

ALEXANDRE NASCIMENTO DOS SANTOS

**RENDIMENTO E AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DO CULTIVO HIDROPÔNICO DE
ALFACE (*Lactuca sativa* L.) EM SISTEMA NFT NO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO
UTILIZANDO ÁGUAS SALOBRAS**

**Recife
2009**

Alexandre Nascimento dos Santos

Engenheiro Agrícola e Ambiental

**RENDIMENTO E AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DO CULTIVO HIDROPÔNICO DE
ALFACE (*Lactuca sativa* L.) EM SISTEMA NFT NO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO
UTILIZANDO ÁGUAS SALOBRAS**

Orientador:

Prof. Dr. Enio Farias de França e Silva

Co-orientador:

Dr. Tales Miler Soares

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração: Engenharia de água e solo.

**Recife
2009**

FICHA CATALOGRÁFICA

S237r Santos, Alexandre Nascimento dos
Rendimento e avaliação nutricional do cultivo hidropônico de alface (*Lactuca sativa* L.) em sistema NFT no semi-árido brasileiro utilizando águas salobras / Alexandre Nascimento dos Santos. -- 2009.
133 f. : il.

Orientador : Ênio Farias de França e Silva
Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Tecnologia Rural.
Inclui anexo e bibliografia.

CDD 631.585

1. Água subterrânea
 2. Salinidade
 3. Osmose reversa
 4. Cultivo sem solo
 5. Irrigação
- I. Silva, Ênio Farias de França e
 - II. Título

ALEXANDRE NASCIMENTO DOS SANTOS

**Rendimento e avaliação nutricional do cultivo hidropônico de alface (*Lactuca sativa L.*)
em sistema NFT no Semi-Árido brasileiro utilizando águas salobras**

Dissertação defendida e aprovada em 27 de fevereiro de 2009 pela Banca Examinadora:

Orientador:

Ênio Farias de França e Silva, Prof. Dr

DTR-UFRPE

Examinadores:

Abelardo Antônio de Assunção Montenegro, Prof. PhD

DTR-UFRPE

Egídio Bezerra Neto, Prof. Dr

DQ-UFRPE

Tales Miler Soares, Dr

DTR-UFRPE

*“A água pode ser suave e delicada, contudo, sozinha, pode
acabar com qualquer rocha”*

(Provérbio Chinês)

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal Rural de Pernambuco – Departamento de Tecnologia Rural;

À Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, representada na pessoa do Professor Mário Rolim, pela oportunidade de ingresso no Mestrado;

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento do projeto;

Ao Professor Dr. Ênio Farias de França e Silva, pela orientação e amizade construída;

Ao Dr. Tales Miler Soares, pela orientação e amizade construída.

Aos professores Egídio Bezerra Neto e Levy Paes Barreto pela atenção e contribuição para esclarecimentos de dúvidas;

À toda minha família em especial à minha mãe Maria José e minha vó Maria Olivia.

À minha noiva Kamilla Dinah e toda sua família.

Aos estagiários David James, Maria Augusta, Raquele Lira;

Aos estagiários do Poço do Boi: Raquel, Viviam, Otílio e Davi;

Aos estagiários do Laboratório de Química Vegetal.

Aos amigos de curso: Marcio Salu e Graciliano (companheiros desde a graduação), Zezito vulgo “José Francisco de Carvalho”, Marcos Batista, Ricardo Wanderley, pelos bons momentos vividos;

Aos amigos de outros cursos: Em especial as amigas Thais Emanuelle e Terezinha Xavier;

Aos professores, funcionários e colegas de pós-graduação pela convivência e amizade;

À Prefeitura Municipal de Ibimirim pelo o pleno apoio e concessão da área do experimento;

À SAKATA (João Totti Felix) pelo fornecimento de sementes;

À TIGRE (Olacir Martins Luciano) pelo fornecimento de tubos e conexões;

E a todos que ajudaram de forma direta ou indireta para que este trabalho fosse concretizado.

SUMÁRIO

RESUMO	10
ABSTRACT	11
LISTA DE FIGURAS	12
LISTA DE TABELAS	18
1 INTRODUÇÃO.....	24
2 REVISÃO DE LITERATURA	28
2.1 A água no Semi-Árido.....	28
2.2 O uso das águas subterrâneas	29
2.3 Qualidade das águas subterrâneas	30
2.4 Dessalinização de águas salobras	31
2.5 Destino do rejeito do processo da dessalinização.....	32
2.6 Sistema hidropônico como alternativa para a utilização de águas salobra.....	34
2.7 Efeito da salinidade sobre as plantas	37
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	40
3.1 Localização da área experimental.....	40
3.2 Estrutura experimental.....	40
3.2.1 Casa-de-vegetação	40
3.2.2 Unidade experimental.....	41
3.2.3 Painel de controle elétrico e programação.....	43
3.3 Condução dos experimentos.....	44
3.3.1 Experimento I	44
3.3.2 Experimento II.....	45

3.3.3 Experimento III	46
3.4 Produção de mudas	46
3.5 Preparo das águas e da solução nutritiva	48
3.5.1 Preparo das águas para os tratamentos utilizando água salobra	49
3.5.2 Preparo das águas para os tratamentos utilizando água salinizada com NaCl	51
3.5.3 Preparo da solução nutritiva	51
3.6 Monitoramentos e variáveis analisadas	53
3.6.1 Monitoramento climático e da solução nutritiva	53
3.6.2 Avaliação da uniformidade de aplicação de solução nutritiva	53
3.6.3 Determinação das variáveis de crescimento e rendimento da alface.....	55
3.6.4 Determinação do consumo hídrico e teor de água da alface	55
3.6.5 Avaliação nutricional da alface	56
3.6.6 Análise estatística	56
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
4.1 Experimento I	57
4.1.1 Monitoramento climático e da solução nutritiva	57
4.1.2 Crescimento e rendimento da alface cultivada em águas salobras.....	61
4.1.3 Sintomatologia da alface no Experimento I	70
4.1.4 Consumo hídrico da alface cultivada em águas salobras	75
4.1.5 Avaliação nutricional da alface cultivada em águas salobras.....	77
4.2 Experimento II.....	87
4.2.1 Monitoramento climático e da solução nutritiva	87
4.2.2 Crescimento e rendimento da alface cultivada em águas salobras.....	89

4.1.3 Sintomatologia da alface no Experimento II	97
4.1.4 Consumo hídrico da alface cultivada em águas salobras	101
4.1.5 Avaliação nutricional da alface cultivada em águas salobras.....	102
4.3 Experimento III	113
4.3.1 Monitoramento climático e da solução nutritiva	113
4.3.2 Crescimento e rendimento da alface cultivada em águas salobras.....	114
4.1.3 Sintomatologia da alface no Experimento III.....	116
4.1.4 Consumo hídrico da alface cultivada em águas salobras	117
5 CONCLUSÕES	120
REFERÊNCIAS	122
ANEXOS	129

RESUMO

RENDIMENTO E AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DO CULTIVO HIDROPÔNICO DE ALFACE (*Lactuca sativa* L.) EM SISTEMA NFT NO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO UTILIZANDO ÁGUAS SALOBRAS

O Município de Ibimirim em Pernambuco está localizado no Semi-Árido e muitos de seus poços fornecem águas salobras. O uso dessas águas tem sido evitado, por levar a doenças humanas e também à redução da produtividade agrícola. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o aproveitamento da água salobra subterrânea e do rejeito da sua dessalinização para o cultivo hidropônico da alface. Seis níveis de salinidade da água (CEa: 1,2; 2,2; 3,2; 4,2; 5,2 dS m⁻¹) foram testados, em três experimentos conduzidos em casa-de-vegetação. No Experimento I, duas fontes de salinidade foram avaliadas: águas artificialmente salinizadas com NaCl e águas naturalmente salobras de origem subterrânea (AS), obtidas de um poço tubular profundo e misturadas com o rejeito de sua dessalinização (osmose reversa). Utilizou-se água dessalinizada para reposição das perdas por evapotranspiração (ETc). O aumento da salinidade com as AS produziu efeito negativo sobre o crescimento e rendimento da alface crespa cv. 'Vera', com redução de 15,99% (dS m⁻¹)⁻¹ sobre a massa de matéria fresca da parte aérea; não houve redução significativa para essa variável ao se usar a fonte NaCl. Sintomas de clorose generalizada foram verificados em plantas submetidas à fonte AS. Esse resultado foi atribuído a desequilíbrios nutricionais decorrentes da elevação do pH da solução nutritiva. A fonte AS produziu menor acúmulo foliar de Cu, Zn, Fe e Mn e maior acúmulo de Ca e Mg. O Experimento II foi conduzido com os mesmos níveis de salinidade do Experimento I, utilizando apenas águas salobras naturais, testando seus efeitos sobre duas variedades de alface ('Vera' e 'AF 1745'). As águas foram usadas em todo processo produtivo (preparo da solução nutritiva e reposição da ETc). O aumento da salinidade levou à redução linear do crescimento das plantas de alface. As plantas apresentaram clorose generalizada no início do ciclo, mas esse sintoma não foi detectado na colheita. A variedade 'Vera' teve menor crescimento e rendimento absoluto que a 'AF-1743'. Por outro lado, para ambas as variedades, a redução percentual em função da salinidade foi equivalente: o acúmulo de massa fresca da parte aérea foi reduzido à razão de 17,06 e 15,74 % (dS m⁻¹)⁻¹ para 'Vera' e 'AF-1743', respectivamente. O acúmulo foliar de N, P, Ca, Mg, Zn, Fe e Na foi maior na variedade 'AF-1743'; já o acúmulo de K foi menor nessa variedade. O maior acúmulo de Na em 'AF-1743' pode explicar a presença de queima nas bordas das folhas mais velhas. No Experimento III, o aproveitamento de águas salobras de cinco diferentes poços foi avaliado para produção das duas variedades de alface anteriormente citadas. Essas águas foram ajustadas para um mesmo nível salino (2,2 dS m⁻¹) e foram usadas para o preparo da solução nutritiva e para a reposição da ETc. A produtividade não foi influenciada pelas águas dos diferentes poços, mas, o rendimento da 'AF-1743' foi maior que o da variedade 'Vera'.

Palavras-Chave: Água Subterrânea; Salinidade; Osmose Reversa; Cultivo Sem Solo; Irrigação

ABSTRACT

YIELD AND NUTRITIONAL EVALUATION OF LETTUCE (*Lactuca sativa L.*) HYDROPONIC CULTIVATION IN NFT SYSTEM USING BRACKISH WATERS IN BRAZILIAN SEMI ARID

Ibimirim City in Pernambuco State is a municipal district located at the Brazilian semi arid and most of its wells produce brackish water. The use of this water has been avoided since it may cause human diseases and crop yield decrease. The objective of the present work was to evaluate the utilization of brackish groundwater and the reject from its desalination for hydroponic production of lettuce. Six levels of water salinity (CEa: 1.2; 2.2; 3.2; 4.2; 5.2 dS m⁻¹) were analyzed in three experiments carried out inside a greenhouse. In the Experiment I, two salinity sources were evaluated: waters artificially salinized with NaCl and brackish groundwaters (AS), obtained from a deep tubular well and mixed with the reject of its desalination (reverse osmosis). Desalinized water was used to restore the evapotranspiration (ETc) losses. The increase of salinity by AS produced a negative effect on growth and yield of lettuce cv. Vera, with a reduction of 15.99 (dS m⁻¹)⁻¹ for fresh matter mass of shoot; there was no significant decrease of this variable using the source NaCl. Symptoms of generalized chlorosis were registered in plants submitted to salts from source AS. This result was attributed to nutritional disorders due the pH increasing in nutrient solution. The source AS produced lower leaf accumulation of Cu, Zn, Fe and Mn and higher accumulation of Ca and Mg. Experiment II was carried out with the same salinity levels of Experiment I using only brackish groundwaters for irrigation of two lettuce varieties ('Vera' and 'AF1745'). These waters were used in overall production process (to prepare the nutrient solution and to restore the ETc). The salinity increase caused a linear reduction on lettuce plants growth. The plants exhibited general chlorosis at the beginning of the cycle, but this symptom was not verified at the harvest. The variety 'Vera' had a lower absolute growth and yield than the 'AF-1743'. On the other hand, the percent reduction for both varieties was similar: the shoot fresh matter accumulation was decreased in 17.06 and 15.74 % (dS m⁻¹)⁻¹ for 'Vera' and 'AF-1743', respectively. Leaf accumulation of N, P, Ca, Mg, Zn, Fe and Na was higher in variety 'AF-1743', while K accumulation was lower in this variety. The higher Na content in 'AF-1743' may explain the presence of burning of leaf edges of old leaves. In the Experiment III the utilization of brackish waters from five different wells was evaluated for production of the two lettuce varieties cited above. These waters were adjusted for the same salinity level (2.2 dS m⁻¹) and were used to prepare nutrient solution and restore the ETc. The yield was not affected by the waters from the different wells; but the yield of 'AF-1743' was higher than 'Vera'.

Key words: Groundwater; salinity; reverse osmosis; soilless; irrigation

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Indicação da distribuição dos blocos na casa-de-vegetação.	41
Figura 2. Vista frontal da casa-de-vegetação onde foram conduzidos os experimentos.	41
Figura 3. Vista frontal da parcela experimental (A), eletrobomba de circulação (B), sistema injetor/retorno (C) e retorno e aeração da solução (D).	42
Figura 4. Abastecedor automático e seus componentes.	43
Figura 5. Esquema elétrico do painel de controle e distribuição da rede elétrica no interior da casa-de-vegetação.	44
Figura 6. Berçário em NFT para produção de mudas de alface	48
Figura 7. Poço tubular do Distrito Poço do Boi, Ibimirim/PE (A) e aparelho de osmose reversa (B).	48
Figura 8. Teste de uniformidade de aplicação da solução nutritiva.	54
Figura 9. Valores médios de pH da solução nutritiva para as fontes AS (a) e NaCl (a) ao longo do Experimento I.	58
Figura 10. Valores médios da condutividade elétrica da solução nutritiva para as fontes de salinidade AS (A) e NaCl (B) ao longo do Experimento I.	60
Figura 11. Número de folhas (NF) da alface ‘Vera’ em função dos níveis de salinidade da água (CEa) provocados por AS (a) e por NaCl (b).	65
Figura 12. Diâmetro de cabeça (DC) da alface ‘Vera’ em função dos níveis de salinidade da água (CEa) provocados por AS (a) e por NaCl (b).	66
Figura 13. Massa de matéria fresca da parte aérea (MFPA) da alface ‘Vera’ em função dos níveis de salinidade da água (CEa) provocados por AS (a) e por NaCl (b).	66
Figura 14. Massa de matéria fresca da folha (MFF) da alface ‘Vera’ em função dos níveis de salinidade da água (CEa) provocados por AS (a) e por NaCl (b).	66

Figura 15. Massa de matéria fresca do caule (MFC) da alface ‘Vera’ em função dos níveis de salinidade da água (CEa) provocados por AS (a) e por NaCl (b).....	67
Figura 16. Massa seca da parte aérea (MSPA) da alface ‘Vera’ em função dos níveis de salinidade da água (CEa) provocados por AS (a) e por NaCl (b).....	67
Figura 17. Massa de matéria seca da folha (MSF) da alface ‘Vera’ em função dos níveis de salinidade da água (CEa) provocados por AS (a) e por NaCl (b).....	67
Figura 18. Massa de matéria seca do caule (MSC) da alface ‘Vera’ em função dos níveis de salinidade da água (CEa) provocados por AS (a) e por NaCl (b).....	68
Figura 19. Massa de matéria seca da raiz (MSR) da alface ‘Vera’ em função dos níveis de salinidade da água (CEa) provocados por AS (a) e por NaCl (b).....	68
Figura 20. Massa de matéria seca total da alface ‘Vera’ em função dos níveis de salinidade da água (CEa) provocados por AS (a) e por NaCl (b).....	68
Figura 21. Teor de água da alface (U) ‘Vera’ em função dos níveis de salinidade da água (CEa) provocados por AS (a) e por NaCl (b).	69
Figura 22. Contraste visual aos 8 DAT de duas parcelas, uma submetida á água salobra (esquerda) e outra ao NaCl (direita).	70
Figura 23. Sintomas de clorose intensa nos bordos foliares de plantas submetidas às águas salobras aos 8 DAT.	71
Figura 24. Contraste visual aos 8 DAT de duas plantas, uma submetida à salinidade por NaCl (esquerda) e outra à água salobra (direita), ambas sob CEa de 5,2 dS m ⁻¹	71
Figura 25. Acúmulo de sedimentos e de sais precipitados nas raízes de uma planta submetida à solução nutritiva produzida com água salobra (aos 8 DAT).	72
Figura 26. Deposição de sais precipitados no reservatório de solução nutritiva salinizada com água salobra (A) em comparação à ausência de precipitados em reservatório com solução salinizada por NaCl (B).....	73
Figura 27. Deposição de sais no reservatório (A); limpeza do reservatório (B); deposição de sais na calha e no tampão de saída (C e D); limpeza das calhas (E).	73

Figura 28. Vista geral da plantas do Experimento I aos 22 DAT.....	74
Figura 29. Teores de nitrogênio no tecido foliar da alface ‘Vera’ em função da salinidade (CEa) provocada por águas salobras (a) e por NaCl (b).....	83
Figura 30. Teores de fósforo no tecido foliar da alface ‘Vera’ em função da salinidade (CEa) provocada por águas salobras (a) e por NaCl (b).	83
Figura 31. Teores de potássio no tecido foliar da alface ‘Vera’ em função da salinidade (CEa) provocada por águas salobras (a) e por NaCl (b).	83
Figura 32. Teores de cálcio no tecido foliar da alface ‘Vera’ em função da salinidade (CEa) provocada por águas salobras (a) e por NaCl (b).	84
Figura 33. Teores de magnésio no tecido foliar da alface ‘Vera’ em função da salinidade (CEa) provocada por águas salobras (a) e por NaCl (b).....	84
Figura 34. Teores de enxofre no tecido foliar da alface ‘Vera’ em função da salinidade (CEa) provocada por águas salobras (a) e por NaCl (b).	84
Figura 35. Teores de cobre no tecido foliar da alface ‘Vera’ em função da salinidade (CEa) provocada por águas salobras (a) e por NaCl (b).	85
Figura 36. Teores de zinco no tecido foliar da alface ‘Vera’ em função da salinidade (CEa) provocada por águas salobras (a) e por NaCl (b).	85
Figura 37. Teores de ferro no tecido foliar da alface ‘Vera’ em função da salinidade (CEa) provocada por águas salobras (a) e por NaCl (b).	85
Figura 38. Teores de manganês no tecido foliar da alface ‘Vera’ em função da salinidade (CEa) provocada por águas salobras (a) e por NaCl (b).....	86
Figura 39. Teores de cloreto no tecido foliar da alface ‘Vera’ em função da salinidade (CEa) provocada por águas salobras (a) e por NaCl (b).	86
Figura 40. Teores de sódio no tecido foliar da alface ‘Vera’ em função da salinidade (CEa) provocada por águas salobras (a) e por NaCl (b).	86
Figura 41. Valores médios de pH da solução nutritiva ao longo do Experimento II.	88

Figura 42. Valores médios da condutividade elétrica da solução nutritiva ao longo do Experimento II.....	89
Figura 43. Número de folhas (NF) por planta em função da salinidade da água (CEa) para as variedades crespa (a) e lisa (b).	92
Figura 44. Diâmetro de cabeça (DC) por planta em função da salinidade da água (CEa) para as variedades crespa (a) e lisa (b).	92
Figura 45. Massa de matéria fresca da parte aérea (MFPA) por planta em função da salinidade da água (CEa) para as variedades crespa (a) e lisa (b).	93
Figura 46. Massa de matéria fresca da folha (MFF) por planta em função da salinidade da água (CEa) para as variedades crespa (a) e lisa (b).	93
Figura 47. Massa de matéria fresca do caule (MFC) por planta em função da salinidade da água (CEa) para as variedades crespa (a) e lisa (b).	93
Figura 48. Massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) por planta em função da salinidade da água (CEa) para as variedades crespa (a) e lisa (b).	94
Figura 49. Massa de matéria seca da folha (MSF) por planta em função da salinidade da água (CEa) para as variedades crespa (a) e lisa (b).	94
Figura 50. Massa de matéria seca do caule (MSC) por planta em função da salinidade da água (CEa) para as variedades crespa (a) e lisa (b).	94
Figura 51. Teor de água na folha em função da salinidade da água (CEa) para as variedade crespa (a) e lisa (b).	95
Figura 52. Massa de matéria seca da raiz (MSR) por planta em função da salinidade da água (CEa).	96
Figura 53. Sintomas apresentados pelas plantas no Experimento II: A – raízes com deposição de sais precipitados; B – queima das bordas foliares “tip burn”; C – clorose intensa das bordas foliares; D – necrose das bordas das folhas mais velhas; E e D – contraste de tamanho entre os tratamentos PB0,2 e PB4,2.	100

Figura 54. Teor de N nas folhas da alface cultivar ‘Vera’ (a) e da variedade ‘AF 1743’ em função da salinidade da água (CEa).	107
Figura 55. Teor de P nas folhas da alface cultivar ‘Vera’ (a) e da variedade ‘AF 1743’ em função da salinidade da água (CEa).	108
Figura 56. Teor de K nas folhas da alface cultivar ‘Vera’ (a) e da variedade ‘AF 1743’ em função da salinidade da água (CEa).	108
Figura 57. Teor de Ca nas folhas da alface cultivar ‘Vera’ (a) e da variedade ‘AF 1743’ em função da salinidade da água (CEa).	108
Figura 58. Teor de Mg nas folhas da alface cultivar ‘Vera’ (a) e da variedade ‘AF 1743’ em função da salinidade da água (CEa).	109
Figura 59. Teor de S nas folhas da alface cultivar ‘Vera’ (a) e da variedade ‘AF 1743’ em função da salinidade da água (CEa).	109
Figura 60. Teor de Cu nas folhas da alface cultivar ‘Vera’ (a) e da variedade ‘AF 1743’ em função da salinidade da água (CEa).	109
Figura 61. Teor de Zn nas folhas da alface cultivar ‘Vera’ (a) e da variedade ‘AF 1743’ em função da salinidade da água (CEa).	110
Figura 62. Teor de Fe nas folhas da alface cultivar ‘Vera’ (a) e da variedade ‘AF 1743’ em função da salinidade da água (CEa).	110
Figura 63. Teor de Mn nas folhas da alface cultivar ‘Vera’ (a) e da variedade ‘AF 1743’ em função da salinidade da água (CEa).	110
Figura 64. Teor de Cl nas folhas da alface cultivar ‘Vera’ (a) e da variedade ‘AF 1743’ em função da salinidade da água (CEa).	111
Figura 65. Teor de Na nas folhas da alface cultivar ‘Vera’ (a) e da variedade ‘AF 1743’ em função da salinidade da água (CEa).	111
Figura 66. Valores médios de pH da solução nutritiva ao longo do Experimento III.	113
Figura 67. Valores médios da condutividade elétrica da solução nutritiva ao longo do Experimento III.	114

Figura 68. Resultados das comparações de médias do consumo hídrico mediante o teste de Tukey a 5% para os diferentes poços na 1ª semana (A), aos 6 DAT (B), na 2ª semana (C), aos 11 DAT (D), na 3ª semana e aos 20 DAT. 118

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Volume gasto de cada tipo água usada na mistura para se atingir os diferentes níveis de CE dos tratamentos com água salobra para o preparo de 240L de solução nutritiva	50
Tabela 2. Composição química das águas utilizadas nos experimentos.....	50
Tabela 3. Quantidade de NaCl usada na água dessalinizada para se atingir os diferentes níveis de CE dos tratamentos, para o preparo de 240 L de solução nutritiva	51
Tabela 4. Quantidades de fertilizantes utilizados como fontes de macro e micronutrientes para o preparo de 1000 L de solução nutritiva para o cultivo hidropônico de alface (FURLANI, 1998).....	52
Tabela 5. Resultado da análise de variância para as variáveis de rendimento avaliadas no Experimento I.....	61
Tabela 6. Resultado da análise de variância para as variáveis de crescimento avaliadas no Experimento I.....	61
Tabela 7. Resultado do desdobramento do efeito da interação sobre as variáveis de rendimento para as fontes de salinidade dentro de cada nível de salinidade.....	62
Tabela 8. Resultado do desdobramento do efeito da interação sobre as variáveis de crescimento para as fontes de salinidade dentro de cada nível de salinidade.....	62
Tabela 9. Resultado do desdobramento do efeito da interação sobre as variáveis de rendimento para os níveis de salinidade dentro de cada fonte de salinidade	63
Tabela 10. Resultado do desdobramento do efeito da interação sobre as variáveis de crescimento e teor de água nas folhas para os níveis de salinidade dentro de cada fonte de salinidade.....	63
Tabela 11. Resultado da comparação de média pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade para as variáveis de rendimento considerando o fator fonte de salinidade	63

Tabela 12. Resultado da comparação de média pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade para as variáveis de crescimento e teor de água foliar considerando o fator fonte de salinidade	64
Tabela 13. Resultado da análise de regressão aplicada às variáveis analisadas no Experimento I (análise conjunta de AS e NaCl)	65
Tabela 14. Resultado da análise visual de sintomas em folhas de alface crespa ‘Vera’ aos 8 DAT (27/06/2008) submetida à salinidade da água	74
Tabela 15. Resultado da análise de variância para o consumo hídrico em diferentes datas ao longo do Experimento I	75
Tabela 16. Resultado do desdobramento do efeito da interação para as fontes de salinidade dentro de cada nível de salinidade	75
Tabela 17. Resultado do desdobramento do efeito da interação para os níveis de salinidade dentro de cada fonte de salinidade	76
Tabela 18. Resultado da análise de regressão para o consumo hídrico aplicada aos períodos analisados no Experimento I (análise conjunta de AS e NaCl)	76
Tabela 19. Resultado da comparação de média pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade para as variáveis de consumo hídrico considerando o fator fonte de salinidade	77
Tabela 20. Resultado da análise de variância para as concentrações dos macronutrientes avaliados no tecido vegetal da alface cultivada no Experimento I	77
Tabela 21. Resultado da análise de variância para as concentrações dos micronutrientes e de sódio avaliados no tecido vegetal da alface cultivada no Experimento I	78
Tabela 22. Resultado do desdobramento do efeito da interação para as fontes de salinidade dentro de cada nível de salinidade da água (CEa)	79
Tabela 23. Resultado do desdobramento do efeito da interação para as fontes de salinidade dentro de cada nível de salinidade	79

Tabela 24. Resultado do desdobramento do efeito da interação para os níveis de salinidade dentro de cada fonte de salinidade.....	80
Tabela 25. Resultado do desdobramento do efeito da interação para os níveis de salinidade dentro de cada fonte de salinidade.....	80
Tabela 26. Resultado do teste de média para o efeito da fonte de salinidade para os macronutrientes	81
Tabela 27. Resultado do teste de média para o efeito da fonte de salinidade para os micronutrientes e sódio.....	81
Tabela 28. Resultado da análise de regressão aplicada às variáveis analisadas no Experimento I (análise conjunta de AS e NaCl)	82
Tabela 29. Resultado da análise de variância para as variáveis de crescimento da alface avaliadas no Experimento II	89
Tabela 30. Resultado do desdobramento do efeito da interação para as variedades de alface dentro de cada nível de salinidade da água (CEa).....	90
Tabela 31. Resultado do desdobramento do efeito da interação para os níveis de salinidade dentro de cada variedade de alface	90
Tabela 32. Resultado da comparação de média pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade para as variáveis de crescimento considerando o fator fonte de salinidade	91
Tabela 33. Resultado da análise de regressão aplicada às variáveis analisadas no Experimento II (análise conjunta de ‘Vera’ e ‘AF 1743’)	91
Tabela 34. Valores de incremento percentual por acréscimo unitário na salinidade da água sobre as respostas de crescimento e produção das variedades crespa e lisa de alface	96
Tabela 35. Resultado da análise visual cronológica de sintomas cloróticos em folhas de alface das variedades ‘Vera’ (crespa) e ‘AF-1743’ (lisa) submetidas à salinidade da água no Experimento II.....	98
Tabela 36. Resultado da análise de variância para o consumo hídrico em diferentes semanas e datas ao longo do Experimento II.....	101

Tabela 37. Resultado da análise de regressão aplicada ao consumo hídrico em função da salinidade da água (CEa) analisadas ao longo do Experimento II	101
Tabela 38. Resultado da análise de variância para as concentrações dos macronutrientes avaliados no tecido vegetal das variedades de alface ‘Vera’ e ‘AF-1743’	102
Tabela 39. Resultado da análise de variância para as concentrações dos micronutrientes e do sódio avaliados no tecido vegetal das variedades de alface ‘Vera’ e ‘AF-1743’	103
Tabela 40. Resultado do desdobramento do efeito da interação sobre os acúmulos dos macronutrientes nas variedades de alface dentro de cada nível de salinidade da água (CEa)	104
Tabela 41. Resultado do desdobramento do efeito da interação sobre os acúmulos dos micronutrientes e do sódio nas variedades de alface dentro de cada nível de salinidade da água (CEa).....	104
Tabela 42. Resultado do desdobramento do efeito da interação sobre os acúmulos dos macronutrientes nos níveis de salinidade da água (CEa) dentro de cada variedades de alface	105
Tabela 43. Resultado do desdobramento do efeito da interação para os acúmulos dos macronutrientes nos níveis de salinidade da água (CEa) dentro de cada variedades de alface	105
Tabela 44. Resultado da comparação de média pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade para os acúmulos de macronutrientes considerando o fator variedade de alface	105
Tabela 45. Resultado da comparação de média pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade para os acúmulos de micronutrientes considerando o fator variedade de alface	106
Tabela 46. Resultado da análise de regressão aplicada aos acúmulos dos nutrientes analisados no Experimento II (análise conjunta das variedades ‘Vera’ e ‘AF-1743’).....	106
Tabela 47. Valores médios dos acúmulos dos macronutrientes no tecido foliar das variedades de alface ‘Vera’ e ‘AF-1743’ em função da salinidade da água	112

Tabela 48. Valores médios dos acúmulos dos micronutrientes e de sódio no tecido foliar das variedades de alface ‘Vera’ e ‘AF-1743’ em função da salinidade da água	112
Tabela 49. Resultado da análise de variância para as variáveis de crescimento avaliadas no Experimento III	114
Tabela 50. Resultado da comparação de média pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade para as variedade no Experimento III.....	115
Tabela 51. Resultado da comparação de média pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade para os diferentes poços no Experimento III.....	115
Tabela 52. Resultado da análise visual cronológica de sintomas cloróticos em folhas de alface das variedades ‘Vera’ (crespa) e ‘AF-1743’ (lisa) submetidas à águas de diferentes poços sob mesma salinidade da água no Experimento III.....	116
Tabela 53. Resultado da análise de variância para o consumo hídrico em diferentes semanas datas ao longo do Experimento III	117
Tabela 54. Resultado da análise de variância para as concentrações dos macronutrientes avaliados no tecido vegetal das variedades de alface ‘Vera’ e ‘AF-1743’.....	129
Tabela 55. Resultado da análise de variância para as concentrações dos micronutrientes e do sódio avaliados no tecido vegetal das variedades de alface ‘Vera’ e ‘AF-1743’	129
Tabela 56. Resultado do desdobramento do efeito da interação sobre os acúmulos dos macronutrientes nos níveis de salinidade da água (CEa) dentro de cada variedades de alface	129
Tabela 57. Resultado do desdobramento do efeito da interação sobre os acúmulos dos micronutrientes e do sódio nos níveis de salinidade da água (CEa) dentro de cada variedades de alface.....	130
Tabela 58. Resultado do desdobramento do efeito da interação sobre os acúmulos dos macronutrientes nas variedades de alface dentro de cada nível de salinidade da água (CEa)	130
Tabela 59. Resultado do desdobramento do efeito da interação sobre os acúmulos dos micronutrientes e do sódio nas variedades de alface dentro de cada nível de salinidade da água (CEa).....	130

Tabela 60. Resultado da comparação de média pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade para os acúmulos dos macronutrientes no tecido vegetal dentro de cada variedade de alface	131
Tabela 61. Resultado da comparação de média pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade para os acúmulos dos macronutrientes e do sódio no tecido vegetal dentro de cada variedade de alface	131
Tabela 62. Resultado da comparação de média pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade para os acúmulos dos macronutrientes no tecido vegetal das variedades de alface dentro de cada poço.....	131
Tabela 63. Resultado da comparação de média pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade para os acúmulos dos micronutrientes e do sódio no tecido vegetal das variedades de alface dentro de cada poço.....	132
Tabela 64. Valores médios dos acúmulos dos macronutrientes no tecido foliar das variedades de alface ‘Vera’ e ‘AF-1743’ em função da salinidade da água	132
Tabela 65. Valores médios dos acúmulos dos micronutrientes e de sódio no tecido foliar das variedades de alface ‘Vera’ e ‘AF-1743’ em função da salinidade da água	133

1 INTRODUÇÃO

Na Região Nordeste do Brasil, a irregularidade e as baixas taxas de precipitação pluvial, aliadas às elevadas taxas de evapotranspiração e à formação geológica das regiões semi-áridas, favorecem situação de escassez de águas superficiais e desfavorecem a implantação de sistemas de produção agrícola convencionais, pois os mesmos necessitam de relevantes quantidades de água. No entanto, existem reservas subterrâneas que podem ser exploradas e com isso melhorar a relação de convivência com a seca. Porém, nessa região, grande parte de sua área é coberta por rochas impermeáveis (embasamento cristalino), o que dificulta a infiltração de água no solo, reduzindo o armazenamento subterrâneo. Nessas áreas, os poços tubulares perfurados para captação de água subterrânea geralmente possuem baixas vazões e altos teores de sais dissolvidos.

A utilização *in natura* dessas águas subterrâneas para o uso agrícola pode oferecer riscos ao meio ambiente, promovendo a salinização dos solos e, como conseqüência, oferecer prejuízos à própria produção agrícola.

Uma alternativa encontrada para favorecer a utilização das águas salobras para o consumo humano é a sua dessalinização por osmose reversa (ou inversa). O uso dessa técnica tem sido muito explorado principalmente nas regiões semi-áridas para fornecer água potável às comunidades difusas, tornando-se um importante instrumento para a melhoria da qualidade de vida das pessoas residentes nestes locais. Por outro lado, o processo de dessalinização produz, tanto uma água de boa qualidade como, em mesma proporção, outro tipo de água denominada de rejeito, também conhecida por concentrado ou salmoura, que possui concentração de sais aproximadamente dobrada em relação à água originalmente captada do poço, o que torna seu uso muito mais restritivo. Desta forma, a dessalinização de águas salobras torna-se uma “faca de dois gumes”, ou seja, resolve-se um problema e cria-se outro. O descarte inadequado do rejeito pode ocasionar impactos ao meio ambiente, como a salinização dos solos e o aumento na concentração de sais em corpos d’água superficiais.

Como alternativa produtiva, para a utilização dessas águas, e possuindo características condizentes com a realidade das regiões do semi-árido, o sistema hidropônico em NFT (técnica do fluxo laminar de nutrientes) se apresenta como uma técnica que possui entre suas vantagens a economia na utilização de água, melhor aproveitamento da área e elevadas produtividades. O NFT é um sistema de circulação fechada, com aproveitamento contínuo da solução nutritiva ao longo do ciclo. Portanto, não se tem o contato direto com o ambiente, diminuindo, desta forma, os efeitos negativos da utilização de águas salobras e ou de rejeito

sobre os solos e os corpos d'água, possibilitando também melhor controle na sua posterior destinação.

Soares (2007), trabalhando com produção de alface em hidroponia utilizando água salinizada, a partir da adição de NaCl, para o preparo da solução nutritiva, levantou a hipótese que na produção hidropônica tipo NFT como não se tem a presença do solo, o potencial mátrico pode ser anulado, diminuindo assim os efeitos negativos da salinidade sobre as plantas. Enquanto Soares (2007) estudou apenas o uso das águas salobras ou no preparo da solução nutritiva ou na reposição da evapotranspiração, Paulus (2008) estudou o uso em ambas as etapas da produção. O inconveniente é que ambos os esforços foram conduzidos no Estado de São Paulo, distante da realidade do Semi-Árido.

A partir da hipótese acima mencionada, outras foram levantadas, como as relacionadas abaixo e que norteiam o presente trabalho conduzido na condição semi-árida:

Hipótese 1 – O uso de águas salobras, provenientes de poços do embasamento cristalino, proporciona menores prejuízos à produção de alface que as águas salinizadas com NaCl, pois enquanto esse último sal apresenta dois íons tóxicos às plantas, as águas dos poços geralmente têm misturas de íons tóxicos e íons nutrientes;

Hipótese 2 – Há redução na produção de alface com o aumento do nível salino da água salobra, devendo esta redução ser diferente para variedades diferentes;

Hipótese 3 – Existe diferença de produção quando se utiliza águas salobras provenientes de poços de diferentes locais, sendo esta diferença proporcionada pela composição química da água, específica de cada localidade; essas diferenças podem ocorrer mesmo para concentrações iso-osmóticas.

Hipótese 4 – A salinidade e a composição química da água usada no preparo da solução nutritiva alteram a absorção e, conseqüentemente, o acúmulo de nutrientes pelas plantas;

O aproveitamento de águas subterrâneas salobras na hidroponia pode abrir uma nova perspectiva para a agricultura do semi-árido brasileiro, colaborando, inclusive, com uma maior segurança ambiental, aumento da geração de renda aos produtores, aumento da qualidade de vida e conseqüente auxílio à fixação do homem no campo.

Para o presente estudo, buscou-se selecionar um local abastecido por água salobra de origem subterrânea e que possuísse estrutura para dessalinização dessa água pela técnica da osmose reversa. Também se utilizou como critério trabalhar num local onde o rejeito da dessalinização era inadequadamente descartado. Nesse sentido, dentro do município de Ibimirim, região semi-árida de Pernambuco, selecionou-se o Distrito de Poço do Boi, após

consulta prévia ao sistema de cadastro de poços do CPRM – Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2006).

O município de Ibimirim, localizado na Bacia do Rio Moxotó em Pernambuco, possui o maior açude do Estado, o açude Engenheiro Francisco Sabóia (Poço da Cruz), que tem capacidade para armazenar 504.000.000 m³, o que não tem impedido a escassez de água para sua população. Em 1999, por exemplo, esse açude detinha menos de 5 % de sua capacidade total.

Apesar das potencialidades agrícolas do município, a aptidão à agricultura irrigada ainda não foi capaz de alavancar sua economia. Tanto que Ibimirim e municípios contíguos como Inajá estão dentro do território de menor índice de desenvolvimento humano (IDH) do Estado (IDH de 0,543), sendo região prioritária para os planos de combate à pobreza mediante o Plano Integrado de Desenvolvimento Local da Secretaria de Desenvolvimento Social e Cidadania do Estado de Pernambuco (SEPLAN, 2004; SEPLAN, 2003).

No município de Ibimirim, a agricultura irrigada é a atividade que mais demanda água do açude, entretanto a eficiência de aplicação é baixa, resultado da capacitação incipiente dos irrigantes, do predomínio da irrigação por superfície e também reflexo da ausência e má difusão de tecnologias adequadas ao convívio com as estiagens prolongadas.

O problema é tão grave que se sugeriu a possibilidade de conversão do método de irrigação, transitando dos sistemas de irrigação por superfície para a irrigação localizada. A ocorrência de solos salinizados devido ao manejo incorreto da irrigação é comum em Ibimirim (SILVA, 2006; FREIRE et al., 2003).

O Distrito de Poço do Boi é uma comunidade difusa distante 31 km do centro municipal e possui uma população de 181 habitantes. Apesar de estar localizado próximo à margem do açude Poço da Cruz, o abastecimento doméstico d'água é feito prioritariamente pelo uso de águas salobras do subterrâneo e emergencialmente por “carros-pipas”. A água do açude Poço da Cruz não possui qualidade e nem tratamento adequado ao consumo humano, porém em determinados períodos essa é a única fonte de água para varias comunidades da região. A dessalinização de água salobra por osmose reversa é a técnica usada na comunidade para se obter água de boa qualidade, porém, o equipamento permaneceu desativado por muito tempo devido à falta de manutenção e não substituição de peças.

O objetivo deste trabalho foi avaliar, dentro das condições semi-áridas de Ibimirim-PE, o crescimento, a produção e o estado nutricional de duas variedades de alface em sistema hidropônico NFT quando cultivadas sob diferentes níveis de salinidade da água, obtidos pela

mistura da água do poço, do rejeito da sua dessalinização e da água dessalinizada, em contraste com águas salobras artificialmente produzidas com NaCl.

Especificamente, buscou-se:

1. Avaliar o desenvolvimento, o rendimento e o estado nutricional da alface hidropônica submetida a solução nutritiva preparada com águas de diferentes níveis de salinidade, provocada por duas fontes de salinidade, quais sejam, NaCl e águas salobras de origem subterrânea, sendo essas últimas obtidas pela diluição da água do poço e do rejeito da dessalinização;

2. Avaliar o rendimento e o estado nutricional de duas variedades de alface (cultivar crespa ‘Vera’ e a variedade lisa ‘AF-1743’) à salinidade com o emprego de águas salobras no preparo da solução nutritiva e na reposição do volume evapotranspirado;

3. Avaliar o rendimento e o estado nutricional de duas variedades de alface (cultivar crespa ‘Vera’ e a variedade lisa ‘AF-1743’) quando submetidas ao uso de águas com concentrações iso-osmóticas ($2,2 \text{ dS m}^{-1}$) e provenientes de cinco diferentes poços tubulares.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A água no Semi-Árido

Quando o assunto é água, o Brasil se coloca em posição privilegiada com cerca de 12% da água doce disponível no mundo (BRASIL, 2006). Porém, esse recurso não se distribui equitativamente para todas as regiões do País. Tanto as águas superficiais como as águas das chuvas se concentram mais em umas regiões que em outras. Segundo Paz et al. (2000), a Região Amazônica concentra cerca de 80% dos recursos hídricos brasileiros, abrigando 7% da população; já na Região Nordeste, que abriga 27% da população, apenas 3,3% desses recursos estão disponíveis. Em termos pluviométricos, Rebouças (2004) diz que mais de 90% do território brasileiro recebe chuvas entre 1.000 e 3.000 mm ano⁻¹ e que apenas no contexto das regiões semi-áridas do Nordeste, as chuvas são mais escassas (entre 400 a 800 mm ano⁻¹) e relativamente mais irregulares. O autor também ressalta como característica desta região o regime temporário dos rios que secam praticamente durante todo o período sem precipitações pluviais nas respectivas bacias hidrográficas.

A Região do Semi-Árido brasileiro abrange 1.133 municípios e abriga uma população de 20.858.264 habitantes e se estende por uma área de 969.589,4 km², sendo sua maior abrangência nos Estados da Região Nordeste do País com 92,5%, e uma menor parte na porção setentrional do Estado de Minas Gerais com 7,5% do território (BRASIL, 2008). Essa região possui características edafoclimáticas que favorecem a escassez de água, como baixa intensidade pluvial, elevada intensidade solar, elevada temperatura, elevadas taxas de evapotranspiração e solos rasos e impermeáveis, que favorecem o escoamento superficial, ou solos arenosos com baixa capacidade de retenção de água, condições essas que tornam o armazenamento de água na superfície uma solução temporária, caso não haja algum tipo de recarga.

Nas regiões mais secas do Semi-Árido, quando se exaurem os mananciais, a população tem de ser socorrida por carros-pipas, uma “solução” cara e polêmica do ponto de vista político. O sistema de abastecimento por meio de carro-pipa no Nordeste é visto como uma das principais engrenagens da indústria da seca (BRASIL, 2006). Só para se ter uma idéia, se a população pernambucana residente na região semi-árida do Estado (3.236.741 habitantes) tivesse um consumo médio *per capita*, entre os múltiplos usos, de 200L dia⁻¹ e fossem

utilizados carros-pipas com capacidade entre 7.000 e 10.000 L para atender essa demanda, seriam necessário cerca 64.734 a 92.478 carros-pipas por dia para fornecer essa água.

A escassez de água no semi-árido brasileiro prejudica o desenvolvimento das atividades produtivas, tendo com conseqüência prejuízos econômicos e sociais. Tal fato dificulta a fixação do homem na região, em função da redução na qualidade de vida; em virtude da diminuição na produção de alimentos e na geração de recursos financeiros.

2.2 O uso das águas subterrâneas

Frente ao cenário de escassez de água nas regiões do Semi-Árido e o aumento populacional, com conseqüente aumento da demanda hídrica, a utilização de águas subterrâneas através de poços tubulares tem sido uma alternativa de abastecimento local das comunidades rurais destas regiões. No entanto, questões quantitativas e qualitativas restringem seu uso em algumas regiões e para algumas atividades.

As águas subterrâneas estão contidas nos espaços entre os solos e embasamento rochoso que compõe a região. Um conjunto de rochas sedimentares e cristalinas compõe as Províncias Hidrogeológicas do Brasil (CABRAL & SANTOS, 2007). Os embasamentos sedimentares são formados por rochas do tipo arenito e possuem maior potencial hídrico, pois as águas estão contidas na porosidade das rochas. Portanto, as águas contidas nesses reservatórios se apresentam em maior quantidade e melhor qualidade. Já o embasamento cristalino armazena água nas discontinuidades, falhas ou fraturas das rochas (metamórficas e magmáticas). Nesse embasamento, a água associa-se a feições de dissolução das rochas, adquirindo algumas de suas características químicas.

As quantidades de águas subterrâneas estocadas no subsolo da região dependem da porosidade do material rochoso, cuja dimensão é de ordem milimétrica ou micrométrica, podendo esse ser poros ou espaços vazios das rochas formadas por um grande número de grãos, também chamadas de granulares, ou ser as fraturas ou fissuras das rochas duras ou compactas (REBOUÇAS, 2004). Com relação à qualidade dessas águas, tem-se a influência direta do material de origem o qual a água mantém contato.

De forma geral, os terrenos sedimentares apresentam os melhores aquíferos, e ocupam cerca de 4.130.000 km², representando 48% do território nacional. Os terrenos cristalinos constituem os aquíferos cárstico-fraturados e fraturados, que ocupam cerca de 4.380.000 km², 52% do território nacional (ANA, 2005).

No nordeste brasileiro, principalmente na região do Semi-Árido, cerca de 50% de sua área é coberta por rochas do embasamento cristalino (CABRAL & SANTOS, 2007). O Estado de Pernambuco é constituído por cerca de 80% de rochas cristalinas, e 20% de rochas sedimentares (ABAS, 2003). Nas áreas cristalinas, os poços tubulares perfurados para captação de água subterrânea geralmente são de baixas vazões e altas salinidades, tornando inviável o seu uso para a agricultura convencional. Cabral & Santos (2007) chamam a atenção para a importância de se estudar, nestas regiões, melhores formas de convivência com a escassez hídrica, trazendo benefícios sociais para a população dessa região.

2.3 Qualidade das águas subterrâneas

O conhecimento da qualidade da água subterrânea é um fator extremamente necessário quando se pensa em utilizá-la. Na produção agrícola, a concentração de sais nessas águas é um dos principais fatores que torna seu uso restritivo, sendo o conhecimento de sua magnitude o primeiro passo a ser dado no sentido de planejar sua melhor forma de exploração e manejo. A condutividade elétrica está diretamente ligada à concentração iônica da água e a sua determinação é o parâmetro mais usado como indicador de salinidade. Dependendo da formação geológica que o poço tubular explora, aspectos químicos relacionados à qualidade da água podem variar bastante, ou seja, pode-se encontrar água com baixíssimas concentrações iônicas até águas extremamente salinas (CPRM, 1999). Costa et al. (2006), estudando os aspectos da salinização das águas do aquífero cristalino no Estado do Rio Grande do Norte, observaram que a condutividade elétrica das águas das rochas cristalinas no seu contexto geral (espacial) varia de 0,03 dS m⁻¹ a 24,32 dS m⁻¹, com um valor médio de 4,36 dS m⁻¹ e um desvio padrão de 4,49. Também podem ocorrer variações em função do período seco ou chuvoso. Por exemplo, a água do poço localizado no embasamento cristalino do Distrito Poço do Boi no Município de Ibimirim, região semi-árida de Pernambuco, registrava condutividade elétrica de 1,70 dS m⁻¹ em março de 2008 (período chuvoso) e 3,50 dS m⁻¹ em janeiro de 2009 (período seco). Outros exemplos bem documentados sobre a sazonalidade da qualidade da água subterrânea do semi-árido brasileiro são apresentados por Audry & Suassuna (1995).

A composição química das águas subterrâneas depende, tanto em quantidade como em qualidade, da origem no qual ela flui, ou seja, depende da composição da rocha a qual ela tem contato, e da facilidade de dissolução desta rocha. De modo geral os principais sais solúveis

encontrados nas águas subterrâneas são os ânions CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- e SO_4^{2-} e os cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ (SILVA JÚNIOR, GHEYI & MEDEIROS, 1999).

2.4 Dessalinização de águas salobras

Frente à escassez de águas superficiais e à alta concentração de sais das águas subterrâneas, a dessalinização de água salobra se torna uma importante alternativa para se obter água de boa qualidade para o consumo humano. Algumas técnicas e processos são usados com esse objetivo, como a troca iônica, a eletrodialise e a osmose reversa (ou inversa). A osmose reversa é o processo mais utilizado para a dessalinização de água, principalmente nas regiões semi-áridas do Nordeste (PORTO, AMORIM & ARAÚJO, 2001).

O método de dessalinização por osmose reversa tem como princípio de funcionamento o sentido inverso ao da osmose, por isso, a denominação osmose reversa ou osmose inversa. A osmose é um fenômeno no qual em se havendo uma membrana semi-permeável separando água pura de uma solução concentrada em sais dissolvidos, haverá um movimento natural da água pura à solução concentrada, devido ao menor potencial osmótico da solução concentrada e à propriedade das membranas semi-permeáveis que permite a passagem da água por sua estrutura, mas não permite a passagem de solutos. Quando a água e a solução salina entrarem em equilíbrio, estarão as duas em diferentes níveis. Essa diferença de nível é denominada de pressão osmótica, segundo Juan (2000), citado por Soares (2007). Já a osmose reversa é o processo que consiste na aplicação de uma pressão capaz de sobrepor a pressão osmótica, promovendo o caminho da água no sentido contrário da osmose, ou seja, a solução salina é pressionada sobre a membrana semi-permeável que permite a passagem da água pura e retém os sais.

O processo de dessalinização de águas salobras produz, tanto uma água de boa qualidade como, em mesma proporção, outro tipo de água denominada de rejeito, também conhecida por concentrado ou salmoura, que tem concentração de sais solúveis praticamente dobrada com relação à água originalmente captada do poço, o que torna seu uso muito mais restritivo. Segundo Porto et al. (2001), dependendo do equipamento e da qualidade da água do poço, a quantidade de rejeito gerado será da ordem de 40 a 60% do total de água salobra que vem do poço. Os autores também chamam a atenção para os prováveis impactos ao meio ambiente, devido ao crescente uso de equipamentos de dessalinização de água salobra pelo

processo de osmose reversa na região semi-árida brasileira, e a conseqüente produção de rejeito.

Programas do Governo, como é o caso do Programas água Doce, têm investido recursos e esforços para implantação de sistemas de dessalinização de águas salobras, principalmente nas regiões que apresentam condição crítica em termos de abastecimento de água nas regiões semi-áridas do nordeste. O programa também prevê ações de incentivo a produção agrícola, utilizando o rejeito do processo da dessalinização para abastecer tanque para criação de tilápia, promover a irrigação da erva-sal (*Atriplex nummularia L.*) e conseqüentemente utilizá-la na produção de feno para alimentação de caprinos e ovinos (FUNDAÇÃO BANCO DO BRASIL, 2008).

2.5 Destino do rejeito do processo da dessalinização

O rejeito do processo da dessalinização é uma desvantagem desse método. A destinação inadequada deste rejeito poderá trazer, em curto espaço de tempo, sérios problemas para as comunidades que se beneficiam desta tecnologia.

Estima-se que o Nordeste tenha cerca de 170 mil poços perfurados, os quais produzem freqüentemente água salobra, imprópria para o consumo humano, sendo utilizado cerca de 17 mil dessalinizadores para retirar o sal da água por meio de osmose reversa (FUNDAÇÃO BANCO DO BRASIL, 2008). Portanto, um grande volume de rejeito está sendo gerado, e quase na totalidade dos casos, o rejeito não vem recebendo qualquer tratamento, sendo despejado no solo, propiciando alto acúmulo de sais nas camadas superficiais do terreno (PORTO et al., 2001).

Um estudo no município de Petrolina, Estado de Pernambuco, confirmou a salinização do solo causada pelo despejo indiscriminado dos efluentes de dois dessalinizadores instalados em duas comunidades (AMORIM et al., 1997). Em 79 comunidades estudada no Ceará, o que predomina é a drenagem dos rejeitos para terrenos próximos ao sistema e aos cursos d'água (60%), que é uma forma mais prática e de baixo custo de descartá-lo (PINHEIRO & CALLADO, 2005).

Segundo Amorim et al. (2001), o sódio presente nas águas salobras e nos rejeitos, por exemplo, poderá substituir o cálcio nos sítios de troca de cátions, causando a dispersão dos colóides do solo, contribuindo para redução da sua condutividade hidráulica. Conseqüentemente, segundo acrescentam os autores, a vegetação da área seria prejudicada

devido à deterioração das características físico-químicas dos solos e aos efeitos negativos dos sais sobre a fisiologia das plantas.

Em geral, nos países desenvolvidos, o rejeito é transportado para os oceanos ou injetados em poços de grande profundidade; todavia, outras alternativas estão sendo estudadas, como: bacias de evaporação; redução de volume do rejeito por plantas aquáticas; bacias de percolação e irrigação de plantas halófitas (BOEGLI & THULLEN, 1996; citado por PORTO et al., 2001). A destinação para os oceanos seria a melhor forma de descarte dos rejeitos da dessalinização, porém, essa opção só é viável e compatível para grandes instalações, com grandes volumes produzidos, além do que essas instalações devem estar o mais próximo possível dos oceanos para que os investimentos de transporte do rejeito sejam viáveis economicamente. Esta é uma situação distante da realidade vivenciada no semi-árido brasileiro, que como bem destaca Soares (2006), as águas são dessalinizadas mediante dessalinizadores de pequeno porte e no interior do continente. Esses sistemas produzem pequenos volumes de rejeito, porém, disperso em uma grande área, tornando-se um entrave ao transporte que inviabiliza ainda mais a alternativa de descarte nos oceanos que é ainda mais agravada devido às grandes distâncias dessas regiões com relação ao mar.

Contudo, estudos têm sido desenvolvidos com o objetivo de viabilizar o uso desse subproduto da dessalinização para fins de aproveitamento produtivo, promovendo, tanto uma destinação adequada, como uma alternativa de renda extra para os produtores rurais das áreas beneficiada com o uso de dessalinizadores.

Muitos estudos com rejeitos estão em andamento, para ampliar o leque de alternativas de geração de renda e emprego para os agricultores.

Como alternativa ao rejeito gerado pela dessalinização por osmose reversa, Amorim et al. (2000) apontaram o uso da evaporação solar para a cristalização dos sais dissolvidos, reduzindo o volume dos efluentes líquidos, transformando-os em produto sólido, o que reduz o contato com o solo e facilita o manuseio. Os autores ressaltam que a elevada demanda evaporativa da atmosfera característica do Nordeste é um fator que potencializa essa alternativa.

Outra opção de uso do rejeito indicada por Amorim et al. (2005), é o cultivo de tilápias, do gênero *Oreochromis*. Os autores observaram que após os seis meses de cultivo utilizando rejeito com condutividade, variando entre 9,46 a 12.70 dS m⁻¹, a sobrevivência da tilápia foi de 91,50%, valor este dentro dos padrões normais de cultivo (cerca de 85%), indicando que as condições ecológicas do reservatório foram boas e permitiram inclusive, a reprodução dos

indivíduos e o ganho de peso. Essa alternativa possibilita a oferta de alimento de valor nutritivo às populações do Semi-Árido

Porto et al. (2000) apontaram como alternativa o uso do rejeito para a irrigação de plantas halófitas e em especial a “erva sal” (*Atriplex nummularia* L.), principalmente por conseguir produzir e manter uma abundante fitomassa, mesmo em ambientes de alta aridez e salinidade, adaptando-se muito bem a regiões com precipitação ao redor de 100 a 250 mm ano⁻¹, tornando-se de grande interesse à produção animal, constituindo-se uma importante forrageira.

Atualmente, o Programa Água Doce, do Governo Federal, tem usado essas opções de forma conjunta, potencializando o uso dessas técnicas dentro de um ciclo produtivo. No primeiro momento, a água é retirada do lençol freático e enviada a um dessalinizador, sendo água doce armazenada em um reservatório para distribuição. Na segunda etapa, o efluente do dessalinizador é utilizado para cultivar a tilápia. No terceiro momento, o concentrado dessa criação, rico em matéria orgânica, é aproveitado para irrigar a erva-sal (*Atriplex nummularia*), por sua vez utilizada na produção de feno para alimentar ovelhas e cabras (FUNDAÇÃO BANCO DO BRASIL, 2008).

Em outra linha de pesquisa, Soares et al. (2005), averiguando a influência de águas salobras no crescimento de mudas cítricas, observaram que o rejeito prejudicou o desenvolvimento radicular e o acúmulo de matéria seca das plantas, em comparação com plantas irrigadas com água dessalinizada; entretanto, mudas de laranjeira puderam ser cultivadas. Os autores sugeriram como alternativa ao uso do rejeito a produção de mudas de plantas ornamentais, florestais e frutíferas, entre outras, as quais, quando comercializadas expedirão consigo os íons acumulados no substrato de cultivo. Em um estudo utilizando água salinizada com a adição de NaCl para a produção hidropônica de alface em NFT, Soares (2007) obteve resultado de salinidade limiar para a produtividade comercial da alface cultivar ‘Verônica’ estimada em 4,03 dS m⁻¹ e redução de 8,32% por incremento unitário de salinidade. O autor indicou o estudo como alternativa para incrementar a produção agrícola das regiões semi-áridas.

2.6 Sistema hidropônico como alternativa para a utilização de águas salobra

O cultivo hidropônico já vem sendo utilizado há muito tempo em pesquisas com vegetais, porém, no Brasil, só veio ter uso comercial recentemente. Segundo Rodrigues

(2002), o desenvolvimento do cultivo hidropônico brasileiro, deve-se ao pioneirismo de Shigueru Ueda e Takanori Sekine que trouxeram a técnica do Japão, a qual, após o início das pesquisas em 1986, apresentou, em 1990, o primeiro projeto piloto de hidroponia comercial para a cultura da alface.

A expansão do cultivo hidropônico tem sido uma realidade brasileira nos últimos anos. Furlani (1998) ressalta que vantagens tais como produção em pequenas áreas, utilização racional de água e fertilizantes, redução das operações relacionadas aos tratamentos culturais ao longo do ciclo da cultura, antecipação da colheita e redução drástica de defensivos agrícolas, são alguns dos fatores que contribuíram para sua difusão. Por outro lado, o alto investimento inicial e a necessidade de treinamento especializado são os pontos que dificultam a adoção da hidroponia como prática produtiva (FURLANI, 1999; RODRIGUES, 2002), principalmente para os pequenos produtores rurais.

No Brasil, as vantagens do cultivo hidropônico, a exemplo do que ocorre com a plasticultura, foram assimiladas tardiamente e atualmente existem vários problemas, dentre eles: o mau planejamento, poucos técnicos especializados na área, a utilização de estruturas e materiais impróprios para o cultivo, falta de informações sobre a cultura e sobre o mercado, a falta ou o controle inadequado da temperatura, umidade, luminosidade e de outros fatores ambientais ligados a nutrição da cultura e problemas de pragas e doenças. Ainda está faltando integração entre instituições públicas de pesquisa, extensão rural, empresas privadas e produtores (RODRIGUES, 2002).

São raros e desatualizados os dados sobre a área de cultivos hidropônicos no Brasil. Visando contornar essa dificuldade, a recém criada Associação Brasileira de Hidroponia (novembro de 2008), tem como um dos seus objetivos a organização de informações sobre a difusão territorial e a importância econômica da técnica hidropônica no Brasil. Apesar dessa carência de informações, de maneira geral, tem-se afirmado que os cultivos hidropônicos são mais comuns nas regiões Sul e Sudeste do País. Por outro lado, nos últimos anos se tem testemunhado o avanço da hidroponia nas diversas regiões do País, inclusive no Nordeste.

Nessa região, o controle das elevadas temperaturas pode ser o principal gargalo à hidroponia em ambientes protegidos. Como alternativas, pode-se utilizar equipamentos e medidas de resfriamento do ar (RODRIGUES, 2002), substituir filmes plásticos por telas na cobertura do ambiente, ou ainda efetuar a hidroponia a céu aberto, como proposto por Hochmuth (2008) e já praticado no Nordeste.

Apesar de a hidroponia possuir características que favorecem sua indicação para regiões semi-áridas (SCHWARZ, 1995), tendo em vista que o uso eficiente da água nesse tipo de cultivo poderia potencializar o melhor aproveitamento das suas escassas reservas hídricas (SANJUÁN; GAVILÁN, 2004), a falta de informações sobre esse sistema de cultivo, o uso de materiais inadequados e a adoção de estruturas que não se adaptam às suas condições climáticas, são alguns dos fatores que dificultam a expansão ou até mesmo o uso desse tipo de sistema de cultivo nas Semi-Áridas do Nordeste brasileiro.

Outro fator que também merece destaque quando se fala em hidroponia é a qualidade da água utilizada para se preparar a solução nutritiva. No Semi-Árido, além da escassez, a qualidade da água é outro problema que permeia essa região. As águas dessas áreas, em grande parte de seu território, possuem altas concentrações de sais que podem tornar seu uso restritivo à hidroponia. Porém, apesar de alguns autores citarem a qualidade da água como um dos principais fatores a serem observados como critério para a seleção de uma área para a implantação de um projeto hidropônico (RODRIGUES, 2002; FURLANI, 1998; TEIXEIRA, 1996 & DOUGLAS, 1987), estudos estão sendo realizados no sentido de viabilizar o uso de águas que até então eram consideradas inadequada para uso produtivo (SOARES, 2007; PAULUS, 2008).

O cultivo hidropônico em NFT (técnica do fluxo laminar de nutrientes) já é bastante consolidado entre os hidroponistas do Brasil (MATHIAS, 2008). O NFT é classificado entre as técnicas de cultivo hidropônico como um sistema fechado (RODRIGUES, 2002) sem o uso de substrato, ou seja, é um técnica, na qual o meio de cultivo é uma solução nutritiva que circula pelo sistema continuamente. Isso lhe confere duas principais vantagens para o cultivo utilizando águas salobras, que é não possuir contato direto com o meio ambiente e o uso mais eficiente da água. Teixeira (1996) cita como vantagens da hidroponia maiores eficiências no uso da água e de fertilizantes e o menor impacto ao meio ambiente. Essas vantagens potencializam a utilização da hidroponia NFT como alternativa de cultivo com águas salobras nas regiões semi-áridas.

Em condições de salinidade, a água torna-se menos disponível às plantas, devido ao acúmulo de sais, que promove uma redução no potencial osmótico. Essa redução na energia livre da água em condições de solo tem seu efeito majorado, pois, o potencial osmótico se soma a outros componentes do potencial total da água, como o potencial mátrico e o potencial gravitacional.

No sistema NFT, a solução nutritiva é bombeada aos canais de cultivo e escoada por gravidade, formando uma fina lâmina de solução que irriga as raízes das plantas sustentadas em orifícios presentes nos canais de cultivo (FURLANI et al., 1999). Essa característica do NFT promove maior disponibilidade de água às plantas, o que pode representar maiores respostas produtivas em condições salinas. Segundo Soares (2007), os efeitos negativos da salinidade são menores para cultivo hidropônico do que no cultivo convencional em solos. O autor considera a hipótese de que essa maior e mais constante disponibilidade de água às plantas nos diversos tipos de hidroponia, associada a pouca ou inexistente contribuição do potencial mátrico sobre o potencial total da água, pode representar uma maior absorção de água e nutrientes.

Se confirmada, essa hipótese pode tornar a hidroponia uma alternativa de grande importância para incrementar a produção de renda e alimentos para a população residente no semi-árido nordestino, bem como representaria uma contribuição para potencializar o uso de águas salobras e/ou rejeito da dessalinização para fins agrícolas.

2.7 Efeito da salinidade sobre as plantas

Os efeitos da acumulação excessiva dos sais solúveis sobre as plantas podem ser causados pelas dificuldades de absorção de água, toxicidade de íons específicos e pela interferência dos sais nos processos fisiológicos (efeitos indiretos), reduzindo o crescimento e o desenvolvimento das plantas (SILVA JÚNIOR, 2007).

Embora algumas plantas possuam mecanismos de ajuste osmótico e consigam sobreviver a determinados níveis de salinidade, o fato é que quanto maior a salinidade mais rápida a planta irá entrar em condições de estresse salino, provocando o fechamento dos estômatos, reduzindo a fotossíntese e diminuindo a translocação de nutrientes da raiz para parte aérea (SILVA, 2002).

Costa (2001), trabalhando com produção hidropônica de alface sobre diferentes concentrações de solução nutritiva, observou que a menor produção de massa de matéria seca se deu em função da maior salinidade. A mesma observação foi feita por Soares (2007) e Paulus (2008) trabalhando com produção de alface hidropônica utilizando água salinizada com NaCl para o preparo da solução nutritiva.

Determinados íons são mais prejudiciais a certas espécies de plantas e, dependendo da qualidade da água utilizada na irrigação, esses íons podem atingir concentrações capazes de

promover perdas de produtividade. Dentre esses íons, destaca-se o cloreto, o sódio e o boro, entretanto, muitos outros micronutrientes são tóxicos às plantas, mesmo em pequenas concentrações (RHOADES & LOVEDAY, 1990). Bie; Ito; & Shinohara (2004) chamam a atenção também para outros íons que podem ser tóxicos à produção da alface quando em altas concentrações, como é o caso dos bicarbonatos e dos sulfatos, em função do efeito específico desses íons.

Os efeitos do estresse salino nas plantas são classificados em primários e secundários. Os efeitos primários incluem: efeitos tóxicos específicos dos sais; danos na permeabilidade das membranas e desequilíbrio metabólico em nível de fotossíntese, respiração, anabolismo e catabolismo de aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos (LEVITT, 1980). Os danos podem reduzir significativamente os rendimentos e sua magnitude depende do tempo, da concentração de íons, da tolerância das plantas e do uso da água pelas culturas.

O cloreto não é retido nem adsorvido pelas partículas do solo, deslocando-se facilmente com a água do solo, mas é absorvido pelas raízes e translocado às folhas, onde se acumula pela transpiração. O primeiro sintoma de toxidez deste íon, evidenciado nas plantas, é a queima do ápice das folhas que, em estágios avançados, atinge as bordas e promove sua queda prematura nas culturas sensíveis. Os sintomas aparecem quando se alcançam concentrações de 0,3 a 1,0% de cloreto, em base de peso seco das folhas. A toxicidade do sódio é mais difícil de diagnosticar que a do cloreto, porém tem sido identificada claramente como resultado de alta proporção de sódio na água. Ao contrário dos sintomas de toxicidade do cloreto, que têm início no ápice das folhas, os sintomas típicos do sódio aparecem em forma de queimaduras ou necrose, ao longo das bordas. As concentrações de sódio nas folhas alcançam níveis tóxicos após vários dias ou semanas e os sintomas aparecem, de início, nas folhas mais velhas e em suas bordas e, à medida em que o problema se intensifica, a necrose se espalha progressivamente na área internerval, até o centro das folhas (SILVA JUNIOR, 2007).

Os efeitos secundários da salinidade incluem efeitos osmóticos e deficiência de nutrientes induzida pela competição do Na^+ e do Cl^- com os demais nutrientes minerais durante o processo de absorção (LEVITT, 1980). O desequilíbrio das relações ótimas entre nutrientes também é prejudicado, mesmo quando a fonte de salinidade não tem íons tóxicos. O excesso de sal absorvido pelas plantas promove desequilíbrio iônico e danos ao citoplasma, o que é refletido em injúrias, principalmente nas bordas e no ápice das folhas, a partir de onde a planta perde por transpiração, principalmente água, havendo nestas regiões acúmulo do sal translocado do solo e intensa toxidez de sais (LIMA, 1997). Nesse contexto, Epstein e Bloom

(2006) reforçam que estresses ambientais freqüentemente ocorrem em conjunto. Por exemplo, a salinidade pode induzir desidratação. A desidratação pode induzir estresse por aumento de temperatura. Aumento de temperatura pode induzir deficiências de nutrientes.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Três experimentos foram conduzidos em casa-de-vegetação objetivando o cultivo hidropônico de alface em sistema NFT, utilizando águas salobras naturais e água preparada com a adição de NaCl.

3.1 Localização da área experimental

Os experimentos foram conduzidos no Distrito Poço do Boi, no município de Ibimirim, Vale do Rio Moxotó, região semi-árida de Pernambuco, situado nas coordenadas geográficas 8°32'15" de latitude Sul, 37°41'30" de longitude Oeste, e a uma altitude 431 m. O clima é do tipo B'Swh', semi-árido muito quente tipo estepe (classificação de Köppen), com precipitação pluvial e temperatura média anual de 420 mm e 25°C, respectivamente (BEZERRA et al., 2004). Os meses mais quentes do ano possuem registros máximos de temperatura entre 35° e 40°C, sendo eles os meses de novembro e dezembro, enquanto que a temperatura mínima, aproximadamente 23°C, ocorre nos meses de julho e agosto (SILVA, 2006).

3.2 Estrutura experimental

3.2.1 Casa-de-vegetação

Os experimentos foram conduzidos em casa-de-vegetação, possuindo 7,0 m de largura, 24,0 m de comprimento, 4,0 m de pé direito e 5,5 m de altura e com cobertura em arco. As paredes foram confeccionadas com telas e possuíam um rodapé de 20 cm em alvenaria. A cobertura do ambiente é em filme agrícola de polietileno, com 150 µm de espessura, com tratamento anti-ultravioleta (Figura 2). O piso foi revestido com manta geotêxtil (bidim), com o objetivo de melhorar as condições fitossanitárias, bem como minimizar os efeitos da poeira sobre o sistema de bombeamento.

A casa-de-vegetação foi dividida em quatro partes para que os efeitos das variações locais pudessem ser considerados, pressupondo-se que os principais efeitos seriam: sombreamento causado pela proximidade de árvores; variações de temperatura ao longo da casa-de-vegetação e a variação na direção e velocidade do vento. Cada uma das partes representava um bloco e cada bloco possuía 12 unidades experimentais (Figura 1).

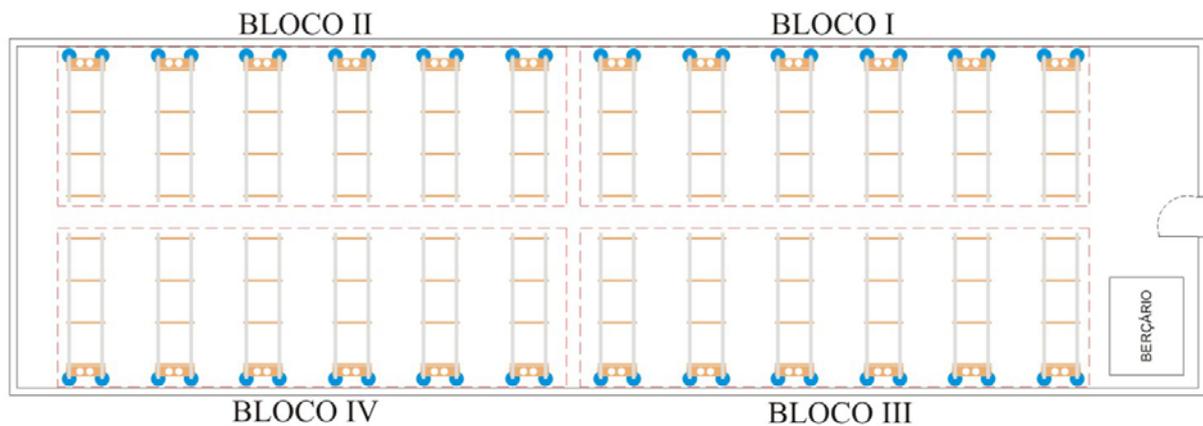


Figura 1. Indicação da distribuição dos blocos na casa-de-vegetação.



Figura 2. Vista frontal da casa-de-vegetação onde foram conduzidos os experimentos.

3.2.2 Unidade experimental

Foram confeccionadas 48 bancadas hidropônicas, em sistema NFT (técnica do fluxo laminar de nutrientes), cada uma representando uma parcela experimental, semelhante à descrita por Soares (2007). Cada bancada possuía um reservatório plástico individual com capacidade para 60 L; um abastecedor automático para reposição da lâmina evapotranspirada;

uma eletrobomba de circulação; um perfil hidropônico feito em polipropileno com aditivo anti-ultravioleta com diâmetro de 75 mm, comprimento de 3,0 m e orifícios com 2,5 cm de raio e espaçados em 0,25 m (Figura 3).

Os perfis foram instalados a uma altura média de 0,90 m da superfície de solo, possuindo quatro pontos de apoio e uma inclinação de 3%. Foi instalado um sistema injeção/retorno da solução nutritiva em tubo de PVC de 20 mm. O sistema de injeção/retorno sai do reservatório da solução nutritiva, através de uma mangueira, até a eletrobomba de circulação, a qual impulsiona a solução até a parte mais alta da bancada. Em seguida, parte da solução é captada por um emissor (um microtubo flexível de 4 mm de diâmetro e conectado a tubulação por um conector tipo borboleta) que sai da tubulação e se prolonga até o perfil hidropônico. O excesso de solução retorna ao reservatório. O final da tubulação de retorno é composto por um “joelho” de 90° de 20 mm e um tampão (cap) de 20 mm com três furos padronizados, com o objetivo de regularizar a vazão e favorecer a aeração da solução nutritiva. A Figura 3 apresenta a bancada e seus componentes.

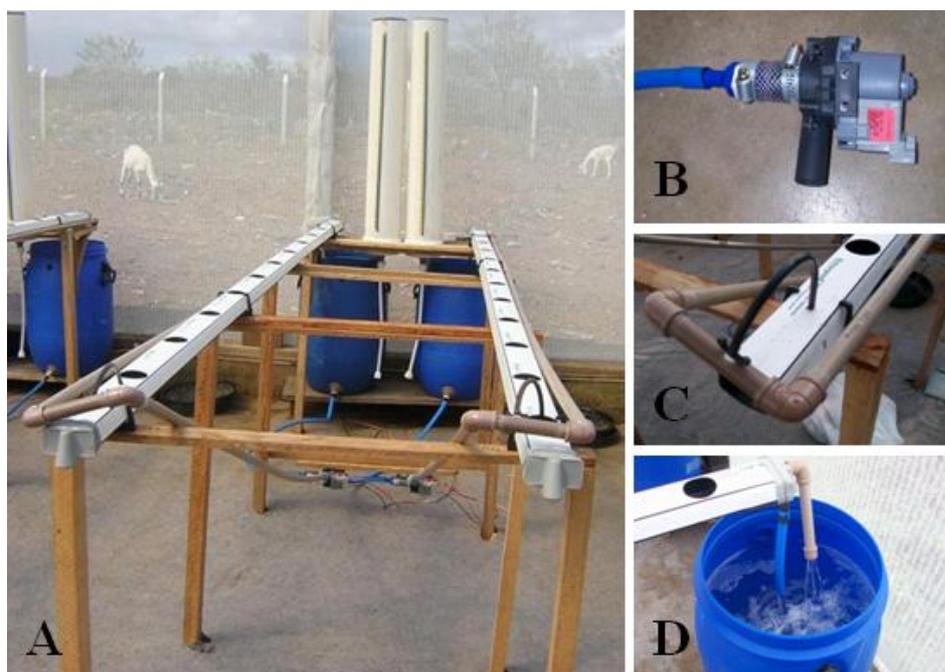


Figura 3. Vista frontal da parcela experimental (A), eletrobomba de circulação (B), sistema injetor/retorno (C) e retorno e aeração da solução (D).

O abastecedor automático foi construído utilizando-se: tubo de PVC com diâmetro de 150 mm; um tampão (cap) em PVC com diâmetro de 150 mm; um flange em PVC de ½”; um “chicote hidráulico” de ½”; uma torneira-bóia de ½”; um microtubo transparente na cor azul e

uma tampa para proteger o reservatório da evaporação (Figura 4). O mesmo permitia a saída automática de água para o reservatório de solução nutritiva mediante a torneira-bóia, possibilitando a manutenção do volume contido naquele. O depósito de abastecimento foi dotado de uma régua graduada, fixada junto a um microtubo transparente, o que permitiu o cálculo do volume evaporotranspirado por planta num dado período.

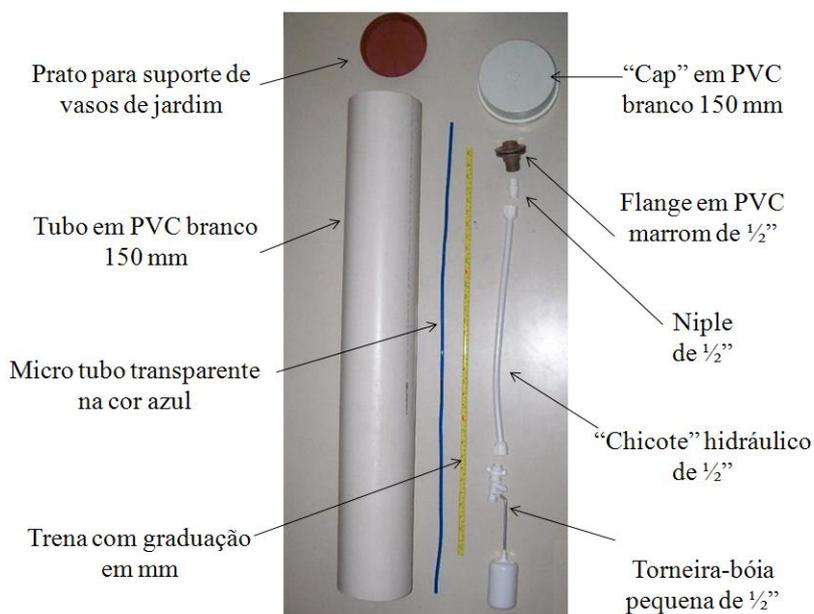


Figura 4. Abastecedor automático e seus componentes.

3.2.3 Painel de controle elétrico e programação

O sistema elétrico utilizado foi o monofásico com tensão de 220 W, que alimentava um painel de controle localizado no interior da casa-de-vegetação. Tal painel é constituído de um disjuntor geral de 10 A, um contator modelo S-CM254M da Steck, um temporizador modelo multi-temporizador 2001 da DIDZIEL com a possibilidade de programação a cada 1 minuto, sendo acoplado a quatro disjuntores de 10A, cada um controlando um conjunto de 12 eletrobombas de circulação (Figura 5). Foram utilizados fios de 2,5 mm² para distribuição da energia elétrica no interior da casa-de-vegetação e fios de 1,5 mm² para as ligações das eletrobombas de circulação ao sistema elétrico.



Figura 5. Esquema elétrico do painel de controle e distribuição da rede elétrica no interior da casa-de-vegetação.

3.3 Condução dos experimentos

Três experimentos com o cultivo hidropônico da alface foram conduzidos em sistema hidropônico NFT, tendo como objetivo o estudo de algumas situações utilizando águas salobras para o preparo da solução nutritiva. Os experimentos foram denominados de Experimento I, Experimento II e Experimento III. Os mesmos possuíam as seguintes características operacionais e de condução:

3.3.1 Experimento I

O Experimento I teve como objetivo avaliar o crescimento, rendimento e acúmulo de nutrientes de alface cultivar ‘Vera’, variedade crespa, em diferentes níveis de salinidade da água (0,2; 1,2; 2,2; 3,2; 4,2 e 5,2 dS m⁻¹) utilizada para o preparo da solução nutritiva, bem como comparar sua produção mediante duas fontes de salinidade, sendo uma a água salobra natural, proveniente de poço tubular do Distrito Poço de Boi: nesse experimento denominada AS, e a outra a água dessalinizada com adição de NaCl. Neste experimento, a solução nutritiva foi preparada com água de diferentes níveis de salinidade e o volume evapotranspirado era repostado com água de boa qualidade (água dessalinizada). Não se adotou nenhum rigor com relação à correção do pH da solução nutritiva, sendo realizado apenas duas correções durante todo ciclo produtivo, uma no preparo e outra aos 13 (dias após o transplântio - DAT). O pH da solução foi ajustado mediante adição de KOH ou HNO₃, visando mantê-lo na faixa de 5,0 a 6,5. O delineamento experimental utilizado foi o

inteiramente aleatorizado em blocos, em um esquema fatorial 6x2 (seis níveis de salinidade e duas fontes de sais) com quatro repetições, totalizando 48 parcelas experimentais. Cada parcela tinha 10 plantas, sendo as três plantas centrais do perfil hidropônico consideradas como plantas úteis, ficando as três primeiras e as quatro últimas plantas consideradas como bordadura.

3.3.2 Experimento II

O Experimento II teve como objetivo avaliar o crescimento, rendimento e acúmulo de nutrientes de duas variedades de alface, cultivadas de forma alternada no mesmo perfil hidropônico. As variedades usadas foram a 'Vera', variedade crespa, e AF-1743, variedade lisa.

A partir da água captada do poço tubular localizado em Poço do Boi, nesse experimento denominada de PB, foram empregados seis diferentes níveis de salinidade da água (0,2; 1,2; 2,2; 3,2; 4,2 e 5,2 dS m⁻¹) utilizada para o preparo da solução nutritiva. O volume evapotranspirado era repostado com água de salinidade semelhante à empregada no preparo da solução. Desta forma, a condutividade elétrica da solução nutritiva (CE_{sol}) tornava-se variável ao longo do tempo, tendendo a ser decrescente para a água com CE_a igual a 0,2 dS m⁻¹ e crescente para os demais níveis de salinidade dos tratamentos. Neste experimento, simulou-se a condição em que a única fonte de água disponível é salobra (situação freqüentemente vivenciada pelos agricultores do Semi-Árido). Adotou-se nesse experimento um maior rigor com relação à correção do pH da água e da solução nutritiva. Foram realizadas correções do pH das águas no momento de seu preparo, antes da adição dos fertilizantes, e correções diárias do pH da solução nutritiva sempre que o mesmo extrapolava os limites de 5 e 6,5. O pH da solução foi ajustado mediante adição de KOH ou HNO₃. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente aleatorizado em blocos com seis níveis de salinidade em interação com as duas variedades, totalizando 12 tratamentos em quatro repetições. Em cada perfil, foram cultivadas as duas variedades, as quais foram dispostas de maneira alternada nos orifícios. Das 8 plantas cultivadas no perfil, apenas as quatro centrais foram consideradas úteis.

3.3.3 Experimento III

O Experimento III teve como objetivo comparar a produção hidropônica de alface utilizando águas salobras provenientes de diferentes poços tubulares localizados no município de Ibimirim/PE, quais sejam: poço localizado na comunidade Poço do boi (PB); poço localizado na Fazenda Bruaquinha (PFB); poço localizado na Fazenda Riachão (PFR); poço localizado na comunidade Sítio Angico (PSA) e poço localizado na Agrovila 8 (PAV8). Buscou-se verificar desta forma, se a existência de variações locais, em relação à composição química da água nos diferentes poços, é significativa neste tipo de cultivo. Comparou-se também o rendimento de duas variedades de alface, cultivadas de forma alternada sobre o mesmo perfil hidropônico, sendo elas as variedades ‘Vera’, do grupo de alface crespa, e AF-1743, variedade do grupo de alface lisa. As águas utilizadas para o preparo da solução tiveram a CE ajustada para o nível de $2,2 \text{ dS m}^{-1}$, igualando todas as águas ao mesmo nível de salinidade, suprimindo assim o efeito osmótico oriundo de suas diferentes concentrações. Essas águas foram utilizadas para o preparo da solução nutritiva e para a reposição do volume evapotranspirado. Com relação ao pH da solução nutritiva, adotou-se o mesmo procedimento utilizado no Experimento II. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente aleatorizado em blocos com água de cinco diferentes poços em interação com as duas variedades, totalizando 10 tratamentos com quatro repetições. Em cada perfil, foram cultivadas as duas variedades, as quais foram dispostas de maneira alternada nos orifícios. Das 8 plantas cultivadas no perfil, apenas as quatro centrais foram consideradas úteis.

Em todos os experimentos, a irrigação do sistema hidropônico possuía duração de 15 minutos em eventos programados que se repetiam a cada 24 horas. A solução nutritiva era bombeada do reservatório até a parte mais alta da bancada por uma eletrobomba que era acionada por um temporizador. Durante o dia, das 7 horas da manhã às 18 horas, o temporizador acionava o sistema a cada 15 minutos, permanecendo ligado durante 15 minutos. No período das 18 horas às 7 horas da manhã, o sistema era programado para promover um evento de irrigação por hora.

3.4 Produção de mudas

As mudas utilizadas nos experimentos foram produzidas em sistema NFT (Figura 6). Para o Experimento I, utilizou-se 10 plantas por parcela da cultivar ‘Vera’. No Experimento II e III, utilizou-se 8 plantas por parcela de duas variedades a cultivar ‘Vera’ e a variedade ‘AF-

1743'. As mudas foram produzidas com um acréscimo de 30% em relação ao número total de plantas a serem utilizadas. O acréscimo no número de mudas tinha o objetivo de compensar falhas na germinação e substituir plantas fora do padrão das demais mudas.

Num primeiro momento, sementes peletizadas foram semeadas em placas de espuma fenólica pré-marcadas em cubos com dimensões de 2,0 x 2,0 x 2,0cm, tendo sido semeada uma semente por cubo. Antes da semeadura, as placas de espuma fenólica foram bem lavadas em água corrente de boa qualidade com a finalidade de eliminar compostos derivados de sua fabricação que acidificam o meio, tornando-o prejudicial ao bom desenvolvimento das mudas. Num segundo momento, as placas semeadas eram mantidas em local escuro por aproximadamente 30 horas, para que houvesse a quebra da dormência da semente e, conseqüentemente, uma melhor germinação.

Após a germinação, as plântulas foram transferidas para o berçário, onde foram irrigadas com solução nutritiva (FURLANI, 1998) a 50% de diluição. Após uma semana, a solução era totalmente renovada, sendo utilizada desta vez a concentração de 100% da força iônica da solução. A irrigação do berçário era controlada por um temporizador mecânico programado para eventos de irrigação a cada 15 minutos com duração de 15 minutos no período das 7 horas da manhã até as 18 horas. No período das 18 horas às 7 horas, o temporizador era programado para uma irrigação a cada 2 horas com duração de 15 minutos cada. As mudas foram mantidas no berçário por um período de 25 a 33 dias após a semeadura (DAS), sendo, então, transplantadas para os perfis hidropônicos (parcelas experimentais).

Em todos os experimentos, as plântulas transplantadas não passaram por período de aclimação ao excesso de sais na solução. Ou seja, não foi empregado o procedimento de aumento gradativo da salinidade, o qual visaria não se permitir choque osmótico.



Figura 6. Berçário em NFT para produção de mudas de alface

3.5 Preparo das águas e da solução nutritiva

A água de origem subterrânea utilizada nos três experimentos foi proveniente de um poço tubular profundo localizado na comunidade de Poço do Boi, estando a aproximadamente 500 m da área do experimento. O poço era equipado com uma motobomba trifásica submersa que bombeava a água até um aparelho de osmose reversa, equipado com duas membranas semipermeáveis, com capacidade de produzir 1200 L h^{-1} de água dessalinizada e de rejeito (Figura 7).

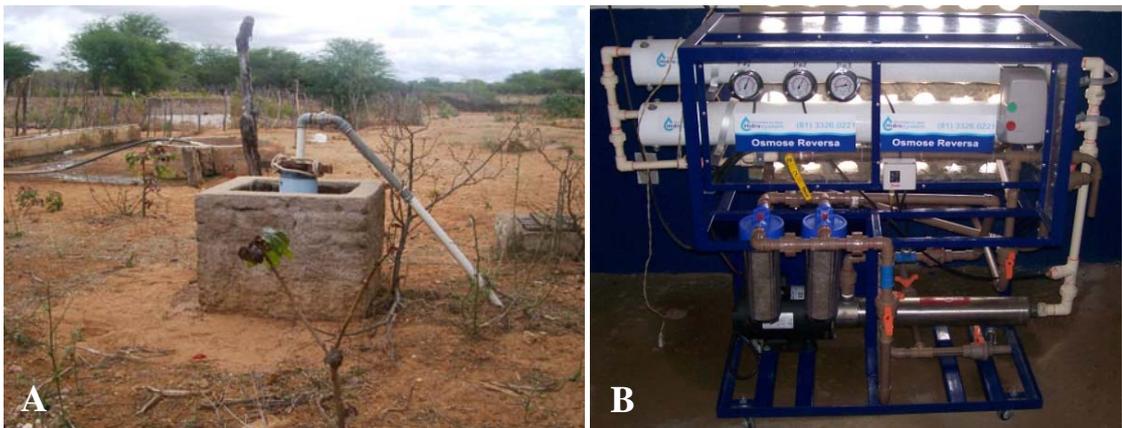


Figura 7. Poço tubular do Distrito Poço do Boi, Ibirimir/PE (A) e aparelho de osmose reversa (B).

Para o Experimento I, foram utilizadas duas fontes de sais para se atingir os níveis desejados de condutividade elétrica da água (CEa) para cada tratamento, sendo estas fontes: a água salobra natural de origem subterrânea e o NaCl adicionado à água dessalinizada.

3.5.1 Preparo das águas para os tratamentos utilizando água salobra

Para se atingir os diferentes níveis de salinidade da água utilizando como fonte salina a água salobra natural de origem subterrânea ou o rejeito da dessalinização, a mesma foi captada do poço tubular profundo e, posteriormente, dessalinizada, sendo produzido também o rejeito. Para se atingir níveis de salinidade mais elevados, o rejeito da dessalinização foi novamente dessalinizado (sistema “by pass”), produzindo-se assim um rejeito ainda mais concentrado, denominado rejeito 2. A água salobra natural, dessalinizada, rejeito 1 e rejeito 2 foram misturadas, de forma que as condutividades elétricas (CEa) da combinação atingissem os níveis pré-estabelecidos dos tratamentos.

Para se estimar os volumes de cada tipo de água a ser adicionada na mistura para atingir cada nível de CEa, montou-se uma tabela tendo com base de cálculo a equação 1.

$$C_1V_1 = C_2V_2 \quad (1)$$

em que:

C_1 = Concentração desejada de sais da água

V_1 = Volume final desejado, em L

C_2 = Concentração inicial de sais da água

V_2 = Volume da água salobra, em L

Para determinar o volume de água final desejado, multiplicou-se o número de repetições dos tratamentos pela capacidade total dos reservatórios. Após a determinação do volume final desejado, calculou-se também o volume de água dessalinizada a ser utilizada, diminuindo-se do volume final desejado o volume da água salobra encontrado na equação 1, obtendo-se assim o volume de água dessalinizada a ser utilizada na mistura. A condutividade elétrica da

água (CEa) substituiu a concentração de sais (C) no cálculo dos volumes de mistura (equação 1).

Após a mistura, a CEa era medida com o auxílio de um condutivímetro, avaliando-se a necessidade de ajustes para se acertar a CEa desejada. Os ajustes eram feitos adicionando água dessalinizada para diminuir a CE e água salobra (rejeito) para aumentá-lo. A Tabela 1 exemplifica o procedimento de cálculo tomado para se determinar os volumes de cada tipo de água utilizada no preparo da solução nutritiva.

Tabela 1. Volume gasto de cada tipo água usada na mistura para se atingir os diferentes níveis de CE dos tratamentos com água salobra para o preparo de 240L de solução nutritiva

Trat.	V ₁ (L)	CE ₁ (dS m ⁻¹)	CE ₂ (dS m ⁻¹)	Tipo de água		
				V _{2R1}	V _{2R2}	A _{des}
AS 0,2	240	0,2	4,65	10	-	230
AS 1,2	240	1,2	4,65	62	-	178
AS 2,2	240	2,2	4,65	114	-	126
AS 3,2	240	3,2	4,65	165	-	75
AS 4,2	240	4,2	4,65	217	-	23
AS 5,2	240	5,2	7,80	-	160	80
TOTAL	1440			568	160	712

V_{2R1} = Volume de rejeito 1; V_{2R2} = Volume de rejeito 2

Tabela 2. Composição química das águas utilizadas nos experimentos

Poço	C.E. (dS m ⁻¹)	pH	Composição Química da Água									
			Cátions				Ânions					
			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	RAS	
------(mg L ⁻¹)-----												
PB	1,70	7,40	74,19	71,86	2,73	179,79	383,72	52,85	361,24	133,40	3,56	
PFB	6,14	6,90	322,81	213,76	10,54	737,60	2074,95	0,00	419,82	-	7,80	
PFR	5,28	4,8	146,37	236,29	124,86	507,10	1591,74	0,00	14,64	-	6,02	
PSA	11,22	7,53	64,50	1280,20	20,00	1130,00	6807,00			150,50	6,66	
PAV8	5,47	7,42	806,30	327,30	20,00	370,00	1717,00			47,40	2,77	

3.5.2 Preparo das águas para os tratamentos utilizando água salinizada com NaCl

Para o preparo da água salinizada com NaCl, utilizou-se apenas água dessalinizada, sendo adicionado à mesma as quantidades de NaCl calculadas de acordo com a CEa desejada para cada tratamento.

As quantidades de NaCl a serem adicionadas para atingir cada nível de CEa dos tratamentos foram calculadas com base na relação existente entre o somatório de cátions e a CEa (equação 2).

$$CE_a (dS m^{-1}) = \frac{\sum \text{cátions} (meq L^{-1})}{10} \quad (2)$$

Após a adição do NaCl na água dessalinizada, a CEa foi medida com um condutivímetro, avaliando-se a necessidade de correções para a CEa desejada. Esses ajustes eram feitos adicionando água dessalinizada para diminuir a CE e NaCl para aumentá-la. A Tabela 3 mostra as quantidades de NaCl utilizada no preparo da água salinizada.

Tabela 3. Quantidade de NaCl usada na água dessalinizada para se atingir os diferentes níveis de CE dos tratamentos, para o preparo de 240 L de solução nutritiva

Trat	VFD (L)	CEa (dS m ⁻¹)	Na (meq L ⁻¹)	Cl (meq L ⁻¹)	NaCl (g L ⁻¹)	NaCl (g 240 L ⁻¹)
NaCl 0,2	240	0,2	2,00	2,00	0,117	28,08
NaCl 1,2	240	1,2	12,00	12,00	0,702	168,48
NaCl 2,2	240	2,2	22,00	22,00	1,287	308,88
NaCl 3,2	240	3,2	32,00	32,00	1,872	449,28
NaCl 4,2	240	4,2	42,00	42,00	2,457	589,68
NaCl 5,2	240	5,2	52,00	52,00	3,042	730,08

Após a determinação dos volumes das águas salobras e das quantidades de NaCl a serem usadas para cada mistura, as soluções foram preparadas em uma caixa d'água com capacidade para 500 L.

3.5.3 Preparo da solução nutritiva

Após o preparo das águas e a obtenção de um volume de 240 L de cada tipo de água, realizou-se o preparo da solução nutritiva adicionando-se os sais de fertilizantes às águas

preparadas, tendo-se como referência de formulação da solução nutritiva a indicada por Furlani (1998) (Tabela 4).

Para adição dos macronutrientes, dissolveu-se individualmente cada fertilizante em um balde contendo aproximadamente 10 L de água retirados dos 240 L. Em seguida, retornava-se este volume à caixa d'água e homogeneizava-se a solução. Para os micronutrientes, com exceção do ferro, preparou-se 1 L de solução estoque (concentrada 4800 vezes). Com o objetivo de evitar reações indesejadas de precipitação do ferro, preparou-se 1 L de solução estoque (concentrada 4800 vezes) individual para esse elemento. Aliquotas de 50 ml dessas soluções estoques foram utilizadas para o preparo de cada 240 L de solução nutritiva. A Tabela 4 mostra os fertilizantes e suas respectivas quantidades utilizadas no preparo de 1000 L de solução nutritiva.

Tabela 4. Quantidades de fertilizantes utilizados como fontes de macro e micronutrientes para o preparo de 1000 L de solução nutritiva para o cultivo hidropônico de alface (FURLANI, 1998)

Fertilizante	NH ₄	NO ₃	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
-----g m ³ -----													
Nitrato de Cálcio	750,00	7,5	108,8		142,5								
Nitrato de Potássio	500,00		65	182,5									
MAP	150,00	16,5	39										
Sulfato de Magnésio	400,00					40	52						
Sulfato de Cobre	0,15								0,02				
Sulfato de Zinco	0,30												0,07
Sulfato Manganês	1,50										0,39		
Ácido Bórico	1,80							0,31					
Molibdato de Sódio	0,15											0,06	
Fe-EDTA - 13% Fe	16,00									2,08			
Recomendações	24	173,8	39	182,5	142,5	40	52	0,31	0,02	2,08	0,39	0,06	0,07

Após a adição dos fertilizantes para o preparo da solução nutritiva, a condutividade elétrica (CE_{sol}) da mesma era mensurada com o auxílio de um condutímetro, medindo-se assim, o acréscimo a cada nível de salinidade da água devido à adição dos fertilizantes, sendo este acréscimo de aproximadamente 1,8 dS m⁻¹ para a formulação de solução nutritiva proposta por Furlani (1998).

3.6 Monitoramentos e variáveis analisadas

3.6.1 Monitoramento climático e da solução nutritiva

Diariamente eram registradas as temperaturas máxima e mínima às 9h da manhã e às 15h, utilizando um termohigrômetro de bulbo seco e de bulbo úmido. Também foram registradas as temperaturas máxima e mínima e a umidade relativa do ar no interior da casa-de-vegetação para um período de 24h, utilizando um termohigrômetro digital. Ambos os instrumentos foram instalados no centro da casa-de-vegetação a uma altura de 1,50 m em relação à superfície do solo.

A solução nutritiva foi monitorada diariamente, registrando-se os valores de pH, condutividade elétrica (CE_{sol}) e temperatura. O pH e a CE_{sol} foram medidas uma vez dia sempre pela manhã para que os valores medidos representassem as variações de um período de 24h. A temperatura da solução era medida às 15h em um reservatório de uma bancada localizada no centro da casa-de-vegetação. A escolha desse horário foi feita com base em um acompanhamento prévio da temperatura entre as 6h e as 18h durante seis dias, buscando o momento em que a solução atingia sua maior temperatura.

3.6.2 Avaliação da uniformidade de aplicação de solução nutritiva

A eletrobomba de circulação utilizada funcionava apenas ‘afogada’, sendo sua vazão dependente da altura de recalque requerida e também da lâmina mantida no reservatório. A solução injetada percorria o perfil em declive (3%). O excedente não injetado no perfil voltava ao reservatório mediante tubulação de PVC. A diferença de nível entre a eletrobomba e o sistema injetor era de 0,76 m.

A lâmina aplicada foi coletada em garrafas PET de 2 L em um tempo fixo de 1 minuto (Figura 8). Após a coleta, fez-se a leitura do volume da amostra com o auxílio de uma proveta.



Figura 8. Teste de uniformidade de aplicação da solução nutritiva.

Com os dados coletados, foram estimados o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), utilizando-se as seguintes equações:

$$CUC = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^N |q_i - \bar{q}|}{n\bar{q}} \right] \quad (3)$$

em que:

q_i = vazão de cada emissor, $L h^{-1}$;

q = vazão média dos emissores, $L h^{-1}$; e

n = número de emissores.

$$CUD = 100 \left(\frac{q_n}{q} \right) \quad (4)$$

em que:

q_h = média de 25% das vazões com menores valores; e

q = média de todas as vazões coletadas.

3.6.3 Determinação das variáveis de crescimento e rendimento da alface

Para a avaliação do crescimento e rendimento das variedades de alface cultivadas foram analisadas as seguintes variáveis: número de folhas por planta (NF), diâmetro de cabeça (DC), massa de matéria fresca da parte aérea (MFPA), massa de matéria fresca da folha (MFF) e massa de matéria fresca do caule (MFC), determinadas no dia da colheita (47 a 57 dias após a semeadura). Outras variáveis analisadas foram determinadas após secagem em estufa a 65°C até atingir massa constante, como: massa de matéria seca da parte aérea (MSPA), massa de matéria seca da folha (MSF), massa de matéria seca do caule (MSC) e massa de matéria seca da raiz (MSR). Todas as variáveis acima citadas, com exceção de NF e DC, foram determinadas com o auxílio de uma balança de precisão (0,01g).

3.6.4 Determinação do consumo hídrico e teor de água da alface

Foram analisados os consumos hídricos médios na 1ª, 2ª e 3ª semana após o transplante, sendo estes determinados a partir dos valores médios do consumo hídrico diário obtidos pelas leituras dos abastecedores automáticos e posterior processamento dessas leituras pela equação 5.

$$V_{ET} = \frac{\pi D^2 \times (Li - Lf)}{4 \times n \times \Delta T} \quad (5)$$

em que:

V_{ET} = volume evapotranspirado, em mL planta⁻¹ dia⁻¹;

D = diâmetro interno do abastecedor, em cm;

Li = leitura inicial do nível da água no abastecedor, em cm;

Lf = leitura final do nível da água no abastecedor, em cm;

n = número de plantas no perfil.

ΔT = intervalo de tempo entre as leituras, em dias.

O teor de água na planta (U) também foi avaliado, sendo determinado pela equação 6.

$$U(\%) = \left(\frac{MFPA - MSPA}{MFPA} \right) \times 100 \quad (6)$$

3.6.5 Avaliação nutricional da alface

A avaliação nutricional foi realizada a partir da determinação das concentrações dos nutrientes no tecido foliar.

Para determinar as concentrações dos nutrientes no tecido foliar, triturou-se, após secagem do mesmo em estufa a 65°C por 72 horas, todas as folhas de cada planta amostrada. Após serem trituradas, preparou-se os extratos específicos para a determinação dos nutrientes, segundo metodologia descrita por Bezerra Neto e Barreto (2004). Os nutrientes determinados no tecido foliar foram: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, ferro, zinco, manganês, cobre, cloreto e sódio.

Na solução nutritiva, determinaram-se as concentrações dos nutrientes, sendo realizadas também, análises para determinação de carbonatos e bicarbonatos. As determinações foram feitas a partir de amostras de solução coletadas no dia da colheita. Os nutrientes analisados na solução foram os mesmos analisados no tecido foliar, com exceção do nitrogênio e do enxofre. Para a determinação dos macro e micronutrientes, as amostras foram analisadas segundo metodologias descritas por Bezerra Neto e Barreto (2004) e para a determinação de carbonatos e bicarbonatos, utilizou-se a metodologia descrita pela EMBRAPA (1997).

3.6.6 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância, utilizando o programa estatístico SAS-2008. As variáveis foram avaliadas pelo teste F, sendo as variáveis com efeitos significativos por esse teste submetidas à análise de regressão, visando ajustar modelos de comportamento. Os modelos foram selecionados com base na significância do modelo de regressão analisado pelo teste F a 5% de probabilidade, e no maior valor do coeficiente de determinação. As fontes de salinidade (águas salobras e NaCl), as variedades e os poços estudados foram submetidos a teste de comparação de média utilizando o teste de Tukey a uma probabilidade de 5% (PIMENTEL GOMES, 2000).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento I

4.1.1 Monitoramento climático e da solução nutritiva

As temperaturas médias diárias do ar no interior da casa-de-vegetação obtidas durante o período de estudo variaram de 22,4 a 34,3°C para as temperaturas mínimas e máximas, respectivamente, tendo as temperaturas mínimas variado de 21,5 a 23,3°C e as máximas de 30,3 a 38,3°C. Os valores registrados ultrapassaram os valores recomendados (15-25°C) para alface (GOTO, 1998). Portanto, esperou-se que os efeitos advindos da salinidade dos tratamentos fossem mais severos.

A temperatura máxima da solução nutritiva tomada às 15h variou entre 24,5 e 31,0°C, sendo que a média da temperatura máxima no ciclo foi de 27,8°C. Dessa forma, registrou-se que a temperatura da solução chegou a ultrapassar o limite indicado por Alberoni (1998), qual seja 30°C. O mesmo autor recomenda como ideal as temperaturas na faixa de 18 a 24°C para períodos quentes e de 10 a 16°C para períodos frios.

A uniformidade de aplicação de solução nutritiva apresentou resultado de 91,96 e 92,78% avaliados pelo método de CUC e CUD, respectivamente.

Apesar de ter sido realizado ajuste no pH para a faixa de 5,5 a 6,5 na ocasião do preparo da solução nutritiva, observou-se uma recuperação do pH um dia após esse ajuste (0 DAT). Apesar dessa observação, um novo ajuste somente foi feito aos 13 DAT.

O pH da solução variou entre as fontes de salinidade. A fonte AS inicialmente registrou valores de pH da solução acima de 8, exceto para o tratamento AS 0,2. Esse comportamento aconteceu devido à presença dos ânions CO_3^{2-} e HCO_3^- nas águas salobras que foram utilizadas para o preparo da solução, conforme resultados apresentados na Tabela 2. Esses ânions possuem características alcalinas. Por outro lado, no tratamento AS 0,2 registrou-se pH abaixo de 7. A água utilizada nesse tratamento era dessalinizada e para se atingir a CEa de 0,2 dS m^{-1} foi adicionado um pequeno volume de água salobra ($\approx 20 \text{ mL L}^{-1}$), volume esse que não foi capaz de elevar o pH da solução. Com a fonte de salinidade NaCl, inicialmente foi registrado pH próximo a 6 para todos os tratamentos. Como nesses tratamentos a fonte de salinidade foi a adição do NaCl em água dessalinizada, o pH da solução permaneceu próximo do pH da água (Figura 9).

É sabido que na hidrólise de sais (NaCl, por exemplo), cujos íons são capazes de gerar ácido e base fortes, a solução permanece em equilíbrio e se tem pouco efeito sobre mudanças no pH. Porém, quando essa reação é capaz de produzir uma base forte e um ácido fraco (HCO_3^- , por exemplo), há um desequilíbrio na solução e, nesse caso, a mesma tende a ser alcalina (Lembo, 2000).

O comportamento do pH da solução ao longo do ciclo também variou entre as fontes de salinidades. Para AS, o pH dos tratamentos AS 3,2, AS 4,2 e AS 5,2 se manteve relativamente constante até os 13 DAT. Já para os tratamentos AS 0,2, AS 1,2 e AS 2,2 houve uma redução no pH (Figura 9a). Também foi observada a redução do pH para todos os tratamento de NaCl, mas nesse caso a redução foi ainda mais drástica, atingindo valores próximos a 3, o que sinaliza uma condição sub-ótima (Figura 9b). Conforme Furlani et al. (1999), variações na faixa de pH de 4,5 a 7,5 são toleradas, sem prejuízo ao crescimento da cultura hidropônica. Valores abaixo de 4 prejudicam a integridade da membrana celular. Para valores de pH acima de 6,5, é possível observar sintomas de deficiência de Fe, P, B e Mn.

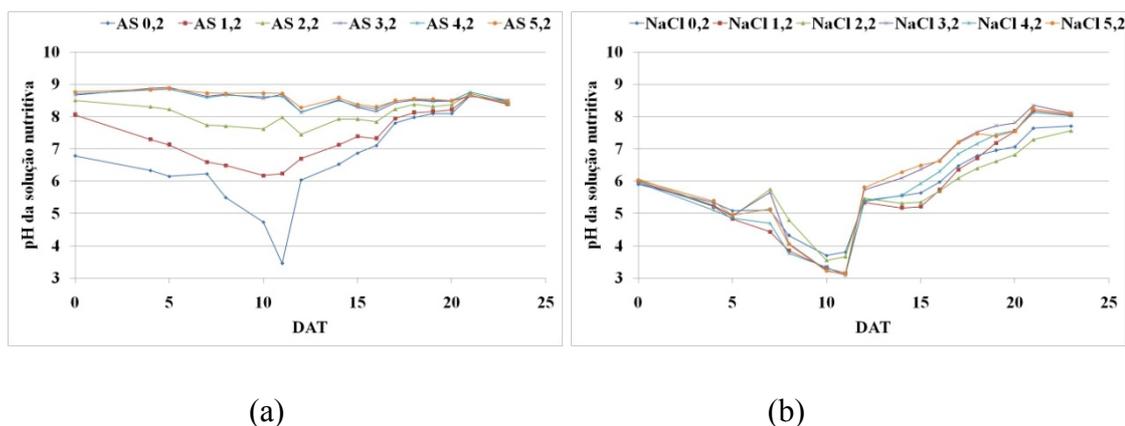


Figura 9. Valores médios de pH da solução nutritiva para as fontes AS (a) e NaCl (a) ao longo do Experimento I.

Após o ajuste do pH aos 13 DAT para a faixa ideal, não houve outra correção. Após o ajuste, foram registrados aumentos contínuos no pH da solução para todos os tratamentos de ambas as fontes, com exceção dos tratamentos AS3,2, AS4,2 e AS5,2, que já se encontravam com pH elevado.

Comportamento semelhante foi observado por Furlani et al. (1985), estudando níveis crescentes de nitrogênio total aplicados à diferentes linhagens de milho cultivadas em solução nutritiva. No estudo acima citado, foram utilizadas como fontes de nitrogênio o NO_3^- e o NH_4^+ , mantendo-se a relação $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ igual a 8 para todos os tratamentos, relação essa

próxima a relação utilizada no presente estudo ($\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+ = 7,24$; Tabela 4). Os autores observaram queda no pH da solução nutritiva no início do cultivo e posterior elevação do mesmo acima de 6,0 entre o 8º e o 15º dia de crescimento das plantas em solução.

Essas variações de pH podem ocorrer devido à absorção diferenciada de cátions e ânions (COMETTI et al., 2006). Segundo Rodrigues (2002), o nitrogênio é o único nutriente que pode ser absorvidos nessas duas formas. As espécies vegetais diferem na sua preferência por fontes de N, mas absorvem principalmente sob formas inorgânicas, como nitrato (NO_3^-) ou amônio (NH_4^+) (WILLIAMS & MILLER, 2001; citado por SOUZA & FERNANDES, 2006). E por ser o nitrogênio um íon de alto consumo, sua absorção pelas raízes torna-se um dos principais responsáveis pelas variações do pH da solução.

O amônio é a fonte preferida de nitrogênio de muitas plantas (BLOOM, 1997), e na sua absorção as raízes liberam H^+ que diminui o pH e causa acidez excessiva no meio de cultivo, reduzindo a absorção do próprio NH_4^+ e de outros cátions como K^+ , Ca^{++} e Mg^{++} (BARKER & MILLS, 1980; OSMAN & WILCOX, 1986; citados por RODRIGUES, 2002). O pH da solução pode voltar a subir assim que o NH_4^+ tenha sido absorvido e que a absorção de NO_3^- torne-se maior que a de NH_4^+ (COMETTI et al., 2006). A absorção de nitrato pelas raízes retira ânions da solução nutritiva que é compensada pela liberação de OH^- e HCO_3^- pelas raízes, resultando em aumento progressivo do pH (BARKER & MILLS, 1980; citado por RODRIGUES, 2002).

Em solução nutritiva, se o nitrogênio total é fornecido apenas na forma de nitrato, a maioria das culturas apresenta absorção excessiva de ânions e induz o aumento do pH. É por esse motivo que nas soluções nutritivas padrão, parte do nitrogênio total (7 a 14%) é fornecido na forma de amônio (RODRIGUES, 2002), garantindo um tamponamento da solução.

A absorção radicular de NH_4^+ é feita por transporte passivo e depende de sua entrada única através da membrana (mediada por transportador), sem requerer o movimento de outro íon (ULLRICH, 1987; GLASS ET AL., 1997; citados por EPSTEIN & BLOOM, 2006). Embora o transporte de NH_4^+ pela membrana não envolva o movimento imediato de outro íon, uma célula não pode suportar um movimento, para o seu interior, de íons de carga positivas, como do NH_4^+ , sem um fluxo de um íon, no sentido contrário, para restaurar a neutralidade elétrica. As células assimilam o NH_4^+ que absorveram, gerando prótons (H^+) que diminuem o pH citoplasmático e estimulam H^+ -ATPase da membrana plasmática a bombear prótons para fora da célula (HEDRICH & SCHOEDER, 1989; KURKDJIAN & GUERN,

1989; SERRANO, 1989; citados por EPSTEIN & BLOOM, 2006). O efluxo de H^+ resultante e o afluxo de ânions equilibra o afluxo de NH_4^+ (SMITH & RAVEN, 1979; citados por EPSTEIN & BLOOM, 2006).

De maneira geral, pode-se afirmar que a salinidade entre os tratamentos manteve as diferenças inicialmente concebidas, entretanto também se verificou a oscilação da salinidade dentro de cada tratamento. Durante o experimento não se procurou corrigir a salinidade. Além disso, como o abastecimento era feito com água dessalinizada, não se esperava aumento nos valores das salinidades iniciais. O registro de aumentos nas salinidades pode ser explicado pelo manejo dado à reposição de água consumida ao longo do ciclo de cultivo. Num primeiro momento, a reposição era feita sobre baixa frequência e de forma manual com o auxílio de uma régua linimétrica e uma proveta, o que elevou o aumento da concentração da solução em alguns momentos. Com a introdução do abastecedor automático (Figura 4), a reposição passou a ser automática (frequência contínua), isentando as parcelas das oscilações na concentração da solução (Figura 10).

Mesmo com um melhor controle no abastecimento, notou-se uma diminuição da salinidade em relação aos níveis inicialmente estabelecidos (Figura 10). Isso pode ser explicado pelo consumo de nutrientes pelas plantas sem a correspondente reposição dos mesmos. Previamente, definiu-se não trabalhar com correção de nutrientes, em virtude da alta disponibilidade de solução nutritiva por planta (4,5 L).

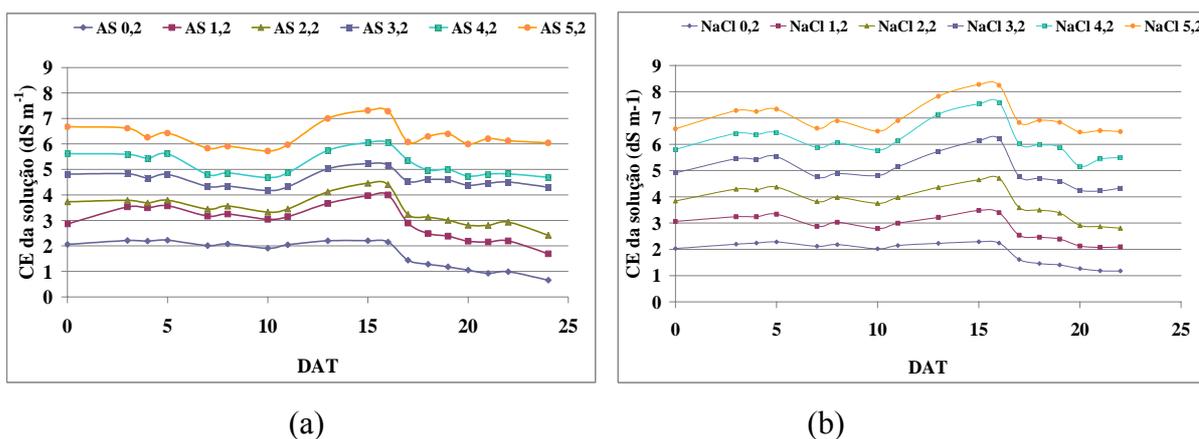


Figura 10. Valores médios da condutividade elétrica da solução nutritiva para as fontes de salinidade AS (A) e NaCl (B) ao longo do Experimento I.

4.1.2 Crescimento e rendimento da alface cultivada em águas salobras

Para esse experimento as plantas foram colhidas 55 dias após a semeadura (DAS) e 24 dias após o transplante (DAT).

Para os dados encontrados com o Experimento I, observou-se que o controle local em bloco não foi significativo, considerando as variáveis de crescimento e rendimento (Tabela 5 e Tabela 6). Conforme análise de variância geral, o fator fonte de salinidade foi significativo para todas as variáveis analisadas, a exceção de MFC, MSR, DC e U. Já o fator ‘níveis de salinidade’ foi altamente significativo para todas as variáveis, a exceção da MSR, o mesmo ocorrendo para a interação dos dois fatores.

Tabela 5. Resultado da análise de variância para as variáveis de rendimento avaliadas no Experimento I

Causa de Variação	GL	MFPA	MFF	MFC	MSPA	MSF	MSC	MSR	MST
		-----Pr>F-----							
Bloco	3	0,9031	0,8739	0,9719	0,5799	0,5291	0,1424	0,2947	0,5601
Fonte	1	0,0161	0,0140	0,1087	0,0002	0,0002	0,0046	0,9555	0,0002
CEa	5	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,3614	<0,0001
Fonte*CEa	5	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0017	0,0023	<0,0001	0,6668	0,0020

Tabela 6. Resultado da análise de variância para as variáveis de crescimento avaliadas no Experimento I

Causa de variação	GL	NF	DC	U
		-----Pr>F-----		
Bloco	3	0,1864	0,9603	0,1201
Fonte	1	0,0001	0,0599	0,3094
CEa	5	<0,0001	<0,0001	0,0001
Fonte*CEa	5	0,0002	<0,0001	<0,0001

O desdobramento da interação revelou que houve pouco efeito da fonte de salinidade dentro dos níveis de salinidade mais baixos (Tabela 7 e Tabela 8), sendo que para as variáveis NF, MSPA, MSF, MSC, MSR, MST não se registrou significância entre as ‘fontes de salinidade’ dentro dos níveis 0,2, 1,2 e 2,2 dS m⁻¹. À medida que se aumentou o nível de

salinidade, o efeito do fator fonte de salinidade tornou-se mais pronunciado sobre as respostas de mais variáveis, incluindo as anteriormente citadas. Ou seja, sob condições mais salinas, as fontes de salinidade AS e NaCl produzem efeitos significativamente diferentes na maioria das variáveis avaliadas no cultivo de alface ‘Vera’.

Tabela 7. Resultado do desdobramento do efeito da interação sobre as variáveis de rendimento para as fontes de salinidade dentro de cada nível de salinidade

CEa dS m ⁻¹	GL	MFPA	MFF	MFC	MSPA	MSF	MSC	MSR	MST
		-----Pr>F-----							
0,2	1	0,1162	0,1071	0,3433	0,7009	0,6663	0,3044	0,5286	0,6293
1,2	1	0,0027	0,0028	0,0024	0,9997	0,9450	0,0968	0,8336	0,9663
2,2	1	0,0304	0,0305	0,0407	0,3932	0,4002	0,1235	0,4434	0,3380
3,2	1	<0,0001	<0,0001	0,0002	<0,0001	<0,0001	0,0004	0,3726	<0,0001
4,2	1	0,0080	0,0081	0,0108	0,0185	0,0223	0,0038	0,2508	0,0353
5,2	1	<0,0001	<0,0001	0,0012	0,0005	0,0007	<0,0001	0,9633	0,0007

Tabela 8. Resultado do desdobramento do efeito da interação sobre as variáveis de crescimento para as fontes de salinidade dentro de cada nível de salinidade

CEa dS m ⁻¹	GL	NF	DC	U
		-----Pr>F-----		
0,2	1	0,6543	0,1256	0,0271
1,2	1	0,1506	0,0092	0,0089
2,2	1	0,6055	0,0048	0,1037
3,2	1	<0,0001	<0,0001	0,0045
4,2	1	0,0025	0,2009	0,1133
5,2	1	0,0007	<0,0001	<0,0001

Avaliando o desdobramento da interação mediante o efeito dos níveis de salinidade dentro de cada fonte, observou-se efeito significativo da salinidade dentro da fonte AS. O efeito da salinidade dentro da fonte NaCl não foi significativo (5% de probabilidade) para a

maioria das variáveis consideradas (Tabela 9). Apenas para as variáveis DC, MFC e MSC foram registradas diferenças estatísticas dentro da fonte NaCl.

Tabela 9. Resultado do desdobramento do efeito da interação sobre as variáveis de rendimento para os níveis de salinidade dentro de cada fonte de salinidade

Fonte	GL	MFPA	MFF	MFC	MSPA	MSF	MSC	MSR	MST
-----Pr > F-----									
AS	5	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,2418	<0,0001
NaCl	5	0,1011	0,1374	0,0002	0,0679	0,0944	0,0091	0,9301	0,0653

Tabela 10. Resultado do desdobramento do efeito da interação sobre as variáveis de crescimento e teor de água nas folhas para os níveis de salinidade dentro de cada fonte de salinidade

Fonte	GL	NF	DC	U
-----Pr > F-----				
AS	5	<0,0001	<0,0001	<0,0001
NaCl	5	0,3919	0,0047	0,3330

Como o fator fonte de salinidade se constitui em dois níveis qualitativos, empregou-se o teste de Tukey para comparação das médias (Tabela 11). Nesse caso, confirmou-se que a fonte NaCl proporcionou menor prejuízo ao crescimento. Por exemplo, a produção média para a fonte NaCl de massa de matéria fresca da parte aérea foi de 287,94 g, sendo de 250,16 g a média da fonte AS, com diferença mínima significativa (D.M.S.) de 28,80 g. Além da MFPA, as variáveis NF, MFF, MSPA, MSF e MSC foram mais prejudicadas pela misturas de águas salobras (AS) do que pela salinização por NaCl. Para as variáveis DC, MFC e U, o efeito da fonte de salinidade foi inexistente.

Tabela 11. Resultado da comparação de média pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade para as variáveis de rendimento considerando o fator fonte de salinidade

Causa de variação	MFPA	MFF	MFC	MSPA	MSF	MSC	MSR	MST
-----g planta ⁻¹ -----								
NaCl	287,94 a	271,66 a	16,28 a	10,35 a	9,76 a	0,58 a	2,56 a	12,89 a
AS	250,16 b	235,8 b	14,36 a	8,26 b	7,79 b	0,48 b	2,54 a	10,83 b
D.M.S.	28,80	26,81	2,15	1,01	0,96	0,06	0,18	1,04

D.M.S. – diferença mínima significativa
médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente

Tabela 12. Resultado da comparação de média pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade para as variáveis de crescimento e teor de água foliar considerando o fator fonte de salinidade

Causa de variação	NF	DC	U
	-----cm-----		-----%-----
NaCl	20,82 a	41,67 a	96,38 a
AS	18,82 b	39,83 a	96,20 a
D.M.S.	0,95	1,85	0,27

Para o fator ‘nível de salinidade’, que constitui tratamentos quantitativos, a avaliação das variáveis foi feita mediante análise de regressão. Nessa avaliação conjunta dos dados (AS e NaCl), todas as variáveis responderam linearmente ao efeito da salinidade. Apenas a resposta da variável MSR não permitiu ajuste de modelo estatístico (Tabela 13).

Quando se desdobrou os níveis de salinidade na interação, observou-se um efeito mais pronunciado desses níveis dentro da fonte AS (Figura 11 - Figura 21). Enquanto os níveis provocados pela águas salobras produziram efeitos significativos para a maioria das variáveis analisadas, a exceção de MSR, os níveis de salinidade por NaCl produziram pouco efeito no crescimento e rendimento da alface.

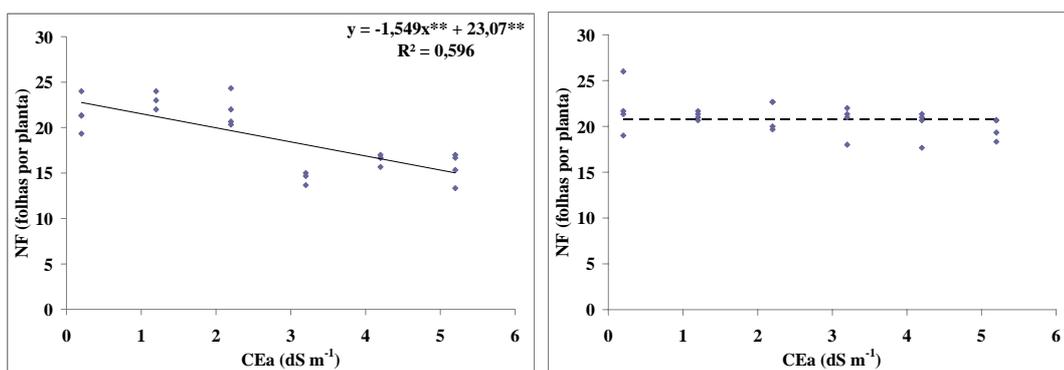
Apenas as variáveis DC, MFC e MSC foram significativamente prejudicadas pelos níveis de salinidade por NaCl. Nesses casos, as reduções percentuais calculadas como a razão entre os coeficientes angular e linear (a/b) das equações de primeiro grau (significativamente ajustadas) indicaram menor prejuízo às plantas de alface, em relação à fonte AS. Para DC, a razão a/b foi calculada em 9,24% (dS m⁻¹)⁻¹ para a fonte AS, enquanto para a fonte NaCl foi calculada em 3,43% (dS m⁻¹)⁻¹. Para as variáveis MFC e MSC, a razão a/b foi calculada em 18,93 e 16,87% (dS m⁻¹)⁻¹, respectivamente, dentro da fonte AS; dentro da fonte NaCl, as reduções nessas mesmas variáveis caíram para 10,36 e 6,99% (dS m⁻¹)⁻¹.

Tabela 13. Resultado da análise de regressão aplicada às variáveis analisadas no Experimento I (análise conjunta de AS e NaCl)

Variável	Equação	R ²
MFPA	MFPA = 387,52** - 43,246 CEa**	0,475
NF	NF = 22,54** - 0,984 CEa**	0,345
DC	DC = 49,59** - 3,229 CEa**	0,555
MFF	MFF = 36,396 ** - 39,27 CEa**	0,458
MFC	MFC = 26,18** - 39,75 CEa**	0,639
MSPA	MSPA = 12,48 ** - 1,149 CEa**	0,441
MSF	MSF = 11,65 ** - 1,04 CEa**	0,421
MSC	MSC = 0,806** - 0.1CEa**	0,556
MSR	ns	ns
MST	MST = 15,07** - 1,16 CEa**	0,431
U	U = 96,83** -0,198 CEa**	0,214

**representa significância a 1% de probabilidade

*representa significância a 1% de probabilidade

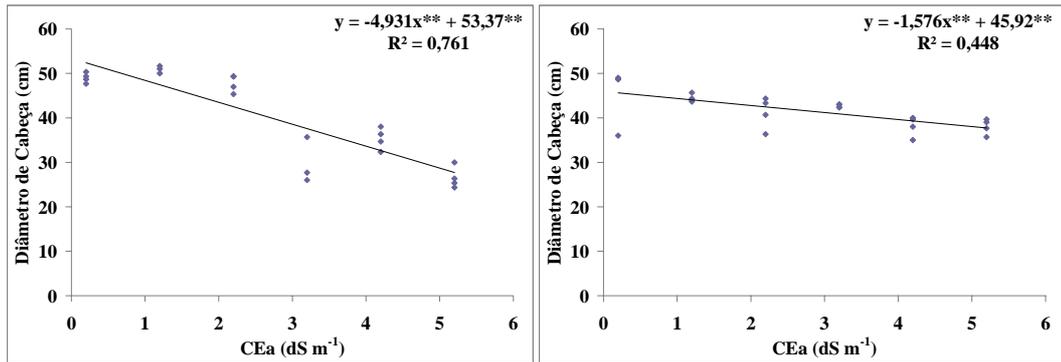


**representa significância a 1% de probabilidade

(a)

(b)

Figura 11. Número de folhas (NF) da alface 'Vera' em função dos níveis de salinidade da água (CEa) provocados por AS (a) e por NaCl (b).

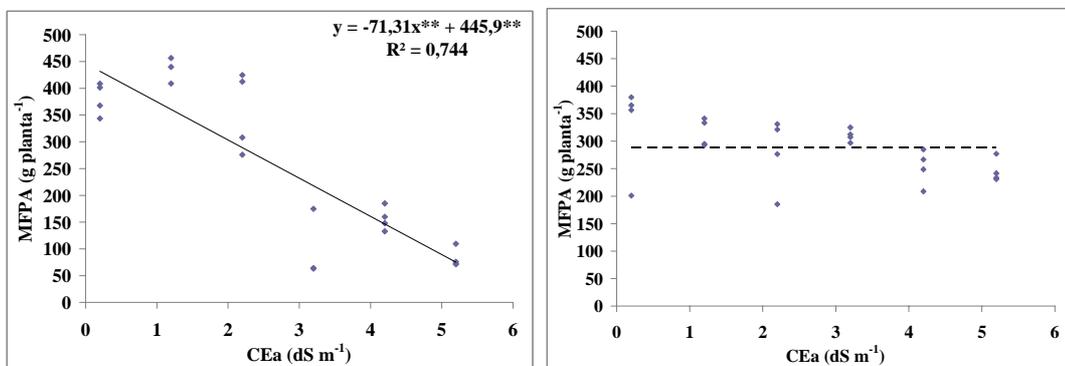


**representa significância a 1% de probabilidade

(a)

(b)

Figura 12. Diâmetro de cabeça (DC) da alface ‘Vera’ em função dos níveis de salinidade da água (CEa) provocados por AS (a) e por NaCl (b).

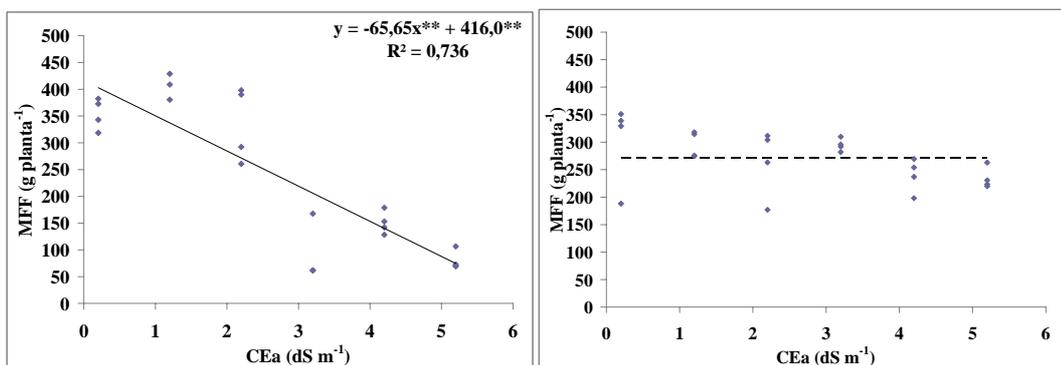


**representa significância a 1% de probabilidade

(a)

(b)

Figura 13. Massa de matéria fresca da parte aérea (MFPA) da alface ‘Vera’ em função dos níveis de salinidade da água (CEa) provocados por AS (a) e por NaCl (b).

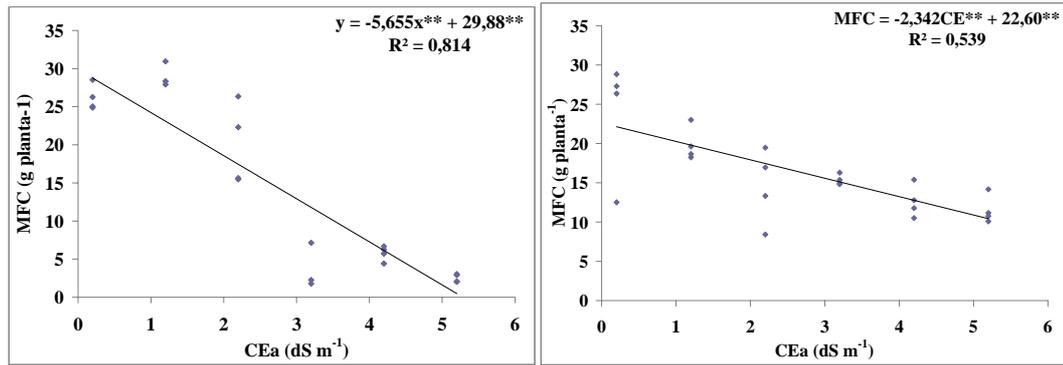


**representa significância a 1% de probabilidade

(a)

(b)

Figura 14. Massa de matéria fresca da folha (MFF) da alface ‘Vera’ em função dos níveis de salinidade da água (CEa) provocados por AS (a) e por NaCl (b).

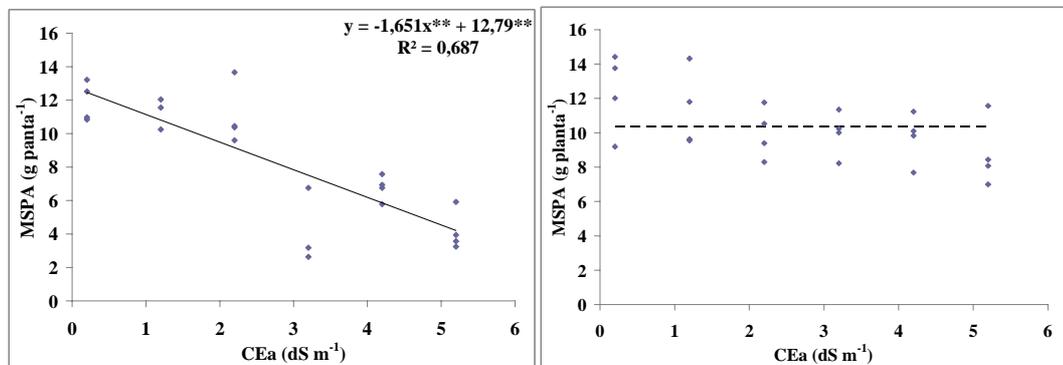


**representa significância a 1% de probabilidade

(a)

(b)

Figura 15. Massa de matéria fresca do caule (MFC) da alface 'Vera' em função dos níveis de salinidade da água (CEa) provocados por AS (a) e por NaCl (b).

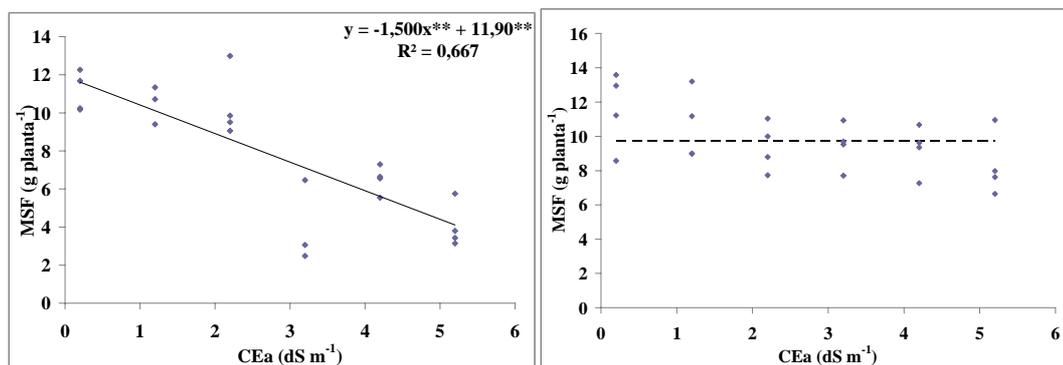


**representa significância a 1% de probabilidade

(a)

(b)

Figura 16. Massa seca da parte aérea (MSPA) da alface 'Vera' em função dos níveis de salinidade da água (CEa) provocados por AS (a) e por NaCl (b).

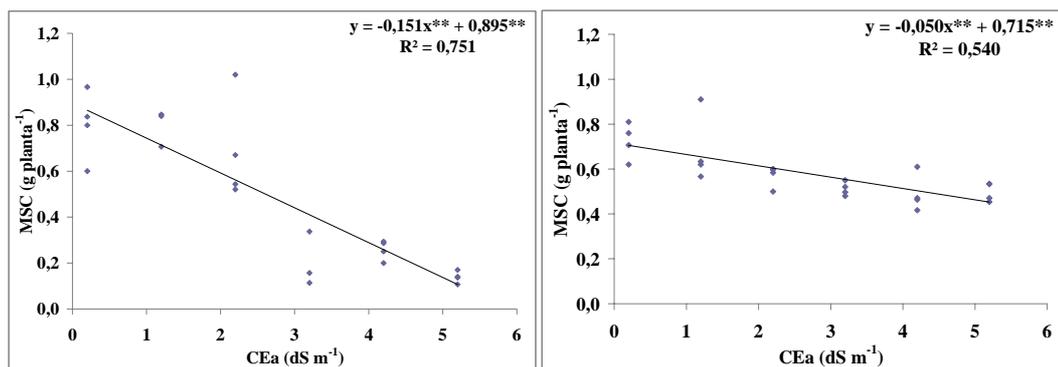


**representa significância a 1% de probabilidade

(a)

(b)

Figura 17. Massa de matéria seca da folha (MSF) da alface 'Vera' em função dos níveis de salinidade da água (CEa) provocados por AS (a) e por NaCl (b).

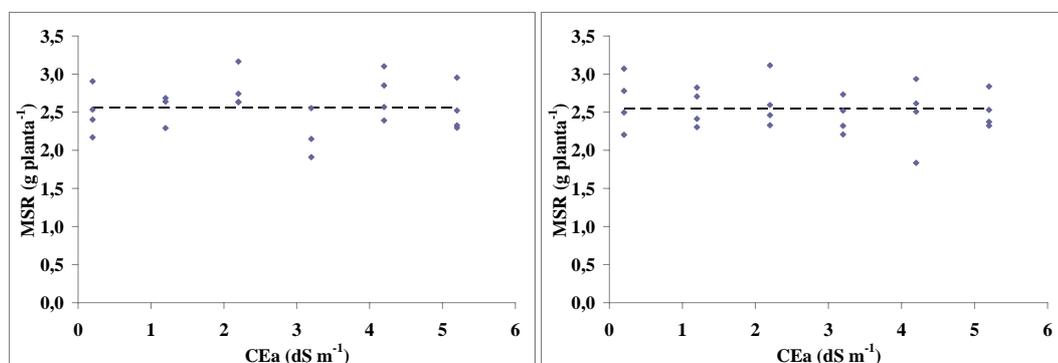


**representa significância a 1% de probabilidade

(a)

(b)

Figura 18. Massa de matéria seca do caule (MSC) da alface 'Vera' em função dos níveis de salinidade da água (CEa) provocados por AS (a) e por NaCl (b).

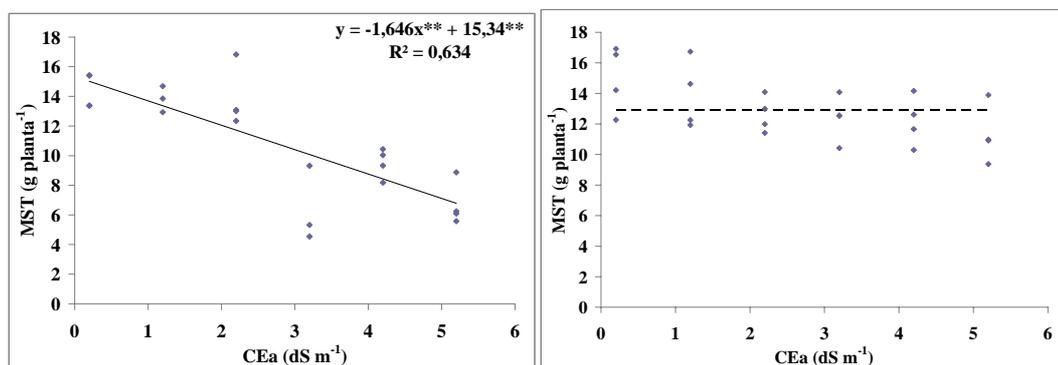


**representa significância a 1% de probabilidade

(a)

(b)

Figura 19. Massa de matéria seca da raiz (MSR) da alface 'Vera' em função dos níveis de salinidade da água (CEa) provocados por AS (a) e por NaCl (b).

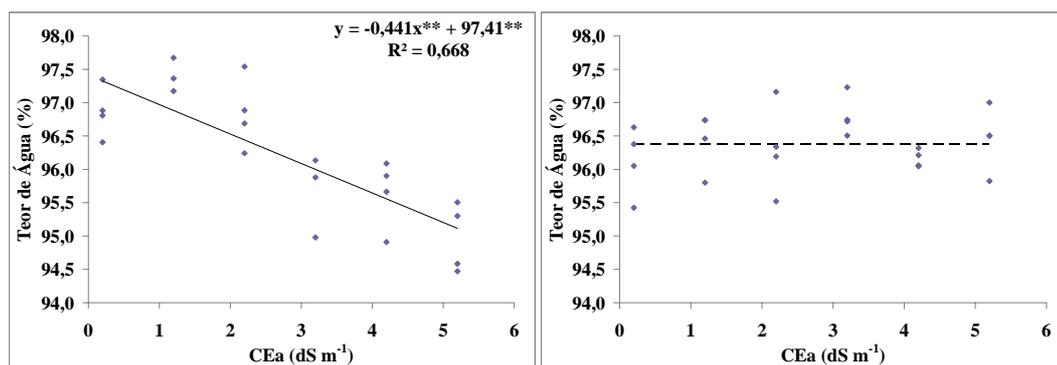


**representa significância a 1% de probabilidade

(a)

(b)

Figura 20. Massa de matéria seca total da alface 'Vera' em função dos níveis de salinidade da água (CEa) provocados por AS (a) e por NaCl (b).



**representa significância a 1% de probabilidade

(a)

(b)

Figura 21. Teor de água da alface (U) ‘Vera’ em função dos níveis de salinidade da água (CEa) provocados por AS (a) e por NaCl (b).

De acordo com os resultados apresentados, há que se questionar a razão da maior redução da produção de massa de matéria fresca da parte aérea da alface ‘Vera’ quando submetida aos níveis de salinidade provocados pelas águas salobras locais (AS), em relação aos níveis criados pela adição de NaCl em água dessalinizada. Em hipótese, esperou-se o efeito contrário: maior prejuízo por NaCl, um sal constituído por dois íons tóxicos; e reduções mais moderadas pelas águas salobras naturais, levando em consideração os íons nutrientes que encerravam. A resposta para essa contrariedade da hipótese levantada pode ser encontrada na análise do pH (Figura 9). Nesse experimento, não se teve um controle diário do pH da solução nutritiva nas parcelas. Nesse sentido, pode ter ocorrido precipitação de cátions essenciais (Ca, Mg) pela combinação com os ânions carbonato, bicarbonato e sulfato presentes nas águas naturais (Tabela 2), sobretudo no início do ciclo, quando essas águas produziram soluções nutritivas alcalinas ($\text{pH} > 8$). Em contraste, as soluções produzidas com NaCl apresentavam pH em torno de 6, independente do nível de salinidade, o que está de acordo com o fato da dissociação desse sal não alterar muito o pH de soluções aquosas. Essa hipótese da precipitação de cátions nos tratamentos com AS também é suportada na análise visual de sintomas efetuada no início do ciclo. Desde os 3 DAT, observou-se clorose nas plântulas de alface submetidas à salinidade provocada pelas AS. Por outro lado, plantas submetidas ao NaCl conservavam o verde foliar.

4.1.3 Sintomatologia da alface no Experimento I

Foram observados sintomas de clorose nas plantas de alface ‘Vera’ aos 3 DAT (Figura 22). A análise visual de sintomas, realizada aos 8 DAT, revelou que esses sintomas não foram produzidos pelo NaCl em qualquer um dos níveis de salinidade (Tabela 14).

Apenas as plantas submetidas à salinidade provocada pela combinação das águas salobras foram acometidas pela clorose, conforme Tabela 14. Mesmo para essa fonte de salinidade, não foram registrados sintomas para os menores níveis de salinidade da água, quais sejam: $0,2 \text{ dS m}^{-1}$ e $1,2 \text{ dS m}^{-1}$. Sintomas de clorose intensa foram observados nas bordas foliares de algumas plantas (Figura 23, Figura 24). Ao final do experimento, os sintomas de queima não se pronunciaram nas folhas novas. Da mesma forma, registrou-se uma menor intensidade da clorose observada nas plantas submetidas aos mais elevados níveis de salinidade das águas naturais (Figura 28). Por outro lado, observou-se coloração verde escuro das plantas submetidas aos mais altos níveis de salinidade por NaCl. Outros autores já relataram a coloração verde-escuro de plantas de alface em condições salinas provocadas por NaCl (SOARES, 2007; PAULUS, 2008).

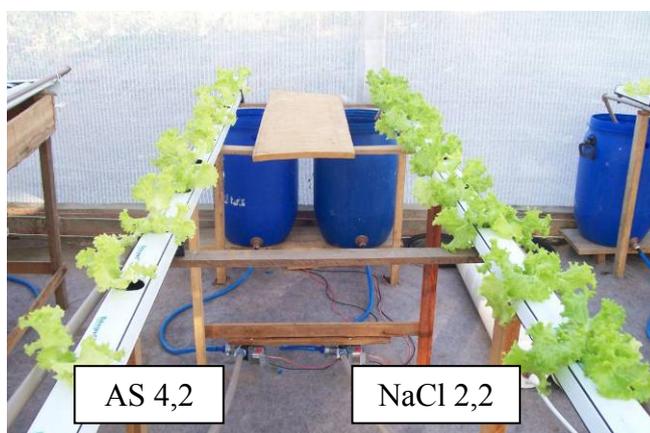


Figura 22. Contraste visual aos 8 DAT de duas parcelas, uma submetida à água salobra (esquerda) e outra ao NaCl (direita).

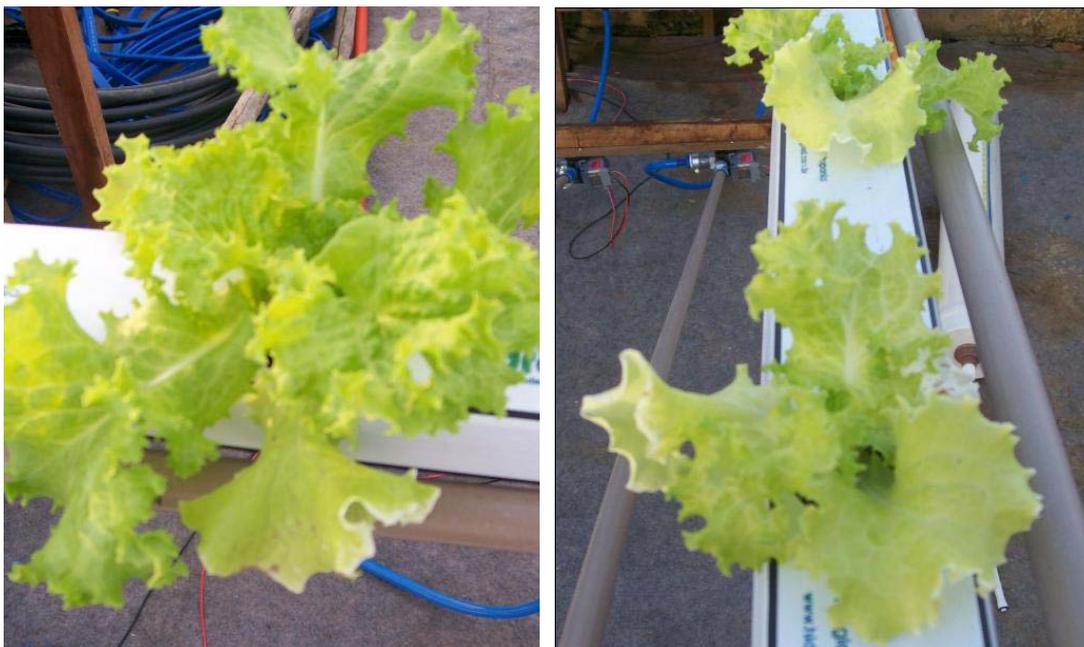


Figura 23. Sintomas de clorose intensa nos bordos foliares de plantas submetidas às águas salobras aos 8 DAT.

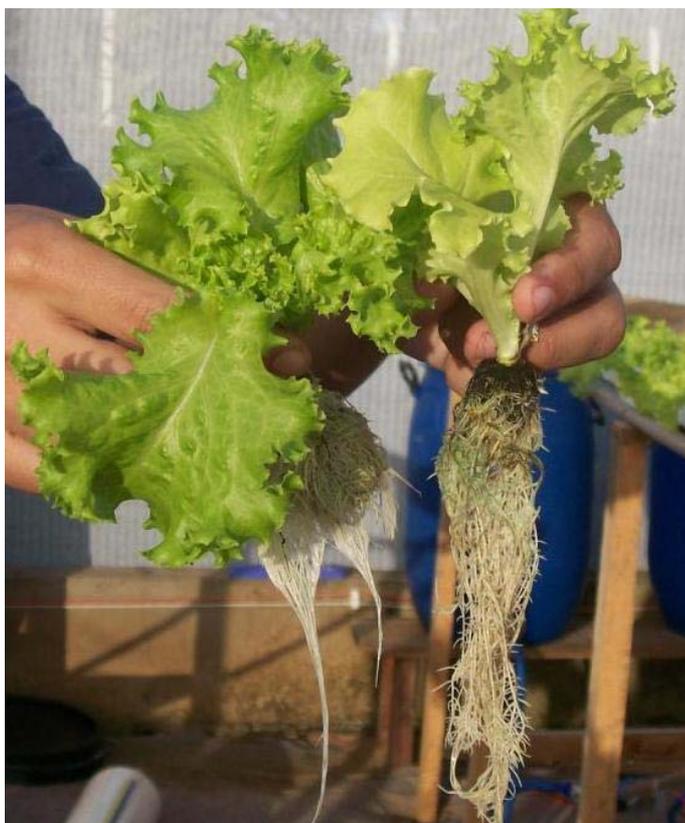


Figura 24. Contraste visual aos 8 DAT de duas plantas, uma submetida à salinidade por NaCl (esquerda) e outra à água salobra (direita), ambas sob CEa de $5,2 \text{ dS m}^{-1}$.

Outro sintoma observado foi a presença de deposição de sais nas raízes (Figura 24) de todos os níveis de salinidade para a fonte ‘águas salobras’, à exceção de $0,2 \text{ dS m}^{-1}$. Sintomas semelhantes não foram observados em plantas submetidas aos níveis de salinidade promovidos pela adição de NaCl. Também foi observado (Figura 24, Figura 25) uma mudança na coloração das raízes de plantas submetidas à solução nutritiva produzida com água salobra (aos 8 DAT). As raízes tornaram-se esverdeadas provavelmente pela deposição de precipitados.



Figura 25. Acúmulo de sedimentos e de sais precipitados nas raízes de uma planta submetida à solução nutritiva produzida com água salobra (aos 8 DAT).

Também foi observada precipitação de sais nos reservatórios de solução nutritiva preparada com as águas salobras. Houve deposição de sais nos componentes do sistema, o que é um indício dos riscos de entupimentos de emissores e tubulações para a condição de negligência de tratamento prévio para as águas salobras naturais estudadas. Nesse caso, fez-se a limpeza dos componentes após cada experimento para manter a uniformidade do sistema (Figura 27). Para a fonte NaCl, não foram registradas precipitações (Figura 26).

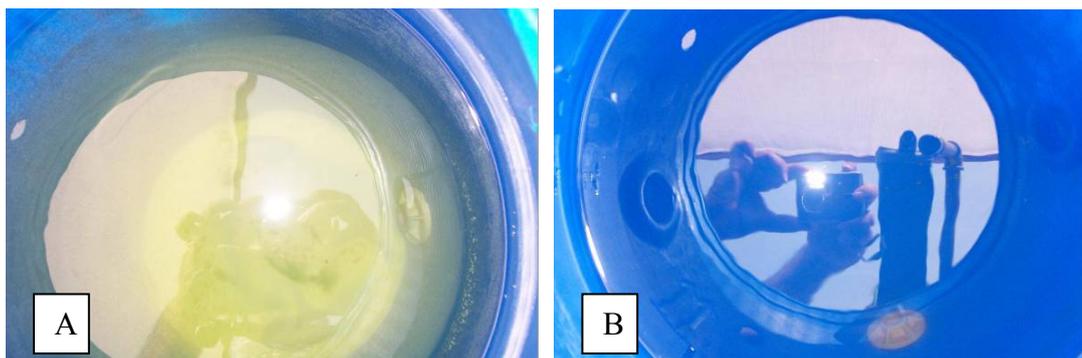


Figura 26. Deposição de sais precipitados no reservatório de solução nutritiva salinizada com água salobra (A) em comparação à ausência de precipitados em reservatório com solução salinizada por NaCl (B).

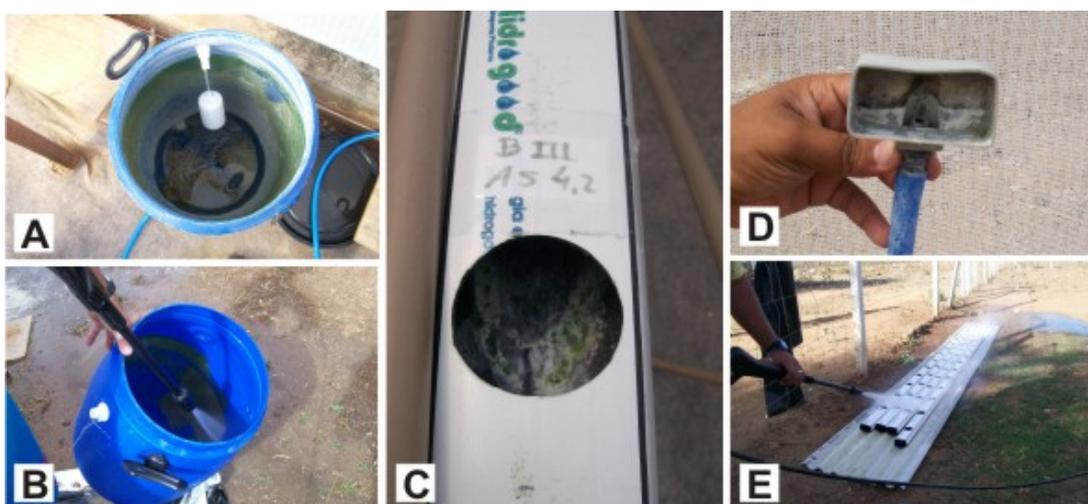


Figura 27. Deposição de sais no reservatório (A); limpeza do reservatório (B); deposição de sais na calha e no tampão de saída (C e D); limpeza das calhas (E).

A razão para a presença de precipitados nos reservatórios de solução nutritiva à base das águas salobras pode ser a presença de carbonato, bicarbonato e sulfato, que podem ter reagido com os nutrientes da solução nutritiva, levando-os à precipitação. Isso explicaria ainda a clorose das plantas submetidas às águas salobras, uma vez que, com a precipitação, os nutrientes tornam-se menos disponíveis para as plantas.



Figura 28. Vista geral da plantas do Experimento I aos 22 DAT.

Tabela 14. Resultado da análise visual de sintomas em folhas de alface crespa ‘Vera’ aos 8 DAT (27/06/2008) submetida à salinidade da água

Fonte de Sais	CEa (dS m ⁻¹)	Aspecto	Fonte de Sais	CEa (dS m ⁻¹)	Aspecto
AS	0,2	Verde	NaCl	0,2	Verde
AS	0,2	Verde	NaCl	0,2	Verde
AS	0,2	Verde	NaCl	0,2	Verde
AS	0,2	Verde	NaCl	0,2	Verde
AS	1,2	Verde	NaCl	1,2	Verde
AS	1,2	Verde	NaCl	1,2	Verde
AS	1,2	Verde	NaCl	1,2	Verde
AS	1,2	Verde	NaCl	1,2	Verde
AS	2,2	Verde	NaCl	2,2	Verde
AS	2,2	Verde	NaCl	2,2	Verde
AS	2,2	Clorose	NaCl	2,2	Verde
AS	2,2	Clorose	NaCl	2,2	Verde
AS	3,2	Clorose	NaCl	3,2	Verde
AS	3,2	Clorose	NaCl	3,2	Verde
AS	3,2	Clorose	NaCl	3,2	Verde
AS	3,2	Clorose	NaCl	3,2	Verde
AS	4,2	Clorose	NaCl	4,2	Verde
AS	4,2	Clorose	NaCl	4,2	Verde
AS	4,2	Clorose	NaCl	4,2	Verde
AS	4,2	Clorose	NaCl	4,2	Verde
AS	5,2	Clorose	NaCl	5,2	Verde
AS	5,2	Clorose	NaCl	5,2	Verde
AS	5,2	Clorose	NaCl	5,2	Verde
AS	5,2	Clorose	NaCl	5,2	Verde

4.1.4 Consumo hídrico da alface cultivada em águas salobras

De acordo com a análise da Tabela 15, houve efeito do bloco em algumas datas para o consumo hídrico. Portanto, o controle local mediante o delineamento experimental em quatro blocos foi necessário, ao menos para este parâmetro. Outra observação foi que o fator fonte de salinidade produziu efeito significativo no consumo de água pelas plantas de alface em alguns dos períodos analisados. Por outro lado, os níveis de salinidade tiveram efeito significativo em todos os períodos.

Tabela 15. Resultado da análise de variância para o consumo hídrico em diferentes datas ao longo do Experimento I

Causa de variação	GL	0-7DAT	7-11DAT	18-19DAT	19-20DAT	21-22DAT	22-24DAT	24-25DAT
-----Pr > F-----								
Bloco	3	0,2482	0,0127	0,1795	0,0319	0,2395	0,0006	0,2725
Fonte	1	0,3071	0,0155	0,0054	0,0897	0,4403	0,2681	0,4216
CEa	5	0,0139	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0002
Fonte*CEa	5	0,3366	0,1481	0,0009	0,4261	0,0007	0,0147	0,0048

Com os resultados apresentados na Tabela 17, indica-se que dentro da fonte AS houve efeito dos níveis de salinidade a partir do 7 DAT. Dentro da fonte NaCl, o efeito dos níveis de salinidade somente foi significativo até o 20 DAT, sinalizando uma possível recuperação das plantas, em termos de consumo hídrico, a partir desta data.

Tabela 16. Resultado do desdobramento do efeito da interação para as fontes de salinidade dentro de cada nível de salinidade

CEa	GL	0-7DAT	7-11DAT	18-19DAT	19-20DAT	21-22DAT	22-24DAT	24-25DAT
-----Pr > F-----								
0,2	1	0,5959	0,5456	0,2873	0,3419	0,0052	0,8046	0,8500
1,2	1	0,3351	0,9400	<,0001	0,9845	0,6622	0,1201	0,1162
2,2	1	0,1998	0,0080	0,0184	0,3238	0,0951	0,1327	0,0385
3,2	1	0,3124	0,5662	0,1464	0,1363	0,0058	0,0144	0,0062
4,2	1	0,1056	0,1804	0,2928	0,1173	0,1002	0,1594	0,5261
5,2	1	0,7981	0,0274	0,3728	0,2220	0,0238	0,0428	0,0267

Tabela 17. Resultado do desdobramento do efeito da interação para os níveis de salinidade dentro de cada fonte de salinidade

Fonte	GL	0-7DAT	7-11DAT	18-19DAT	19-20DAT	21-22DAT	22-24DAT	24-25DAT
-----Pr > F-----								
AS	5	0,3009	<,0001	<,0001	0,0002	<,0001	<,0001	<,0001
NaCl	5	0,0128	0,0001	0,0133	0,0103	0,1895	0,1624	0,1841

Analisando a Tabela 18, verificou-se que o nível de salinidade exerceu um efeito linear negativo sobre o consumo hídrico. Os modelos gerados para explicar as repostas em cada período analisado têm $R^2 < 0,5$, o que significa que a salinidade assim modelada foi responsável por não mais que 50% das variações observadas no consumo hídrico.

A indicação de diferenças entre fontes de salinidade apresentada na análise geral das variâncias (Tabela 15) foi confirmada pelo teste de média (Tabela 19), ficando registrado que a fonte AS gerou efeito mais danoso à alface ‘Vera’ do que o NaCl.

Tabela 18. Resultado da análise de regressão para o consumo hídrico aplicada aos períodos analisados no Experimento I (análise conjunta de AS e NaCl)

Variável	Equação	R ²
0-7 DAT	$Y = - 0,0056 \text{ CEa}^{**} + 0,1453^{**}$	0,223
7-11 DAT	$Y = - 0,01333 \text{ CEa}^{**} + 0,2021^{**}$	0,475
18-19 DAT	$Y = - 0,0828 \text{ CEa}^{**} + 0,7228^{**}$	0,373
19-20 DAT	$Y = - 0,0188 \text{ CEa}^{**} + 0,1968^{**}$	0,331
21-22 DAT	$Y = - 0,0511 \text{ CEa}^{**} + 0,5156^{**}$	0,463
22-24 DAT	$Y = - 0,0731 \text{ CEa}^{**} + 0,7713^{**}$	0,370
24-25 DAT	$Y = - 0,0996 \text{ CEa}^{**} + 0,9402^{**}$	0,332

**representa significância a 1% de probabilidade

Tabela 19. Resultado da comparação de média pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade para as variáveis de consumo hídrico considerando o fator fonte de salinidade

Fonte	0-7DAT	7-11DAT	18-19DAT	19-20DAT	21-22DAT	22-24DAT	24-25DAT
-----L planta ⁻¹ dia ⁻¹ -----							
NaCl	0,137 a	0,172 a	0,448 a	0,156 a	0,384 a	0,594 a	0,692 a
AS	0,1276 a	0,158 b	0,548 b	0,133 b	0,364 a	0,548 a	0,643 a
D.M.S.	0,011	0,011	0,087	0,023	0,048	0,077	0,129

D.M.S. – diferença mínima significativa
médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente

4.1.5 Avaliação nutricional da alface cultivada em águas salobras

De acordo com a análise da Tabela 20, não houve efeito significativo do bloco sobre o acúmulo dos macronutrientes estudados no tecido vegetal, com exceção do magnésio e enxofre. Por outro lado, a fonte de salinidade teve efeito altamente significativo para a maioria dos macronutrientes, exceto para o nitrogênio e potássio. De forma geral, os níveis de salinidade da água tiveram efeitos significativos apenas para o nitrogênio e cálcio; os demais macronutrientes não se diferenciaram ao nível de 5% de probabilidade, ainda que para o magnésio e o enxofre tenha ocorrido diferença significativa ao nível de 10% de probabilidade.

Tabela 20. Resultado da análise de variância para as concentrações dos macronutrientes avaliados no tecido vegetal da alface cultivada no Experimento I

Fontes de variação	GL	N	P	K	Ca	Mg	S
-----Pr > F-----							
Bloco	3	0,9119	0,3234	0,9094	0,3219	0,0161	0,0160
Fonte	1	0,3840	<,0001	0,7424	0,0008	<,0001	<,0001
CEa	5	0,0322	0,1631	0,1413	0,0042	0,0564	0,0995
Fonte*CEa	5	0,2579	<,0001	0,6795	0,3324	<,0001	0,0162

Para os micronutrientes, o efeito do controle das variações locais foi notado apenas para o acúmulo de cobre e cloreto (Tabela 21). Observou-se efeito significativo da fonte de

salinidade sobre os acúmulos de todos os micronutrientes (Tabela 21). Da mesma forma, com exceção do manganês, houve efeito significativo dos níveis de salinidade sobre os micronutrientes e o sódio. A interação entre estes fatores possuiu efeito sobre o acúmulo de cobre, ferro e manganês.

Tabela 21. Resultado da análise de variância para as concentrações dos micronutrientes e de sódio avaliados no tecido vegetal da alface cultivada no Experimento I

Causa de variação	GL	Cu	Zn	Fe	Mn	Cl	Na
Bloco	3	0,0238	0,6096	0,2702	0,3602	<,0001	0,2845
Fonte	1	0,0064	<,0001	0,0004	<,0001	0,0151	<,0001
CEa	5	<,0001	0,0005	0,0236	0,0572	<,0001	<,0001
Fonte*CEa	5	0,0022	0,6375	0,0165	0,0024	0,0909	<,0001

De maneira geral, pode-se dizer, ao analisar o desdobramento da interação para as fontes de salinidade dentro de cada nível de CEa que: para os dois níveis mais baixos de CEa, não há efeito da fonte de salinidade sobre o acúmulo dos macronutrientes; a partir do nível 2,2 dS m⁻¹, há diferença entre AS e NaCl para os acúmulos foliares de P, Mg e S; o K não foi influenciado pela fonte de salinidade, enquanto o N somente foi influenciado dentro do nível 2,2 dS m⁻¹; e o cálcio foi somente influenciado nos níveis 3,2 e 4,2 dS m⁻¹ (Tabela 22).

Em relação aos micronutrientes, observou-se de maneira geral que, à exceção do desdobramento para o nível de CEa 0,2 dS m⁻¹, houve efeito significativo da fonte de salinidade (Tabela 22). Dentro do nível 1,2 dS m⁻¹, não houve distinção das fontes de salinidade para os teores de cloreto e do íon sódio, talvez como reflexo da presença desses dois elementos em ambas as fontes de salinidade empregadas (Tabela 2). Para salinidades superiores, os níveis de sódio e cloreto foram significativamente influenciados pela fonte de salinidade.

Tabela 22. Resultado do desdobramento do efeito da interação para as fontes de salinidade dentro de cada nível de salinidade da água (CEa)

CEa	GL	N	P	K	Ca	Mg	S
-----Pr > F-----							
0,2	1	0,5290	0,0005	0,5894	0,0852	0,1073	0,3717
1,2	1	0,4194	0,4985	0,4435	0,7391	0,3744	0,5776
2,2	1	0,0461	<,0001	0,2270	0,1918	0,0043	<,0001
3,2	1	0,3032	<,0001	0,5344	0,0115	<,0001	0,0104
4,2	1	0,6215	0,0072	0,7457	0,0129	<,0001	0,0211
5,2	1	0,3567	<,0001	0,5808	0,7998	<,0001	0,0076

Tabela 23. Resultado do desdobramento do efeito da interação para as fontes de salinidade dentro de cada nível de salinidade

CEa	GL	Cu	Zn	Fe	Mn	Cl	Na
-----Pr > F-----							
0,2	1	0,9952	0,1003	0,1351	0,0627	0,1846	0,8292
1,2	1	0,5033	0,0400	0,0005	0,0009	0,8731	0,2944
2,2	1	0,6788	0,0154	0,0323	0,0122	0,0562	0,0025
3,2	1	0,0883	0,0538	0,1515	0,0021	0,3150	<,0001
4,2	1	0,2228	0,0003	0,0204	0,0024	0,0153	<,0001
5,2	1	<,0001	0,0042	0,2680	0,0016	0,0629	<,0001

A análise dos resultados do desdobramento da interação para os níveis de CEa dentro de cada fonte revelou que dentro da fonte AS houve efeito da CEa nos teores de Ca, Mg, S, Na e de todos os micronutrientes, a exceção do Fe. Dentro da fonte NaCl, houve efeito dos níveis de salinidade da água para os teores de N, Ca, Mg, Cl e Na (Tabela 24 e Tabela 25).

Tabela 24. Resultado do desdobramento do efeito da interação para os níveis de salinidade dentro de cada fonte de salinidade

Fonte	GL	N	P	K	Ca	Mg	S
-----Pr > F-----							
AS	5	0,4083	<,0001	0,3173	0,0332	<,0001	0,0084
NaCl	5	0,0186	<,0001	0,3413	0,0388	0,0504	0,2164

Tabela 25. Resultado do desdobramento do efeito da interação para os níveis de salinidade dentro de cada fonte de salinidade

Fonte	GL	Cu	Zn	Fe	Mn	Cl	Na
-----Pr > F-----							
AS	5	<,0001	0,0024	0,2795	0,0008	0,0414	0,0145
NaCl	5	0,0215	0,1144	0,0017	0,2292	<,0001	<,0001

De acordo com o teste de comparação de médias (Tabela 26 e Tabela 27), os teores de Ca e Mg nos tecidos foliares da alface foram significativamente maiores com a salinidade provocada pelas águas salobras, em relação ao NaCl. Os acúmulos de N e K não foram diferenciados pela fonte de salinidade. Já os teores de S foram menores com as águas salobras, contrariando de certa forma as expectativas, pois a água salobra do poço contém SO_4^- . Por outro lado, os teores de micronutrientes e os teores de sódio foram mais elevados na fonte NaCl. A fonte de salinidade AS pode ter influenciado a concentração de Ca^+ e Mg^+ nos tecidos foliares da alface, já que possuía em sua composição esse elementos (Tabela 2). Ainda que possam ter sido também fontes de micronutrientes (dados não analisados), as águas salobras proporcionaram menor acúmulo foliar desses elementos. Isso pode ser explicado pelos altos valores de pH encontrados nas soluções nutritivas preparadas com essas águas (Figura 9), sabendo-se que a absorção dos micronutrientes é reduzida sob condições de pH elevado (EPSTEIN & BLOOM, 2006).

Tabela 26. Resultado do teste de média para o efeito da fonte de salinidade para os macronutrientes

Fonte	N	P	K	Ca	Mg	S
	-----g kg ⁻¹ -----					
AS	33,97 a	8.36 b	85,45 a	19,82 a	8,90 a	2,53 b
NaCl	33,58 a	10.33 a	86,20 a	16,58 b	4,67 b	3,28 a
D.M.S	0,91	0.64	6,49	1,83	0,71	0,29

D.M.S. – diferença mínima significativa
médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente

Tabela 27. Resultado do teste de média para o efeito da fonte de salinidade para os micronutrientes e sódio

Fonte	Cu	Zn	Fe	Mn	Cl	Na
	-----mg kg ⁻¹ -----				-----g kg ⁻¹ -----	
AS	12,09 b	41,76 b	142,52 b	133,86 b	20,90 b	15,15 b
NaCl	13,93 a	74,44 a	243,02 a	208,03 a	23,23 a	26,06 a
D.M.S.	1,39	10,62	51,78	25,72	16,71	1,54

D.M.S. – diferença mínima significativa
médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente

A análise geral dos dados por regressão (Tabela 28) indicou efeito linear decrescente dos níveis de salinidade sobre os teores de N, Ca, Cu e Zn, e crescimento linear dos teores de K, Cl e Na. Nesses casos de respostas significativas, as variações provocadas pela CEa somente explicam 30% da variação total registrada.

Analisando os resultados gráficos da análise de regressão individualmente efetuada para os níveis de salinidade dentro de cada fonte de salinidade (Figura 29- Figura 40), registrou-se maior número de respostas não significativas dos teores foliares para o NaCl (8 ocorrências), em comparação com a fonte AS (5 ocorrências). Para ambas as fontes, confirmou-se não existir efeito da salinidade sobre os teores foliares de N e K. Em relação aos teores de P e S, a fonte AS implicou redução linear com o aumento da salinidade, enquanto a fonte NaCl não gerou acumulação diferenciada. Por outro lado, para os teores de Ca, registrou-se efeito decrescente com o aumento da salinidade para a fonte NaCl, enquanto ausência de efeito da salinidade para a fonte AS. Um dos efeitos mais interessantes foi sobre os teores de Mg, que

aumentaram para a fonte AS, mas diminuíram para a fonte NaCl, ao se elevar o nível de salinidade.

Em relação aos micronutrientes, confirmou-se a tendência de redução dos teores foliares com o aumento da salinidade dentro da fonte AS. Para a salinidade provocada por NaCl, não se registrou efeito significativo dos níveis salinos, à exceção do Cl, cuja concentração aumentou à semelhança do aumento de Na.

Tabela 28. Resultado da análise de regressão aplicada às variáveis analisadas no Experimento I (análise conjunta de AS e NaCl)

Nutrientes	Equação	R ²
N	$N = -0,465CEa^{**} + 35,026^{**}$	0,234
P	NS	
K	$K = 2,072CEa^{**} + 80,239^{**}$	0,113
Ca	$Ca = -1,197CEa^{**} + 21,382^{**}$	0,278
Mg	NS	
S	NS	
Cu	$Cu = -1,174CEa^{**} + 16,187^{**}$	0,294
Zn	$Zn = -7,503CEa^{**} + 78,632^{**}$	0,232
Fe	NS	
Mn	NS	
Cl	$Cl = 1,674CEa^{**} + 17,584^{**}$	0,192
Na	$Na = 2,403CEa^{**} + 14,259^{**}$	0,233

**representa significância a 1% de probabilidade

*representa significância a 5% de probabilidade

ns = não significativo

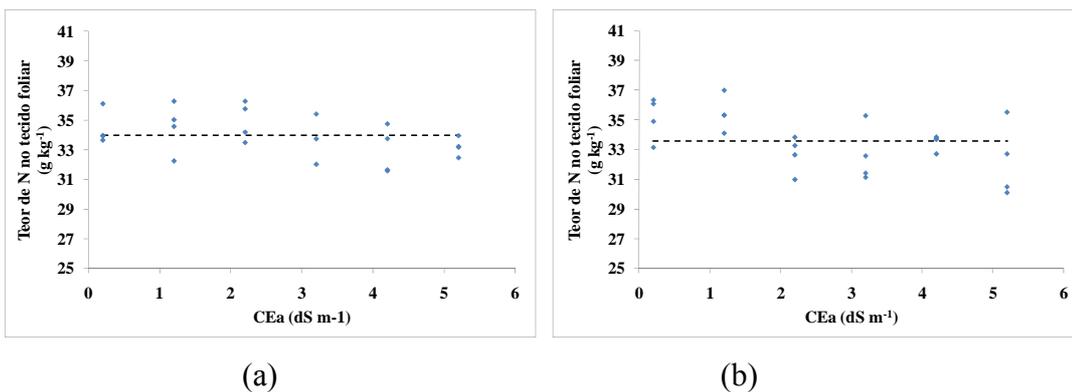


Figura 29. Teores de nitrogênio no tecido foliar da alface ‘Vera’ em função da salinidade (CEa) provocada por águas salobras (a) e por NaCl (b).

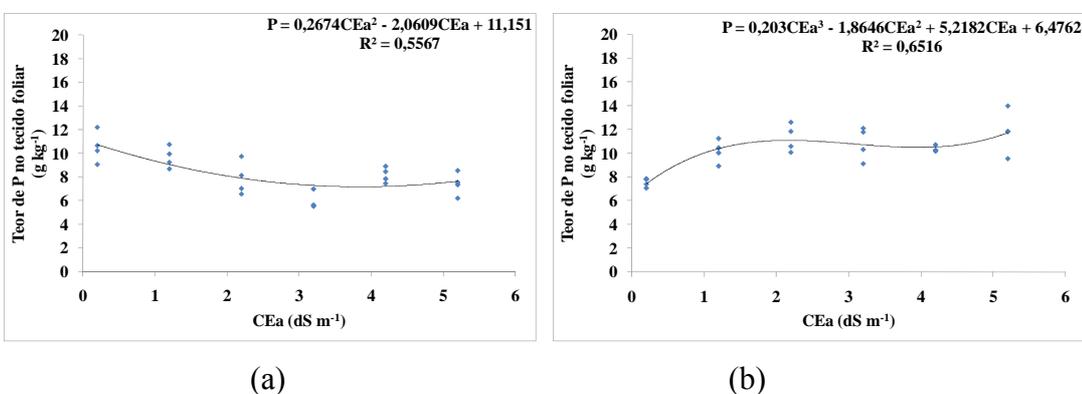


Figura 30. Teores de fósforo no tecido foliar da alface ‘Vera’ em função da salinidade (CEa) provocada por águas salobras (a) e por NaCl (b).

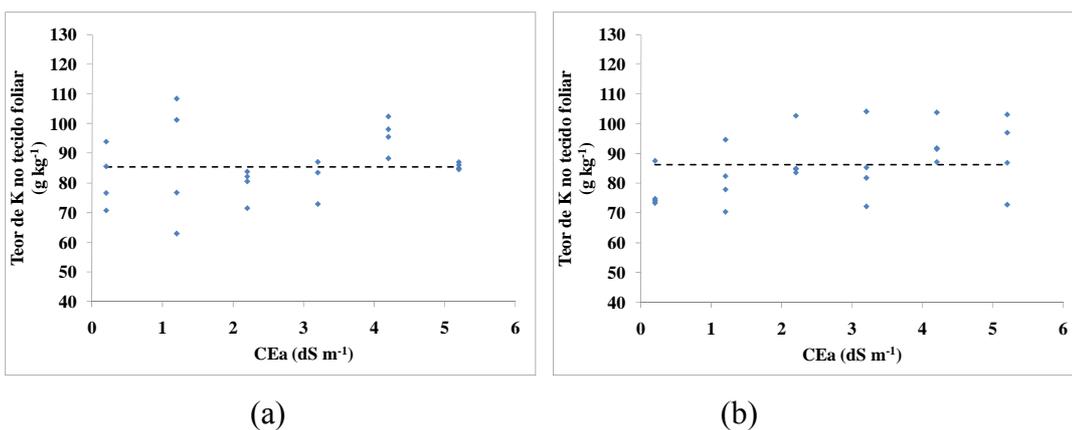


Figura 31. Teores de potássio no tecido foliar da alface ‘Vera’ em função da salinidade (CEa) provocada por águas salobras (a) e por NaCl (b).

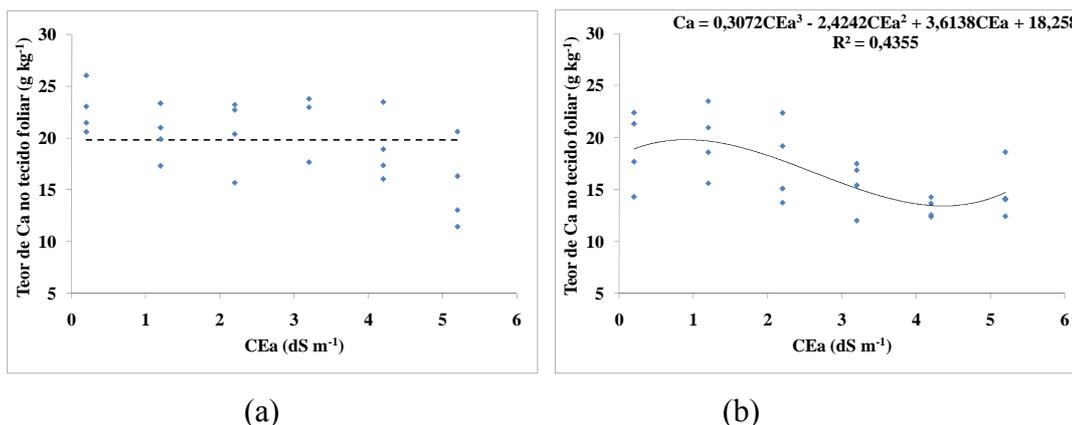


Figura 32. Teores de cálcio no tecido foliar da alface ‘Vera’ em função da salinidade (CEa) provocada por águas salobras (a) e por NaCl (b).

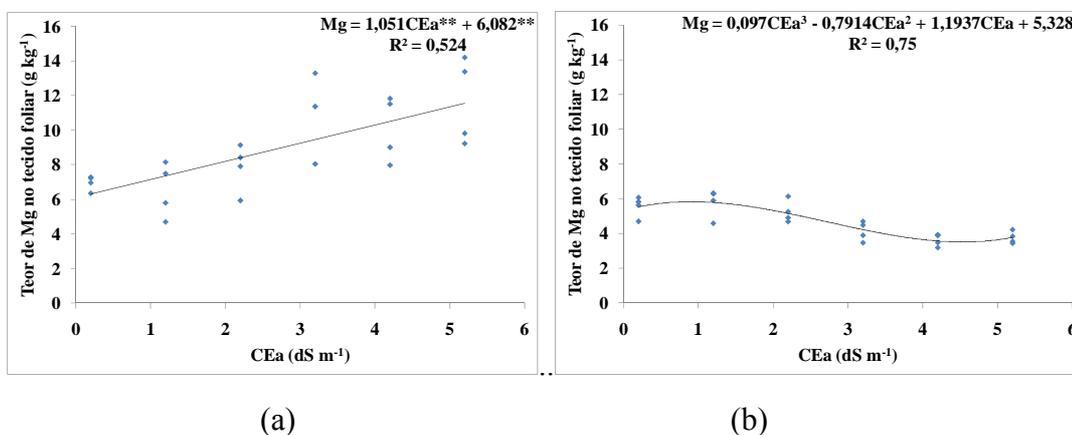


Figura 33. Teores de magnésio no tecido foliar da alface ‘Vera’ em função da salinidade (CEa) provocada por águas salobras (a) e por NaCl (b).

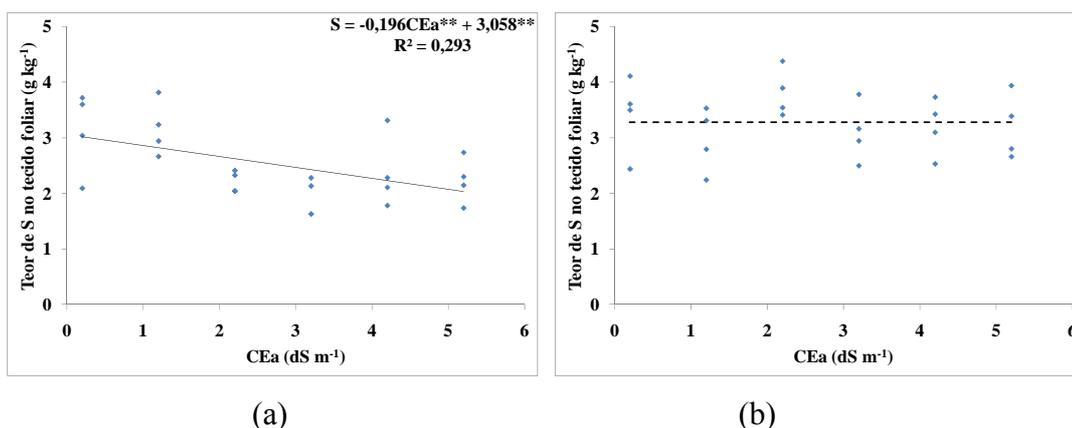


Figura 34. Teores de enxofre no tecido foliar da alface ‘Vera’ em função da salinidade (CEa) provocada por águas salobras (a) e por NaCl (b).

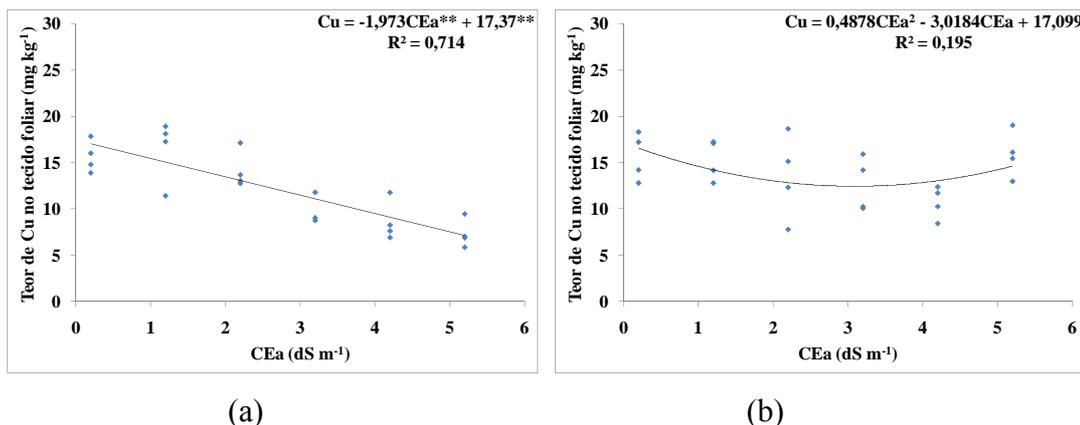


Figura 35. Teores de cobre no tecido foliar da alfaca ‘Vera’ em função da salinidade (CEa) provocada por águas salobras (a) e por NaCl (b).

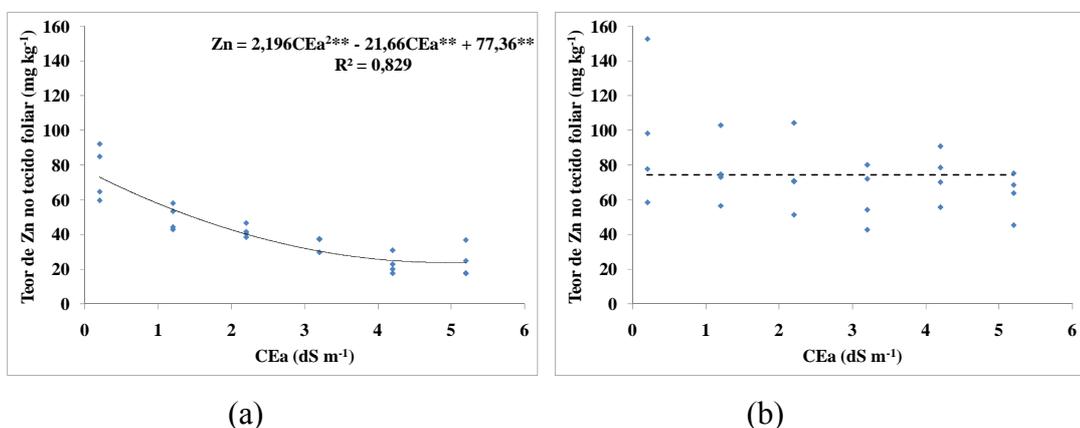


Figura 36. Teores de zinco no tecido foliar da alfaca ‘Vera’ em função da salinidade (CEa) provocada por águas salobras (a) e por NaCl (b).

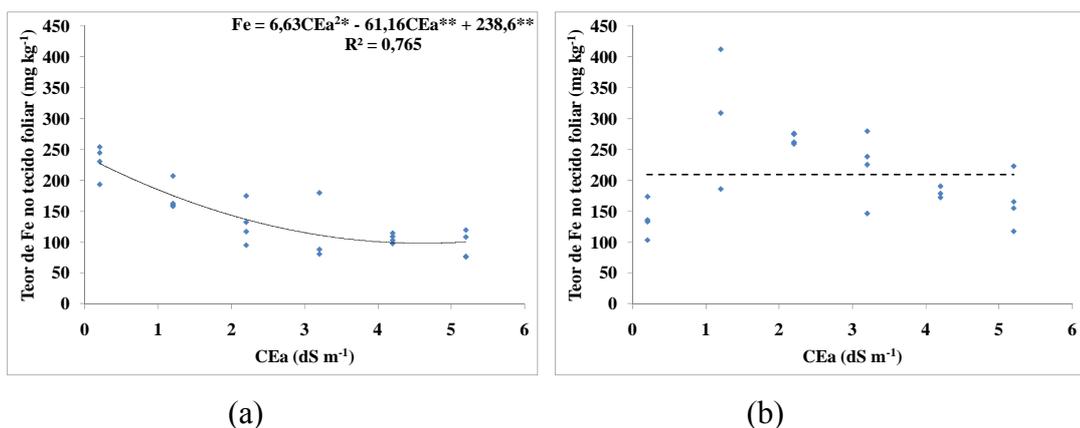


Figura 37. Teores de ferro no tecido foliar da alfaca ‘Vera’ em função da salinidade (CEa) provocada por águas salobras (a) e por NaCl (b).

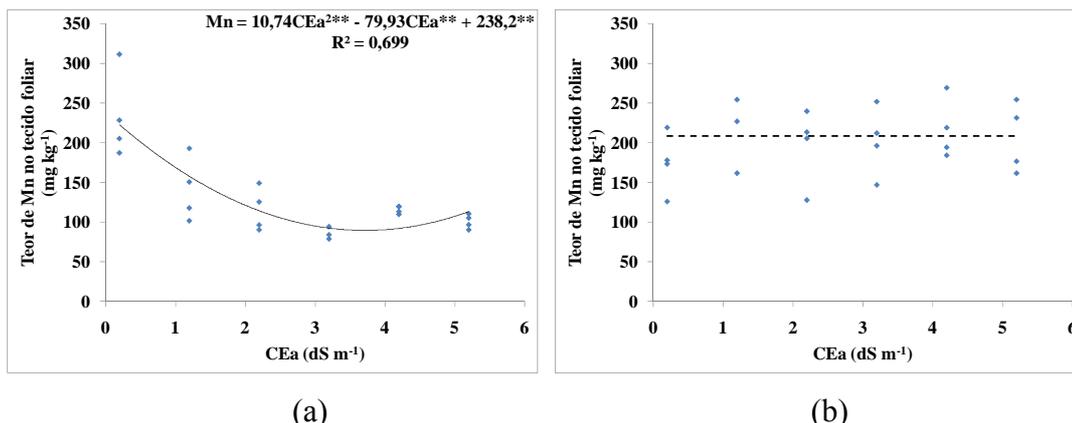


Figura 38. Teores de manganês no tecido foliar da alface ‘Vera’ em função da salinidade (CEa) provocada por águas salobras (a) e por NaCl (b).

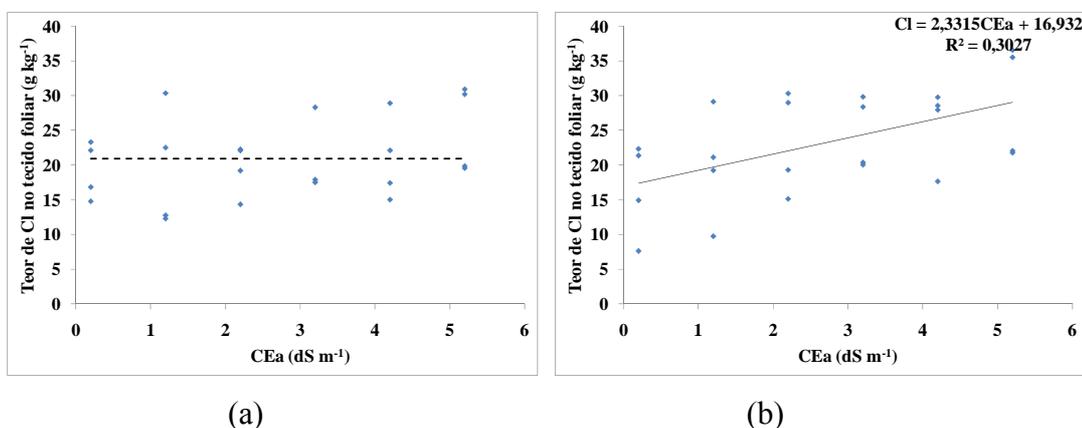


Figura 39. Teores de cloreto no tecido foliar da alface ‘Vera’ em função da salinidade (CEa) provocada por águas salobras (a) e por NaCl (b).

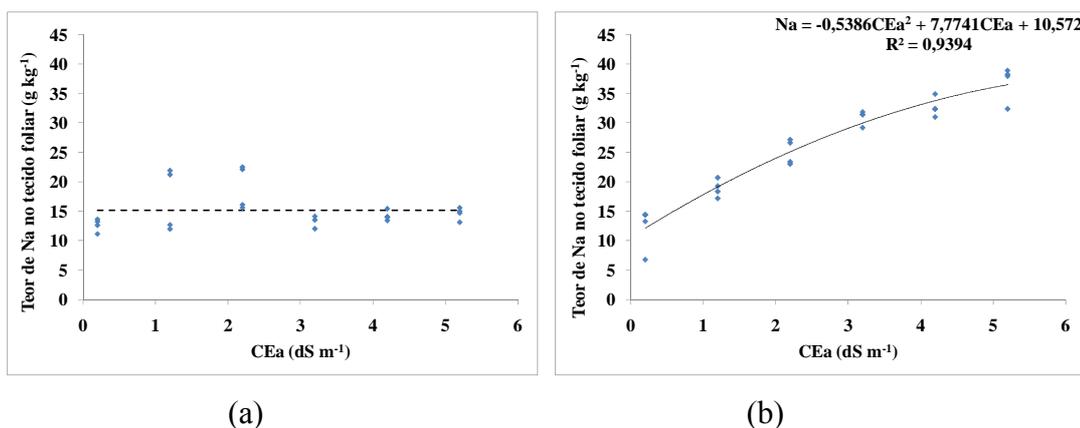


Figura 40. Teores de sódio no tecido foliar da alface ‘Vera’ em função da salinidade (CEa) provocada por águas salobras (a) e por NaCl (b).

4.2 Experimento II

4.2.1 Monitoramento climático e da solução nutritiva

As altas temperaturas são características da região em que o experimento foi conduzido. As temperaturas médias diárias do ar no interior da casa-de-vegetação obtidas durante o período de estudo variaram de 18,1 a 41,7°C para as temperaturas mínimas e máximas, respectivamente, tendo as temperaturas mínimas (base de 24h) variado de 15,8 a 28,1°C e as máximas (base de 24h) de 37,9 a 46,9°C. Os registros de temperatura do Experimento II foram realizados mediante leituras de um termohigrômetro digital, que possuía a capacidade de armazenar as leituras de temperatura máxima e mínima de um dado período. Da mesma forma, eram feitos os registros de umidade relativa do ar (UR), sendo as médias no período do cultivo de 85,7 e 19,4% para a UR máxima e mínima, respectivamente.

Os valores registrados de temperatura ultrapassaram as recomendações (15-25°C) para alface (GOTO, 1998), semelhante à umidade relativa do ar, cujos valores registrados estiveram acima do recomendado como faixa ideal, qual seja, de 60 a 80 % (MARTINEZ, 2006). Portanto, os efeitos advindos da salinidade dos tratamentos podem ter sido mais severos.

As temperaturas máximas da solução nutritiva tomada às 15h variaram entre 31,5 e 36,0°C, sendo que a média da temperatura máxima no ciclo foi de 33,3°C. Dessa forma, registrou-se que a temperatura da solução chegou a ultrapassar o limite indicado por Alberoni (1998), qual seja 30°C. O mesmo autor recomenda como ideal as temperaturas na faixa de 18 a 24°C para períodos quentes e de 10 a 16°C para períodos frios.

O pH da solução foi ajustado para a faixa ideal no mesmo dia do transplântio. Variações foram registradas entre os níveis de salinidade no dia seguinte (1 DAT). Essas variações elevaram o pH da solução, da faixa ideal para valores próximos de 8, exceto para o tratamento PB 0,2. Por outro lado, o tratamento PB 0,2 registrou pH abaixo de 7. Esse mesmo comportamento para as águas originadas do poço PB foi anteriormente observado no Experimento I. Isso reforça a necessidade de tratamento prévio da águas de PB em hidroponia comercial.

O comportamento do pH da solução ao longo do ciclo (Figura 41) também variou entre os níveis de salinidade. No entanto, ajustes de pH eram realizados com o propósito de mantê-lo dentro de uma faixa ideal. Como as águas utilizadas para a reposição do volume

evapotranspirado também eram salobras e fornecidas sem ajuste prévio de pH, o pH da solução nutritiva sempre retornava a uma faixa de pH mais alcalina, registrando valores de até 8,5.

O pH da solução dentro do tratamento PB 0,2 apresentou variações que não saíram da faixa ideal, exceto ao final do ciclo (19 a 22 DAT), diferente do que aconteceu no Experimento I.

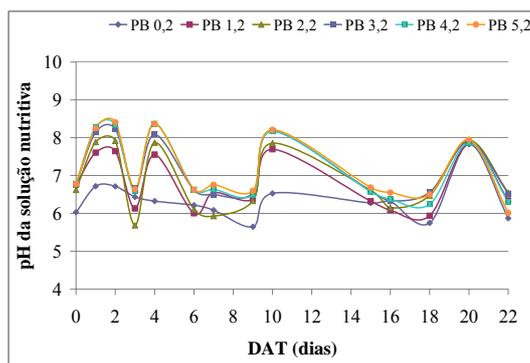


Figura 41. Valores médios de pH da solução nutritiva ao longo do Experimento II.

De maneira geral, pode-se afirmar que a salinidade entre os tratamentos manteve as diferenças inicialmente concebidas, com exceção do tratamento PB 0,2. Durante o experimento não se procurou repor os nutrientes. Por outro lado, diferente do que aconteceu no Experimento I, registrou-se, conforme previsto, aumentos nos níveis de salinidade da solução nutritiva ao longo do ciclo de cultivo (Figura 42), com exceção do tratamento PB 0,2. Isso pode ser explicado pelo manejo dado à reposição do volume evapotranspirado. Nesse experimento, o reabastecimento de água ao reservatório era feito com água salobra na mesma concentração da água utilizada no preparo da solução. Dessa forma, existiu um acúmulo contínuo de sais na solução, contribuindo para o aumento da CE_{sol} . Já para o tratamento PB 0,2, a reposição de água foi feita com água dessalinizada, portanto, não havia acréscimo extra de sais nesse tratamento: o que ocorria foi o consumo natural de nutrientes pelas plantas e, como consequência, a diminuição da salinidade.

Da mesma forma que no Experimento I, não foi realizada reposição dos nutrientes, em virtude da alta disponibilidade de solução nutritiva por planta (4,5 L).

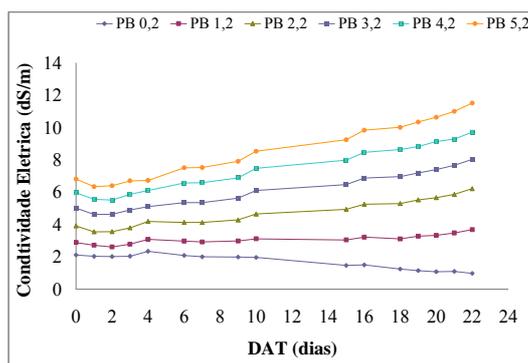


Figura 42. Valores médios da condutividade elétrica da solução nutritiva ao longo do Experimento II.

4.2.2 Crescimento e rendimento da alface cultivada em águas salobras

Nesse experimento as plantas foram colhidas 47 dias após a semeadura (DAS) e 22 dias após o transplante (DAT).

De acordo com a análise de variância (Tabela 29), verificou-se efeito significativo do bloco sobre massa de matéria fresca das folhas (MFF). Para a MFPA, o efeito do bloco foi significativo apenas a 10% de probabilidade. Ainda assim, esses resultados demonstram a importância do controle local em blocos. Em relação aos fatores de interesse, quais sejam variedades de alface e níveis de salinidade, verificou-se efeitos altamente significativos sobre todas as variáveis de crescimento e rendimento. Já a interação dos fatores promoveu efeito significativo para NF, MFC e MSC.

Tabela 29. Resultado da análise de variância para as variáveis de crescimento da alface avaliadas no Experimento II

Causa de variação	GL	NF	DC	MFPA	MFF	MFC	MSPA	MSF	MSC	U
-----Pr>F-----										
Bloco	3	0,2578	0,4278	0,0726	0,0432	0,1130	0,2351	0,2272	0,2163	0,0291
Variedade	1	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	0,8368
CEa	5	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001
Variedade*CEa	5	0,0515	0,0925	0,6925	0,8989	<,0001	0,7573	0,8755	<,0001	0,5043

A análise do desdobramento da interação para as variedades dentro de cada nível de salinidade indicou diferenças estatísticas entre as duas variedades estudadas, tanto sob as condições de baixa salinidade quanto sob alta salinidade (Tabela 30). Já o desdobramento da interação para os níveis de salinidade dentro de cada variedade revelou efeito altamente significativo dos níveis de salinidade dentro dos cultivos com ambas variedades (Tabela 31).

Ao se fazer o teste de comparação de médias, confirmou-se as diferenças entre as variedades, sendo registrado maior crescimento e maior produção absoluta para a variedade lisa ‘AF-1743’ (Tabela 32).

Tabela 30. Resultado do desdobramento do efeito da interação para as variedades de alface dentro de cada nível de salinidade da água (CEa)

CEa	GL	NF	DC	MFPA	MFF	MFC	MSPA	MSF	MSC	U
-----Pr>F-----										
0,2	1	<,0001	0,1872	0,0004	0,0047	<,0001	0,0002	0,0034	<,0001	0,4802
1,2	1	<,0001	0,2341	0,0364	0,1075	<,0001	0,0255	0,1343	<,0001	0,7342
2,2	1	<,0001	0,3527	0,0240	0,0540	<,0001	0,0111	0,0357	<,0001	0,8537
3,2	1	<,0001	0,0515	0,1028	0,1599	0,0044	0,0361	0,0612	0,0041	0,4451
4,2	1	<,0001	0,0001	0,0207	0,0259	0,0214	0,0069	0,0076	0,0213	0,2374
5,2	1	<,0001	0,0005	0,0500	0,0596	0,0497	0,0147	0,0168	0,0351	0,1957

Tabela 31. Resultado do desdobramento do efeito da interação para os níveis de salinidade dentro de cada variedade de alface

Causa de variação	GL	NF	DC	MFPA	MFF	MFC	MSPA	MSF	MSC	U
-----Pr>F-----										
AF 1743	5	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001
Vera	5	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001

Tabela 32. Resultado da comparação de média pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade para as variáveis de crescimento considerando o fator fonte de salinidade

variedade	NF	DC	MFPA	MFF	MFC	MSPA	MSF	MSC	U
		---cm---	-----g planta ⁻¹ -----						---%---
AF 1743	41,40a	38,75a	308,17a	280,19a	27,98a	17,74a	15,80a	1,94a	93,87 ^a
Vera	21,15b	34,52b	244,78b	230,55b	14,24b	13,74b	12,83b	0,92b	93,85 ^a
D.M.S.	1,46	1,54	21,60	19,94	2,48	1,18	1,05	0,18	0,21

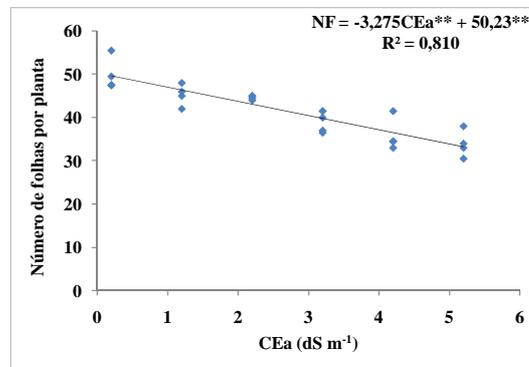
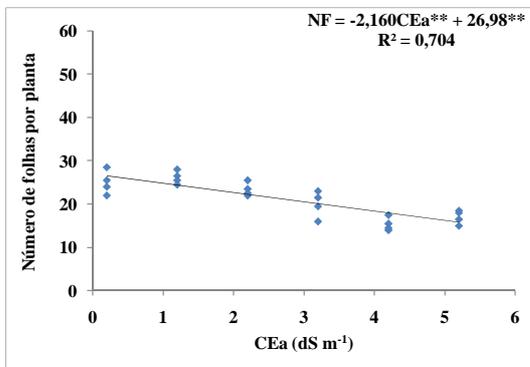
D.M.S. – diferença mínima significativa
médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente

A análise conjunta de regressão aplicada aos dados de ambas as variedades mostrou que todas as variáveis sofreram redução linear em função do aumento da salinidade da água usada para o preparo da solução nutritiva e reposição da evapotranspiração. A exceção da variável NF, foram registrados coeficientes de correlação superiores a 60%, o que indica que a maior parte das variações encontradas é explicada pelo efeito da salinidade de acordo com os modelos propostos pela análise de regressão (Tabela 33).

Tabela 33. Resultado da análise de regressão aplicada às variáveis analisadas no Experimento II (análise conjunta de ‘Vera’ e ‘AF 1743’)

Variável	Equação	R ²
NF	NF = -2,718CEa ^{**} +38,609 ^{**}	0,164
DC	DC = -3,748CEa ^{**} +46,756 ^{**}	0,749
MFPA	MFPA = -80,877CEa ^{**} +494,844 ^{**}	0,866
MFF	MFF = -72,684CEa ^{**} +451,617 ^{**}	0,871
MFC	MFC = -8,193CEa ^{**} +43,229 ^{**}	0,692
MSPA	MSPA = -3,630CEa ^{**} +25,545 ^{**}	0,785
MSF	MSF = -3,158CEa ^{**} +22,842 ^{**}	0,794
MSC	MSC = -0,472CEa ^{**} +2,705 ^{**}	0,599
U	U = -0,499CEa ^{**} +95,204 ^{**}	0,837

Analisando as respostas gráficas das análises de regressão aplicadas a cada variedade de alface (Figura 43 - Figura 51), pode-se afirmar que, de maneira geral, os coeficientes de correlação estiveram numa mesma faixa de valor para as duas variedades. Ainda que diferenças em termos absolutos tenham sido registradas entre as variedades, ao se analisar os decréscimos percentuais, mediante as relações entre os coeficientes angular e linear, foram obtidas reduções equivalentes entre ambas as variedades no domínio dos valores de salinidade estudados. As diferenças percentuais por incremento unitário na salinidade da água foram de no máximo 2,76% $(\text{dS m}^{-1})^{-1}$ (Tabela 34).

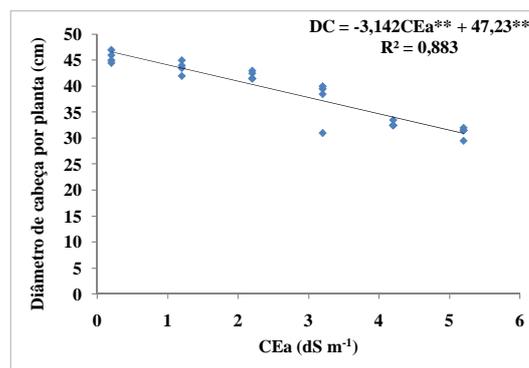
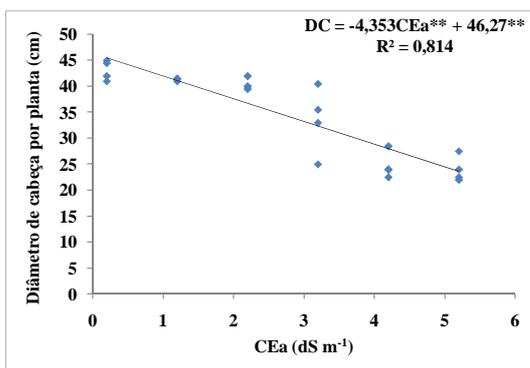


**representa significância a 1% de probabilidade

(a)

(b)

Figura 43. Número de folhas (NF) por planta em função da salinidade da água (CEa) para as variedades crespa (a) e lisa (b).

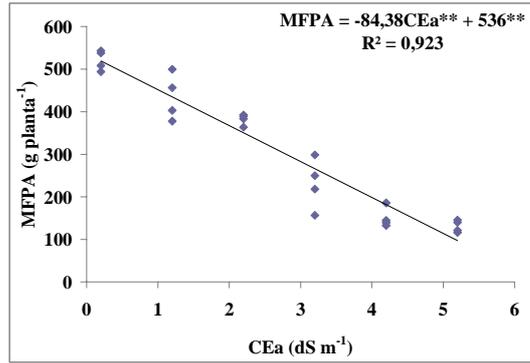
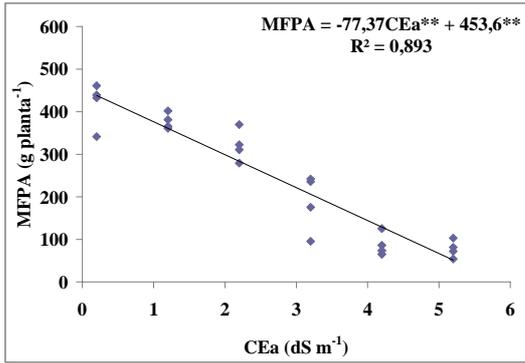


**representa significância a 1% de probabilidade

(a)

(b)

Figura 44. Diâmetro de cabeça (DC) por planta em função da salinidade da água (CEa) para as variedades crespa (a) e lisa (b).

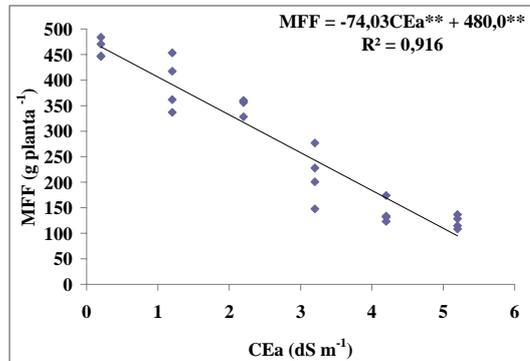
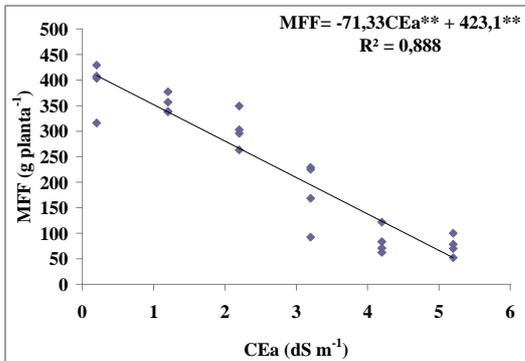


**representa significância a 1% de probabilidade

(a)

(b)

Figura 45. Massa de matéria fresca da parte aérea (MFPA) por planta em função da salinidade da água (CEa) para as variedades crespa (a) e lisa (b).

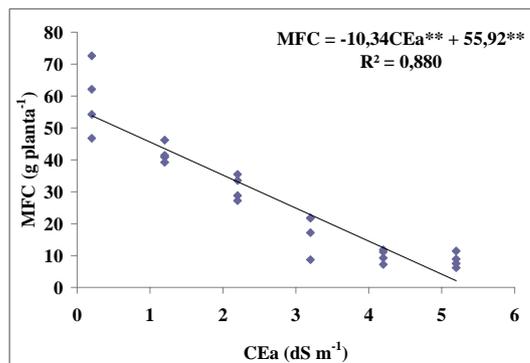
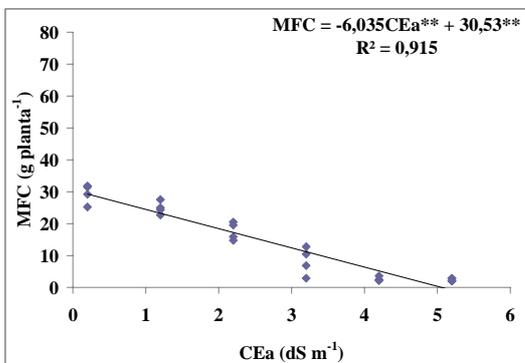


**representa significância a 1% de probabilidade

(a)

(b)

Figura 46. Massa de matéria fresca da folha (MFF) por planta em função da salinidade da água (CEa) para as variedades crespa (a) e lisa (b).

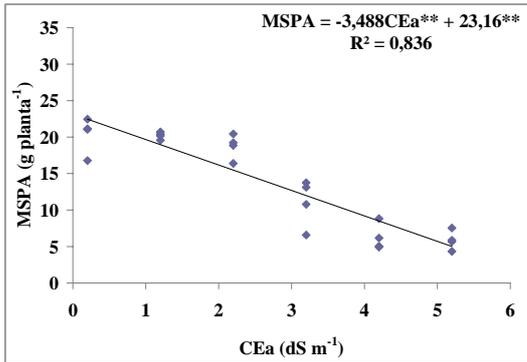


**representa significância a 1% de probabilidade

(a)

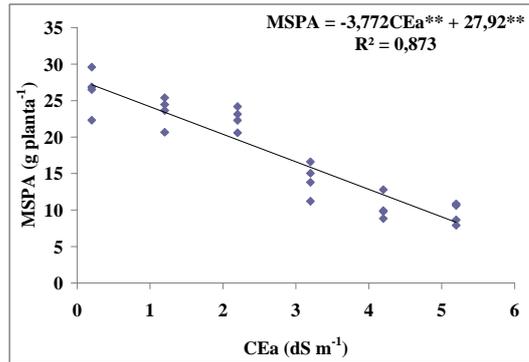
(b)

Figura 47. Massa de matéria fresca do caule (MFC) por planta em função da salinidade da água (CEa) para as variedades crespa (a) e lisa (b).



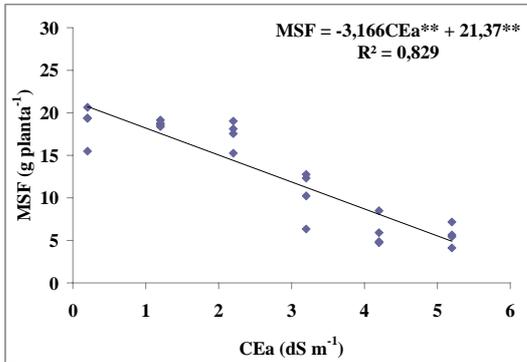
**representa significância a 1% de probabilidade

(a)



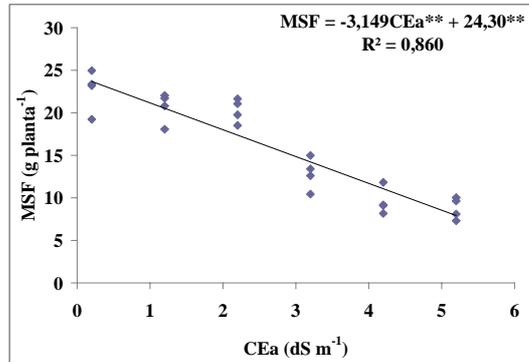
(b)

Figura 48. Massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) por planta em função da salinidade da água (CEa) para as variedades crespa (a) e lisa (b).



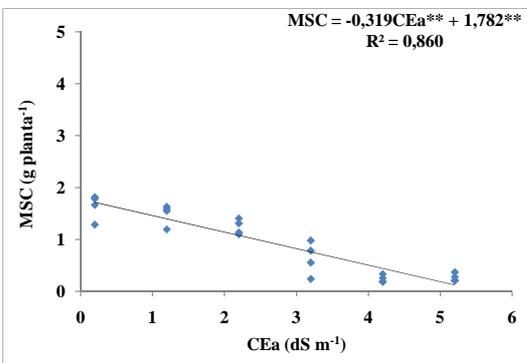
**representa significância a 1% de probabilidade

(a)



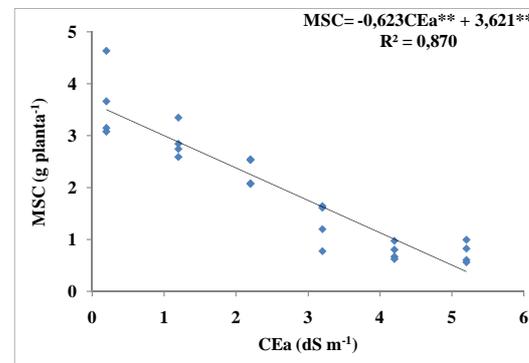
(b)

Figura 49. Massa de matéria seca da folha (MSF) por planta em função da salinidade da água (CEa) para as variedades crespa (a) e lisa (b).



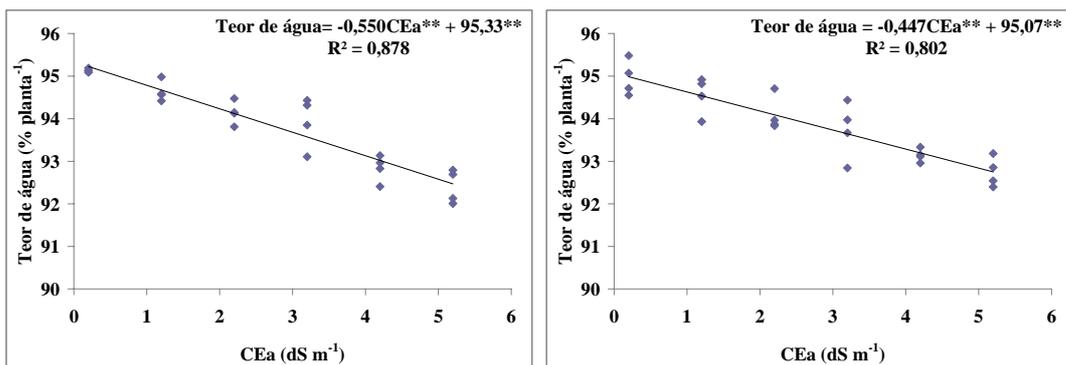
**representa significância a 1% de probabilidade

(a)



(b)

Figura 50. Massa de matéria seca do caule (MSC) por planta em função da salinidade da água (CEa) para as variedades crespa (a) e lisa (b).



*representa significância a 1% de probabilidade

(a)

(b)

Figura 51. Teor de água na folha em função da salinidade da água (CEa) para as variedade crespa (a) e lisa (b).

Empregando o mesmo procedimento de cálculo da redução percentual por acréscimo unitário na salinidade da água aos dados apresentados por Paulus (2008), observou-se que essa autora obteve menores taxas de redução quando comparadas com as encontradas no presente trabalho. Por exemplo, para matéria fresca da parte aérea, os dados da autora permitem estimar uma redução de $7,81\% (\text{dS m}^{-1})^{-1}$, enquanto que no presente trabalho esta redução foi de $17,06$ e $15,74\% (\text{dS m}^{-1})^{-1}$ para as variedades 'Vera' e 'AF-1743', respectivamente. As maiores reduções encontradas no presente trabalho (Tabela 34) podem ser atribuídas às condições climáticas sob as quais o experimento foi conduzido, mas também devido às diferenças entre as fontes de salinidade e entre as cultivares. Segundo Sonneveld (2004), sob condições de clima mais ameno, a tolerância de culturas aos sais é maior. Maas e Hoffman (1977), por sua vez, reconhecem que as diferenças genéticas entre variedades pode ser uma importante fonte de tolerância à salinidade dentro de uma mesma espécie.

Deve-se reiterar que o tipo de comparação acima conduzida, entre os dados de Paulus (2008) e os do presente trabalho, somente é possível dentro de uma base comum de salinidade. Em ambos os casos, tratou-se de salinidade da água (e não da solução nutritiva), e com valores na unidade dS m^{-1} .

Para a massa de matéria seca da raiz (MSR), a análise foi feita apenas para o fator 'níveis de salinidade', isso devido à forma de condução dada ao experimento, plantando as duas variedades na mesma calha de cultivo. Como as raízes se entrelaçaram, optou-se por

analisar a massa total. Dessa forma, os dados de MSR por planta (Figura 52) correspondem à média das duas variedades.

Tabela 34. Valores de incremento percentual por acréscimo unitário na salinidade da água sobre as respostas de crescimento e produção das variedades crespas e lisas de alface

Variável	Variedade	a	b	a/b % (dS m ⁻¹) ⁻¹	Δ % (dS m ⁻¹) ⁻¹
NF	‘Vera’	-2,16	26,98	-8,01	-1,49
	‘AF-1743’	-3,275	50,23	-6,52	
DC	‘Vera’	-4,353	46,27	-9,41	-2,76
	‘AF-1743’	-3,142	47,23	-6,65	
MFPA	‘Vera’	-77,37	453,60	-17,06	-1,31
	‘AF-1743’	-84,38	536,00	-15,74	
MFF	‘Vera’	-71,33	423,10	-16,86	-1,44
	‘AF-1743’	-74,03	480,00	-15,42	
MFC	‘Vera’	-6,035	30,53	-19,77	-1,28
	‘AF-1743’	-10,34	55,93	-18,49	
MSPA	‘Vera’	-3,488	23,16	-15,06	-1,55
	‘AF-1743’	-3,772	27,92	-13,51	
MSF	‘Vera’	-3,166	21,37	-14,82	-1,86
	‘AF-1743’	-3,149	24,30	-12,96	
MSC	‘Vera’	-0,319	1,78	-17,90	-0,70
	‘AF-1743’	-0,623	3,62	-17,21	
U	‘Vera’	-0,55	95,33	-0,58	-0,11
	‘AF-1743’	-0,447	95,07	-0,47	

Δ = Diferença da redução percentual entre as variedades

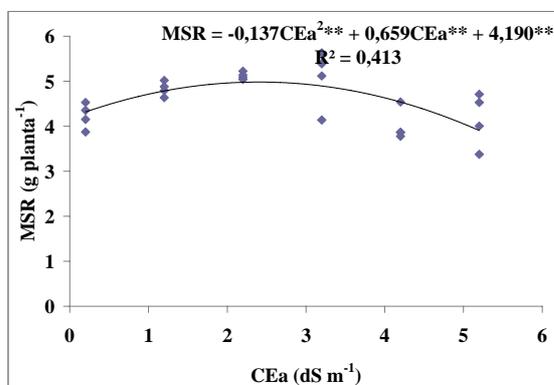


Figura 52. Massa de matéria seca da raiz (MSR) por planta em função da salinidade da água (CEa).

4.1.3 Sintomatologia da alface no Experimento II

Analisando a cronologia do aspecto visual da alface, observou-se que não houve efeito sobre a coloração das plantas, de ambas as variedades, submetidas ao tratamento controle (PB0,2 dS m⁻¹) e aos tratamentos PB1,2 e PB2,2, porém, as plantas submetidas aos níveis mais elevados de salinidade, tratamentos PB3,2; PB4,2 e PB5,2, apresentaram sintomas de clorose. Outro fato observado foi que as plantas submetidas aos tratamentos mais elevados apresentaram certa recuperação de sua coloração, passando de uma escala mais intensa de clorose, no início do ciclo, para uma escala mais moderada, ao final do ciclo. Isso pode representar uma possível adaptação das plantas aos níveis de salinidade ao longo do ciclo de cultivo. Resultado semelhante ocorreu nos tratamentos com água salobra natural do Experimento I (Tabela 35).

Também foi observada clorose intensa nas bordas das folhas, sendo este sintoma registrado apenas nas folhas mais velhas da variedade ‘Vera’ submetida aos tratamentos com salinidade mais elevada (Figura 53 C). Esse sintoma não foi observado na variedade ‘AF-1743’, porém, observou-se necrose nas bordas das folhas mais velhas das plantas dessa variedade, submetidas aos níveis mais elevados de salinidade (Figura 53 D). No Experimento I, trabalhou-se com a mesma variedade e também se registrou esse sintoma, porém, com menor intensidade. Isso pode ser explicado pelo fato de que no Experimento I a água de reposição era dessalinizada, o que conferia certa estabilidade da salinidade da solução nutritiva. Para o Experimento II, as águas utilizadas na reposição da evapotranspiração foram as mesmas águas salobras usadas no preparo da solução. Isso fez com que as plantas fossem submetidas à salinidade crescente ao longo do ciclo de cultivo.

Tanto a clorose intensa nas bordas, na variedade ‘Vera’, quanto a queima das bordas, na variedade ‘AF-1743’, foram restritas a uma tênue faixa no limbo foliar, pouco comprometendo o aspecto do mesmo (Figura 53).

Foram observados sintomas de “tip burn”, porém, apenas nas plantas da variedade ‘AF-1743’. Entretanto, esse sintoma foi visualizado apenas em algumas plantas aleatoriamente distribuídas entre tratamentos e dentro da mesma parcela, sem registro de uma relação direta com a salinidade (Figura 53 B).

Por se tratar de uma desordem fisiológica relacionada à deficiência de cálcio, esperou-se encontrar mais plantas sintomáticas sob os maiores níveis de salinidade, considerando o reconhecido efeito dos sais no desequilíbrio nutricional. Nesse sentido, a distribuição aleatória

do problema pode ser explicada pela presença de cálcio nas águas salobras, o que pode ter mitigado essa deficiência. A incidência de “tip burn” também pode estar relacionada com o destacado crescimento da variedade ‘AF-1743’. Alguns autores têm verificado aumentos da incidência do “tip burn” em decorrência de maiores taxas de crescimento. Segundo Sonneveld (1988), plantas submetidas à salinidade têm o seu crescimento diminuído e assim o suprimento de cálcio nas folhas jovens pode tornar-se adequado à taxa de crescimento e, paradoxalmente, ser prevenido o distúrbio fisiológico. Soares (2007) observou maior número de plantas com “tip burn” à medida que reduziu a salinidade da solução nutritiva.

Tabela 35. Resultado da análise visual cronológica de sintomas cloróticos em folhas de alface das variedades ‘Vera’ (crespa) e ‘AF-1743’ (lisa) submetidas à salinidade da água no Experimento II

Trat.	0 DAT	6 DAT	8 DAT	10 DAT	18 DAT	
PB 0,2	V	V	V	V	V	v
PB 0,2	V	V	V	V	V	v
PB 0,2	V	V	V	V	V	v
PB 0,2	V	V	V	V	V	v
PB 1,2	V	V	V	V	V	v
PB 1,2	V	V	V	V	V	v
PB 1,2	V	V	V	V	V	v
PB 1,2	V	V	V	V	V	v
PB 2,2	V	V	V	V	V	v
PB 2,2	V	V	V	V	V	v
PB 2,2	V	V	CM	V	V	v
PB 2,2	V	V	V	V	V	v
PB 3,2	V	CM	CM	V	V	v
PB 3,2	V	CM	CM	V	V	v
PB 3,2	V	CM	C	CM	CM	CM
PB 3,2	V	CM	V	V	V	v
PB 4,2	V	C	C	CM	CM	v
PB 4,2	V	CM	C	CM	CM	CM
PB 4,2	V	C	CM	CM	CM	CM
PB 4,2	V	C	C	CM	CM	CM
PB 5,2	V	C	C	CM	CM	CM
PB 5,2	V	C	C	CM	CM	CM
PB 5,2	V	C	C	CM	CM	CM
PB 5,2	V	C	C	CM	CM	CM

V = Verde normal; CM = Clorose moderada; C = Clorose

As raízes das plantas de alface apresentaram deposição de sais em sua estrutura, porém, de forma menos intensa que o registrado no Experimento I (Figura 53 A). Isso aconteceu

devido à menor concentração de precipitados observada nos reservatórios de solução nutritiva. Essa menor precipitação pode ter ocorrido devido ao controle dado ao pH da água antes do preparo da solução nutritiva nesse experimento, o qual pode ter diminuído as concentrações de CO_3^{2-} e HCO_3^- , que foram os maiores responsáveis por essas precipitações.

Outro sintoma observado, nesse caso em ambas as variedades, foi o raquitismo, que acometeu as plantas submetidas aos níveis mais elevados de salinidade da solução nutritiva. A Figura 53 E e F mostra um contraste de tamanho observado entre as plantas do tratamento PB0,2 e PB4,2. Segundo Taiz e Zeiger (2004), existe um limiar de concentração de sal acima do qual as plantas começam a mostrar sinais de inibição de crescimento, descoloração foliar e perda de massa de matéria seca.

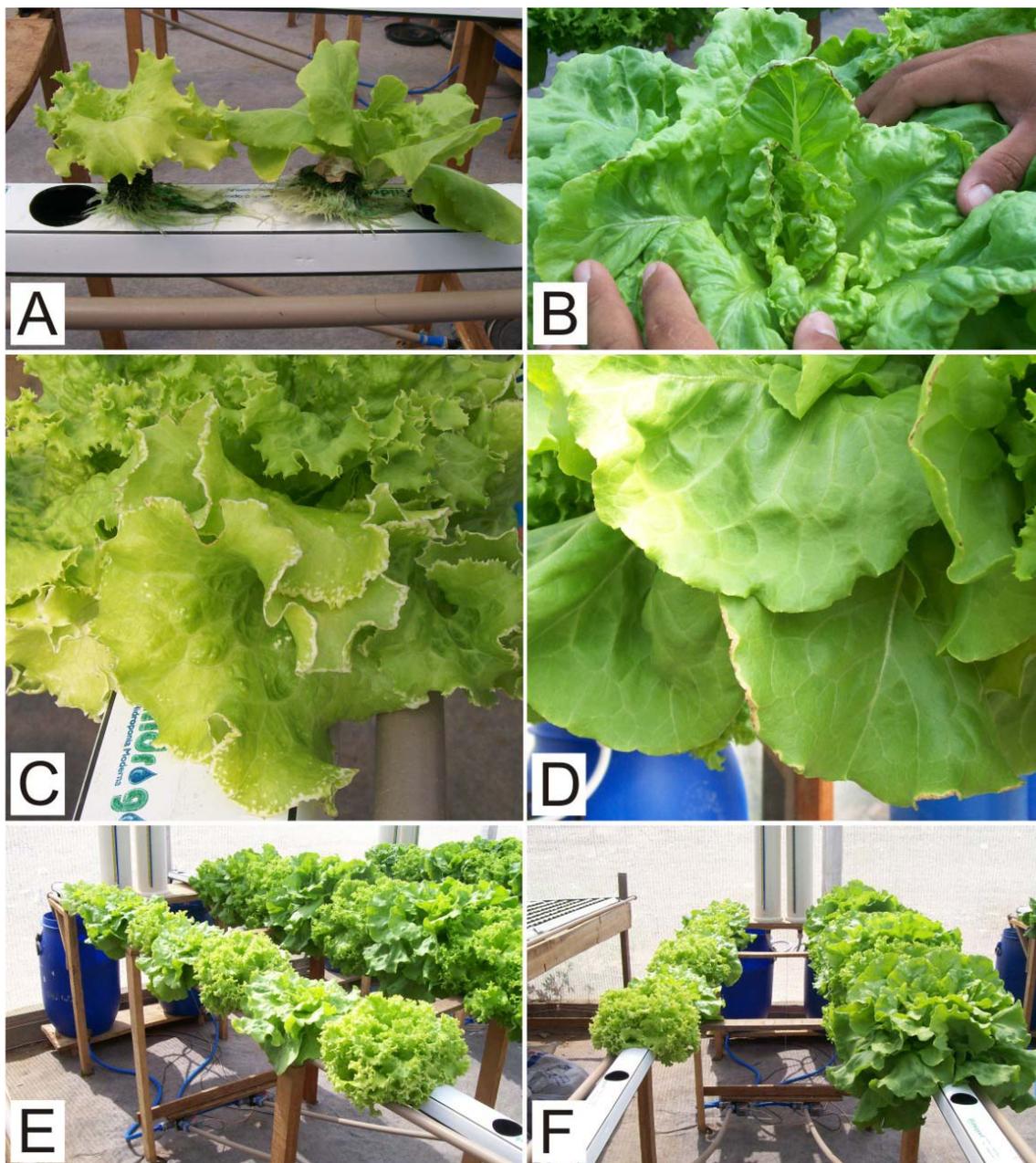


Figura 53. Sintomas apresentados pelas plantas no Experimento II: A – raízes com deposição de sais precipitados; B – queima das bordas foliares “tip burn”; C – clorose intensa das bordas foliares; D – necrose das bordas das folhas mais velhas; E e D – contraste de tamanho entre os tratamentos PB0,2 e PB4,2.

4.1.4 Consumo hídrico da alface cultivada em águas salobras

Quando se avaliou o consumo hídrico diário a partir de dados acumulados semanalmente, não se registrou efeito do controle local em bloco. Ao se analisar dados de consumo hídrico no intervalo de um dia, foi observado efeito do bloco, mas apenas em 10% de probabilidade. Para o fator ‘nível de salinidade’, houve efeito significativo sobre consumo hídrico da alface, independente do período de consumo considerado (Tabela 36).

A análise de regressão dos dados revelou redução linear do consumo hídrico em função do aumento da salinidade da água.

Assim como explicado para variável MSR, o consumo hídrico também foi analisado sem considerar o fator ‘variedade de alface’, já que ambas dividiam o mesmo perfil hidropônico.

Tabela 36. Resultado da análise de variância para o consumo hídrico em diferentes semanas e datas ao longo do Experimento II

Causa de variação	GL	1ª Semana	2ª Semana	3ª Semana	6 DAT	11 DAT	20 DAT
		-----Pr > F-----					
Bloco	3	0,2186	0,2630	0,2537	0,0826	0,0681	0,4191
CEa	5	0,0096	<,0001	<,0001	0,0046	<,0001	0,0010

Tabela 37. Resultado da análise de regressão aplicada ao consumo hídrico em função da salinidade da água (CEa) analisadas ao longo do Experimento II

Tempo	Equação	R ²
1ª Semana	Y = 270,34** - 11,28 CEa**	0,333
2ª Semana	Y = 606,49** - 53,62 CEa**	0,868
3ª Semana	Y = 1.033,55** - 93,01 CEa**	0,693
6 DAT	Y = 267,62 ** - 10,44 CEa**	0,413
11 DAT	Y = 679,92 ** - 76,33 CEa**	0,795
20 DAT	Y = 1.474,2 ** - 157,53 CEa**	0,536

**representa significância a 1% de probabilidade

*representa significância a 5% de probabilidade

Tabela 39. Resultado da análise de variância para as concentrações dos micronutrientes e do sódio avaliados no tecido vegetal das variedades de alface ‘Vera’ e ‘AF-1743’

Fontes de variação	GL	Cu	Zn	Fe	Mn	Cl	Na
		-----Pr > F-----					
Bloco	3	0.4414	0.0095	0.0019	0.0479	0.0017	0.0071
Variedade	1	0.3772	0.0492	0.0189	0.2721	0.1078	<.0001
CEa	5	0.2912	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Variedade*CEa	5	0.3284	0.5699	0.6812	0.9405	0.4293	<.0001

Apesar da análise de variância não ter indicado efeito significativo da interação entre os fatores sobre os acúmulos de nutrientes, realizou-se o desdobramento desses fatores.

O desdobramento dos fatores revelou que as variedades de alface não se diferenciaram quanto ao acúmulo dos macronutrientes dentro dos níveis mais baixos de salinidade da água (0,2 e 1,2 dS m⁻¹). Por outro lado, diferenças de acúmulos de nutrientes puderam ser notadas dentro dos níveis mais elevados de CEa. Foram registradas diferenças de acúmulos de macronutrientes entre as variedades dentro dos níveis 2,2; 3,2; 4,2 e 5,2 dS m⁻¹ de salinidade da água para os nutrientes nitrogênio e cálcio, potássio e enxofre, nitrogênio e magnésio; nitrogênio e potássio, respectivamente (Tabela 40).

Para os micronutrientes, as variedades se diferenciaram quanto ao acúmulo de cobre dentro do nível 4,2; de ferro dentro do nível 0,2 e de sódio dentro dos níveis 0,2; 3,2; 4,2 e 5,2. Para os demais micronutrientes não foram registradas diferenças de acúmulos entre as variedades de alface dentro dos níveis de salinidade (Tabela 41).

Tabela 40. Resultado do desdobramento do efeito da interação sobre os acúmulos dos macronutrientes nas variedades de alface dentro de cada nível de salinidade da água (CEa)

CEa	GL	N	P	K	Ca	Mg	S
-----Pr > F-----							
0,2	1	0.5582	0.0298	0.8120	0.1143	0.3536	0.1540
1,2	1	0.4409	0.0257	0.7172	0.3305	0.1123	0.8502
2,2	1	0.0092	0.0988	0.1336	0.0258	0.9834	0.3028
3,2	1	0.0933	0.5034	0.0072	0.4713	0.2960	0.0404
4,2	1	0.0493	0.1467	0.0607	0.1089	0.0047	0.4110
5,2	1	0.0006	0.0584	0.0121	0.8934	0.4151	0.3250

Tabela 41. Resultado do desdobramento do efeito da interação sobre os acúmulos dos micronutrientes e do sódio nas variedades de alface dentro de cada nível de salinidade da água (CEa)

CEa	GL	Cu	Zn	Fe	Mn	Cl	Na
-----Pr > F-----							
0,2	1	0.8394	0.1313	0.0465	0.8849	0.1741	0.0004
1,2	1	0.7812	0.3094	0.5721	0.7489	0.0693	0.2335
2,2	1	0.9918	0.4514	0.9940	0.8896	0.1860	0.0890
3,2	1	0.9890	0.1650	0.0768	0.6989	0.9416	<.0001
4,2	1	0.0142	0.2715	0.4921	0.2224	0.5071	0.0001
5,2	1	0.9327	0.3861	0.3769	0.4377	0.8609	<.0001

Dentro das variedades de alface, os níveis de salinidade produziram efeitos significativos para os acúmulos dos macro e micronutrientes, com exceção do potássio dentro da variedade ‘AF-1743’ e do cobre dentro de ambas as variedades (Tabela 42 e Tabela 43).

Tabela 42. Resultado do desdobramento do efeito da interação sobre os acúmulos dos macronutrientes nos níveis de salinidade da água (CEa) dentro de cada variedades de alface

Variedade	GL	N	P	K	Ca	Mg	S
		-----Pr > F-----					
AF 1743	5	0,0002	<,0001	0,1643	<,0001	<,0001	0,0411
Vera	5	<,0001	<,0001	0,0044	<,0001	<,0001	0,0288

Tabela 43. Resultado do desdobramento do efeito da interação para os acúmulos dos macronutrientes nos níveis de salinidade da água (CEa) dentro de cada variedades de alface

Variedade	GL	Cu	Zn	Fe	Mn	Cl	Na
		-----Pr > F-----					
AF-1743	5	0,9980	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001
Vera	5	0,0546	0,0002	0,0017	0,0002	<,0001	0,0014

De acordo com a comparação de média pelo teste de Tukey (Tabela 44 e Tabela 45), observa-se que as variedades se diferenciaram, na maioria dos casos, quanto aos acúmulos de macro e micronutrientes, com exceção para os acúmulos de enxofre e cobre. No mesmo teste, observou-se que a variedade “AF-1743” apresentou maior acúmulo desses nutrientes no tecido foliar, com exceção do acúmulo de potássio.

Tabela 44. Resultado da comparação de média pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade para os acúmulos de macronutrientes considerando o fator variedade de alface

Variedade	N	P	K	Ca	Mg	S
	-----g planta ⁻¹ -----					
AF 1743	35.85 a	6.58 a	61.86 b	19.61 a	10.75 a	2.85 a
Vera	34.17 b	6.03 b	69.76 a	17.93 b	8.98 b	2.78 a
D.M.S.	0.72	0.42	4.10	1.12	1.18	0.26

D.M.S. = diferença mínima significativa

Tabela 45. Resultado da comparação de média pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade para os acúmulos de micronutrientes considerando o fator variedade de alface

Variedade	Cu	Zn	Fe	Mn	Cl	Na
	-----g planta ⁻¹ -----					
AF 1743	13.33 a	31.51 a	241.29 a	58.96 a	19.76 a	16.26 a
Vera	26.07 a	28.57 b	217.12 b	54.41 a	21.57 a	11.96 b
D.M.S.	28.97	2.93	19.91	8.29	2.22	1.91

D.M.S. = diferença mínima significativa

Na análise de regressão conjunta dos dados, considerando apenas os resultados obtidos dentro dos níveis de salinidade sem distinção das variedades cultivadas, observou-se que de maneira geral a salinidade não exerceu efeito significativo nos acúmulos de K e de Cu. Por outro lado, os acúmulos dos demais nutrientes se ajustaram a modelos de regressão os quais, para N, P, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn e Cl, podem explicar aproximadamente 50% do comportamento desses acúmulos no tecido vegetal em função da salinidade da água utilizada para o preparo da solução nutritiva e reposição do volume evapotranspirado. Para os acúmulos de S e Na, os modelos resultantes podem descrever o comportamento de aproximadamente 20% dos casos (Tabela 46).

Tabela 46. Resultado da análise de regressão aplicada aos acúmulos dos nutrientes analisados no Experimento II (análise conjunta das variedades ‘Vera’ e ‘AF-1743’)

Nutrientes	Equação	R ²
N	$N = - 1,00CEa^{**} + 37,707^{**}$	0,531
P	$P = - 0,22CEa^{3**} + 1,98CEa^{2**} - 5,01CEa^{**} + 9,09^{**}$	0,608
K	ns	
Ca	$Ca = - 0,54CEa^{3**} + 4,83CEa^{2**} - 10,79CEa^{**} + 22,05^{**}$	0,542
Mg	$Mg = 1,79CEa^{**} + 5,03^{**}$	0,637
S	$S = 0,13CEa^{**} + 2,47^{**}$	0,186
Cu	ns	
Zn	$Zn = 0,83CEa^{2**} - 8,15CEa^{**} + 43,53$	0,537
Fe	$Fe = 7,23CEa^{2**} - 58,46CEa^{**} + 313,25^{**}$	0,481
Mn	$Mn = -2,51CEa^{3**} + 25,40CEa^{2**} - 64,24CEa^{**} + 79,77^{**}$	0,618
Cl	$Cl = 3,85CEa^{**} + 10,28^{**}$	0,699
Na	$Na = 0,59CEa^{3*} - 3,37CEa^{2*} + 14,09CEa^{**} + 5,12$	0,224

O desdobramento da análise de regressão considerando os efeitos da salinidade dentro de cada variedade cultivada (Figura 54 a Figura 65) mostrou que a maioria dos nutrientes de ambas as variedades sofreram influência quanto aos seus acúmulos no tecido vegetal em função do nível de salinidade. Apenas os acúmulos de S e Cu não produziram modelos de regressão significativos para a variedade ‘Vera’, da mesma forma para os acúmulos de K na variedade ‘AF-1743’.

Para a variedade ‘Vera’, observou-se que os modelos apresentados pela análise de regressão, em sua maioria, possuíam coeficientes de correlação superiores a 60%, a exceção dos modelos apresentados para os acúmulos de K e Fe. Por outro lado, para a variedade ‘AF-1743’ apenas os acúmulos de P, Mg, Zn, Mn, Cl e Na apresentaram modelos que possuíam coeficiente de correlação acima de 60%, os demais modelos de acúmulos de nutrientes possuíam coeficiente de correlação abaixo de 60%.

Os acúmulos de N, Zn e Fe de ambas as variedades e o de Cu na variedade ‘AF-1743’ se ajustaram a modelos que descreviam reduções em função do aumento da salinidade da água. Por outro lado, os modelos apresentados para os acúmulos de Mg e Cl de ambas as variedades e o de Na para a variedade ‘AF-1743’ tiveram suas concentrações aumentadas com o aumento da salinidade, o que pode ser explicado pela presença desses nutrientes nas águas de preparo da solução nutritiva.

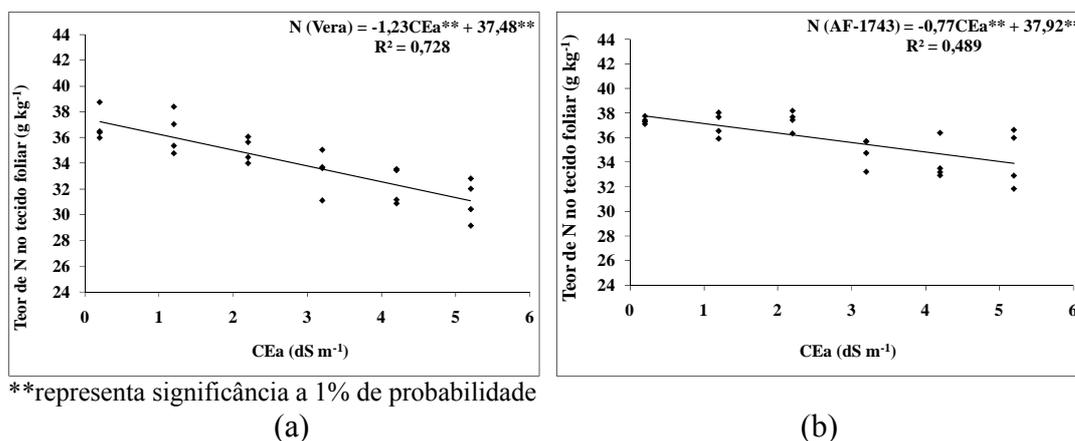
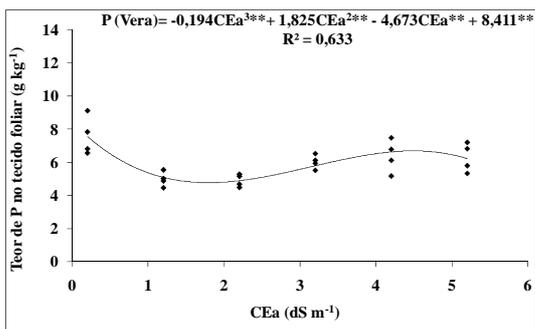
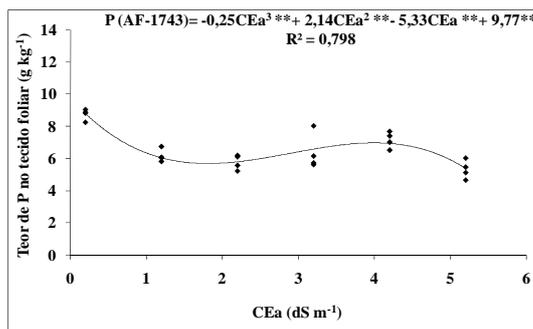


Figura 54. Teor de N nas folhas da alface cultivar ‘Vera’ (a) e da variedade ‘AF 1743’ em função da salinidade da água (CEa).

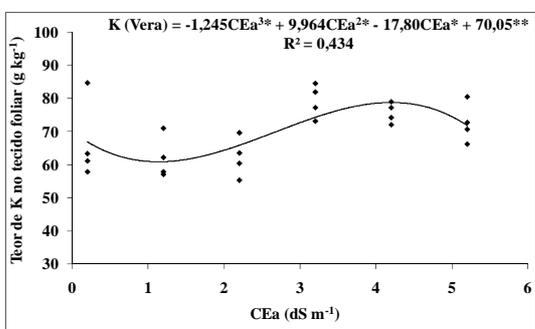


(a)

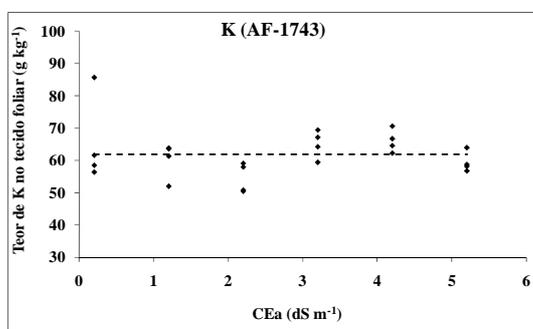


(b)

Figura 55. Teor de P nas folhas da alface cultivar 'Vera' (a) e da variedade 'AF 1743' em função da salinidade da água (CEa).



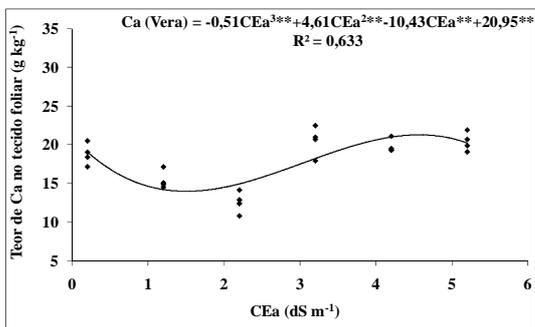
(a)



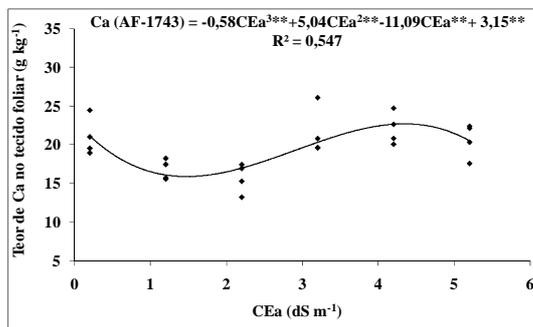
(b)

*representa significância a 1% de probabilidade
 *representa significância a 5% de probabilidade

Figura 56. Teor de K nas folhas da alface cultivar 'Vera' (a) e da variedade 'AF 1743' em função da salinidade da água (CEa).



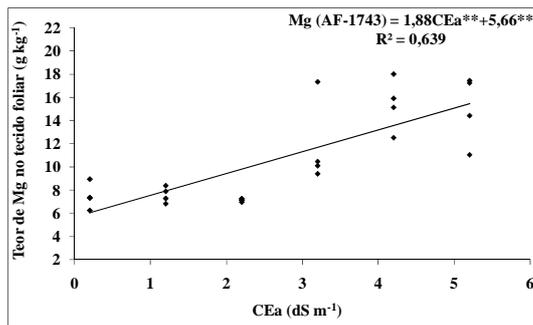
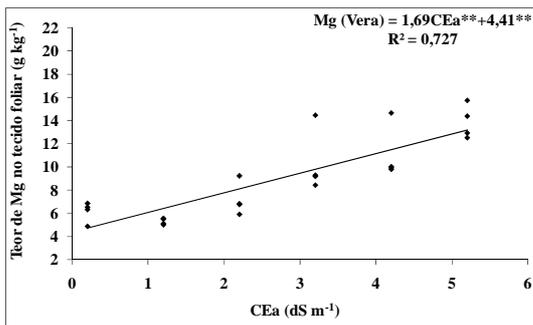
(a)



(b)

**representa significância a 1% de probabilidade

Figura 57. Teor de Ca nas folhas da alface cultivar 'Vera' (a) e da variedade 'AF 1743' em função da salinidade da água (CEa).

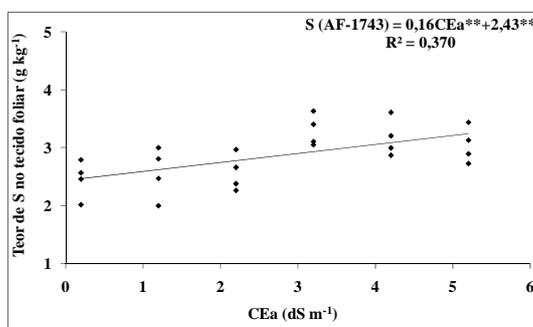
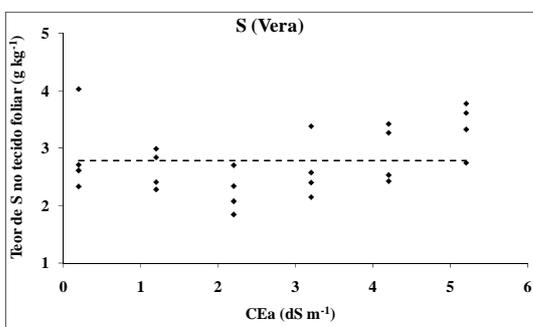


**representa significância a 1% de probabilidade

(a)

(b)

Figura 58. Teor de Mg nas folhas da alface cultivar 'Vera' (a) e da variedade 'AF 1743' em função da salinidade da água (CEa).

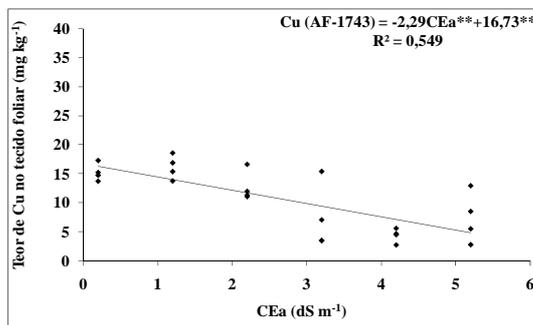
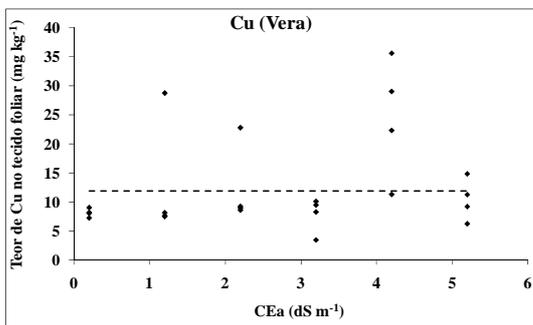


**representa significância a 1% de probabilidade

(a)

(b)

Figura 59. Teor de S nas folhas da alface cultivar 'Vera' (a) e da variedade 'AF 1743' em função da salinidade da água (CEa).

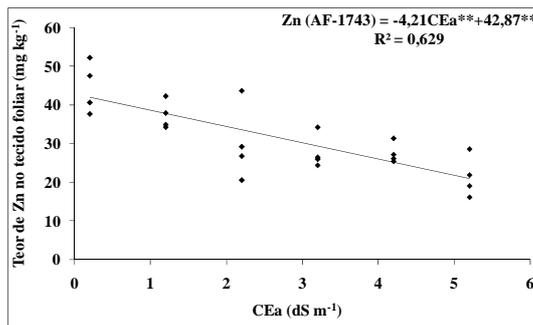
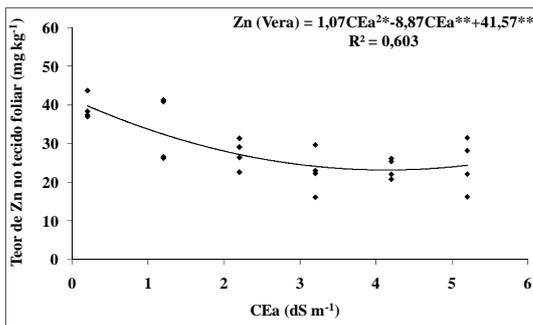


**representa significância a 1% de probabilidade

(a)

(b)

Figura 60. Teor de Cu nas folhas da alface cultivar 'Vera' (a) e da variedade 'AF 1743' em função da salinidade da água (CEa).

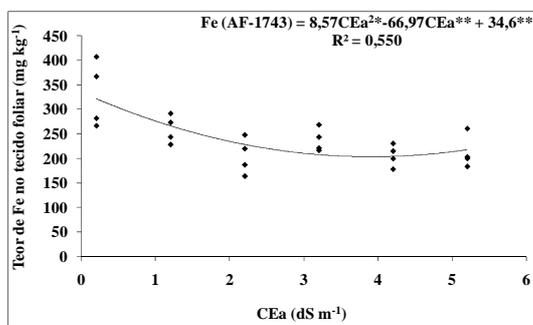
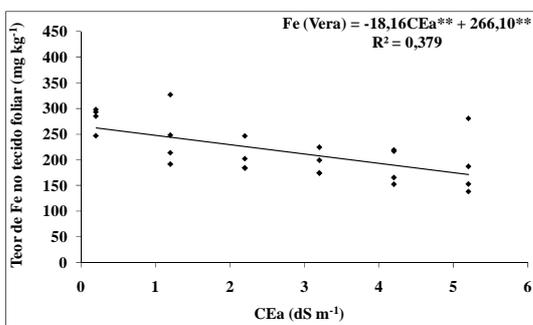


**representa significância a 1% de probabilidade
 *representa significância a 5% de probabilidade

(a)

(b)

Figura 61. Teor de Zn nas folhas da alface cultivar 'Vera' (a) e da variedade 'AF 1743' em função da salinidade da água (CEa).

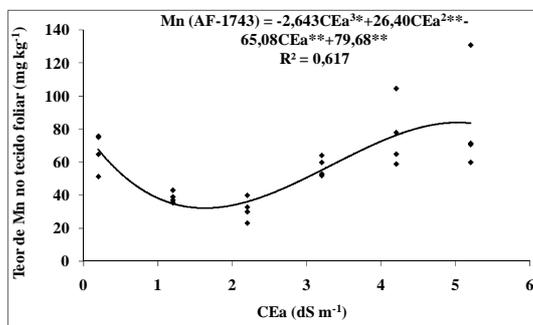
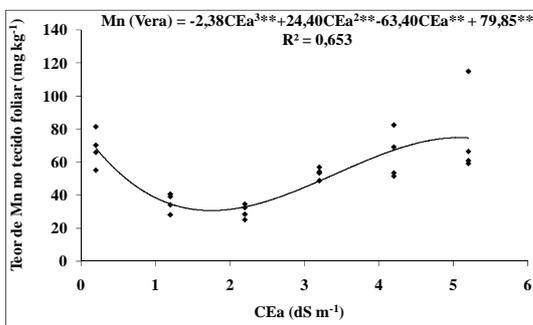


**representa significância a 1% de probabilidade
 *representa significância a 5% de probabilidade

(a)

(b)

Figura 62. Teor de Fe nas folhas da alface cultivar 'Vera' (a) e da variedade 'AF 1743' em função da salinidade da água (CEa).

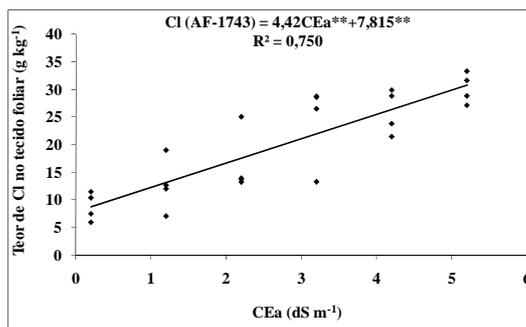
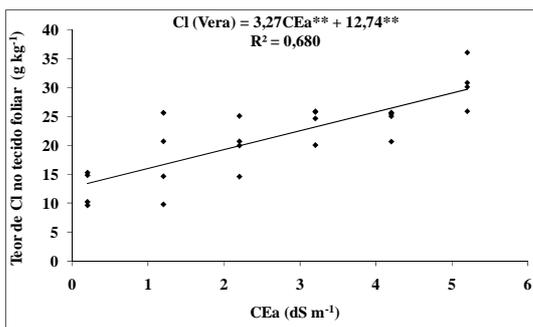


**representa significância a 1% de probabilidade
 *representa significância a 5% de probabilidade

(a)

(b)

Figura 63. Teor de Mn nas folhas da alface cultivar 'Vera' (a) e da variedade 'AF 1743' em função da salinidade da água (CEa).

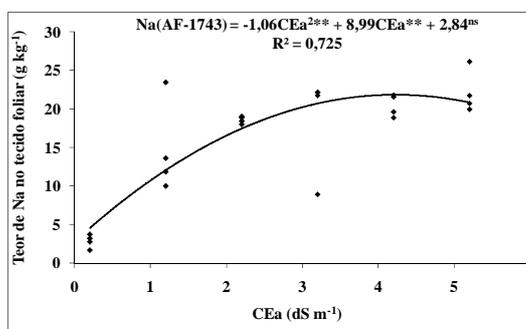
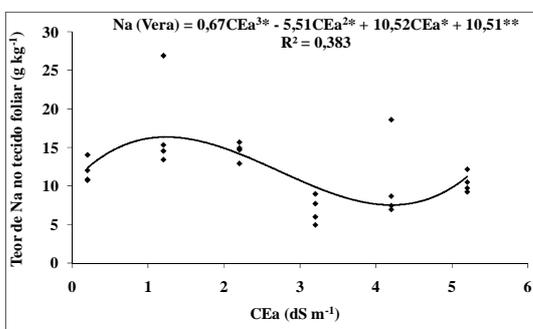


**representa significância a 1% de probabilidade

(a)

(b)

Figura 64. Teor de Cl nas folhas da alface cultivar ‘Vera’ (a) e da variedade ‘AF 1743’ em função da salinidade da água (CEa).



**representa significância a 1% de probabilidade

*representa significância a 5% de probabilidade

(a)

(b)

Figura 65. Teor de Na nas folhas da alface cultivar ‘Vera’ (a) e da variedade ‘AF 1743’ em função da salinidade da água (CEa).

De maneira geral, nesse experimento os diferentes níveis de salinidade, apesar de terem influenciado os acúmulos dos nutrientes nos tecidos foliares, não promoveram grandes deficiências em termos de concentração média dos nutrientes quando comparados aos valores tidos como adequados ao bom desenvolvimento das plantas de alface. Por outro lado, foram registrados, para alguns nutrientes, acúmulos acima dos limites adequados, o que pode explicar alguns sintomas que acometeram as plantas. Por exemplo, necrose nas bordas das folhas mais velhas de algumas plantas da variedade ‘AF-1743’ e clorose intensa, também, nas bordas das folhas mais velhas da variedade ‘Vera’, sintomas que podem indicar estresse por excesso de Na e Cl (AYERS & WESTCOT, 1999) (Tabela 47 e Tabela 48).

Tabela 47. Valores médios dos acúmulos dos macronutrientes no tecido foliar das variedades de alface ‘Vera’ e ‘AF-1743’ em função da salinidade da água

Variedade	CEa (dS m ⁻¹)	-----g kg ⁻¹ -----					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Vera	0,2	36,9	7,6	66,8	18,8	6,1	2,9
	1,2	36,4	5,0	62,1	15,4	5,3	2,6
	2,2	35,0	4,9	62,2	12,6	7,2	2,2
	3,2	33,4	6,0	79,3	20,5	10,3	2,6
	4,2	32,3	6,4	75,7	19,8	11,1	2,9
	5,2	31,1	6,3	72,6	20,4	13,9	3,4
AF-1743	0,2	37,4	8,7	65,6	21,0	7,5	2,5
	1,2	37,1	6,2	60,3	16,8	7,6	2,6
	2,2	37,4	5,8	54,6	15,7	7,1	2,6
	3,2	34,8	6,4	65,1	21,5	11,8	3,3
	4,2	34,0	7,1	66,1	22,1	15,4	3,2
	5,2	34,4	5,3	59,5	20,6	15,1	3,0
Concentrações adequadas*		34-40	4,0-6,0	50-80	14-20	3,0-7,0	2,6

*Concentrações adequadas conforme Cavalcanti (1998) e Rodrigues (2002)

Tabela 48. Valores médios dos acúmulos dos micronutrientes e de sódio no tecido foliar das variedades de alface ‘Vera’ e ‘AF-1743’ em função da salinidade da água

Variedade	CEa (dS m ⁻¹)	-----mg kg ⁻¹ -----					--g kg ⁻¹ --	
		Cu	Zn	Fe	Mn	Cl	Na	
Vera	0,2	8,1	39,1	281,0	68,2	12,5	11,9	
	1,2	13,0	33,8	245,3	35,5	17,7	17,5	
	2,2	12,4	27,4	204,5	30,1	20,1	14,5	
	3,2	7,8	22,8	193,3	53,3	24,1	6,9	
	4,2	24,6	23,7	188,8	64,1	24,2	10,4	
	5,2	10,4	24,6	190,0	75,4	30,7	10,4	
AF-1743	0,2	15,3	44,6	330,6	66,7	8,8	2,9	
	1,2	16,2	37,4	259,0	38,7	12,7	14,7	
	2,2	12,8	30,1	204,3	31,5	16,5	18,6	
	3,2	7,4	27,8	237,1	57,2	24,3	18,7	
	4,2	4,4	27,6	205,4	76,5	26,0	20,5	
	5,2	7,4	21,5	211,4	83,2	30,2	22,1	
Concentrações adequadas*		10-80	25-150	50-500	30-200			

*Concentrações adequadas conforme Cavalcanti (1998) e Rodrigues (2002)

4.3 Experimento III

4.3.1 Monitoramento climático e da solução nutritiva

As temperaturas do ar e da solução nutritiva, bem com a umidade relativa do ar do Experimento III, foram as mesmas do Experimento II, tendo em vista que ambos os experimentos foram conduzidos dentro do mesmo ambiente protegido e no mesmo período.

O pH das soluções nutritivas do Experimento III foram periodicamente ajustados, tal qual procedido no Experimento II.

Para todos os poços avaliados, foi possível manter o pH dentro de uma faixa ideal, a exceção do poço PB, cujos dados são oriundos do ‘nível de salinidade da água’ 2,2 dS m⁻¹ testados e apresentados no Experimento II. Apenas ao final do experimento, foi observado para os demais poços um aumento de pH superior ao limite recomendado. Esse aumento logo foi corrigido, sendo ajustado para a faixa ideal com a adição de HNO₃ (Figura 66).

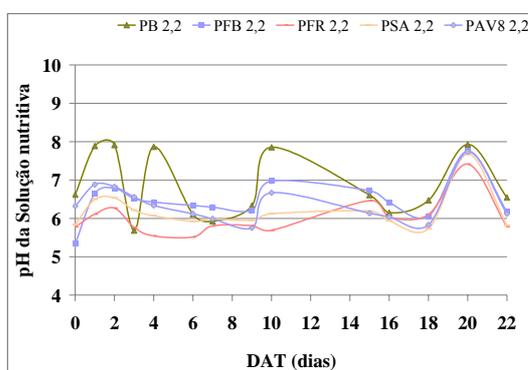


Figura 66. Valores médios de pH da solução nutritiva ao longo do Experimento III.

A salinidade da solução nutritiva apresentou aumento contínuo ao longo do ciclo de cultivo (Figura 67), sendo esse comportamento observado para as soluções nutritivas preparadas com águas dos diferentes poços. O aumento da salinidade ocorreu devido à reposição do volume de água evapotranspirado ter sido realizada com o emprego de águas salobras a uma salinidade de 2,2 dS m⁻¹. Comportamento semelhante também foi notado no Experimento II.

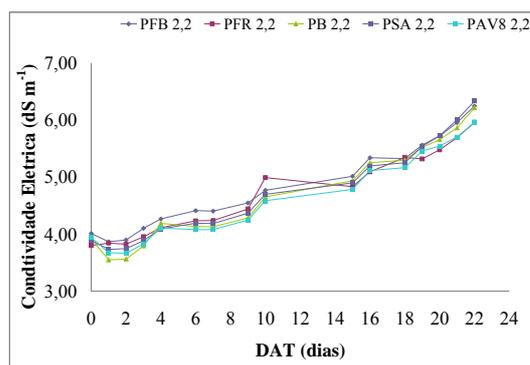


Figura 67. Valores médios da condutividade elétrica da solução nutritiva ao longo do Experimento III.

4.3.2 Crescimento e rendimento da alface cultivada em águas salobras

Para esse experimento as plantas foram colhidas 47 dias após a semeadura (DAS) e 22 dias após o transplante (DAT).

Para as variáveis de crescimento e produção medidas ao final do Experimento III, não foram registradas diferenças significativas entre os diferentes tipos de poços com exceção da variável MFC. Para o fator tipo de variedade de alface, somente não foi detectada diferença altamente significativa para o teor de água foliar. A interação entre os fatores não produziu efeito significativo, não merecendo desdobramento. O controle local mais uma vez foi importante para algumas variáveis, quais sejam: NF, MFF e U.

Tabela 49. Resultado da análise de variância para as variáveis de crescimento avaliadas no Experimento III

Causa de variação	GL	NF	DC	MFPA	MFF	MFC	MSPA	MSF	MSC	U
		-----Pr > F-----								
Bloco	3	0,9048	0,1167	0,0305	0,0120	0,2396	0,1571	0,0867	0,5157	0,0014
Poço	4	0,5372	0,1083	0,0940	0,1326	0,0423	0,5407	0,6333	0,2102	0,2183
Variedade	1	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	0,0004	<,0001	0,4064
Poço*Variedade	4	0,3994	0,9446	0,1210	0,1284	0,1803	0,3426	0,3871	0,1836	0,4302

A aplicação do teste de média (Tabela 50) revelou que a variedade de alface lisa AF-1743 apresentou maior crescimento sob a condição salina de 2,2 dS m⁻¹ (CEa) para todas as

variáveis de crescimento e produção analisadas, fazendo-se única exceção o teor de água das folhas. Em relação ao teste de média aplicado aos diferentes poços (Tabela 50), foi observado que, a exceção da MFC, suas águas não imprimiram diferenças significativas ao crescimento e produção da alface, considerando o nível iso-osmótico de salinidade da água de 2,2 dS m⁻¹. É provável, entretanto, que esse mesmo resultado não seja alcançado para níveis iso-osmóticos de salinidade mais elevados. Um reforço para essa hipótese são os dados do Experimento I que mostraram pouco efeito de duas diferentes fontes de sais dentro dos níveis de menor salinidade, mas efeito significativo entre as mesmas fontes dentro dos níveis de maior salinidade.

Tabela 50. Resultado da comparação de média pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade para as variedade no Experimento III

Variedade	NF	DC	MFPA	MFF	MFC	MSPA	MSF	MSC	U
	--cm--		-----g planta ⁻¹ -----						--%--
AF_1743	414,73a	44,85a	42,90a	376,72a	38,01a	23,42a	20,74a	2,68a	94,34a
Vera	342,94b	24,07b	40,70b	323,18b	19,76b	19,58b	18,29b	1,29b	94,27a
D.M.S.	23,08	1,96	0,77	21,00	3,12	1,41	1,24	0,22	0,17

D.M.S. – diferença mínima significativa
médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente

Tabela 51. Resultado da comparação de média pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade para os diferentes poços no Experimento III

Poço	NF	DC	MFPA	MFF	MFC	MSPA	MSF	MSC	MST	U
	--cm--		----- g planta ⁻¹ -----						--%--	
PAV8	33,56a	41,87a	389,04a	359,68a	29,36ab	21,94a	19,96a	1,98a	26,53a	94,35a
PB	34,00a	41,25a	351,25a	326,78a	24,47b	20,64a	18,87a	1,77a	25,76a	94,12a
PFB	35,00a	41,50a	401,64a	369,12a	32,52a	22,41a	20,20a	2,21a	27,17a	94,42a
PFR	33,87a	42,81a	376,94a	347,66a	29,29ab	21,29a	19,33a	1,97a	26,36a	94,34a
PSA	35,87a	41,56a	375,31a	346,52a	28,79a	21,23a	19,23a	2,01a	25,82a	94,32a
D.M.S.	4,42	1,73	51,92	47,27	7,01	3,17	2,80	0,52	3,22	0,38

D.M.S. – diferença mínima significativa
médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente

4.1.3 Sintomatologia da alface no Experimento III

No Experimento III, as plantas foram submetidas à solução nutritiva preparada com águas de diferentes poços, porém, sob um mesmo nível de salinidade. Esse nível salino (CEa = 2,2 dS m⁻¹) não produziu efeitos negativos às plantas com relação à coloração ao longo do ciclo de cultivo (Tabela 52).

Tabela 52. Resultado da análise visual cronológica de sintomas cloróticos em folhas de alface das variedades ‘Vera’ (crespa) e ‘AF-1743’ (lisa) submetidas à águas de diferentes poços sob mesma salinidade da água no Experimento III

Trat.	0 DAT	6 DAT	8 DAT	10 DAT	18 DAT	22 DAT
PB 2,2	V	V	V	V	V	V
PB 2,2	V	V	V	V	V	V
PB 2,2	V	V	V/A	V	V	V
PB 2,2	V	V	V	V	V	V
PFB	V	V	V	V	V	V
PFB	V	V	V	V	V	V
PFB	V	V	V	V	V	V
PFB	V	V	V	V	V	V
PFR	V	V	V	V	V	V
PFR	V	V	V	V	V	V
PFR	V	V	V	V	V	V
PFR	V	V	V	V	V	V
PSA	V	V	V	V	V	V
PSA	V	V	V	V	V	V
PSA	V	V	V	V	V	V
PSA	V	V	V	V	V	V
PAV8	V	V	V	V	V	V
PAV8	V	V	V	V	V	V
PAV8	V	V	V	V	V	V
PAV8	V	V	V	V	V	V

V = Verde normal; CM = Clorose moderada; C = Clorose

Nesse experimento, foram observados sintomas de clorose intensa nas bordas das folhas mais velhas da variedade ‘Vera’, entretanto, esse sintoma só foi notado próximo ao fim do ciclo. Esse comportamento pode ser explicado pelo manejo dado à reposição da evapotranspiração, o qual se deu através do emprego da mesma água utilizada para o preparo da solução nutritiva, semelhante ao manejo usado no Experimento II. Dessa forma, a salinidade da solução nutritiva crescia ao longo do tempo, sendo maior sua intensidade, ao final do ciclo. Sintoma semelhante foi observado no Experimento II, como mostra a Figura 53

C. As plantas da variedade ‘AF-1743’, que estavam submetidas às mesmas condições acima citadas, apresentaram sintomas de necrose das bordas das folhas mais velhas (Figura 53 D).

4.1.4 Consumo hídrico da alface cultivada em águas salobras

Conforme as soluções nutritivas iso-osmóticas ($2,2 \text{ dS m}^{-1}$) preparadas com águas de diferentes poços, esperava-se encontrar diferenças no consumo hídrico. Os resultados encontrados comprovaram a hipótese, mas apenas para algumas avaliações de consumo hídrico diário entre dois dias consecutivos (Tabela 53).

Tabela 53. Resultado da análise de variância para o consumo hídrico em diferentes semanas datas ao longo do Experimento III

Fonte de variação	GL	1ª Sem	2ª Sem	3ª Sem	6 DAT	11 DAT	20 DAT
-----Pr > F-----							
Bloco	3	0,0610	0,1682	0,1989	0,0327	0,0454	0,1048
Poço	4	0,6480	0,4550	0,5364	0,0687	0,0058	0,0971

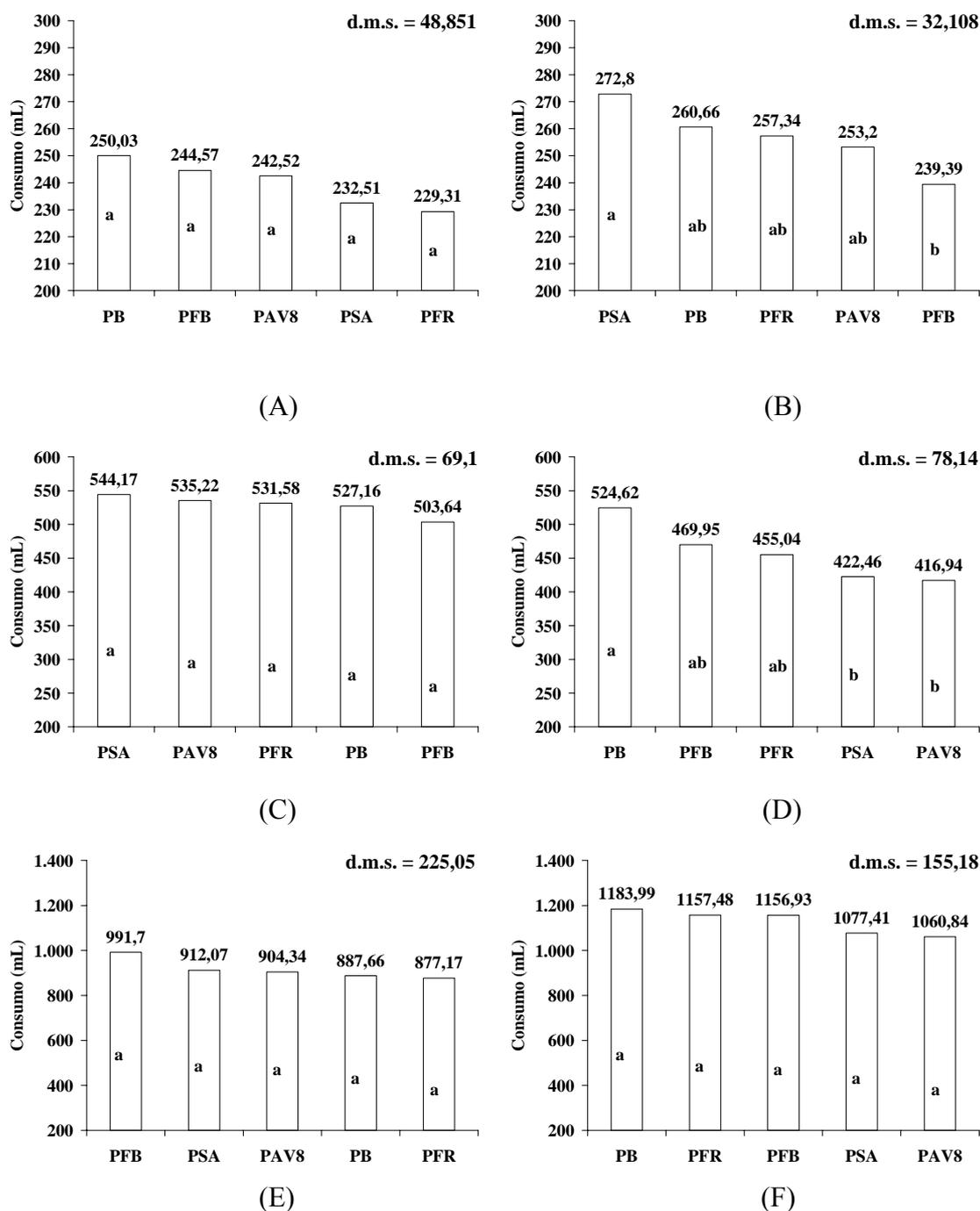


Figura 68. Resultados das comparações de médias do consumo hídrico mediante o teste de Tukey a 5% para os diferentes poços na 1ª semana (A), aos 6 DAT (B), na 2ª semana (C), aos 11 DAT (D), na 3ª semana e aos 20 DAT.

Na avaliação realizada para o consumo hídrico diário agrupado em 3 semanas (1ª, 2ª e 3ª semana), não se observou diferenças significativas entre os poços, comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (Figura 68A, 1C e 1E). Quando a avaliação foi feita considerando apenas um dia isolado dentro de cada semana, registrou-se diferenças

estatísticas. Aos 6 DAT, diferenças ocorreram no contraste entre os poços PSA e PFB, sendo que para os demais contrastes não houve diferença significativa para a mesma probabilidade (Figura 68B). O mesmo ocorreu aos 11 DAT, quando as diferenças se deram entre os contrastes dos poços PB vs PSA e PB vs PAV8, não havendo diferenças entre os demais contrastes (Figura 68D). Aos 20 DAT não houve diferença significativa entre os contrastes dos poços (Figura 68F), o que pode representar uma possível adaptação das plantas as diferentes composições químicas das águas utilizadas.

5 CONCLUSÕES

Experimento I

No contraste dos níveis de salinidade obtidos por NaCl e por águas salobras subterrâneas, a fonte NaCl proporcionou menor prejuízo ao crescimento e produção das plantas de alface crespa ‘Vera’ em cultivo hidropônico;

O efeito mais pronunciado das águas salobras subterrâneas sobre o rendimento das plantas foi atribuído às elevações do pH da solução nutritiva acima do valor adequado ao cultivo da alface;

Para as plantas produzidas sob a influência da salinidade provocada pela adição de NaCl, foram observadas folhas com coloração verde mais escuro. Para as plantas produzidas sob o efeito das águas salobras de origem subterrâneas, os sintomas típicos foram clorose generalizada e queima das bordas nas folhas velhas;

Ao final do ciclo produtivo das plantas de alface ‘Vera’, os sintomas provocados pelo uso de águas salobras naturais foram menos intensos que no início do ciclo;

Para a alface ‘Vera’ submetida às águas salobras subterrâneas, o acúmulo dos micronutrientes Cu, Zn, Fe e Mn nas folhas foi menor em relação ao registrado para as plantas submetidas aos níveis de salinidade produzidos com a adição de NaCl. O acúmulo de Na e Cl foi mais acentuado nas folhas das plantas submetidas às águas salinizadas com a adição de NaCl. Em relação aos macronutrientes, o acúmulo foliar de N e K não foi alterado pelos níveis de salinidade, enquanto o de P e S foi maior para as águas salinizadas por NaCl, ficando o de Ca e Mg mais elevados para as águas salobras naturais.

Experimento II

O emprego das águas salobras de origem subterrânea no preparo da solução nutritiva e na reposição da evapotranspiração proporcionou reduções lineares no crescimento e rendimento das variedades de alface ‘Vera’ e ‘AF-1743’.

Sob condições hidropônicas de cultivo, utilizando águas salobras de origem subterrânea para o preparo da solução nutritiva e reposição do volume evapotranspirado, a variedade de

alface lisa 'AF-1743' teve maior crescimento e rendimento absolutos quando comparada com a cultivar de alface crespa 'Vera';

Em termos de resposta relativa, obtida como redução percentual do crescimento e rendimento por acréscimo unitário na salinidade da água, as reduções foram equivalentes para as variedades 'Vera' e 'AF-1743';

As plantas exibiram sintomas de clorose generalizada no início do ciclo e por ocasião da colheita foi observada, nas bordas das folhas velhas, clorose intensa na variedade 'Vera' e necrose na variedade 'AF-1743';

Tanto a clorose intensa nas bordas, na variedade 'Vera', quanto a queima das bordas, na variedade 'AF-1743', foram restritas a uma tênue faixa no limbo foliar, pouco comprometendo o aspecto do mesmo;

O acúmulo de íons no tecido foliar variou em função da variedade cultivada, sendo que 'AF-1743' acumulou mais N, P, Ca, Mg, Zn, Fe e Na e menos K em relação à cultivar 'Vera';

O uso das águas salobras naturais contribuiu para o aumento nas concentrações foliares de Mg, Cl e Na.

Experimento III

Para soluções nutritivas iso-osmóticas com $2,2 \text{ dS m}^{-1}$ de salinidade, águas salobras de cinco diferentes poços, do município de Ibimirim, PE, não produziram efeitos significativamente diferentes entre si para o cultivo hidropônico das variedades de alface 'Vera' e 'AF-1743'.

REFERÊNCIAS

ABAS-Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. **Águas Subterrâneas Minimização das conseqüências da seca no nordeste**. 2003. 40p

ALBERONI, R.B. **Hidroponia**. São Paulo: Nobel, 1998. 102 p.

AMORIM, M. C. C.; PORTO, E. R.; ARAÚJO, O. J.; SILVA JÚNIOR, L. G. A. Alternativa de Reuso dos Efluentes da Dessalinização por Osmose Inversa: Evaporação Solar e Meio Líquido para Cultivo de Tilápia koina (*Oreochromis sp.*) In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2001, João Pessoa. Saneamento Ambiental: Desafio para o Século 21. João Pessoa, 2001.

AMORIM, M.C.C.; PORTO, E.R.; SILVA JÚNIOR, L.G.A. Evaporação solar como alternativa de reuso dos efluentes da dessalinização por osmose inversa. Trabalho aprovado para apresentação oral no **XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental**; de 03 a 08 de Dezembro/00 – Porto Alegre-RS. 2000.

AMORIM, M.C.C.; SILVA JÚNIOR, L.G.A.; PORTO, E. Efeito de sais no solo provenientes de rejeitos da dessalinização por osmose inversa no Semi-Árido Pernambucano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26, 1997, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: SBEA, 1997. 1 CD-ROM.

ANA-Agencia Nacional de Águas. **Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. Caderno de Recursos Hídricos, 2005. 80p.

AUDRY, P.; SUASSUNA, J. **A salinidade das águas disponíveis para a pequena irrigação no sertão nordestino: caracterização, variação sazonal, limitações de uso**. Recife: CNPq, 1995 128 p.

BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. **Métodos de Análises Químicas em Plantas**. Recife: UFRPE, 2004. 148 p

BEZERRA, J. E. F.; LEDERMAN, I. E.; SILVA JUNIOR, J. F. ALVES, M. A.. Comportamento da pitangueira (*Eugenia uniflora* L) sob irrigação na região do vale do Rio Moxotó, Pernambuco. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 2004, v. 26, n. 1.

BIE, Z.; ITO, T.; SHINORA, Y. Effects of sodium sulfate and sodium bicarbonate on the growth, gas exchange and mineral composition of lettuce. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 99, n.3/4, p. 215-224, 2004.

Bloom AJ, Frensch J, Taylor AR. 2006. Influence of inorganic nitrogen and pH on the elongation of maize seminal roots. **Annals of Botany** 97: 867–873

BOEGLI, W. J.; THULLEN, J.S. **Eastern municipal water district to treatment/saline vegetated wetlands pilot study**: Final report. Denver, Colorado: U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, 1996. 116p. il. Water Treatment Technology. Program Report, 16.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Nova Delimitação do Semi-Árido Brasileiro**. Disponível em: <
<http://www.integracao.gov.br/desenvolvimentoregional/publicacoes/delimitacao.asp>> Acesso em: 15 julho 2008.

CABRAL, J. J. S. P.; SANTOS, S. DE M. **Água Subterrânea No Nordeste Brasileiro**. In: José Almir Cirilo; Jaime J. S. P. Cabral; João Paulo C. Lobo Ferreira; Manuel J. P. Mendes Oliveira; Teresa Eira Leitão; Suzana M.G.L. Montenegro; Valéria Camboim Góes. (Org.). **O Uso Sustentável Dos Recursos Hídricos Em Regiões Semi-Áridas**. 1 ed. Recife: Universitária, 2007, v. , p. 65-104.

CAVALCANTI, F. J. A. C. (Coord.). **Recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco 2ª aproximação**. Recife: IPA, 1998. 198 p.

COMETTI, N. N.; FURLANI, P. R.; RUIZ, H. A.; FERNANDES FILHO, E. I. **Soluções Nutritivas: formulação e aplicações**. In: MANLIO SILVESTRE FERNANDES. (Org.). **Nutrição Mineral de Plantas**. 1 ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 89-114, 2006.

COSTA, A. M. B.; MELO, J. G.; SILVA, F. M. Aspectos da salinização das águas do aquífero cristalino no Estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil. **Revista Águas Subterrâneas**, Rio de Janeiro, v.20, n.1, p.67-82, 2006.

COSTA, P. C.; DIDONE, E. B.; SESSO, T. M.; CAÑIZARES, K. A. L.; GOTO, R. Condutividade elétrica da solução nutritiva e produção da alface em hidroponia. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 595-597, 2001.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. **Diagnóstico do município de Ibimirim, estado de Pernambuco**/Organizado [por] João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Manoel Julio da Trindade G. Galvão, Simeones Neri Pereira, Jorge Luiz Fortunato de Miranda. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005. 12 p. + anexos.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Sistema de Informação de águas subterrâneas - SIAGAS**. <<http://siagas.cprm.gov.br/wellshow/indice.asp>>. 08 Fevereiro 2006.

CPRM. **Projeto hidrogeológico do Piauí II - bases municipais/perfil hidrogeológico do município de Picos**. Série Hidrogeologia - informações básicas, v.24. Teresina: CPRM, 1999. 32p.

DOUGLAS, J. S. **Hidroponia cultura sem terra**. Tradução de Z. Z. Marcos. 2.ed. São Paulo: Nobel, 1987. 144 p.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio De Janeiro, RJ). **Manual De Métodos de Análise de Solo - 2. Ed .Rev Atual. – Rio de Janeiro –1997**.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Tradução de M.E.T. Nunes. 2.ed. Londrina: Editora Planta, 2006. 403 p.

FREIRE, M. B. G. S.; RUIZ, H. A.; RIBEIRO, M. R.; FEIRRERA, P.A.; ALVAREZ V., V. H.; FREIRE, F. J. Estimativa do risco de sodificação de solos de Pernambuco pelo uso de águas salinas. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2,p. 227-232, 2003.

FUNDAÇÃO BANCO DO BRASIL. **Tecnologia para tratar água será reaplicada**. Disponível em: <<http://www.fbb.org.br/portal/pages/publico/expandir.fbb?codConteudoLog=3900>>. Acesso em: 18 dezembro 2008.

FURLANI, A. M. C.; BATAGLIA, O. C.; LIMA, M. Diferenças entre linhagens de milho cultivares em solução nutritiva quanto à absorção e utilização de nitrogênio. **Bragantia**, Campinas, 44(2):599-618, 1985.

FURLANI, P. R. **Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de hidroponia NFT**. 1.ed. Campinas: IAC, 1998. 30p. Boletim técnico, 168.

FURLANI, P. R.; SILVEIRA, L. C. P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, V. **Cultivo hidropônico de plantas**. 1.ed. Campinas: IAC, 1999. 52p. Boletim técnico, 180.

GOTTO, R.; TIVELLI, S.W. (Org.). **Produção em ambiente protegido: condições subtropicais**. São Paulo: Editora UNESP, 1998. 319 p.

HOCHMUTH, G.; HOCHMUTH, R. **Open-field soilless culture of vegetables**. Disponível em:< <http://edis.ifas.ufl.edu/HS176>>. Acesso em: 13 mar. 2008.

JUAN, J. A. M. S. **Desalación de aguas salobres y de mar. Osmose inversa**. Madrid: Mundi-Prensa. 395p. 2000.

LEVITT, J. **Responses of plants to environmental stress**. New York: Academic Press, v. 2, p. 25-280, 1980.

LIMA, L. A. **Efeitos de sais no solo e na planta**. Campina Grande: UFPB, 1997, lo e na planta. In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB, 1997. cap. 4, p. 113-136.

MAAS, E. V.; HOFFMAN, G. J. Crop salt tolerance: current assessment. **Journal of Irrigation and Drainage Division ASCE**, New York, v.103, n. IR2, p. 115-134, 1977.

MARTINEZ, H.E.P. **Manual prático de hidroponia**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2006. 271 p.

MATHIAS, M. NFT in Brazil. **Practical Hydroponics & Greenhouses**. Narrabeen, p.33-40, 2008.

PAULUS, Dalva. **Produção, qualidade e parâmetros fisiológicos e bioquímicos de alface sob hidroponia com águas salinas**. 2008. 267 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008

PAZ, V. P. S.; Teodoro, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.3, p.465-473, 2000

PIMENTEL GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Curso de estatística experimental**. 14 ed. Piracicaba: ESALQ, 2000. 477 p.

PINHEIRO, J. C. V.; CALLADO, S. M. G. **Avaliação de desempenho dos dessalinizadores no Ceará**. Disponível em: <<http://www.bnb.gov.br/progEventosBN/projForumEconomia2003/DOCS/MESA%2009%20-%2034.PDF>>. Acesso em: 10 julho 2004

PORTO, E. R.; AMORIM, M. C. C. de; ARAÚJO, O. J. Potencialidades da erva-sal (*Atriplex nummularia*) irrigada com o rejeito da dessalinização de água salobra no semi-árido brasileiro como alternativa de reutilização. **XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental**; de 03 a 08 de Dezembro/00 – Porto Alegre-RS. 2000.

PORTO, E. R.; AMORIM, M. C. C. de; ARAÚJO, O. J.; SILVA JÚNIOR, L. G. A. Aproveitamento dos rejeitos da dessalinização. In: Simpósio sobre captação de água de chuva no semiárido brasileiro, 1., 1997, Petrolina. A captação de água de chuva: base para viabilização do semi-árido brasileiro. **Anais...** Petrolina: Embrapa Semi-Árido/IRPAA/IRCSA, 1999. p.51-57.

PORTO, E. R.; AMORIM, M. C. C. de; SILVA JÚNIOR, L. G. A. Uso do rejeito da dessalinização de água salobra para irrigação da erva-sal (*Atriplex nummularia*). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.1, p.111-114, 2001.

PORTO, E.R.; AMORIM, M.C.C.; SILVA JÚNIOR, L.G.A. Uso do rejeito da dessalinização de água salobra para irrigação da erva-sal (*Atriplex nummularia*). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.1, p.111-114, 2001.

REBOUÇAS, A. C. **Uso Inteligente da água**. São Paulo: Escrituras Editora, 2004

RHOADES, J. D.; LOVEDAY, J. **Salinity in irrigated agriculture**. In: STEWART, B. A.; NIELSEN, D. R. (Ed.). Irrigation of agricultural crops. Madison : American Society of Agronomy, 1990. p. 1089-1157. (ASA. Monograph, 30)

RHOADES, J.D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A.M. **Uso de águas salinas para produção agrícola**. Tradução de H.R. GHEYI, J.R. DE SOUSA, J.E. QUEIROZ. 1.ed. Campina Grande: UFPB, 2000. 117p. Estudos FAO Irrigação e Drenagem, 48.

RODRIGUES, L.R.F. **Técnicas de cultivo hidropônico e de controle ambiental no manejo de pragas, doenças e nutrição vegetal em ambiente protegido**. 1.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2002. 762p.

SANJUÁN; M.C.S.; GAVILÁN, M.U. Métodos de riego y fertirrigación en cultivos sin suelo. In: GAVILÁN, M.U. (Coord.). **Tratado de cultivo sin suelo**. Madrid: Mundi Prensa, 2004. cap. 5, p. 161- 237.

SCHWARZ, M. **Soiless culture management**. Berlin: Springer Verlag, 1995. 197 p. (Advanced Series in Agricultural Sciences, 24).

SECRETARIA de Planejamento do Estado de Pernambuco. **Estratégias de desenvolvimento local de Pernambuco: governo nos municípios**. Recife: Condepe/Fidem. 2004.

SECRETARIA de Planejamento do Estado de Pernambuco. Governo nos municípios 2004-2007: **Plano Regional de Inclusão Social Moxotó Estratégico**. Recife: Condepe/Fidem. 2003

SILVA JÚNIOR, G. S. **Respostas biométricas, ecofisiológicas e nutricionais em genótipos diplóides de bananeira (*musa spp*) submetidos à salinidade**. 2007. 106 p. Tese (Doutorado em Botânica) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Biologia, Recife, 2007.

SILVA JÚNIOR, L. G. A.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F. Composição química de águas do cristalino do nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, n.1, p.11-17, 1999.

SILVA, E.F.F. **Manejo da fertirrigação e controle da salinidade na cultura do pimentão utilizando extratores de solução do solo**. 2002. 136 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002

SILVA, V. B. **Diagnóstico da desertificação no município de Ibimirim - PE.** 2006. 86 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

SOARES, T. M. **Utilização de águas salobras no cultivo da alface em sistema hidropônico NFT como alternativa agrícola condizente ao semi-árido brasileiro.** 2007. 267 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

SOARES, T. M.; DUARTE, S. N.; GRAF, C. C. D.; ZANETTI, M.; ZOCCHI, S. S. Produção de mudas cítricas utilizando águas salinas. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem; 15, 2005, Teresina. **Anais...** Teresina: ABID, 2005. Cd Rom.

SOARES, T.M.; SILVA, I.J.O.; DUARTE, S.N.; SILVA, E.F.F. Destinação de águas residuárias provenientes de dessalinizadores por osmose reversa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 730-737, 2006

SONNEVELD, C. **La nutrición mineral y salinidad en los cultivos sin suelo:** su manejo. In: GAVILÁN, M.U. (Coord.). Tratado de cultivo sin suelo. Madrid Mundi Prensa, 2004. cap. 8, p. 305- 367.

SONNEVELD, C. The salt tolerance of greenhouse crops. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Wageningen, v. 36, p. 63-73, 1988.

SOUZA, S. R.; FERNANDES, M. S. **Nitrogênio.** In: MANLIO SILVESTRE FERNANDES. (Org.). Nutrição Mineral de Plantas. 1 ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 215-252, 2006.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM. **SAS: user's guide statistics: version 8.0 edition.** Cary, 1999. 956p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** Tradução de E. R. Santarém et al. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TEIXEIRA, T.N. **Hidroponia – uma alternativa para pequenas propriedades.** Editora Agropecuária: Guaíba. 1996. 86p.

ANEXOS

Anexo 1. Resultados da avaliação nutricional da alface cultivada em solução nutritiva preparada com águas salobras naturais provenientes de cinco diferentes poços

Tabela 54. Resultado da análise de variância para as concentrações dos macronutrientes avaliados no tecido vegetal das variedades de alface ‘Vera’ e ‘AF-1743’

Causa de variação	GL	N	P	K	Ca	Mg	S
-----Pr > F-----							
Bloco	3	0.0138	0.6364	0.2411	0.2820	0.0707	0.0593
Poco	4	0.0980	<.0001	<.0001	0.0019	0.0005	0.0010
Vraiedade	1	0.0012	<.0001	0.3199	<.0001	<.0001	0.0399
Poco*variedade	4	0.3175	0.5798	0.8517	0.3742	0.0830	0.0052

Tabela 55. Resultado da análise de variância para as concentrações dos micronutrientes e do sódio avaliados no tecido vegetal das variedades de alface ‘Vera’ e ‘AF-1743’

Causa de variação	GL	Cu	Zn	Fe	Mn	Cl	Na
-----Pr > F-----							
Bloco	3	0.5480	0.3361	0.0003	0.0707	0.1646	0.5751
Poco	4	0.4851	<.0001	0.0099	0.0005	0.1034	<.0001
Variedade	1	0.8940	0.1987	0.0313	<.0001	0.0145	0.1570
Poco*variedade	4	0.5188	0.2824	0.5515	0.0830	0.4817	0.0077

Tabela 56. Resultado do desdobramento do efeito da interação sobre os acúmulos dos macronutrientes nos níveis de salinidade da água (CEa) dentro de cada variedades de alface

Variedade	GL	N	P	K	Ca	Mg	S
-----Pr > F-----							
AF-1743	1	0.1319	<.0001	0.0042	0.0101	0.3816	0.0001
Vera	1	0.2366	0.0001	0.0061	0.0534	0.0002	0.0812

Tabela 57. Resultado do desdobramento do efeito da interação sobre os acúmulos dos micronutrientes e do sódio nos níveis de salinidade da água (CEa) dentro de cada variedades de alface

Variedade	GL	Cu	Zn	Fe	Mn	Cl	Na
-----Pr > F-----							
AF-1743	1	0.9757	<.0001	0.0191	<.0001	0.1357	0.0002
Vera	1	0.2032	0.0009	0.2788	<.0001	0.3722	<.0001

Tabela 58. Resultado do desdobramento do efeito da interação sobre os acúmulos dos macronutrientes nas variedades de alface dentro de cada nível de salinidade da água (CEa)

Poço	GL	N	P	K	Ca	Mg	S
-----Pr > F-----							
PAV8	1	0.0140	0.0066	0.6496	0.0085	0.0014	0.7493
PB	1	0.0170	0.1649	0.2362	0.0064	0.9563	0.2961
PFB	1	0.8930	0.0043	0.5289	0.0133	0.0016	<.0001
PFR	1	0.1297	0.0571	0.7263	0.0197	0.0075	0.6606
PSA	1	0.1374	0.0017	0.6946	<.0001	0.0034	0.8730

Tabela 59. Resultado do desdobramento do efeito da interação sobre os acúmulos dos micronutrientes e do sódio nas variedades de alface dentro de cada nível de salinidade da água (CEa)

Poço	GL	Cu	Zn	Fe	Mn	Cl	Na
-----Pr > F-----							
PAV8	1	0.1603	0.9150	0.1911	0.4526	0.0158	0.0337
PB	1	0.9664	0.7825	0.9911	0.8941	0.3849	0.0050
PFB	1	0.3291	0.9127	0.4258	0.4320	0.1460	0.7975
PFR	1	0.6835	0.0136	0.5472	<.0001	0.3954	0.0330
PSA	1	0.7695	0.9768	0.0275	0.1473	0.9802	0.9447

Tabela 60. Resultado da comparação de média pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade para os acúmulos dos macronutrientes no tecido vegetal dentro de cada variedade de alface

Variedade	N	P	K	Ca	Mg	S
	-----g kg ⁻¹ -----					
AF-1743	37.10 a	8.05 a	62.70 a	16.25 a	6.69 a	2.85 a
Vera	35.58 b	6.49 b	65.54 a	12.84 b	5.27 b	2.55 b
D.M.S.	0,86	0,55	5,75	0,98	0,50	0,28

Tabela 61. Resultado da comparação de média pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade para os acúmulos dos macronutrientes e do sódio no tecido vegetal dentro de cada variedade de alface

Variedade	Cu	Zn	Fe	Mn	Cl	Na
	-----mg kg ⁻¹ -----			-----g kg ⁻¹ -----		
AF-1743	13.49 a	50.88 a	237.08 a	150.51 a	19.53 b	17.31 a
Vera	12.98 a	45.21 a	220.58 b	124.53 b	24.32 a	16.45 a
D.M.S.	7,78	8,83	14,90	9,52	3,76	1,21

Tabela 62. Resultado da comparação de média pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade para os acúmulos dos macronutrientes no tecido vegetal das variedades de alface dentro de cada poço

Poço	N	P	K	Ca	Mg	S
	-----g kg ⁻¹ -----					
PAV8	36.72 a	7.02 b	60.84 b	16.46 a	5.79 b	2.44 bc
PB	36.22 a	5.33 c	58.44 b	14.14 b	7.15 a	2.40 c
PFB	36.24 a	6.93 b	61.36 b	14.13 b	5.88 b	3.20 a
PFR	35.33 a	8.68 a	80.90 a	13.03 b	5.90 b	3.06 ab
PSA	37.20 a	8.42 a	59.05 b	14.97 ab	5.17 b	2.41 c
D.M.S.	1.94	1.24	12,93	2,21	1,12	0,64

Tabela 63. Resultado da comparação de média pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade para os acúmulos dos micronutrientes e do sódio no tecido vegetal das variedades de alface dentro de cada poço

Poço	Cu	Zn	Fe	Mn	Cl	Na
	-----mg kg ⁻¹ -----				---g kg ⁻¹ ---	
PAV8	20.12 a	44.81 bc	250.24 a	74.55 bc	21.40 a	15.79 b
PB	12.59 a	28.78 c	204.37 b	30.78 d	18.30 a	16.57 b
PFB	12.56 a	30.91 c	232.50 ab	56.04 c	23.63 a	19.47 a
PFR	10.68 a	82.91 a	225.86 ab	442.53 a	20.26 a	12.97 c
PSA	10.24 a	52.81 b	231.19 ab	83.70 b	26.02 a	19.58 a
D.M.S.	17,51	19,88	33,55	21,44	8,45	2,73

Tabela 64. Valores médios dos acúmulos dos macronutrientes no tecido foliar das variedades de alface ‘Vera’ e ‘AF-1743’ em função da salinidade da água

Variedade	Poço	N	P	K	Ca	Mg	S
		-----g kg ⁻¹ -----					
Vera	PAV8	35,49	6,13	62,28	14,94	4,82	2,50
	PB	35,03	4,90	62,23	12,56	7,17	2,24
	PFB	36,30	5,99	63,36	12,72	4,93	2,47
	PFR	34,60	8,08	82,00	11,71	5,12	3,12
	PSA	36,48	7,37	57,80	12,28	4,30	2,44
AF-1743	PAV8	37,95	7,90	59,40	17,97	6,75	2,40
	PB	37,42	5,76	54,64	15,72	7,14	2,57
	PFB	36,17	7,87	59,37	15,55	6,83	3,93
	PFB	36,07	9,28	79,79	14,35	6,69	2,99
	PSA	37,91	9,47	60,29	17,67	6,05	2,39
Concentração adequada		34-40	4,0-6,0	50-80	14-20	3,0-7,0	2,6

Tabela 65. Valores médios dos acúmulos dos micronutrientes e de sódio no tecido foliar das variedades de alface ‘Vera’ e ‘AF-1743’ em função da salinidade da água

Variedade	Poço	Cu	Zn	Fe	Mn	Cl	Na
		-----mg kg ⁻¹ -----				-----g kg ⁻¹ -----	
Vera	PAV8	26,24	44,29	239,35	70,60	26,67	17,27
	PB	12,41	27,44	204,46	30,09	20,11	14,55
	PFB	8,35	31,44	225,93	51,90	26,69	19,29
	PFR	8,94	70,20	220,91	394,12	22,03	11,49
	PSA	8,98	52,67	212,26	75,96	26,07	19,63
AF-1743	PAV8	14,00	45,33	261,13	78,51	16,12	14,31
	PB	12,77	30,13	204,28	31,48	16,49	18,59
	PFB	16,78	30,37	239,06	60,18	20,56	19,64
	PFB	12,43	95,63	230,81	490,94	18,50	14,46
	PSA	11,49	52,95	250,12	91,45	25,97	19,54
Concentração adequada		10-80	25-150	50-500	30-200		