a irrigação ao longo dos 163 dias com a água salina no cultivo de Erva-sal proporcionou uma redução dos pigmentos fotossintéticos das folhas (Tabela 8).

A clorofila *Chl a* é responsável pelo processo fotoquímico no cloroplasto e sua redução e/ou degradação compromete a eficiência fotoquímica das plantas. De acordo com Netondo et al. (2004), a salinidade pode afetar a concentração de clorofila nas folhas das plantas, através da inibição da síntese de clorofila ou de uma aceleração da sua degradação.

Assim, a degradação dos pigmentos fotossintéticos são iniciados por fatores externos, como o estresse hídrico, salino, térmico, luminosidade excessiva, aumentos de etileno, pH dos tecidos muito ácidos (3,0) (STREIT, 2005). A concentração de *Chl a* e *b* em plantas de *Atriplex nummularia* reduz quando submetidas à salinidades acima de 100 mmol_c L⁻¹ de NaCl (aproximados 12 dS m⁻¹) (ARAÚJO et al., 2006; GEISSLER et al., 2015).

Tabela 8. Teor de clorofilas (*Chl a*, *b* e *total*) de folhas de plantas de Erva-sal (*Atriplex nummularia* L.) submetidas a irrigação com águas com CE iguais a 0,39; 1,54; 2,15; 2,79 e 3,63 dS m⁻¹ e com as umidades dos solos mantidas a 50 e 100% da capacidade de campo (CC), por um período de 163 dias de avaliação.

Umidade (%CC)	<i>Chl a</i>	<i>Chl b</i>	<i>Chl total</i>
	mg g ⁻¹ MF		
50	0,33a	0,15a	0,51a
100	0,26b	0,12a	0,41b

Médias seguidas por letras iguais nas colunas, não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Tukey (p < 0,05). MF = massa fresca.

4.4 - EFEITO DA SALINIDADE E DA UMIDADE DO SOLO NO POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR (Ψ_h)

Após os 163 dias verificou-se uma correlação negativa do potencial hídrico foliar (Ψ_h) de plantas de Erva-sal com a condutividade elétrica do extrato da pasta de saturação do solo (CEes) (Figura 11). O potencial hídrico nas plantas diminui com o aumento da CE do extrato de saturação do solo nas duas condições de umidade (50 e 100% CC).

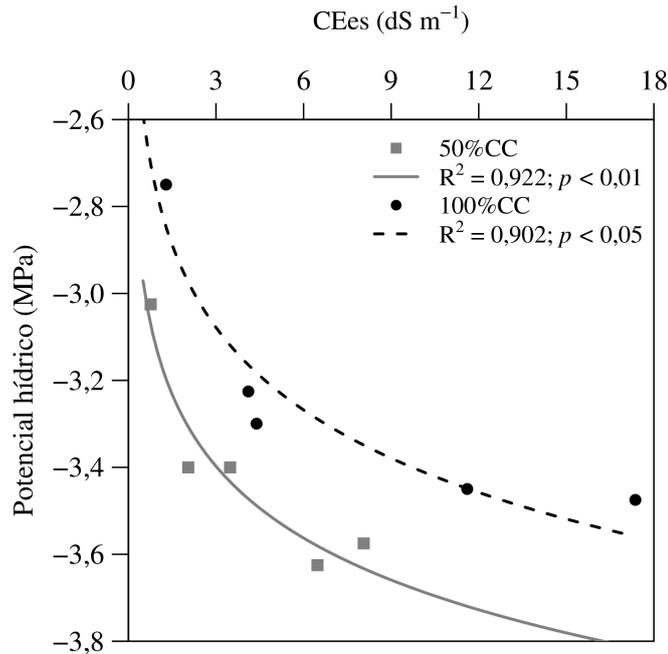


Figura 11. Relação entre valores médios do potencial hídrico foliar (Ψ_h) de plantas de Erva-sal (*Atriplex nummularia* L.) e da CEes (dS m^{-1}) do extrato da pasta de saturação do solo, submetidas a irrigação com águas com CE iguais a 0,39; 1,54; 2,15; 2,79 e 3,63 dS m^{-1} e com as umidades dos solos mantidas a 50 e 100% da capacidade de campo (CC), por um período de 163 dias de avaliação.

Para as duas condições de umidade (50 e 100% CC), o potencial hídrico das plantas diminuiu com o aumento da CE do extrato de saturação do solo, no entanto, a redução é intensificada para as plantas sob menor umidade. De modo que, independentemente da umidade do solo testada (50 e 100% CC) o Ψ_h das plantas de Erva-sal diminuiu gradualmente com o aumento da salinidade da solução do solo decorrente da irrigação com água salina.

Independentemente da condição salina de irrigação, o maior conteúdo de água no solo (100% CC) beneficia a Erva-sal, proporcionando menor estresse hídrico, com as plantas apresentando maior potencial hídrico foliar ($\Psi_h = -3,24$ MPa) quando comparado àquelas mantidas com a umidade do solo a 50% CC ($\Psi_h = -3,41$ MPa), diferindo estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,01$).

Em condições de limitação hídrica, acentuadas com a salinidade, a diminuição do potencial hídrico nas células das plantas é necessária para prevenir lesões fisiológicas decorrentes do aumento dos sais tóxicos, prevenindo assim a morte celular por desidratação (MUNNS, 2002).

4.5 - EFEITO DA SALINIDADE E DA UMIDADE DO SOLO NO CRESCIMENTO E NA BIOMASSA

A taxa de crescimento da parte aérea (T_c) (cm dia^{-1}) das plantas de Erva-sal, expressou um estímulo aos 60 dias da irrigação com água salina, e posteriormente, um comportamento decrescente até os 140 dias, para as duas umidades do solo (50 e 100% CC) (Figura 12A).

Observou-se para os tempos de 60 e 140 dias de irrigação com água salina, um comportamento linear da T_c , conforme aumento dos níveis da CE da água de irrigação em relação a testemunha ($0,39 \text{ dS m}^{-1}$) (Figura 12B).

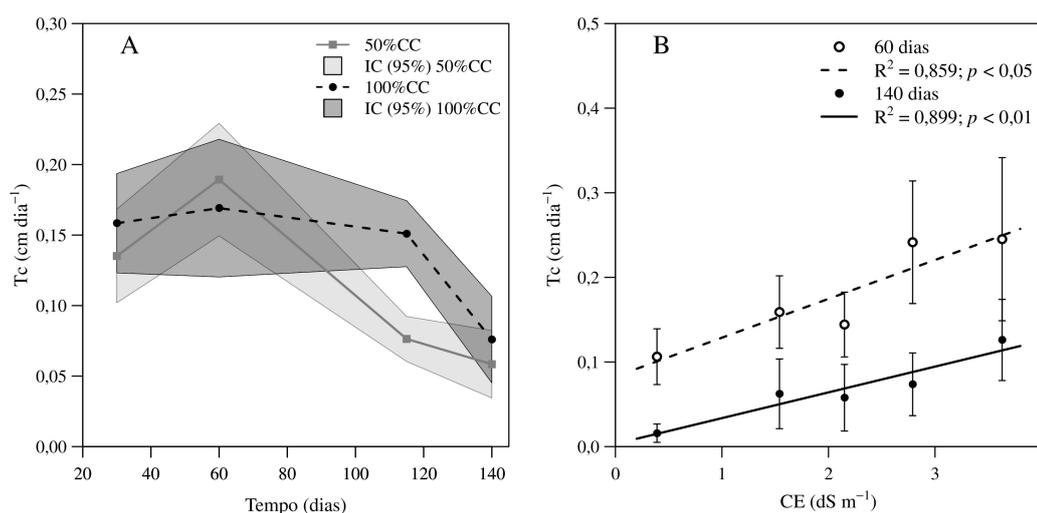


Figura 12. Taxa de crescimento da parte aérea (T_c) (A e B) das plantas de Erva-sal (*Atriplex nummularia* L.) submetidas a irrigação com águas com CE iguais a 0,39; 1,54; 2,15; 2,79 e 3,63 dS m^{-1} e com as umidades dos solos mantidas a 50 e 100% da capacidade de campo (CC), por um período de 140 dias de avaliação.

As plantas sob a umidade do solo de 50% CC apresentaram um maior decréscimo médio da T_c ($0,076 \text{ cm dia}^{-1}$) em relação a umidade de 100% CC ($0,151 \text{ cm dia}^{-1}$) aos 115 dias, diferindo pelo teste de Tukey ($p < 0,01$) (Figura 12A). Indicando que as plantas de Erva-sal sob 50% CC sofreram com a baixa disponibilidade hídrica associada ao efeito osmótico dos sais presentes no solo, nesta fase. Embora, nos demais tempos não observou-se diferença significativa entre as umidades de solo para a taxa de crescimento das plantas.

Evidencia-se que a redução da taxa de crescimento das plantas de Erva-sal ao longo do tempo esteja associada a mudança na acomodação do solo ao longo das irrigações, obstruindo

os poros, dificultando as trocas de gases entre o solo e a atmosfera, causando estresse nas raízes das plantas e comprometendo o desenvolvimento das mesmas.

Contudo pôde-se constatar ao longo dos 140 dias de avaliação do crescimento da parte aérea, que na presença de níveis crescentes da CE da água de irrigação (1,54; 2,15; 2,79 e 3,63 dS m^{-1}) a Erva-sal aumenta suas taxas de crescimento em relação a água de boa qualidade (0,39 dS m^{-1}), indicando ser uma planta tolerante a sais (Figura 12B). No geral, as variáveis de crescimento, como a taxa de crescimento e produção de biomassa, são bons indicadores da capacidade de adaptação das plantas a ambientes salinos e/ou com baixa disponibilidade hídrica (LARCHER, 2000).

Mesmo a Erva-sal tendo sua taxa fotossintética líquida reduzida pelos sais presentes na solução do solo decorrentes da irrigação com água salina no decorrer do tempo, as plantas conseguiram realizar o ajustamento osmótico ao expressar uma resposta positiva no crescimento e na produção de biomassa da parte aérea (Figura 13).

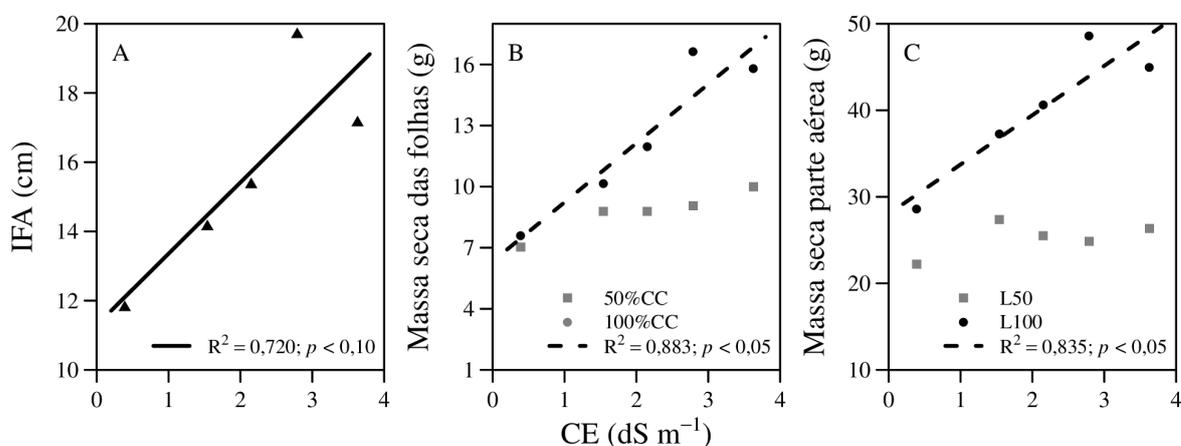


Figura 13. Incremento final da parte aérea (IFA) (cm) (A), massa seca das folhas (B) e massa seca da parte aérea (caule+folhas) (g) (C) de plantas de Erva-sal (*Atriplex nummularia* L.) submetidas a irrigação com águas com CE iguais a 0,39; 1,54; 2,15; 2,79 e 3,63 dS m^{-1} e com as umidades dos solos mantidas a 50 e 100% da capacidade de campo (CC), por um período de 163 dias de avaliação.

Esses resultados podem ser justificados por dois fatores: i) a Erva-sal, planta de metabolismo C4, possui a capacidade de reduzir a abertura estomática para diminuir as perdas de água durante o dia, em função de elevadas irradiâncias, altas temperaturas, estresse salino e hídrico, no entanto, mantêm as taxas fotossintéticas ativas e eficientes, ou seja,

mesmo com a redução da condutância estomática conseguem captar CO₂ atmosférico, principal constituinte para a síntese de biomassa (GLENN et al., 1999; TAIZ & ZAIGER, 2006; CUNHA, RUIZ & FREIRE, 2015); ii) outro fator pode estar relacionado com a mudança no metabolismo do carbono das plantas de Erva-sal, o metabolismo ácido das crassuláceas (CAM), obtendo melhores eficiências no uso de água, induzindo a redução da condutância estomática durante o dia e aumento da condutância durante a noite, possibilitando assim, assimilação de CO₂ tanto no período diurno como no noturno (CUNHA, RUIZ & FREIRE, 2015). O estresse salino induz o metabolismo CAM em algumas espécies de plantas (TAIZ & ZEIGER, 2010), objetivando a adaptação em ambientes com défices hídricos e/ou salinos (CUNHA, RUIZ & FREIRE, 2015)

O Incremento final da parte aérea (cm) das plantas apresentou um comportamento ascendente linear na medida que aumenta a CE da água de irrigação em relação à testemunha (0,39 ds m⁻¹) (Figura 13A). As plantas mantidas a 100% CC tiveram um incremento final da parte aérea e do diâmetro de 21,73% e 41,70%, respectivamente, em comparação às plantas submetidas a menor condição de umidade do solo (50% CC) (Tabela 9).

Tabela 9. Incremento final da parte aérea (IFA) e do diâmetro do caule (IFD) de plantas de Erva-sal (*Atriplex nummularia* L.) submetidas a irrigação com águas com CE iguais a 0,39; 1,54; 2,15; 2,79 e 3,63 dS m⁻¹ e com as umidades dos solos mantidas a 50 e 100% da capacidade de campo (CC), por um período de 163 dias de avaliação.

Umidade (%CC)	IFA (cm)	IFD (mm)
50	13,72b	1,30b
100	17,53a	2,23a

Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Tukey (p < 0,05).

O aumento da salinidade da água de irrigação promoveu aumentos significativos da massa seca das folhas de Erva-sal sob umidade do solo de 100% CC, com acréscimos de 34; 58; 119 e 108% em relação à testemunha (Figura 13B). A massa seca da parte aérea (folhas+caule) apresentou aumento linear para maiores CE da água de irrigação na umidade 100% CC (Figura 13C). A irrigação com níveis crescentes de CE favoreceu o crescimento e o acúmulo de biomassa nas plantas de Erva-sal, com aumentos expressivos para a maior

condição de umidade do solo (100% CC). Resultados estes que corroboram com a literatura, e evidenciam a elevada capacidade de adaptação das plantas de Erva-sal a ambientes salinos (PORTO et al., 2001; ARAÚJO et al., 2006; HUSSIN et al., 2013; GEISLER et al., 2015; MELO et al., 2016; SILVA et al., 2016).

Nas folhas da Erva-sal ocorre maior acúmulo de sais em pequenas vesículas e pêlos epidérmicos, onde grande parte desses sais são expelidos para diminuir as concentrações de Na^+ e Cl^- no citoplasma (FREIRE et al., 2010). A compartimentação celular desses íons em vacúolos, diminui o potencial osmótico do citoplasma para manter a absorção de água em solos com problemas de salinidade (TÜRKAN & DEMIRAL, 2009; SOUZA et al., 2012; SILVA et al., 2016). Os maiores níveis de CE na água de irrigação estimularam o crescimento e o desenvolvimento das plantas de Erva-sal, resultados esses que podem ser justificados pelo fato dessa espécie possuir metabolismo C4 e o Na^+ constituir um elemento essencial para a translocação de piruvato através do revestimento de cloroplasto, funcionando assim como micronutriente para esse grupo de plantas (AMTMANN & MAATHUIS, 1999).

Souza et al. (2011), avaliando a capacidade de fitoextração de sais da *Atriplex nummularia* L. sob diferentes níveis de umidade do solo (35, 55, 75 e 95% da capacidade de campo), observaram que quanto maior a umidade do solo, maior a absorção de Na^+ pelas raízes e acumulação nas folhas (cerca de 72% para 35% CC e 81% para 95% CC), levando a compreensão de que nas maiores condições de umidade ocorre maior disponibilidade de sais solúveis no solo. Segundo Silva et al. (2016), a fitoextração de sais das plantas de Erva-sal é bastante considerável, com 358,29 kg ha⁻¹ de Na^+ e 297,08 kg ha⁻¹ de Cl^- , gerando um acúmulo de 82% de Na^+ nas folhas. Leal et al. (2008) observaram maior acúmulo de sais nas folhas, seguidas pela raiz e caule de *Atriplex nummularia* irrigadas com águas de 0,175, 0,5 e 1,5 dS m⁻¹ durante 130 dias. Geissler et al. (2015), observaram que a *Atriplex nummularia* apresentou crescimento ótimo em 100 e 300 mmol_c L⁻¹ m⁻³ de NaCl, sendo que grande parte do ganho de biomassa foram nas folhas. Araújo et al. (2006) verificaram ganhos expressivos de massa seca em folhas de *Atriplex nummularia* para 300 mmol_c L⁻¹ de NaCl, cerca de 22% em relação ao controle, mas também observaram uma redução de 26% da massa seca na maior concentração, 600 mmol_c L⁻¹.

No entanto, a irrigação com água salina com CE muito elevada pode afetar o crescimento das plantas dessa espécie, conforme verificado por Oliveira Junior (2016) que, ao submeterem as plantas de *Atriplex nummularia* a irrigação com solução de NaCl com CE

entre 12,11 à 28,5 dS m⁻¹ por um período de 45 dias, verificaram que o aumento dos níveis de NaCl afetou o crescimento da parte aérea, especificamente nas CE de 22,1 à 28,5 dS m⁻¹.

Melo et al. (2016) avaliando a interação entre diferentes níveis de CE da solução de irrigação de NaCl (0-40 dS m⁻¹) e duas umidades do solo (37 e 70% da capacidade de campo) em *Atriplex nummularia*, observaram decréscimo da altura e da biomassa aérea conforme aumento da CE em relação ao controle para as duas umidades do solo, com exceção da CE de 5 dS m⁻¹ que estimulou a produção de biomassa foliar. Ainda de acordo com esses autores, as plantas de *Atriplex* irrigadas com CE de 5 dS m⁻¹ e sob umidade de 37% da capacidade de campo, apresentaram uma redução da altura da parte aérea na ordem de 50% em relação as plantas sob maior umidade (100% CC). Resultados que corroboram com esse estudo, e enfatizam que a Erva-sal é sensível ao estresse hídrico.

Assim, o estresse hídrico é o fator mais limitante para a produção de biomassa de folhas e caules de plantas de *Atriplex nummularia* quando submetidas a CE < 30 dS m⁻¹, no entanto, para valores ≥ 30 dS m⁻¹, a salinidade constitui o fator de maior limitação de crescimento (MELO et al., 2016).

A massa seca das raízes de Erva-sal apresentaram valores médios de 7,64 e 11,97 g nas condições de umidade de 50 e 100% CC, respectivamente, diferindo pelo teste de Tukey (p < 0,01), onde na maior umidade (100% CC) houve um acréscimo de 36,17% na massa seca. Os níveis de salinidade testados não causaram efeito significativo na biomassa seca das raízes de Erva-sal, no entanto o estresse hídrico foi atestado nas plantas sob a menor umidade do solo (50% CC).

De acordo com Melo et al. (2016), a biomassa das raízes de *Atriplex nummularia* não é afetada pelos sais quando irrigada com água de CE ≤ 5 dS m⁻¹ e associada à umidade de solo de 37% da capacidade de campo não provoca estresse hídrico. Esses autores avaliaram a interação entre o efeito salino e os diferentes níveis de umidade do solo em período de 100 dias, tempo inferior ao realizado neste estudo (163 dias), evidenciando que a necessidade hídrica aumenta com o crescimento das plantas, e como o suprimento hídrico teve quantidade de água constante ao longo do período de avaliação, as plantas de Erva-sal sofreram estresse hídrico quando submetidas a condição de umidade do solo de 50% da capacidade de campo.

Leal et al. (2008) observaram um aumento da massa seca das raízes de *Atriplex nummularia* quando irrigadas com água salina (CE = 1,5 dS m⁻¹) em 130 dias de avaliação. Hassine & Lutts (2010) observaram um incremento na produção de massa seca nas raízes de

plantas do mesmo gênero, a *Atriplex halimus* quando irrigadas com solução contendo 160 mmol_c L⁻¹ de NaCl. Hussin et al. (2013) verificaram aumentos expressivos no crescimento e na biomassa (folha, caule e raiz) de *Atriplex nummularia* sob concentrações de 125, 250, 500 e 750 mmol_c L⁻¹ NaCl.

De maneira geral as plantas de Erva-sal se beneficiaram com a irrigação de águas salinas ($CE \leq 3,63 \text{ dS m}^{-1}$) e sob a umidade de solo de 100% CC. Esses resultados evidenciam que na maior umidade do solo, os sais encontravam-se mais disponíveis na solução do solo propiciando em uma maior absorção pelas raízes. Assim, o transporte dos sais até parte aérea ocorreu de forma mais intensa, onde esses sais constituíram-se elementos essenciais, estimulando o crescimento e o acúmulo de biomassa das plantas de Erva-sal (FLOWERS, 1977). Outra questão relevante, é que a tolerância das halófitas aos sais pode não demandar grandes gastos de energia metabólica nos processos de compartimentalização dos sais (Na⁺ e Cl⁻) nas células do vacúolo, o que justifica a ocorrência de rendimentos elevados dessas espécies em ambientes com alta salinidade (GLENN et al., 1999).

No entanto, vale salientar que mesmo que a Erva-sal tenha sido mais eficiente na produção de biomassa final, conforme o aumento da CE da água de irrigação, a salinização do solo ao final do estudo foi constatada para ambas condições de umidade do solo (50 e 100% CC), principalmente para a maior umidade do solo. Conforme aumentaram-se os níveis de CE da água de irrigação verificou-se acréscimos dos teores de sais (sódio e potássio) e da condutividade elétrica (CEes) da solução do solo (Tabela 10).

Tabela 10. Valores médios de Na⁺, K⁺, CEes e do pH do extrato da pasta de saturação do solo, sob a irrigação com águas com CE iguais a 0,39; 1,54; 2,15; 2,79 e 3,63 dS m⁻¹ e com as umidades dos solos mantidas a 50 e 100% da capacidade de campo (CC), por um período de 163 dias de avaliação.

Umidade (%CC)	CE da água de irrigação (dS m ⁻¹)				
	0,39	1,54	2,15	2,79	3,63
Na⁺ do solo (mmol_c L⁻¹)					
50	78,75	168,42	265,23	406,98	295,68
100	98,91	180,18	192,36	424,2	323,61
K⁺ do solo (mmol_c L⁻¹)					
50	195,51	209,37	268,59	360,36	230,79
100	140,49	202,23	223,44	300,51	260,82
CEes do solo (dS m⁻¹)					
50	0,76±0,2	2,05±0,2	3,48±0,2	6,48±1,4	8,06±0,7
100	1,28±0,1	4,39±0,7	4,11±0,7	17,36±2,0	11,60±4,5
pH do solo					
50	8,46±0,2	7,88±0,1	8,06±0,1	8,15±0,5	7,80±0,1
100	9,11±0,1	8,84±0,1	8,77±0,1	7,98±0,1	7,67±0,2

Mesmo a Erva-sal sendo considerada uma espécie halófito altamente tolerante ao estresse salino quando comparada com as plantas glicófitas, e com potencial para fitorremediação de solos salinos (PORTO et al., 2001; LEAL et al., 2008; SOUZA et al., 2011), ainda assim observou-se que a irrigação com água salina (1,54-3,63 dS m⁻¹) contribuiu para a salinização do solo (Tabela 10), mesmo com o cultivo da Erva-sal. Muito embora, acredita-se que o cultivo da Erva-sal tenha contribuído para amenizar a intensidade dos sais no solo por meio da fitoextração.

De acordo com Porto et al. (2001) a Erva-sal consegue extrair grande quantidade de sais do solo quando comparada com plantas não halófitas, no entanto essa remoção de sais não é tão significativa quando comparada ao quantitativo de sais adicionados ao solo através da irrigação com água de alta salinidade. Leal et al. (2008) enfatiza que a irrigação da Erva-sal para uso de fitorremediação pôde ser feita com águas salinas na faixa de 175-1500 µS cm⁻¹

¹, água menos salina do que a utilizada neste estudo, em relação a maior CE da água de irrigação (3,63 dS m⁻¹).

Contudo, é necessário o uso consciente do rejeito salino no cultivo de plantas tolerantes a salinidade, fazendo-se uso de técnicas adicionais e/ou complementares para amenizar a salinização dos solos que recebam efluentes salinos.

5 - CONCLUSÕES

Após 17 dias, o aumento da CE da água de irrigação causou a diminuição das trocas gasosas das plantas de Erva-sal (*Atriplex nummularia* L.) para as duas condições de umidades de solo (50 e 100% CC), no entanto, a eficiência de uso de água e de carboxilação não foram prejudicadas.

As plantas de Erva-sal mantidas a umidade do solo de 50% CC apresentaram menores valores das trocas gasosas, do crescimento e da biomassa em relação aquelas a 100% CC, evidenciando baixa tolerância ao estresse hídrico.

As plantas de Erva-sal submetidas a maior umidade (100% CC) apresentaram redução das clorofilas (*Chl a* e *Chl total*), em virtude dos altos teores de sais na solução do solo decorrentes da irrigação com água salina.

A taxa de crescimento e incremento final da parte aérea das plantas de Erva-sal teve um aumento expressivo com a CE da água de irrigação, comparado com a utilização de água de boa qualidade (0,39 dS m⁻¹).

O cultivo de Erva-sal utilizando água salina com $CE \leq 3,63$ dS m⁻¹ proporcionou um acréscimo na biomassa da parte aérea quando comparado com a utilização de água de boa qualidade (0,39 dS m⁻¹), sobretudo quando associado a umidade de 100% CC chega a ter um acréscimo > 100% na biomassa foliar.

A irrigação com água salina ($CE \leq 3,63$ dS m⁻¹) ao longo do tempo, contribuiu para o aumento dos teores de sais (sódio e potássio) e da condutividade elétrica da solução do solo, ocorrendo a salinização do solo.

REFERÊNCIAS

- ALDABAA, A. A. A.; WEINDORF, D. C.; CHAKRABORTY, S.; SHARMA, A.; LI, B. Combination of proximal and remote sensing methods for rapid soil salinity quantification. **Geoderma**, p. 239-240, 2015.
- ALVES, J. N.; ARAÚJO, G. G. L.; PORTO, E. R.; CASTRO, J. M. C.; SOUZA, L. C. Feno de Erva-sal (*Atriplex nummularia* Lindl.) e Palma Forrageira (*Opuntia ficus* Mill.) em Dietas para Caprinos e Ovinos. **Revista Científica de Produção Animal**, v. 9, n.1, p. 43-52, 2007.
- AMTMANN, A.; MAATHUIS, F. J. M. K^+ Nutrition and Na^+ toxicity: The basis of cellular K^+/Na^+ Ratios. **Annals of Botany**, London, v. 84, n. 2, p. 123-133, 1999.
- ANTONINO, A. C. D.; AUDRY, P. **Utilização de água no cultivo de vazante no semiárido do Nordeste do Brasil**. Recife, Ed. da UFRPE, UFPE, IRD Institut de Recherche pour le Développement, França, 2001. 110 p.
- ANTONINO, A. C. D.; HAMMECKE, R. C.; MONTENEGRO, S.; NETTO, A. M.; ANGULLO-JARAMILLO, R.; LIRA, C. Subirrigation of land bordering small reservoirs in the semi-arid region in the Northeast of Brazil: monitoring of water balance. **Agricultural Water Management**, v. 73, p. 131-147, 2005.
- ARAÚJO, S. A. M.; SILVEIRA, J. A. G.; ALMEIDA, T. D.; ROCHA, I. M. A.; MORAIS, D. L.; VIÉGAS, R. A. Salinity tolerance of halophyte *Atriplex nummularia* L. grown under increasing NaCl levels. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 4, p. 848-854, 2006.
- ARNON, D. I. Copper enzymes in isolated chloroplasts: polyphenol-oxydase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, v. 24, p. 1-15, 1949.
- ASHRAF, M. Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers. **Biotechnology Advances**, v. 27, p. 84-93, 2009.
- ASHRAF, M.; OZTURK, M.; AHMAD, M. S. A. **Plant Adaptation and Phytoremediation**. Springer Dordrecht Heidelberg London, New York, 2010. 481 p.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Tradução de CHEYI, H. R., MEDEIROS, J. F., DAMASCENO, F. A. V. Campina Grande, UFPB, 1991. XXVIII, 218 p., (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29 Revisado 1).

AZEVEDO, C. M. S. B.; PEDROSA, G. P.; MEDEIROS, J. F.; NUNES, G. H. S. Uso do *Atriplex nummularia* na extração de sais de solos irrigados com efluentes salinos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p. 300-304, 2005. (Suplemento).

BENZARTI, M.; REJEB, K. B.; DEBEZ, A.; MESSEDI, D.; ABDELLY, C. Photosynthetic activity and leaf antioxidative responses of *Atriplex portulacoides* subjected to extreme salinity. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 34, p. 1679-1688, 2012.

BERTOLLI, S. C.; MAZZAFERA, P.; SOUZA, G. M. Why is it so difficult to identify a single indicator of water stress in plants? A proposal for a multivariate analysis to assess emergent properties. **Plant biology**, p. 1-8, 2013.

BOUKSILA, F.; PERSSON, M.; BERNDTSSON, R.; BAHRI, A. Estimating Soil Salinity Over a Shallow Saline Water Table in Semiarid Tunisia. **The Open Hydrology Journal**, n. 4, p. 91-101, 2010.

BOX, G. E.; COX, D. R. An analysis of transformations. **Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)**, v. 26, n. 2, p. 211-252, 1964.

BRITO, L. T. L.; SILVA, A. S.; PORTO, E. L. **Disponibilidade de água e a Gestão dos Recursos Hídricos**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, cap.1, p. 12-32, 2007. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA/36533/1/OPB1514.pdf>>. Acesso em: 10 de jul. 2017.

CAMPBELL E. G.; MATTHEWSON W. J. Optimizing germination in *Atriplex nummularia* Lind. for commercial cultivation. **South African Journal Botany**, v. 58, n. 6, p. 478-481. 1992.

CASAROLI, D.; VAN LIER, Q. J. Critérios para determinação da capacidade de vaso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 59-66, 2008.

CHINNUSAMY, V.; JAGENDORF, A.; ZHU, J. K. Understanding and improving salt tolerance in plants. **Crop Science**, v. 45, p. 437-448, 2005.

COSTA, E. J. B.; SOUZA, E. S.; BARROS JÚNIOR, G.; NUNES FILHO, J.; SOUZA, J. R.; TABOSA, J. N.; LEITE, M. L. M. V. Cultivo de sorgo em sistema de vazante com e sem cobertura do solo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 14, n. 2, p. 182-195, 2015.

CUNHA, J. C.; RUIZ, H. A.; FREIRE, M. B. G. S. **Adubação nitrogenada e fosfatada no cultivo de *Atriplex nummularia***. Novas Edições Acadêmicas, 2015. 96 p.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (Ed.). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicações**. Fortaleza: INCT Sal, 2010. 461 p.

DONG, H. Unequal salt distribution in the root zone increases growth and yield of cotton. **European Journal of Agronomy**, v. 33, p. 285-292, 2010.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2011. 230 p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2013. 353 p.

FAO (Roma, Itália). **Estudios de case de espécies vegetales para zonas áridas y semiáridas de Chile y México**. Santiago: Oficina regional de la FAO para América Latina y el Caribe, 1996. 143p. il. FAO. Oficina Regional para América Latina y el Caribe, Zonas Áridas y Semiáridas, 10.

FAO, 2005. **Global Network on Integrated Soil Management for Sustainable Use of Salt-affected Soils**. Rome, Italy: FAO Land and Plant Nutrition Management Service. Disponível em:<<http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush>>. Acesso em: 29 de maio de 2017.

FAO, 2011. **Land and plant nutrition management service**. Disponível em:<<http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush>> Acesso em: 29 de Abril de 2017.

FAO, 2014. **AQUASTAT**, Disponível em: <http://www.fao.org/nr/aquastat>> Acesso em: 29 de maio de 2017.

FLOWERS, T. J. Improving crop salt tolerance. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, p. 307- 319, 2004.

FLOWERS, T. J.; COLMER, T. D. Salinity tolerance in halophytes. **New phytologist**, v. 179, p. 945-963, 2008.

FLOWERS, T. J.; DALMOND, D. Protein synthesis in halophytes: the influence of potassium, sodium and magnesium in vitro. **Developments in Plant and Soil Sciences**, v. 50, p. 195-203, 1993.

FLOWERS, T. J.; TROKE, P. F.; YEO, A. R. The Mechanism of Salt Tolerance in Halophytes. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 28 p. 89-121, 1977.

FREIRE, M. B. G. S.; SOUZA, E. R.; FREIRE, F. J. Fitorremediação de solos afetados por sais. In GHEYI, H.R.; DIAS, N.S.; LACERDA, C.F. (eds.) **Manejo da salinidade na agricultura**. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade (INCT Sal), Fortaleza, Brasil, 2010. 472 p.

GEISSLER, N.; HUSSI, S.; EL-FAR, M. M. M.; KOYRO, H. W. Elevated atmospheric CO₂ concentration leads to different salt resistance mechanisms in a C3 (*Chenopodium quinoa*) and a C4 (*Atriplex nummularia*) halophyte. **Environmental and Experimental Botany**, v. 118, p. 67-77, 2015.

GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Paraíba: UFPB, 1997.

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

GLENN, E.; BROWN, J.; O'LEARY, J. W. Irrigating Crops with Seawater. **Scientific American**, v. 279, n. 8, p. 56-61, 1998.

HARPER, R. J.; BECK, A. C.; RITSON, P.; HILL, M. J.; MITCHELL, C. D.; BARRETT, D. J.; SMETTEM, K. R. J.; MANN, S. S. The potential of greenhouse sinks to underwrite improved land management. **Ecological Engineering**, v. 29, p. 329-341, 2007.

HASSINE, A. B.; LUTTUS, S. Differential responses of saltbush *Atriplex halimus* L. exposed to salinity and water stress in relation to senescing hormones abscisic acid and ethylene. **Journal of Plant Physiology**, v. 167, p. 1448-1456, 2010.

HEATON, J. W.; MARANGONI, A. G. Chlorophyll degradation in processed foods and senescent plant tissues. **Trends in Foods Science & Technology**, v. 7, p. 8-15, 1996.

HU, Y.; FROMM, J.; SCHMIDHALTER, U. Effect of salinity on tissue architecture in expanding wheat leaves. **Planta**, v. 220, p. 838-848, 2005.

HUSSIN, S.; GEISSLER, N.; KOYRO, H. W. Effect of NaCl salinity on *Atriplex nummularia* (L.) with special emphasis on carbon and nitrogen metabolism. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 35, p. 1025-1038, 2013.

INMET – **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo_sim.php?QTM1MA>. Acesso em: 05 mar. 2017.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**, São Carlos, SP: Rima artes, 2006. 531 p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Paulo, Rima, 2000. 529 p.

LAWLOR, D. W.; TEZARA, W. Causes of decreased photosynthetic rate and metabolic capacity in water deficient leaf cells: a critical evaluation of mechanisms and integration of process. **Annals of Botany**, v. 103, p. 561-579, 2009.

LEAL, I. G.; ACCIOLY, A. M. A.; NASCIMENTO, C. W. A.; FREIRE, M. B. G. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; FERREIRA, F. L. Fitorremediação de solo salino sódico por *Atriplex nummularia* e gesso de jazida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1065-1072, 2008.

MEGDICHE, W.; HESSINI, K.; GHARBI, F.; JALEEL, C. A.; KSOURI, R.; ABDELLY, C. Photosynthesis and photosystem 2 efficiency of two salt-adapted halophytic seashore *Cakile maritima* ecotypes. **Photosynthetica**, v. 46, p. 410-419, 2008.

MELO, H. F.; SOUZA, E. R.; ALMEIDA, B. G.; FREIRE, M. B. G. S.; MAIA, F. E. Growth, biomass production and ions accumulation in *Atriplex nummularia* Lindl grown under abiotic stress. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 2, p. 144-151, 2016.

MONTANARELLA, L. **Trends in land degradation in Europe**. In SIVAKUMAR, M. V. K.; NDIANG'UI, N. (eds.) *Climate and land degradation*. New York, Springer, 2007. p. 83-104.

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell & Environment**, v. 25, p. 239-250, 2002.

MUNNS, R. Genes and salt tolerance: bringing them together. **New Phytologist**, v. 167, p. 645-663, 2005.

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

NETONDO, G. W.; ONYANGO, J. C.; BECK, E. Sorghum and Salinity: II. Gas Exchange and Chlorophyll Fluorescence of Sorghum under Salt Stress. **Crop Science**, v. 44, p. 806-811, 2004.

OBRAS contra as secas: objetivos, programas, ação da Inspeção, resultados. **Boletim da Inspeção Federal de Obras Contra as Secas**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 2, p. 157-197, 1938.

OLIVEIRA JUNIOR, L. F. G.; REIS, F. O.; FAGUNDES, J. L.; GAGLIARDI, P. R.; OLIVEIRA, L. F. M. Ecophysiological and biochemical responses of saltbush subjected to salinity. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 46, n. 2, p. 116-122, 2016.

OLIVEIRA, W. J.; SOUZA, E. R.; CUNHA, J. C.; SILVA, E. 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.

OSMOND, C. B.; BJORKMAN, O.; ANDERSON, D. J. **Physiological Processes in Plant Ecology: Toward a Synthesis with Atriplex**. Springer-Verlag, New York, v. 36, 1980.

PANTA, S.; FLOWER, T.; DOYLE, R.; LANE, P.; HAROS, G.; SHABALA, S. Growth responses of *Atriplex lentiformis* and *Medicago arborea* in three soil types treated with saline water irrigation. **Environmental and Experimental Botany**, v. 128, p. 39-50, 2016.

PARVAIZ, A.; SATYAWATI, S. Salt stress and phyto-biochemical responses of plants – a review. **Plant, Soil and Environment**, v. 54, n. 3, p. 89-99, 2008.

PEDROTTI, A.; CHAGAS, R.; 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.

PEREIRA, S. V.; MARTINEZ, C. R.; PORTO, E. R.; OLIVEIRA, B. R. B.; MAIA, L. C. Atividade microbiana em solo do Semi-Árido sob cultivo de *Atriplex nummularia*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 08, p. 757-762, 2004.

PESSARAKLI, M. (Ed.). **Handbook of Plant and Crop Stress**, 2nd Edition, Revised and Expanded, Marcel Dekker, Inc., New York, 1999. 1254 p.

PESSOA, L. G. M.; FREIRE, M. B. G. S.; WILCOX, B. P.; GREEN, C. H. M.; ARAÚJO, R. J. T.; ARAÚJO FILHO, J. C. Spectral reflectance characteristics of soils in northeastern Brazil as influenced by salinity levels. **Environmental Monitoring and Assessment**, p. 188-616, 2016.

PORTO E. R.; ARAÚJO G. G. L. **Uso da Erva-Sal (*Atriplex nummularia*) como forrageira irrigada com água salobra**. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, 2000. (Circular Técnica no 53).

PORTO, E. R.; AMORIM, M. C. C.; DUTRA, M. T.; PAULINO, R. V.; BRITO, L. T. L.; MATOS, A. N. B. Rendimento da *Atriplex nummularia* irrigada com efluentes da criação de tilápia em rejeito da dessalinização de água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 01, p. 97-103, 2006.

PORTO, E. R.; AMORIM, M. C. C.; SILVA JUNIOR, L. G. A. Uso de rejeito de dessalinização de água salobra para irrigação da erva-sal (*Atriplex nummularia*). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, p. 111-114, 2001.

PORTO, E. R.; DUTRA, M. T. D.; AMORIM, M. C. C.; ARAÚJO G. G. L. **Uso da erva-sal (*Atriplex nummularia*) como forrageira irrigada com água salina**. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, 2000. 17 p. (Circular Técnica no 53).

QADIR, M.; OSTER, J. D.; SCHUBERT, S.; NOBLE, A. D.; SAHRAWAT, K. L. Phytoremediation of sodic and saline-sodic soils. **Advances in Agronomy**, v. 96, p. 197-247, 2007.

R CORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing. 2017. Disponível em: <<http://www.Rproject.org/>>. Acesso em: 08 de maio de 2017.

RAMOS, J.; LOPEZ, M. J.; BENLLOCH, M. Effect of NaCl and KCl salts on the growth and solute accumulation of the halophyte *Atriplex nummularia*. **Plant and Soil**, v. 259, p. 163-168, 2004.

RENGASAMY, P. Soil processes affecting crop production in salt-affected soils. **Functional Plant Biology**, v. 37, p. 613-620, 2010.

RENGASAMY, P. World salinization with emphasis on Australia. **Journal of Experimental Botany**, v. 57, p. 1017-1023, 2006.

RICHARDS, L. A. **Diagnostics and improvement of salinity and alkali soil**. Washington, D.C: United States Salinity Laboratory, 1954. 160p (United States Department of Agriculture. Handbook, 60).

SANTOS, K. C. F.; SILVA, M. S. L.; SILVA, L. E.; MIRANDA, M. A.; FREIRE, M. B. G. S. Atividade biológica em solo salino sódico saturado por água sob cultivo de *Atriplex nummularia*. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 3, p. 619-627, 2011.

SANTOS, M. A.; FREIRE, M. B. G. S.; ALMEIDA, B. G.; LINS, C. M. T.; 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.

SECTMA, Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. **Atlas de bacias hidrográficas de Pernambuco**. 1.ed. Recife: Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente, 2006. 104p.

SILVA, C. M. S.; VIEIRA, R. F.; OLIVEIRA, P. R. Salinidade, sodicidade e propriedades microbiológicas de Argissolo cultivado com erva-sal e irrigado com rejeito salino. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 43, n. 10, p. 1389-1396, 2008.

SILVA, F. G.; DUTRA, W. F.; DUTRA, A. F.; OLIVEIRA, I. M.; FILGUEIRAS, L. M. B.; MELO, A. S. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 10, p. 946-952, 2015.

SILVA, Y. J. A. B.; SILVA, Y. J. A. B.; FREIRE, M. B. G. S.; LOPES, E. A. P. L.; SANTOS, M. A. *Atriplex nummularia* Lindl. as alternative for improving salt-affected soils conditions in semiarid environments: a field experiment. **Chilean Journal Agricultural Research**, v. 76, n. 3, p. 343-348, 2016.

SILVEIRA, J. A. G.; ARAÚJO, S. A. M.; LIMA, J. P. M. S.; VIÉGAS, R. A. Roots and leaves display contrasting osmotic adjustment mechanisms in response to NaCl-salinity in *Atriplex nummularia*. **Environmental and Experimental Botany**, v. 66, p. 1-8, 2009.

SLAMA, I.; GHNAYA, T.; SAVOURÉ, A.; ABDELLEY, C. Combined effects of long-term salinity and soil drying on growth, water relations, nutrient status and proline accumulation of *Sesuvium portulacastrum*. **Comptes Rendus Biologies**, v. 331, p. 442-451, 2008.

SOARES, T. M.; DUARTE, S. N.; GRAF, C. C. D.; ZANETTI, M.; ZOCCHI, S. S. Produção de mudas cítricas utilizando águas salinas. **Irriga**, v. 11, n. 1, p. 78-89, 2006.

SOUSA NETO, O. N.; DIAS, N. S.; FERREIRA NETO, M.; LIRA, R. B.; REBOUÇAS, J. R. L. 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.; CUNHA, K. P. V.; NASCIMENTO, C. W. A.; RUIZ, H. A.; LINS, C. M. T. Biomass, anatomical changes and osmotic potential in *Atriplex nummularia* Lindl. cultivated in sodic saline soil under water stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 82, p. 20-27, 2012.

SOUZA, E. R.; FREIRE, M. B. G.; NASCIMENTO, C. W. A.; MONTENEGRO, A. A. A.; FREIRE, F. J.; MELO, H. F. Fitoextração de sais pela *Atriplex nummularia* Lindl. sob estresse hídrico em solo salino sódico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 5, p. 477-483, 2011.

STREIT, M. N.; CANTERLE, L. P.; CANTO, M. W.; HECKTHEUER, L. H. H. The chlorophyll. **Ciência Rural**, v. 35, n. 3, p. 748-755, 2005.

SZABOLCS, I. **Salt affected soils in Europe**. Martinus Nijhoff, The Hague and Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences, The Netherlands, 1974. 1-62 p.

SZABOLCS, I. **Salt-Affected Soils**. Boca Raton, FL: CRC Press, 1989. 274 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 722 p.
TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5 ed. Porto Alegre: ArtMed, 2013. 954 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 5 ed. Sunderland, Sinauer, 2010. 782 p.

TOMAR, O. S.; MINHAS, P. S.; SHARMA, V. K.; SINGH, Y. P.; GUPTA, R. K. Performance of 31 tree species and soil conditions in a plantation established with saline irrigation. **Forest Ecology and Management**, v. 177, p. 333-346, 2003.

TÜRKAN, I.; DEMIRAL, T. Recent developments in understanding salinity tolerance. **Environmental and Experimental Botany**, v. 67, p. 2-9, 2009.

UNITED NATIONS, 2014. **Concise Report on the World population situation in 2014**. Department of Economic and Social Affairs Population Division, ST/ESA/SER.A/354, United Nations, New York, NY 10017, USA. Disponível em: <<http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/index.shtml>>. Acesso em: 15 out. 2016.

WHITHAM, F. H.; BLAYDES, D. F.; DEVLIN, R. M. **Experiments in plant physiology**. New York: D. Van Nostrand Company, p. 55-58, 1971.

ZUCCARINI, P. Ion uptake by halophytic plants to mitigate saline stress in *Solanum lycopersicon* L., and different effect of soil and water salinity. **Soil and Water Research**, v. 3, n. 2, p. 62-73, 2008.

APÊNDICE

Tabela A1. Parâmetros da análise de regressão da correlação entre a condutividade elétrica (CE) da água de irrigação e as trocas gasosas de Erva-sal (*A. nummularia*), mantidas a duas umidades de solo (50 e 100% da capacidade de campo) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas, aos 17, 46 e 79 dias de avaliação.

Variáveis	Regressão	R ²	p
$A_{17} - 50\%CC$	$y = 19,1494 + 2,0975x$	0,6959	0,01
$A_{17} - 100\%CC$	-	-	-
$A_{46} - 50\%CC$	$y = 13,5436 - 2,2802x$	0,8938	0,05
$A_{46} - 100\%CC$	$y = 15,2933 - 1,6295x$	0,7355	0,10
$A_{79} - 50\%CC$	$y = 12,4295 - 2,5713x$	0,9941	0,01
$A_{79} - 100\%CC$	$y = 10,6522 - 1,3531x$	0,9902	0,01
$g_{s17} - 50\%CC$	$y = 0,1097 + 0,0156x$	0,6474	0,05
$g_{s17} - 100\%CC$	$y = 0,1512 + 0,0146x - 0,0045x^2$	0,8604	0,05
$g_{s46} - 50\%CC$	$y = 0,0709 - 0,0126x$	0,9293	0,01
$g_{s46} - 100\%CC$	$y = 0,0807 - 0,0095x$	0,6428	0,01
$g_{s79} - 50\%CC$	$y = 0,0601 - 0,0123x$	0,9913	0,01
$g_{s79} - 100\%CC$	$y = 0,0607 - 0,0089x$	0,9606	0,05
$Ci_{17} - 50\%CC$	$y = 56,6774 + 23,0687x - 4,6771x^2$	0,9834	0,10
$Ci_{17} - 100\%CC$	-	-	-
$Ci_{46} - 50\%CC$	-	-	-
$Ci_{46} - 100\%CC$	-	-	-
$Ci_{79} - 50\%CC$	-	-	-
$Ci_{79} - 100\%CC$	$y = 66,1860 - 8,4820x$	0,5908	0,05
$EUA_{17} - 50\%CC$	$y = 3,9976 - 0,3822x + 0,0820x^2$	0,9750	0,01
$EUA_{17} - 100\%CC$	$y = 4,1674 - 0,5346x + 0,1539x^2$	0,8287	0,05
$EUA_{46} - 50\%CC$	-	-	-
$EUA_{46} - 100\%CC$	$y = 4,4806 - 0,3950x + 0,0830x^2$	0,7897	0,01
$EUA_{79} - 50\%CC$	$y = 4,051 - 0,1431x$	0,8496	0,10
$EUA_{79} - 100\%CC$	-	-	-

A – Taxa fotossintética líquida ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); g_s – condutância estomática ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); Ci - concentração intracelular de CO_2 ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$); T – transpiração ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); EUA - eficiência do uso da água ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}/\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); 17, 46 e 79 - dias de avaliação após a irrigação com os tratamentos; 50 e 100% CC – umidades a 50 e 100% da capacidade de campo do solo.

Tabela A2. Parâmetros da análise de regressão da correlação entre a taxa fotossintética líquida (A) e transpiração (T) de Erva-sal (*A. nummularia*) mantidas a duas umidades de solo (50 e 100% da capacidade de campo) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), durante 86 dias de avaliação.

Variáveis	Regressão	R ²	p
$A * T$	$y = 0,0575 + 0,2563x$	0,9141	0,01

Tabela A3. Parâmetros da análise de regressão da correlação entre a condutividade elétrica (CE) da água de irrigação e do potencial hídrico foliar (Ψ_h) de Erva-sal (*A. nummularia*), mantidas a duas umidades de solo (50 e 100% da capacidade de campo) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas, aos 163 dias de avaliação.

Variáveis	Regressão	R ²	p
CE * Ψ_h – 50%CC	$y = -3,1360 - 0,2381.\log(x)$	0,9223	0,01
CE * Ψ_h – 100%CC	$y = -2,7776 - 0,2737.\log(x)$	0,9020	0,05

CC – capacidade de campo.

Tabela A4. Parâmetros da análise de regressão da correlação entre a condutividade elétrica (CE) da água de irrigação com a taxa de crescimento da parte aérea (T_c) (cm dia⁻¹) de Erva-sal (*A. nummularia*) mantidas a duas umidades de solo (50 e 100% da capacidade de campo) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas, durante 140 dias de avaliação.

Variáveis	Regressão	R ²	p
60 dias	$Y = 0,5445 + 0,0426x$	0,8591	0,05
140 dias	$Y = 0,0032 + 0,0304x$	0,8988	0,01

Tabela A5. Parâmetros da análise de regressão da correlação entre a condutividade elétrica (CE) da água de irrigação com o incremento final da parte aérea (IFA) (cm), massa seca das folhas (MS_{folha}) e massa seca da parte aérea ($MS_{aérea}$) (g) de Erva-sal (*A. nummularia*) mantidas a duas umidades de solo (50 e 100% da capacidade de campo) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas, aos 163 dias de avaliação.

Variáveis	Regressão	R ²	p
IFA	$y = 11,2967 + 2,0599x$	0,7197	0,10
MS_{folha} – 50%CC	$y = 6,9852 + 0,8313x$	0,9117	0,05
MS_{folha} – 100%CC	$y = 6,3317 - 2,9011x$	0,8830	0,05
$MS_{aérea}$ – 50%CC	-	-	-
$MS_{aérea}$ – 100%CC	$y = 28,027 + 5,7040x$	0,8346	0,05

CC – capacidade de campo.

Tabela A6. Análise de variância da taxa fotossintética líquida (A) de Erva-sal (*A. nummularia*) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 17 dias de avaliação.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	3	129,94	43,312	3,2779	0,036165*
%CC	1	39,25	39,248	2,9703	0,096242 ^{ns}
CE	4	99,43	24,856	1,8811	0,142700 ^{ns}
%CC*CE	4	66,40	16,601	1,2563	0,311294 ^{ns}
Resíduo	27	356,76	13,213		
Total	39	691,77			
CV (%)	14,8				

CC – capacidade de campo; A – taxa fotossintética líquida ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); ns - não significativo; (*) - significativo ($P < 0,05$).

Tabela A7. Análise de variância da condutância estomática (g_s) de Erva-sal (*A. nummularia*) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 17 dias de avaliação.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	3	0,0027195	0,00090649	1,6571	0,199717 ^{ns}
%CC	1	0,0015252	0,00152523	2,7881	0,106522 ^{ns}
CE	4	0,0048041	0,00120104	2,1955	0,096328 ^{ns}
%CC*CE	4	0,0058187	0,00145466	2,6591	0,054364 ^{ns}
Resíduo	27	0,0147703	0,00054705		
Total	39	0,0296378			
CV (%)	15,93				

CC – capacidade de campo; g_s – condutância estomática ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); ns - não significativo.

Tabela A8. Análise de variância da concentração intracelular de CO_2 (C_i) de Erva-sal (*A. nummularia*) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 17 dias de avaliação.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	3	7725,3	2575,09	11,5549	0,00005**
%CC	1	27,6	27,57	0,1237	0,72779 ^{ns}
CE	4	2510,9	627,72	2,8167	0,04488 ^{ns}
%CC*CE	4	2658,4	664,59	2,9821	0,03677*
Resíduo	27	6017,1	222,86		
Total	39	18939,2			
CV (%)	19,91				

CC – capacidade de campo; C_i – concentração intracelular de CO_2 ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$); ns – não significativo; (**) - significativo ($P < 0,01$); (*) - significativo ($P < 0,05$).

Tabela A9. Análise de variância da transpiração (*T*) de Erva-sal (*A. nummularia*) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 17 dias de avaliação.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	3	43,306	14,4352	17,9423	0,00000**
%CC	1	0,350	0,3501	0,4351	0,51508 ^{ns}
CE	4	11,026	2,7564	3,4261	0,02173*
%CC*CE	4	9,619	2,4048	2,9891	0,03646*
Resíduo	27	21,722	0,8045		
Total	39	86,023			
CV (%)	13,8				

CC – capacidade de campo; *T* – transpiração ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$); ns - não significativo; (**) - significativo ($P < 0,01$); (*) - significativo ($P < 0,05$).

Tabela A10. Análise de variância da eficiência do uso de água (*EUA*) de Erva-sal (*A. nummularia*) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 17 dias de avaliação.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	3	9,1733	3,05775	35,985	0,00000**
%CC	1	0,6235	0,62350	7,338	0,01158*
CE	4	0,9817	0,24542	2,888	0,04117*
%CC*CE	4	0,3377	0,08444	0,994	0,42790 ^{ns}
Resíduo	27	2,2943	0,08497		
Total	39	13,4105			
CV (%)	7,55				

CC – capacidade de campo; *EUA* – eficiência do uso de água ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} / \text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); ns - não significativo; (**) - significativo ($P < 0,01$); (*) - significativo ($P < 0,05$).

Tabela A11. Análise de variância da eficiência instantânea de carboxilação (*EiC*) de Erva-sal (*A. nummularia*) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 17 dias de avaliação.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	3	22,353	7,4509	12,0693	0,00003**
%CC	1	0,340	0,3401	0,5508	0,46438 ^{ns}
CE	4	5,158	1,2896	2,0890	0,11001 ^{ns}
%CC*CE	4	2,310	0,5776	0,9357	0,45823 ^{ns}
Resíduo	27	16,668	0,6173		
Total	39	46,830			
CV (%)	24,82				

CC – capacidade de campo; *EiC* – eficiência instantânea de carboxilação ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} / \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$); ns - não significativo; (**) - significativo ($P < 0,01$); dados transformados pelo teste de Box-Cox (y^{-1}).

Tabela A12. Análise de variância da taxa fotossintética líquida (*A*) de Erva-sal (*A. nummularia*) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 46 dias de avaliação.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	3	471,84	157,280	15,1154	0,00001**
%CC	1	97,10	97,101	9,3319	0,00502**
CE	4	198,70	49,674	4,7740	0,00482**
%CC*CE	4	29,71	7,428	0,7139	0,58973 ^{ns}
Resíduo	27	280,94	10,405		
Total	39	1078,29			
CV (%)	31,28				

CC – capacidade de campo; *A* – taxa fotossintética líquida ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); ns - não significativo; (**) - significativo ($P < 0,01$).

Tabela A13. Análise de variância da condutância estomática (g_s) de Erva-sal (*A. nummularia*) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 46 dias de avaliação.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	3	0,0123249	0,0041083	12,3587	0,00003**
%CC	1	0,0026732	0,0026732	8,0417	0,00856**
CE	4	0,0066329	0,0016582	4,9883	0,00384**
%CC*CE	4	0,0008764	0,0002191	0,6591	0,62571 ^{ns}
Resíduo	27	0,0089754	0,0003324		
Total	39	0,0314828			
CV (%)	34,61				

CC – capacidade de campo; g_s – condutância estomática ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); ns - não significativo; (**) - significativo ($P < 0,01$).

Tabela A14. Análise de variância da concentração intracelular de CO_2 (C_i) de Erva-sal (*A. nummularia*) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 46 dias de avaliação

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	3	2961,4	987,14	3,5121	0,02859*
%CC	1	4,6	4,59	0,0163	0,89922 ^{ns}
CE	4	3841,3	960,33	3,4167	0,02198*
%CC*CE	4	1579,0	394,75	1,4044	0,25917 ^{ns}
Resíduo	27	7588,9	281,07		
Total	39	15975,2			
CV (%)	44,94				

CC – capacidade de campo; C_i – concentração intracelular de CO_2 ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$); ns – não significativo; (*) - significativo ($P < 0,05$).

Tabela A15. Análise de variância da transpiração (*T*) de Erva-sal (*A. nummularia*) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 46 dias de avaliação.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	3	5,196	1,7319	2,5111	0,07985 ^{ns}
%CC	1	4,390	4,3904	6,3658	0,01783*
CE	4	11,551	2,8878	4,1872	0,00913**
%CC*CE	4	0,986	0,2464	0,3573	0,83666 ^{ns}
Resíduo	27	18,621	0,6897		
Total	39	40,745			
CV (%)	32,11				

CC – capacidade de campo; *T* – transpiração (mmol H₂O m⁻² s⁻¹); ns - não significativo; (**) - significativo (P < 0,01); (*) - significativo (P < 0,05).

Tabela A16. Análise de variância da eficiência do uso de água (*EUA*) de Erva-sal (*A. nummularia*) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 46 dias de avaliação.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	3	36,314	12,1048	73,077	0,00000**
%CC	1	1,627	1,6265	9,819	0,00413**
CE	4	0,445	0,1113	0,672	0,61711 ^{ns}
%CC*CE	4	0,525	0,1313	0,793	0,54029 ^{ns}
Resíduo	27	4,472	0,1656		
Total	39	43,384			
CV (%)	10,39				

CC – capacidade de campo; *EUA* – eficiência do uso de água (μmol CO₂ m⁻² s⁻¹/mmol H₂O m⁻² s⁻¹); ns - não significativo; (**) - significativo (P < 0,01).

Tabela A17. Análise de variância da eficiência instantânea de carboxilação (*EiC*) de Erva-sal (*A. nummularia*) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 46 dias de avaliação.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	3	0,30934	0,103112	4,4265	0,01178*
%CC	1	0,15224	0,152240	6,5355	0,01651*
CE	4	0,10168	0,025420	1,0913	0,38071 ^{ns}
%CC*CE	4	0,16585	0,041463	1,7800	0,16201 ^{ns}
Resíduo	27	0,62894	0,023294		
Total	39	1,35805			
CV (%)	11,78				

CC – capacidade de campo; *EiC* – eficiência instantânea de carboxilação (μmol CO₂ m⁻² s⁻¹/μmol CO₂ mol⁻¹); ns - não significativo; (*) - significativo (P < 0,05); dados transformados pelo teste de Box-Cox (y^{-0,2}).

Tabela A18. Análise de variância da taxa fotossintética líquida (*A*) de Erva-sal (*A. nummularia*) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 79 dias de avaliação.

	FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco		3	93,65	31,218	3,7574	0,022427*
%CC		1	58,34	58,336	7,0213	0,013300*
CE		4	176,42	44,106	5,3086	0,002752**
%CC*CE		4	103,15	25,788	3,1039	0,031787*
Resíduo		27	224,33	8,308		
Total		39	655,90			
CV (%)		39,85				

CC – capacidade de campo; *A* – taxa fotossintética líquida ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); (**) - significativo ($P < 0,01$); (*) - significativo ($P < 0,05$).

Tabela A19. Análise de variância da condutância estomática (g_s) de Erva-sal (*A. nummularia*) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 79 dias de avaliação.

	FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco		3	0,0028635	0,00095449	4,4343	0,011691*
%CC		1	0,0021462	0,00214622	9,9708	0,003890**
CE		4	0,0051824	0,00129560	6,0190	0,001348**
%CC*CE		4	0,0018729	0,00046822	2,1753	0,098788 ^{ns}
Resíduo		27	0,0058118	0,00021525		
Total		39	0,0178768			
CV (%)		39,73				

CC – capacidade de campo; g_s – condutância estomática ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); ns - não significativo; (**) - significativo ($P < 0,01$); (*) - significativo ($P < 0,05$).

Tabela A20. Análise de variância da concentração intracelular de CO_2 (C_i) de Erva-sal (*A. nummularia*) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 79 dias de avaliação.

	FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco		3	0,2765	0,092173	0,34029	0,79635 ^{ns}
%CC		1	0,1470	0,147030	0,54281	0,46763 ^{ns}
CE		4	0,3618	0,090441	0,33389	0,85270 ^{ns}
%CC*CE		4	1,0844	0,271107	1,00087	0,42426 ^{ns}
Resíduo		27	7,3135	0,270871		
Total		39	9,1833			
CV (%)		21,76				

CC – capacidade de campo; C_i – concentração intracelular de CO_2 ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$); ns – não significativo; dados transformados pelo teste de Box-Cox ($y^{0,25}$).

Tabela A21. Análise de variância da transpiração (T) de Erva-sal (*A. nummularia*) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 79 dias de avaliação.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	3	2,863	0,9542	1,5456	0,225494 ^{ns}
%CC	1	3,254	3,2537	5,2704	0,029685*
CE	4	12,394	3,0984	5,0189	0,003719**
%CC*CE	4	6,155	1,5387	2,4924	0,066689 ^{ns}
Resíduo	27	16,669	0,6174		
Total	39	41,334			
CV (%)	41,95				

CC – capacidade de campo; T – transpiração ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); ns - não significativo; (**) - significativo ($P < 0,01$); (*) - significativo ($P < 0,05$).

Tabela A22. Análise de variância da eficiência do uso de água (EUA) de Erva-sal (*A. nummularia*) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 79 dias de avaliação.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	3	18,4886	6,1629	51,755	0,00000**
%CC	1	0,6096	0,6096	5,119	0,03192*
CE	4	0,1564	0,0391	0,328	0,85645 ^{ns}
%CC*CE	4	1,1977	0,2994	2,515	0,06490 ^{ns}
Resíduo	27	3,2151	0,1191		
Total	39	23,6674			
CV (%)	9,09				

CC – capacidade de campo; EUA – eficiência do uso de água ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} / \text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); ns - não significativo; (**) - significativo ($P < 0,01$); (*) - significativo ($P < 0,05$).

Tabela A23. Análise de variância da eficiência instantânea de carboxilação (EiC) de Erva-sal (*A. nummularia*) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 79 dias de avaliação.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	3	0,1936	0,064532	0,54271	0,65721 ^{ns}
%CC	1	0,1203	0,120254	1,01132	0,32351 ^{ns}
CE	4	0,4672	0,116792	0,98220	0,43377 ^{ns}
%CC*CE	4	0,8234	0,205844	1,73112	0,17225 ^{ns}
Resíduo	27	3,2105	0,118908		
Total	39	4,8149			
CV (%)	24,24				

CC – capacidade de campo; EiC – eficiência instantânea de carboxilação ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} / \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$); ns - não significativo; dados transformados pelo teste de Box-Cox ($y^{-0,2}$).

Tabela A24. Análise de variância do potencial hídrico foliar (Ψ_h) de Erva-sal (*A. nummularia*) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 163 dias de avaliação.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	3	0,5828	0,19425	4,3898	0,01219*
%CC	1	0,2723	0,27225	6,1525	0,01965*
CE	4	2,2235	0,55588	12,5621	0,00001**
%CC*CE	4	0,0365	0,00913	0,2062	0,93273 ^{ns}
Resíduo	27	1,1948	0,04425		
Total	39	4,3098			
CV (%)	6,33				

CC – capacidade de campo; ns - não significativo; (**) - significativo ($P < 0,01$); (*) - significativo ($P < 0,05$).

Tabela A25. Análise de variância do teor de clorofila *a* (*Chl a*) de Erva-sal (*A. nummularia*) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 163 dias de avaliação.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	3	0,04711	0,015703	1,8722	0,15811 ^{ns}
%CC	1	0,05761	0,057608	6,8684	0,01423*
CE	4	0,04042	0,010105	1,2048	0,33161 ^{ns}
%CC*CE	4	0,00116	0,000291	0,0347	0,99755 ^{ns}
Resíduo	27	0,22646	0,008387		
Total	39	0,37276			
CV (%)	31,05				

CC – capacidade de campo; *Chl a* – teor de clorofila *a* (mg g^{-1} MF); MF – massa fresca; ns - não significativo; (*) - significativo ($P < 0,05$).

Tabela A26. Análise de variância do teor de clorofila *b* (*Chl b*) de Erva-sal (*A. nummularia*) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 163 dias de avaliação.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	3	0,002999	0,0009998	0,8825	0,46254 ^{ns}
%CC	1	0,003842	0,0038416	3,3909	0,07657 ^{ns}
CE	4	0,005449	0,0013622	1,2024	0,33262 ^{ns}
%CC*CE	4	0,001080	0,0002700	0,2384	0,91417 ^{ns}
Resíduo	27	0,030589	0,0011329		
Total	39	0,043958			
CV (%)	24,44				

CC – capacidade de campo; *Chl b* – teor de clorofila *b* (mg g^{-1} MF); MF – massa fresca; ns - não significativo.

Tabela A27. Análise de variância do teor de clorofila *total* (*Chl total*) de Erva-sal (*A. nummularia*) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 163 dias de avaliação.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	3	0,08322	0,027739	1,5845	0,21613 ^{ns}
%CC	1	0,10619	0,106193	6,0661	0,02045*
CE	4	0,08663	0,021657	1,2371	0,31874 ^{ns}
%CC*CE	4	0,00032	0,000081	0,0046	0,99995 ^{ns}
Resíduo	27	0,47266	0,017506		
Total	39	0,74902			
CV (%)	28,9				

CC – capacidade de campo; *Chl total* – teor de clorofila total (mg g⁻¹ MF); MF – massa fresca; ns - não significativo; (*) - significativo (P < 0,05).

Tabela A28. Análise de variância da taxa de crescimento da parte aérea (Tc) (cm) de Erva-sal (*A. nummularia*) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), para o tempo de 60 dias.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	3	0,001446	0,000482	0,0771	0,97181 ^{ns}
%CC	1	0,008827	0,008827	1,4124	0,24501 ^{ns}
CE	4	0,102181	0,025545	4,0875	0,01020*
%CC*CE	4	0,009290	0,002322	0,3716	0,82676 ^{ns}
Resíduo	27	0,168738	0,006250		
Total	39	0,290482			
CV (%)	12,47				

CC – capacidade de campo; ns - não significativo; (*) - significativo (P < 0,05); dados transformados pelo teste de Box-Cox ($y^{0,25}$).

Tabela A29. Análise de variância da taxa de crescimento da parte aérea (Tc) (cm) de Erva-sal (*A. nummularia*) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), para o tempo de 115 dias.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	3	0,011079	0,00369	1,8408	0,16358 ^{ns}
%CC	1	0,055726	0,05573	27,7776	0,00001**
CE	4	0,003449	0,00086	0,4298	0,78584 ^{ns}
%CC*CE	4	0,010425	0,00261	1,2991	0,29532 ^{ns}
Resíduo	27	0,054166	0,00201		
Total	39	0,134845			
CV (%)	39,4				

CC – capacidade de campo; ns - não significativo; (**) - significativo (P < 0,01).

Tabela A30. Análise de variância da taxa de crescimento da parte aérea (Tc) (cm) de Erva-sal (*A. nummularia*) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), para o tempo de 140 dias.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	3	0,014795	0,004932	1,8605	0,16014 ^{ns}
%CC	1	0,003045	0,003045	1,1487	0,29331 ^{ns}
CE	4	0,049964	0,012491	4,7122	0,00515 ^{**}
%CC*CE	4	0,013118	0,003280	1,2372	0,31872 ^{ns}
Resíduo	27	0,071572	0,002651		
Total	39	0,152494			
CV (%)	76,7				

CC – capacidade de campo; ns - não significativo; (**) - significativo (P < 0,01).

Tabela A31. Análise de variância do incremento final da parte aérea (IFA) (cm) de Erva-sal (*A. nummularia*) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 163 dias de avaliação.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	3	48,29	16,098	0,9589	0,42632 ^{ns}
%CC	1	145,54	145,542	8,6691	0,00658 ^{**}
CE	4	285,68	71,421	4,2541	0,00848 ^{**}
%CC*CE	4	53,36	13,339	0,7945	0,53912 ^{ns}
Resíduo	27	453,29	16,789		
Total	39	986,17			
CV (%)	26,23				

CC – capacidade de campo; ns - não significativo; (**) - significativo (P < 0,01).

Tabela A32. Análise de variância do incremento final do diâmetro (IFD) (mm) de Erva-sal (*A. nummularia*) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 163 dias de avaliação.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	3	0,2029	0,0676	0,886	0,46081 ^{ns}
%CC	1	8,5840	8,5840	112,438	0,00000 ^{**}
CE	4	0,4055	0,1014	1,328	0,28504 ^{ns}
%CC*CE	4	0,1656	0,0414	0,542	0,70611 ^{ns}
Resíduo	27	2,0613	0,0763		
Total	39	11,4193			
CV (%)	15,67				

CC – capacidade de campo; ns - não significativo; (**) - significativo (P < 0,01).

Tabela A33. Análise de variância da massa seca das folhas (g) de Erva-sal (*A. nummularia*) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 163 dias de avaliação.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	3	18,83	6,276	2,402	0,089568 ^{ns}
%CC	1	136,38	136,382	52,208	0,000000**
CE	4	179,49	44,872	17,177	0,000000**
%CC*CE	4	69,83	17,457	6,683	0,000713**
Resíduo	27	70,53	2,612		
Total	39	475,06			
CV (%)	15,28				

CC – capacidade de campo; ns - não significativo; (**) - significativo (P < 0,01).

Tabela A34. Análise de variância da massa seca da parte aérea (caule+folhas) (g) de Erva-sal (*A. nummularia*) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 163 dias de avaliação.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	3	182,3	60,76	1,917	0,150589 ^{ns}
%CC	1	2176,2	2176,22	68,670	0,000000**
CE	4	626,1	156,54	4,939	0,004044**
%CC*CE	4	379,0	94,76	2,990	0,036419*
Resíduo	27	855,7	31,69		
Total	39	4219,3			
CV (%)	17,25				

CC – capacidade de campo; ns - não significativo; (**) - significativo (P < 0,01); (*) - significativo (P < 0,05).

Tabela A35. Análise de variância da massa seca da raiz (g) de Erva-sal (*A. nummularia*) mantidas a duas umidades de solo (%CC) e irrigadas com água salina com diferentes condutividades elétricas (CE), aos 163 dias de avaliação.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	3	73,89	24,631	3,7058	0,02359*
%CC	1	187,79	187,792	28,254	0,00001**
CE	4	3,37	0,841	0,1266	0,97153 ^{ns}
%CC*CE	4	41,93	10,482	1,5771	0,20893 ^{ns}
Resíduo	27	179,46	6,647		
Total	39	486,44			
CV (%)	26,3				

CC – capacidade de campo; ns - não significativo; (**) - significativo (P < 0,01); (*) - significativo (P < 0,05).