

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

MESTRADO

**ESTRESSE SALINO NA GERMINAÇÃO, FASE DE MUDA
E PRODUÇÃO DE ALFACE (*Lactuca sativa* L.)**

DISSERTAÇÃO

SÉRGIO BAICISTA ASSIS VIANA

Car. Grande Paraíba
J. L. 10 -- 2000

SÉRGIO BATISTA ASSIS VIANA
Engenheiro Agrônomo


**ESTRESSE SALINO NA GERMINAÇÃO, FASE DE MUDA E
PRODUÇÃO DE ALFACE (*Lactuca sativa L.*)**

Orientador: Prof. Dr. **PEDRO DANTAS FERNANDES**

Co-Orientador: Prof. Dr. **HANS RAJ GHEYI**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Irrigação e Drenagem, do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre.

CAMPINA GRANDE
Estado da Paraíba - Brasil
Julho - 2000





V614e Viana, Sergio Batista Assis
Estresse salino na germinação, fase de muda e produção de alface (*Lactuca sativa* L.) / Sergio Batista Assis Viana. - Campina Grande, 2000.
127 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia.

1. Irrigação 2. Salinidade 3. Alface 4. Dissertação - Engenharia Agrícola I. Fernandes, Pedro Dantas II. Gheyi, Hans Raj III. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB) IV. Título

CDU 626.81/.84(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

COPEAG - PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRANDO

SÉRGIO BATISTA ASSIS VIANA

Título: "Estresse salino na germinação, fase de muda e produção de alface (*Lactuca sativa* L.)"

BANCA EXAMINADORA

PARECER

Pedro Dantas Fernandes
Dr. Pedro Dantas Fernandes-Orientador

Aprovado com distinção

Hans Raj Gheyi
Dr. Hans Raj Gheyi-Co-Orientador

Aprovado com distinção

José Francismar
Dr. José Francismar de Oliveira-Examinador

APROVADO COM DISTINÇÃO

Francisco Assis de Oliveira
Dr. Francisco Assis de Oliveira-Examinador

APROVADO COM DISTINÇÃO

Campina Grande, 28 de julho de 2000

Em memória de meu avô paterno Marcílio Alves

Viana, exemplo de sabedoria e paz interior.

Em memória dos entes Luís Calbeiros Neto, Carlos

Henrique e Marcelo dos Santos.

MINHA HOMENAGEM

A minha mulher Lúvia, que soube, pacientemente, apoiar-me nos momentos difíceis, durante o transcurso deste trabalho, e ao meu filho que está por nascer, a quem, ansiosamente, espero

DEDICO

Aos meus pais Raimundo e Josélia, exemplos de dedicação para com os filhos, aos quais devo minha formação moral e intelectual, bem como, aos meus irmãos Jaciara, Roger e Andréa.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A DEUS, por me fazer chegar, todos os meios necessários à realização deste trabalho.

Ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), pela oportunidade concedida à realização deste curso.

A Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa.

Ao Projeto Nordeste de Pós-Graduação – CAPES, pelo financiamento parcial da pesquisa.

Aos orientadores Dr. Pedro Dantas Fernandes e Dr. Hans Raj Gheyi, pelos ensinamentos dispensados durante o curso e redação deste trabalho, bem como, pela valiosa amizade.

A todos os professores do curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFPB, área de concentração em Irrigação e Drenagem, pelos conhecimentos técnicos/científicos repassados.

Ao pessoal do Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) pelo auxílio dispensado.

Ao professor da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) Dr. João Gil de Luna, pela orientação estatística.

Aos colegas de curso, em especial aos Eng. Agrônomos Lyndon Johnson R. Albuquerque, Paulo Torres Carneiro, Frederico Soares, Omar Cruz Rocha, Luis Nery Rodrigues, e à Engenheira florestal Maria Betânia Rodrigues Silva, pelo proveitoso convívio.

SUMÁRIO

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| LISTA DE FIGURAS | VII |
| LISTA DE TABELAS..... | IX |
| LISTA DE APÊNDICES..... | XI |
| RESUMO..... | XII |
| ABSTRACT | XIII |
| 1. INTRODUÇÃO | 14 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 17 |
| 2.1. A CULTURA DA ALFACE..... | 17 |
| 2.2. QUALIDADE DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO | 20 |
| 2.3. EFEITO DA SALINIDADE SOBRE AS PLANTAS..... | 24 |
| 2.3.1. <i>Efeito osmótico</i> | 25 |
| 2.3.2. <i>Efeito de íon específico: tóxico e nutricional</i> | 27 |
| 2.3.2.1. Efeitos de íon específico: tóxico | 27 |
| 2.3.2.2. Efeitos de íon específico: nutricional | 29 |
| 2.4. TOLERÂNCIA DAS PLANTAS À SALINIDADE | 32 |
| 2.4.1. <i>Generalidades</i> | 32 |
| 2.4.2. <i>Mecanismos de tolerância</i> | 34 |
| 2.4.3. <i>Determinação dos valores de tolerância à salinidade e à toxicidade</i> | 35 |
| 2.5. TOLERÂNCIA DA ALFACE À SALINIDADE | 41 |
| 2.6. ANÁLISE DE CRESCIMENTO..... | 45 |
| 2.6.1. <i>Taxa de Crescimento Absoluto (TCA)</i> | 46 |
| 2.6.2. <i>Taxa de Crescimento Relativo (TCR)</i> | 47 |
| 2.6.3. <i>Relação Raiz / Parte aérea (R/PA)</i> | 48 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS..... | 49 |
| 3.1. CULTIVO ESTUDADO E EXPERIMENTOS | 49 |
| 3.2. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL | 49 |
| 3.3. SOLO..... | 50 |
| 3.4. PREPARO DAS ÁGUAS DE IRRIGAÇÃO | 52 |
| 3.4. EXPERIMENTO I..... | 53 |
| 3.4.1. <i>Tratamentos e delineamento estatístico</i> | 53 |
| 3.4.2. <i>Instalação e condução do experimento</i> | 54 |
| 3.4.3. <i>Avaliações de germinação, vigor e desenvolvimento final das mudas</i> | 55 |
| 3.5. EXPERIMENTO II | 56 |
| 3.5.1. <i>Tratamentos e delineamento estatístico</i> | 56 |
| 3.5.2. <i>Recipientes</i> | 57 |
| 3.5.3. <i>Controle das irrigações e monitoramento da drenagem</i> | 57 |
| 3.5.4. <i>Preparo do solo e enchimento dos vasos</i> | 58 |
| 3.5.5. <i>Transplântio</i> | 60 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.5.6. Desbaste..... | 60 |
| 3.5.7. Controle de ervas daninhas..... | 60 |
| 3.5.8. Adubação..... | 60 |
| 3.5.9. Colheita..... | 61 |
| 3.5.10. Avaliação do crescimento da cultura..... | 62 |
| 3.5.11. Índices fisiológicos..... | 63 |
| 3.5.12. Análise do solo no fim do Experimento II..... | 63 |
| 3.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA..... | 64 |
| 3.6.1. Experimento I..... | 64 |
| 3.6.2. Experimento II..... | 64 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 65 |
| 4.1. EXPERIMENTO I..... | 65 |
| 4.1.1. Percentual de germinação (PG)..... | 65 |
| 4.1.2. Avaliação de vigor..... | 68 |
| 4.1.2.1. Índice de velocidade de emergência (IVE)..... | 68 |
| 4.1.2.2. Avaliação de crescimento aos 7 e 14 dias após semeadura (DAS)..... | 69 |
| 4.1.3. Avaliação final das mudas aos 46 dias após semeadura (DAS)..... | 76 |
| 4.2. EXPERIMENTO II..... | 80 |
| 4.2.1. Desenvolvimento vegetativo da alface..... | 80 |
| 4.2.1.1. Número de folhas (NF)..... | 80 |
| 4.2.1.2. Fitomassa verde (FVPA) e seca (FSPA) da parte aérea..... | 85 |
| 4.2.1.3. Percentagem de matéria seca da parte aérea (PMS)..... | 87 |
| 4.2.1.4. Variáveis avaliadas ao final do ciclo..... | 90 |
| 4.2.1.4.1. Fitomassa seca de raiz (FSR) aos 30 DAT..... | 90 |
| 4.2.1.4.2. Fitomassa seca total (FST) aos 30 DAT..... | 92 |
| 4.2.1.4.3. Diâmetro médio da cabeça (DM) aos 30 DAT..... | 93 |
| 4.2.1.5. Índices fisiológicos..... | 95 |
| 4.2.1.5.1. Taxa de crescimento absoluto (TCA)..... | 95 |
| 4.2.1.5.2. Taxa de crescimento relativo (TCR)..... | 97 |
| 4.2.1.5.3. Relação raiz / parte aérea (R/PA)..... | 99 |
| 4.2.2. Efeitos da salinidade sobre o crescimento da alface..... | 102 |
| 4.2.3. Tolerância relativa da alface à salinidade..... | 107 |
| 4.2.3.1. Fases fenológicas..... | 107 |
| 4.2.3.2. Rendimento final (em termos de fitomassa verde da parte aérea)..... | 109 |
| 5. CONCLUSÕES..... | 112 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 114 |
| 7. APÊNDICES..... | 126 |

LISTA DE FIGURAS

| Figura | Página |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1 Curva de retenção de água no solo..... | 51 |
| 2 Disposição das camadas de material usado no preenchimento dos vasos | 59 |
| 3 Curvas de regressão significativas para percentagem de germinação em função da salinidade da água de irrigação aos 7, 10 e 14 dias após semeadura (DAS) da alface | 67 |
| 4 Curvas de regressão significativas para número de folhas (NF); comprimento de raiz (CR); fitomassa seca da parte aérea (FSPA) e de raiz (FSR); fitomassa seca total (FST) e índice de velocidade de emergência (IVE), em função da salinidade da água de irrigação aos 7 e 14 dias após semeadura (DAS) da alface | 75 |
| 5 Curvas de regressão significativas para número de folhas (NF); comprimento de raiz (CR); fitomassa seca da parte aérea (FSPA); de raiz (FSR) e total (FST), em função da salinidade da água de irrigação aos 46 dias após semeadura (DAS) da alface | 79 |
| 6 Curvas de regressão significativas para número de folhas (NF) em função da salinidade da água de irrigação aos 10, 20 e 30 dias após o transplantio (DAT) da alface | 83 |
| 7 Evolução do número de folhas (NF) da alface para cada nível de CEa e tipo de muda, em função dos dias após o transplantio (DAT) | 84 |
| 8 Curvas de regressão significativas para as variáveis fitomassa verde (FVPA) e seca (FSPA) da parte aérea da alface, em função da salinidade da água de irrigação, aos 10, 20 e 30 dias após o transplantio (DAT) | 88 |
| 9 Evolução da fitomassa verde (FVPA) e seca (FSPA) da parte aérea da alface para cada nível de CEa e tipo de muda, em função dos dias após o transplantio (DAT) | 88 |
| 10 Curva de regressão significativa para percentagem de matéria seca da parte aérea (PMS) no tratamento M ₁ , em função da salinidade da água de irrigação, aos 20 dias após o transplantio (DAT) da alface | 90 |
| 11 Curvas de regressão significativas para fitomassa seca de raiz (FSR), total (FST), e diâmetro médio da cabeça (DM) da alface, em função da salinidade da água de irrigação, aos 30 dias após o transplantio (DAT) | 95 |

| Figura | Página |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 12 | Curvas de regressão significativas para taxa de crescimento absoluto (TCA) do transplântio à colheita (0-30 DAT); taxa de crescimento relativo (TCR) de 0-10 e 10-20 DAT e relação raiz/parte aérea (R/PA) da alface aos 30 DAT 101 |
| 13 | Evolução da taxa de crescimento absoluto (TCA) e relativo (TCR) para cada nível de CEa e tipo de muda, em função dos dias após o transplântio (DAT) da alface 102 |
| 14 | Evapotranspiração relativa média (a) e por terço do ciclo (b) da alface em função da salinidade da água de irrigação (CEa); evapotranspiração relativa (c) por terço do ciclo para cada nível do fator tipo de muda (M) 106 |
| 15 | Regressão entre condutividade elétrica do extrato de saturação e da água de irrigação no final do ciclo (a), condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) e pressão osmótica do solo na capacidade de campo (b) e temperatura foliar da alface em função da condutividade elétrica da água de irrigação (c) 107 |
| 16 | Rendimento relativo de <u>fitomassa seca da parte aérea</u> da alface, cv. Elba, nos primeiros dias após a semeadura (vigor), na fase de muda (46 dias após a semeadura - DAS), e aos 10, 20 e 30 dias após o transplante (DAT) 108 |
| 17 | Rendimento relativo da alface (<u>fitomassa verde da parte aérea</u>) em função da condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) no fim do ciclo (a); fator de concentração de sais no solo e lâmina de lixiviação média do ciclo para cada nível do fator “salinidade da água de irrigação” (b); rendimento relativo da alface em função da condutividade elétrica da água de irrigação – CEa (c) 111 |

LISTA DE TABELAS

| Tabela | Página |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1 Classificação de água de irrigação quanto ao risco de salinidade | 23 |
| 2 Riscos de problemas de infiltração no solo causados pela sodicidade da água | 23 |
| 3 Riscos de toxicidade de sódio, cloreto e boro na água de irrigação | 23 |
| 4 Classificação da tolerância relativa à salinidade | 37 |
| 5 Níveis de tolerância das culturas ao boro na água de irrigação | 39 |
| 6 Tolerância relativa das plantas ao boro na água de irrigação | 39 |
| 7 Tolerância relativa das culturas ao sódio trocável | 40 |
| 8 Níveis de tolerância das plantas ao cloreto na água de irrigação | 41 |
| 9 Valores médios para as variáveis vegetativas, obtidos por Silva <i>et al.</i> (1999) | 42 |
| 10 Características químicas do material de solo utilizado no experimento | 50 |
| 11 Características físico-hídricas do material de solo utilizado no experimento | 51 |
| 12 Valores de sais e água utilizados no preparo das soluções de irrigação | 52 |
| 13 Resultados de análise química da água do sistema de abastecimento – CAGEPA (Boqueirão)..... | 53 |
| 14 Estimativa da necessidade de lixiviação média a ser utilizada no Experimento II, conforme equação apresentada por Rhoades (1974) | 58 |
| 15 Calendário de adubação utilizado no Experimento II | 61 |
| 16 Resumo de ANAVA e médias para percentagem de germinação da alface nas três épocas de avaliação, aos 7, 10 e 14 dias após semeadura (DAS) | 67 |
| 17 Resumo de ANAVA e médias para índice de velocidade de emergência (IVE), número de folhas (NF), comprimento de raiz (CR), fitomassa seca da parte aérea (FSPA), de raiz (FSR) e fitomassa seca total (FST), relativos aos dados obtidos em duas épocas (E), 7 e 14 dias após a semeadura (DAS) da alface..... | 73 |
| 18 Acréscimo percentual de 7 para 14 DAS em cada nível salino, conforme as respectivas equações de regressão, obtidas para a alface..... | 73 |

| Tabela | Página |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 19 Relação raiz/parte aérea da alface (%) em função dos níveis de salinidade aos 7 e 14 DAS..... | 73 |
| 20 Teste de paralelismo entre as curvas obtidas para a alface aos 7 e 14 DAS, segundo metodologia descrita por Graybill (1976) | 73 |
| 21 Desdobramento da interação e médias para fitomassa seca da parte aérea (FSPA), de raiz (FSR) e fitomassa seca total (FST) aos 7 (E ₁) e 14 (E ₂) dias após semeadura (DAS) da alface | 74 |
| 22 Resumo de ANAVA e médias para número de folhas (NF), comprimento de raiz (CR), fitomassa seca da parte aérea (FSPA), de raiz (FSR) e fitomassa seca total (FST), aos 46 dias após semeadura (DAS) da alface..... | 78 |
| 23 Resumo de ANAVA e análise de regressão para número de folhas (NF) em épocas distintas do ciclo, aos 10, 20 e 30 dias após o transplantio (DAT) da alface | 83 |
| 24 Resumo de ANAVA e médias para fitomassa verde (FVPA) e seca (FSPA) da parte aérea, em três épocas do ciclo da alface, aos 10, 20 e 30 dias pós transplante (DAT) | 87 |
| 25 Resumo de ANAVA e médias para percentagem de matéria seca da parte aérea, em distintas épocas do ciclo da alface – 10, 20 e 30 dias pós transplante (DAT) ... | 89 |
| 26 Desdobramento da interação e médias para percentagem de matéria seca da parte aérea (PMS), aos 20 dias após o transplantio (DAT) da alface | 90 |
| 27 Resumo de ANAVA e médias para fitomassa seca de raiz (FSR), matéria seca total (FST) e diâmetro média da cabeça (DM) aos 30 dias após o transplantio da alface | 94 |
| 28 Resumo de ANAVA e médias para taxa de crescimento absoluto (TCA) e relativo (TCR) em três intervalos distintos do ciclo da alface e TCR média (TCR _m), bem como, relação raiz/parte (R/PA) aérea aos 30 dias após o transplantio (DAT) | 100 |
| 29 Resultados de análise do extrato de saturação do solo no final do ciclo | 106 |
| 30 Temperatura média foliar da alface, no terço final do ciclo (termômetro infravermelho) | 107 |

LISTA DE APÊNDICES

| Apêndice | Página |
|--------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1 Sequência de cálculo utilizada no preparo das águas de irrigação | 126 |
| 2 Volume de drenagem coletado por recipiente no Experimento 1 | 127 |

RESUMO

O manejo incorreto da irrigação tem ocasionado acúmulo de sais solúveis nos solos, com efeitos, quase sempre negativos, na maioria das culturas, sobretudo, as hortaliças, de modo geral classificadas como sensíveis ao estresse salino. São inexistentes estudos sobre tolerância à salinidade, com as cultivares de alface (*Lactuca sativa* L.) mais plantadas na região. Nesse sentido, foram conduzidos dois experimentos, com a cultivar de alface 'Elba', a mais plantada na área polarizada por Campina Grande-PB. No primeiro experimento, realizado em casa-de-vegetação, no delineamento inteiramente casualizado, estudou-se o efeito de seis níveis de salinidade da água de irrigação - CEa (0,3, 1,0, 1,7, 2,4, 3,1 e 3,8 dS.m⁻¹), sobre germinação, vigor e produção de mudas. No segundo experimento, conduzido em vasos sob proteção de cobertura plástica, foram testados, do transplântio à colheita, cinco níveis de CEa (0,3, 1,0, 1,7, 2,4, 3,1 dS.m⁻¹) em mudas produzidas sob condições de baixa (CEa de 0,3 dS.m⁻¹) e alta salinidade (CEa de 3,1 dS.m⁻¹), em delineamento inteiramente casualizado e no esquema fatorial 5x2. No preparo das águas de irrigação, utilizou-se a proporção 7:2:1, respectivamente para Na:Ca:Mg. Os resultados obtidos permitem concluir que na germinação da alface, a salinidade prejudica mais a velocidade de emergência (IVE), que o percentual de germinação (PG); os valores críticos de CEa, a partir dos quais, ocorre decréscimo de PG e IVE, comparados ao nível mais baixo de salinidade estudado (0,3 dS.m⁻¹), são 2,81 e 2,42dS.m⁻¹, respectivamente; o crescimento vegetativo da parte aérea, decresce, linearmente, com o incremento da CEa além de 0,3 dS.m⁻¹; o efeito da salinidade, no início e no final do ciclo, é mais intenso sobre as raízes, porém, na fase de muda, é mais severo sobre a parte aérea; a utilização de água de CE igual a 3,1 dS.m⁻¹, na produção de muda, não tem influência posterior sobre o rendimento da alface, porém, inibe o crescimento radicular; o rendimento final da cultivar estudada, decresce 9% para cada incremento unitário de CEa; baseado na taxa de decréscimo relativo de rendimento (valor b), por incremento unitário de salinidade no solo (CEes), que foi de 6,1%, conclui-se que a cultivar de alface 'Elba', nas condições do presente estudo, tem maior tolerância à salinidade, que o reportado na literatura para alface.

PALAVRAS-CHAVE: salinidade, irrigação, vigor.

SALINITY STRESS IN GERMINATION, SCION STAGE AND ON PRODUCTION OF LETTUCE (*Lactuca sativa* L.)

ABSTRACT

The inadequate management of the irrigation may cause accumulation of soluble salts in soils which affects almost always negatively most of the crops, above all, the vegetables that are sensitive to the saline stress. Studies on tolerance of salinity on locally grown lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivars are inexistent; in that sense, two experiments were conducted with cultivar of lettuce 'Elba', the most planted in Campina Grande/PB region. In Experiment I, accomplished in greenhouse, in a completely randomized design the effect of six levels of salinity of the irrigation water - EC_w (0.3, 1.0, 1.7, 2.4, 3.1 and 3.8 dS.m⁻¹) was studied on the germination, vigor, scion and production of lettuce. In the second experiment, conducted in pots under plastic protection, also in a completely randomized factorial 5x2 design, effects of five levels of EC_w (0.3, 1.0, 1.7, 2.4, 3.1 dS.m⁻¹) in scion of lettuce 'Elba', produced under low (EC_w 0.3 dS.m⁻¹) and high (EC_w 3.1 dS.m⁻¹) salinity conditions were tested from transplanting to harvest. In the irrigation waters the equivalent proportion of Na:Ca:Mg was maintained as 7:2:1 respectively. The results obtained allow to affirm that in the germination of lettuce, the salinity affects more the vigor index (VI) than the percentage of germination (PG); the critical values of EC_w, which cause decrease in PG and VI, compared to lowest level of salinity (0.3 dS.m⁻¹) are of 2.81 and 2.42 dS.m⁻¹, respectively; the vegetative growth of the aerial parts decreased linearly with the increase of EC_w above 0.3 dS.m⁻¹; the effect of the salinity, in the beginning and in the end of the growth cycle were found to be more intense on the roots, but in scion phase the effects were more severe on the aerial parts. The use of water of EC of 3.1 dS.m⁻¹ in scion production did not show posterior influence on lettuce production though inhibited the root growth. The production of studied cultivar decreases 9% for each unit increase of EC_w. Based on concept of relative decrease of production (value b), for unit increase of soil salinity (EC_{se}), such decrease was 6.1%, it is concluded that cultivar 'Elba' of lettuce, under the conditions of the present study has higher tolerance to the salinity than that reported in the literature.

KEY-WORDS: salinity, irrigation, vigor

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por alimentos tornou o uso da irrigação imperativo em todo o mundo, sobretudo, nas regiões de clima semi-árido, como as do Nordeste brasileiro, onde ocorre déficit hídrico na maior parte do ano. É imprescindível o uso de irrigação nessas áreas, para se garantir uma boa produção agrícola, principalmente de cultivos exigentes em água, como é o caso da alface (*Lactuca sativa* L.).

De fato, a irrigação tem viabilizado a produção agrícola em muitas regiões de clima semi-árido, onde o regime pluvial não permite o desenvolvimento de uma agricultura de sequeiro, em bases empresariais. Entretanto, é necessário se considerar que a água de irrigação contém sais solúveis e seu uso indevido, na ausência de lixiviação, tem provocado a salinização de solos, reduzindo o crescimento e desenvolvimento das plantas (Fageria *et al.*, 1981). Embora a irrigação seja prática milenar, a preocupação com a qualidade da água só começou a ser reconhecida a partir do início deste século (Wilcox & Durum, 1967; Shainberg & Oster, 1978; Araguez Lafarga, 1982).

A salinização é o processo pelo qual sais solúveis se acumulam no solo, sobretudo, na zona do sistema radicular (Richards, 1954), afetando o rendimento dos cultivos por baixar o potencial osmótico da solução do solo, causando estresse hídrico, também por provocar problemas de toxicidade e alterar a nutrição das plantas (Fageria, 1989).

Conforme Postel (1989), um quarto de toda a área irrigada do mundo encontra-se seriamente afetada por sais, agravando-se a cada ano, especialmente nos locais onde a irrigação é praticada sem manejo adequado de água e solo. No Brasil, são aproximadamente nove milhões de hectares, cobrindo sete Estados. Na Bahia está a maior

área de solos afetados por sais do país (cerca de 44% do total), seguido pelo Ceará, com aproximadamente 25,5% (Fageria & Gheyi, 1997), localizando-se a maior parte nos projetos de irrigação situados no “Polígono das Secas”.

Em diversos países, as áreas salinizadas vem sendo exploradas com sucesso, graças à utilização de espécies tolerantes à salinidade e à adoção de práticas adequadas de manejo da cultura, do solo e da água (Araújo Filho, 1995). Fageria (1989) enfatiza a importância da utilização de culturas tolerantes à salinidade, como uma das soluções para a reincorporação de áreas salinizadas ao cenário produtivo; com esse objetivo, são necessários estudos que visem à obtenção de genótipos tolerantes à salinidade e à identificação de espécies e variedades adaptadas a essas condições.

Estudos sobre os efeitos da salinidade no rendimento das culturas têm sido realizados por vários autores (Maas & Hoffman, 1977; Maas, 1986; Ayers & Westcot, 1991). Conforme Maas & Hoffman (1977), a alface sofre decréscimo de rendimento, da ordem de 13%, por incremento unitário de salinidade, quando a condutividade elétrica do extrato de saturação excede a $1,3 \text{ dS.m}^{-1}$, sendo considerada como “moderadamente sensível”. Vale ressaltar, entretanto, que essa classificação é relativa, por depender das condições ambientais e da planta, inclusive podendo variar entre cultivares de uma mesma espécie (Maas & Hoffman, 1976; 1977).

No Brasil, apesar da importância da alface que, já em 1986, era a sexta hortaliça em valor de produção, e a oitava em termos de volume produzido (Nadal *et al.*, 1986), são poucos os trabalhos de pesquisa envolvendo os efeitos do estresse salino em alface. Em condições do Nordeste brasileiro, onde as cultivares do grupo de alface “crespa solta” são as mais consumidas, não se encontrou, na literatura disponível, qualquer referência a resultados de pesquisa envolvendo aspectos de salinidade nessa cultura. Os poucos estudos existentes em nível nacional, relacionados a estresse salino, foram recentemente realizados na região sul (Ferreira *et al.*, 1998; Blanco *et al.*, 1999; Silva *et al.*, 1999; Gervásio, 2000), onde além de serem distintas, as condições ambientais, também diferentes são as variedades cultivadas, predominando naquela região do país o cultivo de alface do “grupo manteiga” (Filgueira, 1982). Vale ressaltar que não foi encontrada, na literatura disponível, qualquer referência sobre a germinação da alface em condições de estresse salino.

Diante da carência de resultados de pesquisa com a cultura da alface, sobretudo na região Nordeste, este trabalho se propôs a estudar o efeito da salinidade da água de irrigação sobre o comportamento da cultivar de alface 'Elba' - a mais plantada na região de Campina Grande/PB - desde a germinação, vigor, produção de mudas e sobre o rendimento final, a partir de mudas produzidas com e sem estresse salino.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cultura da alface

A alface, botanicamente classificada como *Lactuca sativa L.* e pertencente à família das Cichoriáceas (Sonnenberg, 1985), é originária do Egito, sendo conhecida desde 4500 anos antes de Cristo (Ryder, 1979). Do Egito, a cultura passou à Grécia e depois à Roma, onde adquiriu popularidade (Gardé & Gardé, 1981). No Brasil a alface chegou no século XVI, através dos portugueses (IAC, 1998).

Trata-se de uma planta anual, herbácea, muito delicada, com um caule diminuto, não ramificado, ao qual se prendem as folhas. Estas são grandes, lisas ou crespas, fechando-se ou não na forma de uma “cabeça”. Sua coloração varia do verde-amarelada até a verde-escura, sendo que algumas cultivares apresentam as margens arroxeadas. As raízes são do tipo pivotante, podendo atingir até 60 cm de profundidade, porém, apresentam ramificações delicadas, finas e curtas, explorando apenas os primeiros 25 cm de solo. A fase vegetativa de seu ciclo se encerra quando a planta atinge o maior desenvolvimento em suas folhas, quando então, a planta emite uma haste floral, que alcança 100 cm de altura, terminando por uma inflorescência ramificada, com numerosas flores hermafroditas. Para o pendoamento são necessários temperaturas elevadas e dias longos (Filgueira, 1982).

Segundo Maroto-Borrego (1983) e Camargo (1992), a alface é uma excelente fonte de vitamina A, possuindo ainda as vitaminas B₁, B₂, B₅ e C, além dos minerais Ca, Fe, Mg, P, K e Na, cujos teores variam de acordo com a cultivar.

As cultivares comerciais são reunidas em diferentes grupos, segundo o aspecto das folhas (crespas ou lisas) e o fato de as mesmas se reunirem ou não para

formarem cabeça repolhuda; as do grupo manteiga apresentam folhas lisas e formam cabeça: Elisa, Regina, Brasil 303, Floresta, Áurea, Aurélia, Babá, Carolina, Monalisa, Minie; as cultivares do grupo de folhas crespas têm folhas crespas e não formam cabeça: Grand Rapids, Verônica, Brisa, Elba (inverno) e Vanessa (verão); as do grupo de alface americana possuem folhas grossas e formam cabeça: Great Lakes, Mesa, Salinas, Tainá, Lorca; as do grupo romana apresentam folhas tipicamente alongadas, duras, com nervuras claras e protuberantes, formam uma cabeça fofa, alongada: Corsica, Lente a Monter, Lucy Brown, Niner, Rider e Trianon (CATI, 1997; IAC, 1998).

A alface é uma hortaliça que se adapta bem em climas frios. Temperatura amena é um fator importante ao seu desenvolvimento, com certa tolerância a geadas leves (Seabrook, 1983; Filgueira, 1982; CATI, 1997). Para Filgueira (1982), temperaturas amenas são essenciais durante toda a fase vegetativa do ciclo, especialmente durante o desenvolvimento da cabeça. Baixas temperaturas noturnas (inferiores a 15°C) são mais importantes que as diurnas para um bom rendimento (Filgueira, 1982; CATI, 1997).

O fotoperíodo, ou comprimento do dia, é também importante. A alface exige dias curtos na fase de crescimento vegetativo e dias longos na fase de emissão do pendão floral e inflorescência (CATI, 1997). Sabe-se, porém, que os valores críticos, para temperatura e fotoperíodo, variam amplamente entre as cultivares, o que é explorado em trabalhos de melhoramento genético, buscando-se valores críticos elevados para florescimento, obtendo-se, assim, cultivares também adaptáveis às condições de verão. Note-se que, independentemente da tolerância genética a temperaturas elevadas, todas as cultivares produzem melhor no outono-inverno (Filgueira, 1982).

Sendo o seu ciclo vegetativo muito curto, a cultura de alface necessita de solo com boa disponibilidade de nutrientes e umidade, devendo-se evitar solos encharcados ou impermeáveis (CATI, 1997). A espécie não tolera acidez no solo, exigindo pH entre 6,0-6,8 para boa produção; devido à delicadeza de seu sistema radicular, produz melhor em solos areno-argilosos, bem soltos, ricos em matéria orgânica e com alta disponibilidade de nutrientes (Filgueira, 1982).

Experimentalmente tem sido constatado ser o nitrogênio o nutriente que promove maior incremento de produtividade. Também o fósforo favorece o bom rendimento, porém, em menor intensidade. A interação N-P geralmente é significativa,

recomendando-se o emprego conjunto desses elementos para uma maior produção. Contrariamente, potássio não tem elevado o rendimento, tanto isoladamente como em combinação N-P-K (Filgueira, 1982).

Devido ao fato de a alface ser uma das hortaliças mais exigentes em água, a irrigação é o trato cultural mais importante, devendo ser efetuada diariamente, quando não houver chuva, independente do método de irrigação utilizado (CATI, 1997). A umidade no solo deve ser mantida elevada durante todo o ciclo cultural, inclusive na colheita (Filgueira, 1982). Manter os canteiros limpos de qualquer outra vegetação, seja por meios mecânicos ou químicos (herbicidas), é também fator de sucesso para esta cultura, pois como espécie de ciclo curto, qualquer concorrência se faz muito prejudicial ao seu rendimento (CATI, 1997). Filgueira (1982) recomenda que as capinas, manuais ou mecânicas, sejam efetuadas superficialmente, de modo a se prevenir danos ao sistema radicular, sabidamente superficial. O controle de pragas e doenças, com uso adequado de defensivos, também faz parte dos tratos culturais necessários ao bom rendimento desta cultura.

A colheita deve ser efetuada quando a planta atingir o máximo desenvolvimento, porém, com as folhas ainda tenras sem indícios de florescimento. A precocidade depende especialmente da cultivar, ocorrendo a colheita cerca de 70 a 90 dias após a semeadura (sementeira), sendo a cultura de verão mais precoce que a de inverno (Filgueira, 1982). Os rendimentos são variáveis, dependendo de diferentes fatores como variedade, estação do ano e tratos culturais, especialmente, irrigação. No entanto, pode-se tomar como base um rendimento de 20 a 28 Mg.ha⁻¹ para as variedades repolhudas e 30 a 40 Mg.ha⁻¹ para as alfaces romanas (Gardé & Gardé, 1981). De acordo com CATI (1997), a produtividade, em geral, pode variar entre 20 e 40 Mg.ha⁻¹.

No mercado nacional, a alface é a sexta hortaliça em ordem de importância econômica (valor da produção) e a oitava em termos de volume produzido (Nadal *et al.*, 1986).

Indubitavelmente, o grupo Repolhuda Manteiga é o preferido, nos mercados do Centro-sul. O melhor tipo comercial apresenta 15-17 cm de diâmetro transversal e cerca de 10 cm, longitudinalmente, pesando 400 g, com coloração verde-amarelada, sendo a cabeça repolhuda, bem compacta (Filgueira, 1982).

2.2. Qualidade de água para irrigação

A água é essencial para os seres vivos e fator de fundamental importância para a produção de alimentos, especialmente sob condições irrigadas.

Muito embora a irrigação venha sendo praticada há vários milênios, a importância da qualidade da água só começou a ser reconhecida a partir do início deste século (Wilcox & Durum, 1967; Shainberg & Oster, 1978; Araguczlafarga, 1982). Segundo Ayers & Westcot (1991), a desatenção a este aspecto se deveu à abundância de fontes de água que, no geral, eram de boa qualidade e de fácil utilização; esta situação, porém, está mudando em muitos lugares, em decorrência de aumento do consumo, tendo-se que recorrer ao uso de águas de qualidade inferior, tornando-se necessários cuidados qualitativos em sua avaliação.

Todas as águas naturais contêm sais solúveis, em quantidades e proporções variáveis, independentemente de sua origem. Assim, qualquer adição de água ao solo, quer seja por ascensão capilar do lençol freático ou pela irrigação, implica, necessariamente, na adição de sais ao perfil. Portanto, se não for manejada corretamente, a água de irrigação, mesmo de excelente qualidade, pode-se tornar um importante fator de salinização do solo (Reeve & Fireman, 1967; Molen, 1974; Pizarro, 1985).

De acordo com Doneen (1975), Medeiros (1992) e Shalhevct & Kamburov (1976), a água de irrigação apresenta, na maioria das vezes, uma composição química constituída de sais de sódio, cálcio, magnésio e potássio, na forma de cloretos, sulfatos, bicarbonatos e carbonatos, os quais podem apresentar diferentes proporções, dependendo da fonte de água, de sua localização geográfica, época de coleta, *etc.* Porém, apesar de diversos fatores influenciarem a quantidade e composição de sais das águas utilizadas em irrigação, as variações não são muito acentuadas em uma determinada região (Medeiros, 1998).

Leprun (1983) relata que nas condições do Nordeste brasileiro, a composição iônica média das diferentes fontes é a seguinte: $Na > Ca > ou < Mg > K$ e $Cl > HCO_3 > SO_4$, tendo as águas de açudes e poços uma relação $Ca/Mg > 1$, ao passo que para as de cacimbões e rios esse valor é menor que 1.

A adequabilidade da água para irrigação depende tanto de sua própria qualidade quanto de fatores relacionados com as condições de uso (Wilcox & Durum, 1967). Assim, uma mesma classe de água de irrigação pode ser considerada perfeitamente adequada para um certo tipo de solo ou cultura e inadequada para outros (Hoorn, 1971).

Além das características físico-químicas da água, outros fatores devem ser levados em consideração e analisados em conjunto quando de sua avaliação e recomendação de uso para irrigação. Entre estes fatores, podem ser apontados o manejo da irrigação e drenagem, as características do solo, a tolerância das culturas a serem exploradas e as condições climáticas locais (Logan, 1965; Palacios & Aceves, 1970; Rhoades, 1972; Kovda *et al.*, 1973; Christiansen *et al.*, 1977; Frenkel, 1984). Segundo Bernardo (1995), a qualidade da água para irrigação nem sempre é definida com perfeição. Muitas vezes, sob o título de “qualidade da água”, o assunto se refere à salinidade, relacionada à quantidade de sólidos dissolvidos, expressa em miligramas por litros, partes por milhão ou por meio de sua condutividade elétrica. Porém, para que se possa fazer correta interpretação da qualidade de água para irrigação, os parâmetros analisados devem estar relacionados com seus efeitos sobre a cultura, sobre o solo e manejo da irrigação, todos eles necessários para se controlar ou compensar os problemas relacionados com a salinidade.

Na avaliação de sua qualidade para irrigação, de modo geral, a água deve ser analisada em relação a cinco parâmetros básicos: concentração total de sais (salinidade); proporção relativa de sódio, em relação a outros cátions (sodicidade); concentração de elementos tóxicos; concentração de carbonatos e bicarbonatos, além do aspecto sanitário (Bernardo, 1995). O efeito principal da salinidade é de natureza osmótica, podendo afetar diretamente o rendimento das culturas. A sodicidade se refere ao efeito relativo do sódio da água de irrigação, tendendo a elevar a percentagem de sódio trocável no solo (PST), com danos nas propriedades físico-químicas, provocando problemas de infiltração. A toxicidade diz respeito ao efeito específico de certos íons sobre as plantas, afetando o rendimento, independente do efeito osmótico. Em alguns casos, o efeito iônico pode se manifestar na forma de desequilíbrio nutricional (Holanda & Amorim, 1997).

As determinações mais usuais são: acidez; condutividade elétrica; cálcio; magnésio; sódio; potássio; cloreto; sulfato; carbonato; bicarbonato; boro; total de sólidos

dissolvidos; relação de adsorção de sódio; percentagem de sódio solúvel; soma de cátions; soma de ânions (Bernardo, 1995; Holanda & Amorim, 1997).

De acordo com Rhoades & Lovcday (1990), a adequabilidade de uma água para irrigação vem sendo avaliada levando-se em conta as condições específicas de uso, incluindo o desenvolvimento das culturas, propriedades do solo, manejo da irrigação, práticas culturais e fatores climáticos. No entanto, o método mais recente para avaliação da adequabilidade de uma água para irrigação consiste em: (a) predizer a composição e o potencial mátrico da água do solo, no tempo e no espaço, resultante da irrigação e do cultivo e (b) interpretar tais informações em termos de como as condições de solo são afetadas e, ainda, como a cultura responde a tais condições sob determinadas variáveis climáticas.

Segundo Rhoades *et al.* (1992), as condições de equilíbrio não ocorrem na maioria das situações encontradas na agricultura irrigada. Nesse caso, são necessários modelos dinâmicos complexos (Bresler & Hoffman, 1986; Letey & Dinar, 1986; Bresler, 1987; Letey *et al.*, 1990) para levar em conta todas as variáveis; porém, segundo Rhoades *et al.* (1992), a maioria dos dados de entrada, requeridos por estes modelos, são geralmente indisponíveis para muitas aplicações práticas; existem, ainda, muitas incertezas a respeito de como relacionar a resposta das culturas à salinidade e ao potencial mátrico variando no tempo e no espaço, tal como pode ser previsto por tais modelos. Em função dessas limitações, modelos conceitualmente inferiores, como para condições de equilíbrio, podem ser mais apropriados para avaliar a adequabilidade da água para irrigação. Esses modelos simplificados, provavelmente, fornecem a pior situação que resultaria da irrigação com uma determinada água. Rhoades & Lovcday (1990) e Rhoades *et al.* (1992), recomendam um modelo para condições de equilíbrio relativamente simples, denominado "Watsuit", que avalia a adequabilidade da água para irrigação sob uma condição expressiva de referência (equilíbrio dinâmico), considerando a provável pior situação que resultaria de seu uso.

Usualmente, a água de irrigação é classificada em relação a três parâmetros, sendo o primeiro relacionado ao risco de salinidade, vindo, depois, o de sodicidade ou de problemas de infiltração e, por último, o risco de toxicidade por íons específicos. Medeiros & Gheyi (1994) enfatizam a necessidade do desenvolvimento de um sistema de classificação de água, próprio para as condições brasileiras, como medida para se ter um

prognóstico seguro de seu efeito quando usada em irrigação; enquanto isso não ocorre, sugerem que, para classificação quanto a salinidade, seja utilizada a proposição do UCCC (University of California Committee of Consultants), citada em Frenkel (1984) e Pizarro (1985), por não ser tão conservadora como a de Richards (1954) e tão pouco genérica como a de Ayers & Westcot (1991). Com respeito à sodicidade ou aos problemas de infiltração e à toxicidade iônica, as diretrizes apresentadas por Ayers & Westcot (1991) são adequadas. As referidas proposições de classificação quanto ao risco de salinidade e sodicidade encontram-se nas Tabelas 1 e 2, respectivamente. As diretrizes com respeito à toxicidade iônica encontram-se na Tabela 3 e no item 2.4.3.2. (Tolerância à toxicidade por íons específicos).

Tabela 1. Classificação de água de irrigação quanto ao risco de salinidade.

| Classe de salinidade | Richards (1954) | UCCC | Risco de salinidade | Ayers & Westcot (1991) | Problema de salinidade |
|----------------------|-------------------------------------|-------------|---------------------|-------------------------------------|------------------------|
| | Faixas de CEa (dS.m ⁻¹) | | | Faixas de CEa (dS.m ⁻¹) | |
| C ₁ | < 0,25 | < 0,75 | Baixo | < 0,7 | Nenhum |
| C ₂ | 0,25 – 0,75 | 0,75 – 1,50 | Médio | 0,7 – 3,0 | Moderado |
| C ₃ | 0,75 – 2,25 | 1,50 – 3,00 | Alto | > 3,0 | Severo |
| C ₄ | > 2,25 | > 3,00 | Muito alto | - | - |

Fonte: Ayers & Westcot (1991).

Tabela 2. Riscos de problemas de infiltração no solo causados pela sodicidade da água.

| RAS (mmol L ⁻¹) ^{0,5} | Grau de restrição | | |
|--------------------------------------------|---------------------------|--------------------|-------------------|
| | Nenhum | Ligeira e moderada | Problemas severos |
| | CEa (dS.m ⁻¹) | | |
| 0 – 3 | > 0,7 | 0,7 – 0,2 | < 2,0 |
| 3 – 6 | > 1,2 | 1,2 – 0,3 | < 0,3 |
| 6 – 12 | > 1,9 | 1,9 – 0,5 | < 0,5 |
| 12 – 20 | > 2,9 | 2,9 – 1,3 | < 1,3 |
| 20 – 40 | > 5,0 | 5,0 – 2,9 | < 2,9 |

Fonte: Ayers & Westcot (1991).

Tabela 3. Riscos de toxicidade de sódio, cloreto e boro na água de irrigação.

| Íon específico (afeta culturas sensíveis) | Unidade | Grau de restrição para uso | | |
|----------------------------------------------|---------------------|----------------------------|--------------------|--------|
| | | Nenhum | Ligeira a moderada | Severa |
| Sódio, irrigação por superfície | RAS | < 3 | 3 – 9 | > 9 |
| Sódio, irrigação por aspersão | meq.L ⁻¹ | < 3 | > 3 | - |
| Cloreto, irrigação por superfície | meq.L ⁻¹ | < 4 | 4 – 10 | > 10 |
| Cloreto, irrigação por aspersão | meq.L ⁻¹ | < 3 | > 3 | - |
| Boro | meq.L ⁻¹ | < 0,7 | 0,7 – 3,0 | > 3,0 |

Fonte: adaptado de Ayers & Westcot (1991).

2.3. Efeito da salinidade sobre as plantas

Quanto aos efeitos sobre as plantas, salinidade se refere às concentrações tão elevadas de sais solúveis que afetam as propriedades da solução do solo à qual as raízes estão expostas, especificamente reduzindo o potencial osmótico (Wyn Jones e Gorham, 1983¹, citados por Lauchli & Epstein, 1990). Sodiedade se refere, em particular, à elevada concentração de íons de Na⁺ no solo, em relação a outros íons. A distinção entre salinidade e sodiedade é pertinente, todavia, o termo salinidade é freqüentemente usado como termo genérico, abrangendo ambas as condições (Lauchli & Epstein, 1990).

A salinidade exerce uma variedade de efeitos sob o desenvolvimento das plantas e qualidade da produção, dependendo de fatores tais como, natureza e quantidade de sais solúveis, espécie, cultivar e sua tolerância à salinidade, estágio de desenvolvimento da cultura, condições atmosféricas, em função de seus efeitos na taxa de evapotranspiração, além do manejo de irrigação (Ingvalson *et al.*, 1976; Korkor & Hillal, 1976).

Para Richards (1954), os sais podem afetar o desenvolvimento das plantas devido à sua concentração na solução do solo, elevando a pressão osmótica e reduzindo a disponibilidade de água para os vegetais (efeito físico). Pode haver também o efeito tóxico de íons específicos, como sódio, cloreto e boro, dentre outros, que causam sintomas característicos de injúria, associados à acumulação excessiva do íon específico na planta. Bernstein (1964 e 1974) e Strogonov (1964) também contemplam as duas formas de efeito dos sais sobre os cultivos, abordados por Richards (1954), e complementam com um terceiro que seria o efeito específico de natureza nutricional, que afirmam ter influência mais marcante que o efeito osmótico. Rhoades & Loveday (1990), Ayers & Westcot (1991) e Rhoades *et al.* (1992), contribuem acrescentando possíveis efeitos indiretos causados por alterações físicas e químicas no solo.

De forma semelhante, Tayer (1987) cita três formas de ação dos sais sobre as plantas: supressão geral no crescimento, supressão causada pelo desbalanceamento nutricional dos íons essenciais e por íons de natureza tóxica. Relata que os mecanismos de supressão geral no desenvolvimento das plantas, resultantes da salinidade, são devidos ao

¹ WYN JONES, R.G.; GORHAM, J. Osmoregulation. Encyclopedia of Plant Physiology New Series. Vol. 12C. Physiological Plant Ecology III. O. L. Lange, P. S. Nobel, C. B. Osmond, H. Ziegler, eds., Springer-Verlag, Berlin, p. 35-58, 1983.

seu efeito direto na síntese do RNA e na redução da divisão celular e ou alongamento das células, causados pela diminuição da água disponível para a planta e, também, aos efeitos específicos, como o desbalanceamento nutricional de íons essenciais e a absorção de íons de natureza tóxica.

A sodicidade ocorre devido a concentrações elevadas de íons Na^+ , em relação aos íons Ca^{++} e Mg^{++} . Assim, a sodicidade pode ter dois dos efeitos discutidos com relação a salinidade, quais sejam, perturbações de natureza nutricional e tóxica, além do efeito osmótico (Lauchli & Epstein, 1990).

A salinidade pode, também, interferir positivamente no crescimento de algumas plantas, bem como, em sua composição. Pode promover o crescimento de halófitas e pode aumentar o rendimento ou qualidade dos cultivos (Pasternak, 1987); a salinidade moderada pode aumentar os rendimentos de algodão (Pasternak *et al.*, 1979), elevar a concentração total de sólidos solúveis em tomates, uma característica de qualidade (Rush & Epstein, 1981), e aumentar a tolerância dos citros a geadas (Syvertsen & Yelenosky, 1988).

2.3.1. Efeito osmótico

As plantas extraem a água do solo quando as forças de embebição dos tecidos das raízes são superiores às forças de retenção da água, exercidas pelo solo. A medida em que a água é extraída do solo, as forças que retêm a água restante tornam-se maiores e quando a água do solo é retida com força superior às forças de extração, inicia-se o estado de escassez de água na planta. A presença de sais na solução do solo faz com que aumentem as forças de retenção por seu efeito osmótico, aumentando, como consequência, a magnitude do problema de escassez de água na planta. A explicação científica desse fenômeno é complicada. Em geral, pode-se dizer que, devido à afinidade dos sais com a água, as plantas têm que exercer maior força de embebição para extrair do solo uma unidade de água com sais, do que sem sais, requerendo, desta forma, energia adicional para absorver água de uma solução em solo salino (Ayers & Westcot, 1991).

Qualquer aumento no conteúdo de sais do solo provoca um decréscimo no potencial osmótico da solução. Assim sendo, níveis de salinidade elevados no solo reduzem o potencial osmótico de sua solução e, em consequência, o potencial hídrico e,

por conseguinte, a disponibilidade de água para as plantas (Menguel & Kirkby, 1987; Rhoades & Loveday, 1990).

Segundo Epstein (1972) e Menguel & Kirkby (1987), as células do tecido radicular das plantas, sob condições salinas, são impedidas de absorverem água do substrato ou o fazem numa velocidade muito lenta, devido à inibição osmótica imposta pela elevada concentração salina da solução do solo.

Eaton (1941), testando a absorção de água pelas raízes de uma mesma planta de milho, em duas soluções de mesma composição, mas com concentrações tais que produziam potenciais osmóticos de 30 e 180 kPa negativos, verificou que a absorção foi quase o dobro na solução mais diluída (-30 kPa). Resultados semelhantes foram obtidos por Shalhevet & Bernstein (1968).

Ayers *et al.* (1943), Magistad *et al.* (1943) e Wadleigh & Ayers (1945) comprovam a teoria da inibição osmótica na redução da disponibilidade de água através das relações praticamente lineares existentes entre a redução do crescimento das culturas e a diminuição do potencial osmótico.

Algumas diferenças em relação ao crescimento das plantas quando se compara um sal com outro, indicam que além do efeito osmótico, ocorre efeito específico de íon, como reportado por Ryan *et al.* (1975)², citados por Souza (1990), que estudando o efeito de diferentes sais (NaCl, CaCl₂, MgCl₂, Na₂SO₄, CaSO₄.2H₂O e MgSO₄.7H₂O) em várias concentrações (50, 100, 150 e 200 meq.L⁻¹) na germinação de quatro espécies de gramíneas, verificaram que a percentagem de germinação foi influenciada tanto pela concentração de sais como pela natureza dos íons da solução salina.

Tayer (1987) afirma, baseado em resultados experimentais mais recentes e em outras evidências, que a teoria da disponibilidade de água (inibição osmótica) é inválida ou, pelo menos, muito simplista em relação ao que verdadeiramente ocorre. Relata que numa situação de campo, a absorção e acumulação de sais fornecem uma melhor base para explicar os fenômenos de desenvolvimento negativo e positivo que ocorrem sob condições salinas. Também Kramer (1983), reporta que as injúrias visíveis nos órgãos vegetais, a redução no desenvolvimento e as mudanças internas são mais diretamente

² RYAN, J.; MIYAMOTO, S. STROEHLER, J.L. Salt and specific ion effects on germination of four grasses. *Journal of Range Management*, v.28, p.61-64. 1975.

relacionadas ao aumento da concentração iônica (sais) interna na planta e à sua composição iônica.

Para a UNESCO/FAO (1973), a reação a efeitos osmóticos e iônicos de sais nas plantas ocorre simultaneamente, sendo por isso, difícil a identificação da diferença entre os mesmos.

2.3.2. Efeito de íon específico: tóxico e nutricional

Para Bresler *et al.* (1982), os efeitos da salinidade provocados por íons específicos podem ser duplos, visto que o excesso de íons específicos tanto pode ser tóxico a vários processos fisiológicos, como pode causar desordem nutricional. Medeiros (1998), aborda igualmente este tema, citando que além do efeito osmótico causado pela salinidade sobre as plantas, efeitos específicos, que podem ser de natureza tóxica ou de desbalanceamento de nutrientes essenciais, podem atuar separada ou conjuntamente.

2.3.2.1. Efeitos de íon específico: tóxico

Segundo Smedema & Rycroft (1988), enquanto os problemas osmóticos são causados pela alta concentração de íons na solução do solo, a causa dos problemas de toxicidade, ao que se supõe, devem-se a uma concentração elevada de um cátion ou ânion específico ou a uma composição salina desfavorável na solução do solo.

Os problemas de toxicidade normalmente surgem quando certos íons, constituintes do solo ou da água, são absorvidos pelas plantas e acumulados em seus tecidos, em concentrações suficientemente altas (tóxicas) para provocar danos e reduzir seus rendimentos (Ayers & Westcot, 1991). De fato, condições específicas reinantes em solos salinos e ou sódicos podem afetar, notadamente, diferentes processos metabólicos das plantas, como, assimilação de CO₂, fotossíntese, síntese de proteínas, respiração, relações hídricas, reações enzimáticas e conversão de fitohormônios (Strogonov, 1964; Meiri & Shalhevet, 1973; Bernstein, 1975; Shannon, 1979; Menguel & Kirkby, 1987).

O efeito prejudicial da toxicidade de sais no desenvolvimento das culturas é variável, dependendo do tipo e da concentração de íons envolvidos, bem como, da espécie ou variedade vegetal (Strogonov, 1964). Em geral, os danos em culturas sensíveis ocorrem

em concentrações iônicas relativamente baixas e se manifestam como queimaduras nas bordas e clorose na área internerval das folhas e, se a acumulação de íons chegar a ser suficientemente elevada, produz redução significativa nos rendimentos (Ayers & Westcot, 1991).

A toxicidade mais freqüente é a provocada pelo cloreto contido na água de irrigação, seguido pelo sódio e boro, entretanto, outros elementos podem se tornar tóxicos às plantas, mesmo em concentrações relativamente baixas (Ayers & Westcot, 1991). Segundo Bernstein (1974), Allison (1964), Bresler *et al.* (1982), Bohn *et al.* (1985), Rhoades & Loveday (1990), íons como, sulfato, bicarbonato, carbonato, cálcio, magnésio, potássio, nitrato e lítio, quando em concentrações suficientemente elevadas, são igualmente tóxicos.

As culturas anuais são mais tolerantes e, por conseguinte, não são afetadas por concentrações baixas desses elementos; entretanto, sofrerão danos e chegarão a morrer se as concentrações forem suficientemente altas. A magnitude dos danos depende do tempo, da concentração, da tolerância da cultura e do volume de água transpirado, sendo a acumulação de íons tóxicos nas plantas mais rápida em regiões de clima quente devido à elevada transpiração (Ayers & Westcot, 1991).

Kingsbury & Epstein (1986), estudando o crescimento de uma variedade de trigo sensível à salinidade, verificaram ser a mesma adversamente afetada por soluções nutritivas com altas concentrações de sódio (>100 mM), mas não por soluções iso-osmóticas sem sódio. Observaram, ainda, que o crescimento de uma variedade tolerante à salinidade era indiferente a qualquer uma das soluções usadas.

Problemas de toxicidade em plantas lenhosas podem ocorrer mesmo sob concentrações moderadas de alguns íons (Lauchli & Epstein, 1990). Bernstein (1965) registrou, em ensaio fotográfico, danos severos em folhas de varias frutíferas, causados por sódio e por cloreto; relata que as frutíferas possuem pouca habilidade para excluir sódio e cloreto das folhas e, aliado ao fato de serem culturas perenes, o que lhes confere um longo tempo de exposição, sofrem frequentemente problemas de toxicidade, até mesmo sob condições de salinidade moderada.

Os sintomas de toxicidade também podem ocorrer quando as folhas, ao serem molhadas durante a aplicação de água por aspersão, absorvem íons tóxicos, sendo o

sódio e o cloreto os principais íons absorvidos via foliar, e a toxicidade resultante da acumulação desses íons, em conjunto ou separadamente, pode causar problemas para as culturas sensíveis (Ayers & Westcot, 1991).

2.3.2.2. Efeitos de íon específico: nutricional

Uma característica universal da salinidade é a presença de concentrações ou atividade alta dos íons específicos, sódio e cloreto, na maioria dos solos afetados por sais (Epstein & Rains, 1987; Szabolcs, 1989). As concentrações desses íons, em relação a outros, podem ser bastante altas, induzindo deficiências de alguns nutrientes que estejam presentes em baixas concentrações (Lauchli & Epstein, 1990).

Segundo Cruciani (1987), os sais, além de afetarem a disponibilidade da água, podem afetar a nutrição da planta. O autor salienta, também, que a toxidez não envolve, necessariamente, a ação direta do sal ou íon sobre o vegetal, podendo ser causada, em parte, pelos efeitos antagônicos no processo de absorção de nutrientes essenciais ao metabolismo da planta.

Altas concentrações de Na, ou de outros cátions na solução do solo, podem afetar o crescimento e desenvolvimento das plantas, indiretamente, através de seu efeito sobre as características físicas do solo, ou na disponibilidade de outros elementos; por exemplo, quando no extrato de saturação do solo há teores apreciáveis de carbonato de sódio, o pH do solo poderá alcançar valores tão altos, como 10 (Gheyi *et al.*, 1991), sendo que nestas condições, a disponibilidade de vários elementos essenciais às plantas (Cu, Fe, Mn, Zn) é reduzida (Brady & Buckman, 1983), influenciando o seu crescimento, não diretamente pelo carbonato de sódio, mas, por seu efeito no pH do solo.

Em ambientes salinos, onde o sódio predomina em relação ao potássio, a exigência nutricional da planta em relação a este nutriente (K) pode ficar prejudicada (Rains & Epstein, 1967). Estudos conduzidos por Ball *et al.* (1987), com *Avicennia marina*, mostram que apesar de esta espécie possuir um alto grau de seletividade e mecanismo de transporte de K, ainda assim, pode mostrar evidências de deficiência potássica induzida pela salinidade.

De acordo com Fageria (1989), através de resultados obtidos no Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAP), em relação ao teor de P, K e Na, em 11

cultivares de arroz, sob vários níveis de salinidade, o teor de P e de K na parte aérea das plantas diminuiu com o aumento dos níveis de salinidade, e o teor de Na aumentou, com reflexos sobre a produção. Estes resultados mostram que o desbalanço nutricional é uma das razões para diminuição da produção em solos salinos.

Bernstein & Hayward (1958) observaram que o feijão e algumas variedades de cenoura podem restringir a absorção de potássio quando as concentrações de cálcio são elevadas. O milho, por sua vez, requer um nível elevado de cálcio, sob condições salinas, para uma adequada nutrição desse elemento (Bernstein, 1964).

Ansari *et al.* (1978), utilizando duas cultivares de trigo, verificaram aumento dos teores de fósforo e sódio na matéria seca, com aumento da concentração salina, enquanto diminuíam os teores de potássio e cálcio.

De acordo com Bernstein (1964), deficiência de cálcio sob certas condições salinas, pode causar problemas de fundo preto no tomate e amarelecimento da alface, com elevadas perdas de rendimento.

Diversos estudos (Epstein, 1961; Lauchli & Epstein, 1970; Cramer *et al.*, 1988) têm demonstrado que íons de sódio geralmente causam distúrbios na nutrição de cálcio; concentrações altas de sódio no meio em relação a cálcio, tendem a ser danosas; desordens nutricionais que envolvem outros elementos podem estar relacionadas aos efeitos de salinidade sobre o transporte e metabolismo de cálcio; quando são altas as concentrações externas de cálcio, os efeitos da salinidade podem ser amenizados; concentrações inadequadas de cálcio podem afetar negativamente as funções da membrana e o crescimento da planta, em questão de minutos. Os efeitos variam com os genótipos.

Segundo LaHaye & Epstein (1969), o crescimento de feijão *Phaseolus vulgaris* (espécie altamente sensível à salinidade), em solução de 50 mM NaCl e 1 mM CaSO₄, durante os sete dias da experiência, foi prejudicado pelo NaCl, uma vez que quando da adição de cálcio, em concentrações de 3 ou 10 mM, não foram constatados efeitos adversos do NaCl. Resultados semelhantes foram obtidos em estudos com feijão, conduzidos até o final do ciclo, por LaHaye & Epstein (1971).

Elzam & Epstein (1969) compararam duas espécies de trigo, desenvolvendo-se em soluções salinas, compostas de NaCl, em concentrações que

variaram até 500 mM; constataram que as concentrações salinas que afetaram severamente o crescimento foram de 5 mM para a espécie sensível à salinidade e de 100 mM para a espécie tolerante. Nas duas espécies, a concentração de cálcio nas raízes declinou, rapidamente, na mesma proporção da concentração da solução salina, o que sugere uma relação causal entre a perda de cálcio induzida pela salinidade e o reduzido crescimento das plantas.

Ratner (1944)³, citado por Vasconcelos (1990), afirma que quando o complexo sortivo do solo se encontra saturado por íons de sódio, na ordem de 40 a 50%, há remoção de cálcio dos tecidos das raízes e, conseqüentemente, as plantas podem morrer devido à deficiência desse nutriente.

Hayward & Wadleigh (1949), Arnon (1972) e Greenway (1973) afirmam que altas concentrações de sulfato diminuem a absorção de cálcio e promovem a absorção de sódio, causando toxidez em cultivos susceptíveis. De acordo com Bernstein (1964), algumas variedades de alface são susceptíveis à deficiência de cálcio induzida pelo sulfato.

Maas e Grieve (1987), comparando o efeito de soluções iso-osmóticas com várias relações $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$, sobre o crescimento do milho (*Zea mays*), encontraram que sob a relação de 34,6/1 molar, as plantas sofreram deficiência de cálcio, porém, quando a relação foi de 5,7/1 ou menos, nenhuma deficiência de cálcio foi constatada.

Epstein (1956) relata que a estabilidade na absorção de um nutriente aniônico pode estar relacionada aos sítios de absorção específica para estes íons, mas a conversão rápida em composto orgânico pode, também, ser um fator favorável a manter uma taxa elevada de absorção, uma vez que reduz a concentração do ânion em excesso, diminuindo o antagonismo. Isso explica o fato de a absorção dos nutrientes aniônicos apresentarem maior estabilidade na presença de outro ânion do que cátions serem absorvidos na presença de outro cátion em excesso.

Segundo Gheyi *et al.* (1991), o excesso de um íon pode provocar deficiência de outro, devido à precipitação ou inibição (por exemplo, excesso de sulfato, carbonato e bicarbonato podem precipitar o cálcio), afetando o crescimento da planta pela reduzida disponibilidade do elemento precipitado e não pelo excesso do íon considerado.

³ RATNER, E. I. Physiological effect of alkalinity of soils and the ameliorative role of plant root system on solonetz (alkali soils). *Pochvovedenie* (pedology) p. 205-227, 1944.

Kafkafi (1984) relata que existem evidências de competição na absorção entre nitrato e cloreto, de modo que um aumento na concentração de nitrato na zona radicular, pode inibir uma maior absorção de cloreto pela planta. Por outro lado, nitrogênio amoniacal reduz os teores de Ca e Mg na planta, diminuindo a permeabilidade seletiva da membrana radicular e proporcionando aumento na absorção de cloreto, quando o mesmo se encontra em concentração elevada no meio.

Portanto, prevalecia, até algumas dezenas de anos atrás, a opinião de que os efeitos da salinidade eram mais ou menos não específicos e devido à salinidade total da solução ambiente. Entretanto, com base nos resultados das pesquisas anteriormente relacionadas, nos últimos anos vem sendo dado ênfase não só à salinidade total, comumente expressa em termos de condutividade elétrica, mas, também, à composição iônica do meio.

2.4. Tolerância das plantas à salinidade

2.4.1. Generalidades

As plantas respondem diferentemente à salinidade. Algumas produzem rendimentos aceitáveis em níveis altos de salinidade e outras são sensíveis em níveis relativamente baixos. Esta diferença se deve à maior capacidade de adaptação osmótica que algumas culturas possuem, o que as permite absorver, mesmo em condições salinas, suficiente quantidade de água. Essa capacidade de adaptação é muito útil e permite a seleção de genótipos mais tolerantes e capazes de produzir rendimentos, economicamente viáveis, quando não se pode manter a salinidade do solo em baixos níveis (Ayers & Westcot, 1991).

Segundo Maas & Hoffman (1976; 1977), além de haver diferenças de tolerância entre espécies e entre cultivares, dentro de um mesmo genótipo pode também existir diferença entre fases fenológicas.

As espécies consideradas muito tolerantes nas últimas fases fenológicas, podem ser sensivelmente afetadas pelos sais durante a germinação (Richards, 1954). No caso da beterraba açucareira, considerada como tolerante nos últimos estágios, observa-se uma grande sensibilidade na fase de germinação. Já o trigo, o milho e a cevada são mais

tolerantes justamente na fase de germinação e de floração e, mais sensíveis na fase inicial de desenvolvimento (Hebron, 1967).

Em geral, a capacidade de crescimento e desenvolvimento dos vegetais, em solos com problemas de sais, depende, sobretudo, da constituição fisiológica da planta, do seu tipo de sistema radicular e do estágio de crescimento (Brady & Buckman, 1983). Segundo Maas & Hoffman (1977), as leguminosas com raízes profundas se revelam mais tolerantes do que as plantas com sistema radicular superficial.

Para Ayers & Westcot (1991), a tolerância à salinidade de algumas culturas pode alcançar cerca de oito a dez vezes a tolerância de outras. A amplitude dessa tolerância relativa permite a utilização de águas de salinidade moderada e, portanto, aumenta a faixa aceitável das águas salinas consideradas adequadas à irrigação.

De acordo com Hayward & Wadleigh (1949), a tolerância das plantas aos sais pode ser avaliada sob três aspectos: (a) capacidade para sobreviver em solos salinos, com importância para estudos ecológicos, mas com pouco significado prático no que se refere à agricultura irrigada; (b) rendimento em solos salinos, de muita utilidade do ponto de vista agrônomo, principalmente quando se comparam variedades da mesma espécie; (c) rendimento em condições salinas, comparado ao obtido em condições não salinas. Este último critério é utilizado pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos para preparação das tabelas de tolerância relativa das diferentes plantas à salinidade e fornece importantes subsídios aos programas de melhoramento genético de cultivares tolerantes à salinidade.

A literatura indica que a utilização de cultivares tolerantes à salinidade, além de viabilizar a produção agrícola em áreas salinizadas, pode ser uma ação complementar à recuperação de solos afetados por sais, com possibilidade de ser contornado o problema da salinidade através de seleção e melhoramento genético de plantas (Epstein, 1976; Ikehashi & Ponnampereuma, 1977; Dutta *et al.*, 1978).

É imprescindível, portanto, que se conheça a tolerância de diferentes espécies e cultivares à salinidade, a fim de que se possa optar pelo cultivo daquelas que propiciarão as maiores produções com menor consumo de água para lixiviação, como medida a viabilizar a utilização de água de salinidade moderada para irrigação, sobretudo,

em condições de semi-árido onde grande parte da água disponível à irrigação contém teores relativamente altos de sais solúveis.

2.4.2. Mecanismos de tolerância

As plantas tolerantes à salinidade são denominadas “halófitas” e sua tolerância pode atingir até cerca de 15 g.L^{-1} de cloreto de sódio, equivalente à metade da concentração de sais da água do mar. Essas plantas têm seu mecanismo de tolerância baseado no ajustamento osmótico, ou seja, elas absorvem, por exemplo, cloreto de sódio em altas taxas e o acumulam em suas folhas, para estabelecer o equilíbrio osmótico com baixo potencial de água no solo. Esse ajuste osmótico se dá com o acúmulo dos íons absorvidos nos vacúolos das células das folhas, mantendo a concentração salina no citoplasma em baixos níveis, de modo a não haver interferência nos mecanismos enzimáticos e metabólicos e na hidratação das proteínas em nível celular. É interessante se ressaltar que não há fluxo através da membrana (tonoplasto) que separa o citoplasma e o vacúolo, mesmo havendo elevado gradiente de concentração e, também que o ajuste osmótico é obtido por substâncias compatíveis com as enzimas e os metabólitos ali presentes. Esses solutos são orgânicos, na maioria das vezes, como os compostos nitrogenados (Lima, 1997). Tanji & Hanson (1990), também relatam que no citoplasma a função de regulação osmótica é realizada, principalmente, pelos solutos sintetizados pela planta. Esta compartimentação do sal é que permite às plantas halófitas viverem em ambiente salino (Lauchli & Epstein, 1984; Poljakoff-Mayber & Lerner, 1993).

Segundo Tanji & Hanson (1990), a capacidade de crescimento e realização de fotossíntese de determinadas culturas, na presença de níveis elevados de cloreto, pode ser atribuído, dentre outros fatores, à grande eficiência na utilização do cálcio por essas plantas.

Para Fageria (1989), o mais importante mecanismo para regular o estresse osmótico, talvez seja a absorção seletiva de íons, pois plantas tolerantes possuem a capacidade de retirar nutrientes essenciais da solução salina, onde a concentração de íons não essenciais (tóxicos) é muito maior.

A tolerância das plantas pode ser, também, devido a mecanismos de adaptação morfológica, dentre os quais se destacam: redução do tamanho e número de

folhas, diminuição do número de estômatos e alteração na sua distribuição nas folhas, aumento na grossura da cutícula foliar e diminuição da diferenciação e do desenvolvimento do tecido vascular (Maas & Nieman, 1978; Shannon, 1979; Fageria, 1989). Algumas plantas tolerantes são, ainda, dotadas de mecanismos de proteção tipo glândulas, encontrados na epiderme das folhas e do caule, por onde expelem sais. Entre os íons expelidos encontram-se sódio, carbonato e cloreto (Thomson, 1975).

As plantas sensíveis à salinidade (glicófitas), que segundo Tanji & Hanson (1990), compõem a maioria das plantas cultivadas, tendem, em geral, a excluir os sais na absorção da solução do solo, sem serem capazes de realizar o ajustamento osmótico descrito, sofrendo com o decréscimo do turgor e levando as células à plasmólise. Algumas espécies muito sensíveis à salinidade absorvem, também, sais juntamente com a água, ocasionando toxidez por excesso de íons absorvidos. Esse excesso promove desbalanceamento e prejuízos ao citoplasma, resultando em danos principalmente na bordadura e no ápice das folhas, a partir de onde a planta perde, por transpiração, quase tão somente água, havendo nestas regiões acúmulo do sal translocado do solo para a planta e, obviamente, intensa toxidez (Lima, 1997).

Em suma, a tolerância das culturas agrícolas à salinidade, provavelmente, não depende de um único mecanismo, mas, sobretudo, da adaptação total da planta ao ambiente, como no caso das halófitas (Fageria, 1989).

2.4.3. Determinação dos valores de tolerância à salinidade e à toxicidade

2.4.3.1. Tolerância à salinidade

A tolerância à salinidade é comumente expressa em termos de nível máximo de salinidade média da zona radicular que pode ser tolerado pelas plantas, sem afetar negativamente seu desenvolvimento, denominado “salinidade limiar” (SL); portanto, nesse nível de salinidade, o rendimento potencial das culturas é 100%. A SL é expressa em termos de condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (Ayers & Westcot, 1991). Muitas tabelas estão disponíveis, listando as diferentes culturas de acordo com sua tolerância à salinidade (Richards, 1954; Maas, 1984, 1986; Maas & Hoffman, 1976, 1977; Ayers & Westcot, 1991).

Maas & Hoffman (1977) indicam que o crescimento vegetativo das culturas diminui linearmente com o aumento da salinidade do meio acima do valor de SL. A relação linear entre a salinidade e o rendimento das culturas é, assim, representada pela seguinte equação:

$$Y = 100 - b \cdot (CEes - SL) \quad \dots\dots\dots (eq. 1)$$

Onde:

Y = rendimento potencial (em percentagem)

CEes = salinidade do extrato de saturação, em $dS \cdot m^{-1}$

SL = salinidade limiar da cultura, em $dS \cdot m^{-1}$

b = diminuição do rendimento por aumento unitário de salinidade acima da SL

O valor “b” pode ser obtido através da seguinte equação:

$$b = \frac{100}{(CEes \text{ para } Y = 100\% - SL)} \quad \dots (eq. 2)$$

Esse decréscimo de produção está em concordância com os dados de campo, em toda a faixa de variação usual da salinidade, porém, deixa de ser linear quando o efeito da salinidade causa rendimentos consideravelmente inferiores a 50% do potencial produtivo, níveis estes onde a produção é economicamente inaceitável (Maas & Hoffman, 1977).

Os valores de CEes associados a qualquer percentagem de produção potencial, que não a de 100%, podem ser calculados pela expressão seguinte, resultante da equação 1.

$$CEes = \frac{100 + b \cdot SL - Y}{b} \quad \dots\dots\dots (eq. 3)$$

Os níveis de tolerância correspondem à acumulação média de sais na zona radicular para diferentes culturas, sendo o rendimento relativo Y, quando todas as outras condições estejam atendidas, dependente da CEes, que é reflexo da acumulação média de sais na zona radicular. No entanto, a CEes esperada, supõe que:

a) a água de irrigação seja a única fonte de sais solúveis. Caso uma outra fonte de sais, por exemplo, lençol freático salino à pequena profundidade, estiver presente, a relação

$CEes = 1,5 CEa$ não poderá ser considerada válida.

b) a fração de lixiviação utilizada esteja entre 0,15 e 0,20. Quando a fração de lixiviação estiver fora deste intervalo, devem ser calculados os valores para a condição correspondente à fração de lixiviação a utilizar (Ayers & Westcot, 1991).

Na comparação entre culturas e no planejamento geral de irrigação, quando não se têm dados experimentais, usa-se a tolerância relativa das culturas que se baseia no melhor critério técnico de experiências e observações de campo, que embora arbitrários, são de grande importância (Maas, 1984). Segundo o autor, as culturas são classificadas de acordo com a sua tolerância à salinidade conforme Tabela 4.

Tabela 4. Classificação da tolerância relativa à salinidade.

| Grupos de tolerância relativa | Salinidade limiar - SL (dS.m ⁻¹) |
|-------------------------------------|----------------------------------------------|
| Sensíveis | < 1,3 |
| Moderadamente sensíveis | 1,3 – 3,0 |
| Moderadamente tolerantes | 3,0 – 6,0 |
| Tolerantes | 6,0 – 10,0 |
| Não adequada a maioria das culturas | > 10,0 |

Fonte: Maas (1984).

É importante reconhecer que dados de tolerância aos sais não podem fornecer, com exatidão, as perdas quantitativas da produção pelo efeito da salinidade em todas as condições, haja vista que a resposta varia de acordo com as condições climáticas e de solo, manejo da irrigação e da cultura, *etc.*, sendo o clima o fator que mais afeta a tolerância das culturas aos sais (Rhoades *et al.*, 1992). Também Maas & Hoffman (1977) reconhecem que a tolerância absoluta das culturas à salinidade não pode ser determinada, devido às muitas interações existentes entre planta-solo-água-clima, influenciando a habilidade das culturas em tolerarem sais.

2.4.3.2. Tolerância à toxicidade por íons específicos

Os problemas de salinidade e toxicidade são diferentes. A toxicidade ocorre internamente na planta e não é provocada pela falta de água. Normalmente, ela se origina quando certos íons, absorvidos pela planta, são acumulados nas folhas durante a transpiração, em quantidades suficientes para provocar distúrbios fisiológicos. Os danos podem reduzir, significativamente, os rendimentos e sua magnitude depende do tempo, da

concentração dos íons, da sensibilidade das plantas e do uso de águas pelas culturas (Ayers & Westcot, 1991).

No geral, as culturas anuais são menos sensíveis que as culturas frutíferas e as plantas lenhosas perenes, porém, os sintomas de toxicidade podem aparecer em qualquer cultura, se as concentrações forem suficientemente altas, podendo acontecer mesmo em condições de baixa salinidade (Ayers & Westcot, 1991).

Os problemas de toxicidade mais comuns são devidos a cloreto, sódio e boro (Ayers & Westcot, 1991), todavia, outros íons, quando em concentrações suficientemente elevadas, podem ser igualmente tóxicos, como por exemplo, bicarbonato e carbonato, sulfato, cálcio, magnésio, potássio, nitrato e lítio (Allison, 1964; Bernstein, 1974; Bresler *et al.*, 1982; Bohn *et al.*, 1985; Rhoades & Loveday, 1990).

Os níveis tóxicos desses íons diferem consideravelmente entre as plantas e são mais altos para o cloreto e mais baixos para o boro (Meiri & Shalhevet, 1973). Vale ressaltar que a absorção foliar acelera a velocidade de acumulação do íon tóxico na planta, sendo muitas vezes, a fonte principal de toxicidade (Ayers & Westcot, 1991).

2.4.3.2.1. Boro

O boro é um elemento essencial ao desenvolvimento dos vegetais, porém, necessário em concentrações relativamente pequenas, tornando-se tóxico quando ultrapassa tais níveis (Ayers & Westcot, 1991). De acordo com Stromberg (1980), cerca de $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$ de boro na água de irrigação é o mínimo requerido para o suprimento adequado deste nutriente às plantas, podendo ocorrer danos nas folhas de genótipos sensíveis quando a concentração for de $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$ (Lima, 1997).

Os problemas de toxicidade por boro ocorrem com maior frequência devido ao nutriente contido na água do que no solo. Os sintomas aparecem, normalmente, como manchas amareladas ou secas, principalmente nas bordas e no ápice das folhas mais velhas. A medida em que o quadro se agrava, os sintomas se estendem pelas internervuras até o centro das folhas (Ayers & Westcot, 1991).

De modo geral, os valores de tolerância ao boro podem ser interpretados através das Tabelas 5 e 6.

Tabela 5. Níveis de tolerância das culturas ao boro na água de irrigação

| Concentração (mg.L ⁻¹) | Interpretação |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| < 0,5 | Bom para todas as culturas |
| 0,5 – 1,0 | Danos ocorrem nas folhas de plantas sensíveis sem alterar a produção |
| 1,0 – 2,0 | Tolerado pelas semi-tolerantes mas reduz a produção das sensíveis |
| 2,0 – 4,0 | Somente plantas tolerantes produzem satisfatoriamente |
| > 4,0 | Danos em quase todas as plantas |

Fonte: adaptado de Lima (1997)

Tabela 6. Tolerância relativa das plantas ao boro na água de irrigação.

| Sensíveis (0,5 a 1,0 mg.L ⁻¹) | | Semi-tolerantes (1,0 a 2,0 mg.L ⁻¹) | | Tolerantes (2,0 a 4,0 mg.L ⁻¹) |
|-------------------------------------------|------------|-------------------------------------------------|----------|--------------------------------------------|
| Limão | Figo | Batata doce | Azeitona | Cenoura |
| Pomelo | Uva | Pimentão | Ervilha | Alface |
| Abacate | Maçã | Tomate | Algodão | Repolho |
| Laranja | Pêra | Morango | Batata | Nabo |
| Amora | Amêixa | Avéia | Girassol | Cebola |
| Damasco | Alcachofra | Milho | | Alfafa |
| Pêssego | Noz | Trigo | | Beterraba |
| Cereja | Noz Pecan | Cevada | | Tâmara |
| Caqui | | | | Aspargo |

Fonte: adaptado de Lima (1997)

2.4.3.2.2. Sódio

Em contraste com os sintomas de toxicidade por cloreto, que se iniciam no ápice das folhas, os de sódio aparecem sob forma de queimaduras ou necrose ao longo das bordas. Os sintomas aparecem primeiro nas folhas mais velhas e na medida em que a necrose se intensifica, espalha-se progressivamente na área entre as nervuras até o centro das folhas (Ayers & Westcot, 1991). Segundo Biggar (1984), os sintomas aparecem nas plantas sensíveis quando a concentração de sódio atinge 0,25% do peso seco da folha.

A tolerância das plantas ao sódio pode ser interpretada em relação à percentagem de sódio trocável (PST), de acordo com a Tabela 7 retirada de Ayers & Westcot (1991).

Tabela 7. Tolerância relativa das culturas ao sódio trocável.

| Sensíveis (PST <15) | Semi-tolerantes (PST de 15 a 40) | Tolerantes (PST > 40) |
|---------------------|----------------------------------|-----------------------|
| Caupi | Trigo | Capim de Rhodes |
| Grão de bico | Tomate | Capim Angola |
| Amendoim | Espinafre | Algodão |
| Lentilha | Sorgo | Capim Bermuda |
| Tangerina | Centeio | Beterraba Açucareira |
| Pêssego | Arroz | Beterraba |
| Laranja | Rabanete | Cevada |
| Pomelo | Cebola | Alfafa |
| Ervilha | Aveia | |
| Milho | Mostarda | |
| Algodão | Trevo | |
| Feijão | Cana-de-açúcar | |
| Noz | Milheto | |
| Frutas caducifólias | Alface | |
| Abacate | Festuca | |
| | Cenoura | |

Fonte: Ayers & Westcot (1991), listadas em ordem crescente de tolerância.

2.4.3.2.3. Cloreto

A toxicidade mais freqüente é a provocada pelo cloreto contido na água de irrigação. O cloreto não é retido nem adsorvido às partículas do solo, porém, é absorvido pelas raízes e translocado às folhas onde se acumula. Quando sua concentração excede o limite de tolerância da planta, produzem-se danos que se manifestam, primeiro, nas pontas das folhas, o que é característico de sua toxicidade, e à medida em que progride, os danos se estendem ao longo das bordas. A necrose excessiva vem acompanhada, geralmente, por desfolhação prematura. Em culturas sensíveis, esses sintomas se manifestam quando a concentração atinge de 0,3 a 1,0%, em base de peso seco (Ayers & Westcot, 1991). Para Biggar (1984) este valor é de 0,5 %.

A tolerância ao cloreto não está tão bem documentada como a tolerância das culturas à salinidade. Assim, apesar de existir uma classificação geral para interpretação da adequabilidade da água para irrigação, conforme a concentração deste ânion e sua restrição para as plantas (Tabela 8), só estão disponíveis na literatura, os valores máximos de cloreto tolerados na água de irrigação por algumas fruteiras, como os reportados por Ayers & Westcot (1991), não apresentados nesta dissertação, pela natureza bem distinta das hortaliças.

Tabela 8. Níveis de tolerância das plantas ao cloreto na água de irrigação

| Concentração (mg L^{-1}) | Interpretação |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| < 70 | Bom para todas as plantas |
| 70 – 140 | Plantas sensíveis apresentam danos moderados nas folhas |
| 140 – 350 | Semi-tolerantes apresentam danos no ápice e até nas bordas das folhas |
| > 350 | Causam problemas severos nas plantas |

Fonte: adaptado de Lima (1997)

2.5. Tolerância da alface à salinidade

Segundo Maas & Hoffman (1977) e Maas (1984), a alface é considerada como “moderadamente sensível” à salinidade, enquadrando-se nessa classificação as culturas que possuem valor de salinidade limiar (SL) entre 1,3 e 3,0 dS.m^{-1} (CEes); estes autores citam que o valor de SL para a alface é de 1,3 dS.m^{-1} , ocorrendo decréscimo de 13%, em termos de produção relativa, para cada incremento unitário de salinidade acima do citado limiar; a alface tem sua produção relativa reduzida em 10, 25 e 50%, quando a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo é de 2,1, 3,2 e 5,1 dS.m^{-1} a 25°C, respectivamente.

Gervásio *et al.* (2000), estudando, em casa de vegetação, o efeito de salinidade da água de irrigação (0,18, 1,0, 1,5, 3,0, 4,5 e 6,0 dS.m^{-1} , obtidas com a adição de NaCl + adubos), sobre a produção da alface americana (cv. Lucy Brown), constataram que a evapotranspiração diminuiu com os níveis crescentes de salinidade, ocorrendo redução relativa de 27% para as plantas que receberam água de 6,0 dS.m^{-1} ; o aumento da CEa resultou em decréscimo no peso fresco e na circunferência da cabeça, sendo a produção máxima (comercial) alcançada em condições de 1,0 e 0,3 dS.m^{-1} , para CEes e CEa, respectivamente. Observaram, ainda, que as plantas submetidas a níveis de CEa superiores a 3 dS.m^{-1} apresentaram folhas de coloração verde escura, sem brilho e pouco tenras.

Trabalhando em casa-de-vegetação, Blanco *et al.* (1999) testaram três níveis de salinidade de água de irrigação (1,07, 3,25 e 5,3 dS.m^{-1}) produzidas com adição de MgSO_4 , CaCl_2 e NaCl + adubos, em termos equivalentes de 5:3:2 para (Na+K):Ca:(Mg+NiI₄) e concluíram que o incremento de uma unidade na condutividade elétrica do extrato saturado, acima de 1,6 dS.m^{-1} , reduziu em 17,5% a produção relativa da cv. ‘Verônica’; a salinidade aumentou a percentagem de matéria seca da planta e reduziu a

altura, bem como, as relações AP/DP (altura e diâmetro da planta) e PF/PS (peso fresco e seco da planta).

Ferreira *et al.* (1998), estudando, também, o comportamento da cultivar de alface ‘Verônica’, em condições de salinidade da água de irrigação (1,0, 2,5, 4,0, 5,5 dS.m⁻¹), porém, em interação com duas frações de lixiviação (10 e 30%), concluíram que todas as variáveis estudadas (peso fresco e seco da parte aérea e de raiz, diâmetro de cabeça e diâmetro do caule) sofreram decréscimo com o aumento da salinidade, sem haver efeito significativo das frações de lixiviação; obtiveram para o nível de 5,5 dS.m⁻¹ uma produção relativa (PR) de 41% (87 contra 213 g/planta do tratamento de 1,0 dS.m⁻¹) e compararam com a publicação de Ayers & Westcot (1991), onde a PR da alface com CEa de 6,0 dS.m⁻¹, é praticamente nula; na análise foliar, verificaram que os teores de sódio e cálcio, foram crescentes com a salinidade e, com valores mais altos para o tratamento “10% de lixiviação”; de forma inversa, o teor de magnésio sofreu redução com o aumento da salinidade, e atribuíram isto a uma possível inibição na absorção de magnésio em função do aumento do teor de cálcio; o potássio mostrou-se extremamente dependente das frações de lixiviação adotadas.

Silva *et al.* (1999) testando sobre a alface, exatamente os mesmos tratamentos utilizadas por Ferreira *et al.* (1998), embora sem citar a cultivar, encontraram da mesma forma efeito negativo do incremento da salinidade da água de irrigação, sobre a produção da alface, sem haver, entretanto, efeito significativo para as lâminas de lixiviação; porém, as plantas submetidas ao tratamento de CEa de 5,5 dS.m⁻¹, produziram apenas 24,8 % da produção máxima, contra os 41% obtidos por Ferreira *et al.* (1998), além da produção máxima (104,2 g/planta) ter sido 50% inferior à obtida por Ferreira *et al.* (1998). Na Tabela 9 constam os valores médios para as variáveis estudadas por Silva *et al.* (1999).

Tabela 9. Valores médios para as variáveis vegetativas, obtidos por Silva *et al.* (1999).

| Trat. | Peso fresco da parte aérea (g) | Peso seco da parte aérea (g) | Diâmetro da cabeça (cm) | Diâmetro do caule (mm) |
|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|-------------------------|------------------------|
| CEa = 1,0 dS.m ⁻¹ | 104,2 | 15,01 | 28,1 | 9,1 |
| CEa = 2,5 dS.m ⁻¹ | 76,0 | 14,05 | 26,1 | 8,4 |
| CEa = 4,0 dS.m ⁻¹ | 60,2 | 13,22 | 23,2 | 7,4 |
| CEa = 5,5 dS.m ⁻¹ | 25,9 | 12,07 | 18,05 | 6,1 |
| Lixiviação 10% | 64,5 | 13,15 | 23,6 | 7,65 |
| Lixiviação 30% | 68,5 | 13,59 | 24,1 | 7,8 |

Fonte: Silva *et al.* (1999).

Cramer & Spurr (1986a) compararam a tolerância à salinidade das cultivares de alface 'Calmar' e 'Climax', cultivadas em sistema hidropônico e submetidas aos tratamentos salinos de 0, 40, 80 e 120 mol.m⁻³ de NaCl ou 0 e 20 mol.m⁻³ de Na₂SO₄, iniciados quando do surgimento da segunda folha acima do cotilédone e indo até os 20 dias seguintes, constatando que a cv. 'Climax' teve uma maior tolerância à salinidade no tratamento de 40 mol.m⁻³ de NaCl, uma vez que apresentou percentual de redução de peso fresco da parte aérea, significativamente menor; não houve diferença entre as cultivares nos tratamentos de Na₂SO₄; o crescimento radicular da cv. 'Calmar', foi inibido com os tratamentos salinos, porém, para a cv. 'Climax' só houve inibição em concentrações superiores de 40 mol.m⁻³ de NaCl, sendo a relação peso-fresco/peso-seco (PF/PS) de raiz para a 'Climax' semelhante ao controle e cerca de 20% menor para 'Calmar'; a relação PF/PS da parte aérea diminuiu de forma semelhante com os níveis crescentes de salinidade, em ambas cultivares, porém, a redução de fitomassa fresca foi maior para a Calmar até 80 mol.m⁻³; as concentrações de Cl⁻ na parte aérea aumentaram com a salinidade, porém, a concentração na raiz deixou de crescer a partir de 80 mol.m⁻³; houve uma maior concentração de Cl⁻ na raiz da cv. 'Climax', fato este que, segundo os autores, ajudou a manter o status de água da raiz nesta cultivar, porém, somente até o nível de 40 mol.m⁻³; a diferença no teor de Cl⁻ na raiz, no tratamento de 40 mol.m⁻³, correspondeu a um aumento da concentração de água nas raízes; as concentrações de Na⁺ e Cl⁻ nos tecidos seguiram tendências parecidas, embora o teor de Cl⁻ fosse, aproximadamente, duas vezes maior; não houve diferença significativa em relação aos teores de K⁺, Ca⁺⁺, e Mg⁺⁺ nos tecidos tanto da parte aérea, como de raízes.

Estudando o efeito do Ca⁺⁺ na tolerância à salinidade de duas cultivares de alface ('Climax' e 'Calmar', mais e menos tolerante, respectivamente), Cramer & Spurr (1986b) testaram relações da Na⁺/Ca⁺⁺ variando de 16/1 a 48/1 e uma relação constante de 7/1, constataram que: o crescimento foi afetado, semelhantemente, tanto pelos tratamentos que continham relação Na⁺/Ca⁺⁺ alta, como baixa, assim, a suplementação de Ca⁺⁺ não minimizou o efeito negativo da salinidade sobre o crescimento, tanto da parte aérea, como das raízes, apesar de as raízes expostas ao NaCl, mais suplemento de Ca⁺⁺, terem apresentado aparência mais sadia, com menos escurecimento nas extremidades; aumentando a salinidade, manteve-se alto o teor de Ca⁺⁺ nas raízes, obtidas nos tratamentos com suplementação deste elemento, o que não ocorreu nos tratamentos sem sua suplementação; quando as plantas foram tratadas com NaCl mais suplemento de Ca⁺⁺,

a concentração de Na^+ nas raízes e parte aérea foi significativamente reduzida, sendo quase 50% menor na parte aérea, sem haver, entretanto, diferenças entre as cultivares. A concentração de Cl^- , em ambas as partes, não foi afetada pela concentração de Ca^{++} , porém, o teor de Mg na parte aérea foi mais alto nos tratamentos com maior quantidade de Ca^{++} ; desta forma, a relação $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$ afetou a composição iônica em alface, mas, isto parece não ter sido um importante fator de tolerância nas duas cultivares. Uma vez que não ocorreram diferenças sobre o crescimento, entre os tratamentos com alto e baixo teor de Ca^{++} , e as concentrações de Na^+ nas plantas foram marcadamente reduzidas pelos tratamentos com alto Ca^{++} , os autores concluíram que a toxicidade por sódio não foi um fator primário a afetar o crescimento da alface. De fato Ayers & Westcot (1991), classificam a alface como semi-tolerante ao sódio trocável (PST entre 15 e 40).

Hoffman *et al.* (1979) objetivaram obter a fração de lixiviação (FL) mínima, necessária para não haver decréscimo de rendimento para alface, sorgo e trigo, quando da irrigação com água de 1350 mg.L^{-1} , de sais totais dissolvidos ($2,2 \text{ dS.m}^{-1}$, com uma equivalência entre Na:Ca:Mg de 7:2:1, respectivamente), em solo argilo-arenoso, não salino. Testaram seis frações de lixiviação (0,02, 0,04, 0,07, 0,09, 0,13 e 0,17) e obtiveram os seguintes resultados: para trigo e sorgo, encontraram a FL mínima de 0,08 relacionada ao rendimento máximo; para a alface, as produções foram reduzidas, linearmente, nos níveis de FL testados, sendo o tamanho da cabeça, mesmo para FL de 0,17, inferior ao valor padrão de comercialização, por isso não puderam estabelecer um valor de FL confiável, porém, indicaram o valor mínimo de 0,26, baseados em correlação entre os resultados deles e os obtidos em estudo similar por Robinson *et al.* (1976)⁴.

Trabalhando em condições de hidroponia, Shannon *et al.* (1983) estudaram o efeito da salinidade de água (NaCl e CaCl_2 , em relação 2:1) em alface, nos níveis 0,7, 3,7, 6,0, 10,8, 15,0, 18,5, 21,0 e $25,5 \text{ dS.m}^{-1}$, utilizando conversão de CEes = $\text{CEa}/2$, baseado em Ayers & Westcot (1976)⁵ e Maas & Hoffman (1977), para fins de comparação com os dados de campo e encontraram haver incremento de 11% no peso fresco da parte aérea para o tratamento de $3,7 \text{ dS.m}^{-1}$, diminuindo, entretanto, a partir daí; o limiar de tolerância à salinidade aos 30 e 60 dias de cultivo foram de 4,6 e $5,0 \text{ dS.m}^{-1}$, equivalentes à CEes de 2,3 e $2,5 \text{ dS.m}^{-1}$, respectivamente, valores sensivelmente superiores ao limiar de

⁴ ROBINSON, F.E.; LUTHIN, J.N.; SCHINAGL, R. J.; PADGETT, W.; TANIL, K. K.; LEHMAN, W.F.; MAYBERRY, K.S. Adaption to increasing salinity of the Colorado River. California Water Resources Center, Davis, Calif., Contribution N° 160, 51p. 1976.

⁵ AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. Water quality for agriculture. Irrigation and drainage paper 29. FAO, Rome, 97p. 1976.

1,3 dS.m⁻¹ (CEes) proposto por Maas & Hoffman (1977); o decréscimo de rendimento, para cada incremento unitário de CEes, foi de 9%, contra um percentual de 13% indicado por Maas & Hoffman (1977); a salinidade afetou menos o sistema radicular, porém, houve redução de seu peso seco de 60 e 66%, para os tratamentos de 21 e 25,5 dS.m⁻¹, respectivamente; o conteúdo médio de água na folha reduziu-se de 98,1% (tratamento de 0,7 dS.m⁻¹) para 92,7% no tratamento de 25,5 dS.m⁻¹; as concentrações minerais médias nas folhas e raízes não mudaram significativamente entre 30 e 60 dias, dentro de cada tratamento, e as concentrações de Na⁺, Ca⁺⁺ e Cl⁻ nas folhas e raízes aumentaram com o incremento da salinidade, sendo a concentração de cloreto aproximadamente igual à soma equivalente química de Na⁺ + Ca⁺⁺.

Embora Ayers *et al.* (1951) tenham constatado pouca variabilidade, em tolerância à salinidade, entre 6 cultivares de alface, Shannon *et al.* (1983), testando a tolerância de 85 cultivares e linhagens norte-americanas de alface à salinidade da água de irrigação (cultivadas em substrato de areia, irrigadas com água de 6,0 dS.m⁻¹), encontraram uma variabilidade considerável. 'Climax', 'Climax 84', 'Shawnee', 'Tom Thumb', 'Fulton', e 'Wintergreen' foram, entre os genótipos testados, os mais tolerantes. 'Bibb', 'Ruby', 'Gustoverde', 'Prizehead', e 'Big Boston' foram, significativamente, mais sensíveis à salinidade. Também Shannon *et al.* (1984), testando diferenças de tolerância à salinidade entre 115 novas variedades de alface, cultivadas em areia, sob condições de estufa, todas comparadas à cultivar 'Buttercrunch', constataram maior tolerância à salinidade para as novas variedades que para as comumente cultivadas nos Estados Unidos.

2.6. Análise de crescimento

A análise quantitativa do crescimento vegetal foi desenvolvida pelos fitofisiólogos da escola inglesa (Watson, 1952⁶ e Blackman, 1968⁷, dentre outros, citados por Magalhães, 1979), sendo considerada, internacionalmente, como o método padrão para a estimativa da produtividade biológica ou produtividade primária das comunidades vegetais.

⁶ WATSON, D. J. The physiological basis of variation in yield. *Advances in Agronomy*, New York, v.4, p.101-145, 1952.

⁷ BLACKMAN, G. E. The application of the concepts of growth analysis to the assessment of productivity. In: Eckardt, F. E. (ed.). *Functioning of terrestrial ecosystems at the primary production level*. UNESCO, Paris, p. 243-259, 1968.

Segundo Magalhães (1979), a análise de crescimento consiste no método que descreve as condições morfo-fisiológicas da planta, em diferentes intervalos de tempo, com o intuito de se quantificar o desenvolvimento de um vegetal. Para Benincasa (1988), a análise de crescimento permite avaliar o crescimento final da planta como um todo e a contribuição dos diferentes órgãos no crescimento total, podendo, assim, ser muito útil no estudo do comportamento vegetal, sob diferentes condições ambientais e de cultivo, auxiliando na seleção de cultivares ou espécies que apresentem características funcionais mais apropriadas aos objetivos do pesquisador.

O crescimento de plantas, sob diferentes condições ambientais, pode ser medido por diversas maneiras, tais como, tamanho, número ou massa de seus órgãos. Apesar da complexidade que envolve o crescimento das plantas, a análise de crescimento ainda é um meio acessível e preciso para se avaliar o crescimento e os processos fisiológicos do comportamento vegetal (Whale *et al.*, 1985; Benincasa, 1988).

Segundo Benincasa (1988), a análise de crescimento baseia-se, fundamentalmente, no fato de que cerca de 90%, em média, da matéria seca acumulada pelas plantas, ao longo do seu crescimento, resulta da atividade fotossintética; o restante procede da absorção de nutrientes minerais do solo. Segundo o autor, para a execução da análise de crescimento, torna-se necessária a coleta de dados, através de medidas de diferentes tipos, como comprimento, massa e número de unidades estruturais, realizadas a intervalos de tempo definidos, durante o período de desenvolvimento da cultura.

Os métodos para obtenção de dados para fins de análise quantitativa de crescimento de plantas, sob condições normais de cultivo, são em geral simples, consistindo principalmente em medições periódicas de matéria seca e área foliar (Briggs *et al.*, 1920; Radford, 1967). Com os elementos básicos pode-se estimar índices fisiológicos, tais como, Taxa de Crescimento Absoluto (TCA), Taxa de Crescimento Relativo (TCR), Taxa Assimilatória Líquida (TAL) e Índice de Área Foliar (IAF), dentre outros (Kvet *et al.*, 1971).

2.6.1. Taxa de Crescimento Absoluto (TCA)

Segundo Benincasa (1988), a taxa de crescimento absoluto ou taxa de crescimento da cultura é a variação ou incremento de massa da planta, entre duas

amostragens, por unidade de tempo, portanto, a TCA expressa a velocidade média de crescimento ao longo do período de observação.

Conforme o autor a TCA pode ser calculada através da seguinte equação:

$$TCA = \frac{P_2 - P_1}{t_2 - t_1} \quad (\text{g.dia}^{-1}) \quad \dots \text{(eq. 4)}$$

Onde: P_1 - peso da matéria seca no tempo t_1

P_2 - peso da matéria seca no tempo t_2

2.6.2. Taxa de Crescimento Relativo (TCR)

Uma medida bastante apropriada para a avaliação do crescimento vegetal, que é dependente da quantidade de fitomassa que está sendo acumulada, é a taxa de crescimento relativo (Briggs *et al.*, 1920).

Segundo Hunt (1982), a TCR de uma planta, em um tempo t , é definida como o aumento de massa da planta por unidade presente, por unidade de tempo, ou seja, representa a quantidade de fitomassa nova produzida em relação à preexistente. Desta forma, o crescimento dependerá da fitomassa existente no início do período e da eficiência da planta na produção de novos produtos fotossintéticos.

De acordo com Magalhães (1979), a TCR pode ser chamada de índice de eficiência, uma vez que representa a capacidade da planta em produzir matéria nova, ou seja, a sua eficiência na conversão de matéria seca.

A TCR é comumente expressa em $\text{g.g}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ ou $\text{g.g}^{-1}.\text{semana}^{-1}$. Os valores instantâneos da TCR, em função dos dias após transplântio, são obtidos através da seguinte equação, contida em Medeiros *et al.*, (1990):

$$TCR = \frac{TCA}{MS} \quad \dots \text{(eq. 5)}$$

Onde: TCA - taxa de crescimento absoluto no tempo t (g.dia^{-1})

MS - matéria no início do período (g)

2.6.3. Relação Raiz/Parte aérea (R/PA)

Segundo Magalhães (1979), é importante se conhecer a maneira pela qual a matéria orgânica produzida é distribuída pelos órgãos da planta. Um exemplo desta relação “alométrica”, é dado pelo “quociente entre a fitomassa das raízes e da parte aérea da planta” (R/PA). Conforme o autor, esta relação tem grande significado morfo genético, podendo, indicar a contribuição das reservas armazenadas no sistema radicular para o crescimento da parte aérea. Este índice é muito utilizado em estudos relacionados a estresse hídrico e salino para análise do comportamento da planta sob condições de estresse.

$$R/PA = \frac{F_R}{F_{PA}} \quad \dots \text{ (eq. 6)}$$

Onde: F_R – fitomassa do sistema radicular;

F_{PA} – fitomassa da parte aérea.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Cultivo estudado e experimentos

Este trabalho constou de dois experimentos, correspondendo, o primeiro (Experimento I), à fase de germinação, vigor e produção de mudas, conduzido em casa de vegetação, e o segundo (Experimento II), em vasos sob proteção de cobertura plástica estendendo-se até a fase de produção da alface.

Foi utilizado a cultivar de alface (*Lactuca sativa* L.), denominada comercialmente de 'Elba', através de sementes procedentes da empresa TOPSEED. A 'Elba' é uma variedade do grupo "Solta Crespa" que produz folhas, caracteristicamente, crespas e consistentes, com bordas franjadas e coloração normalmente verde claro. É uma variedade intensamente cultivada na região de Campina Grande - PB.

3.2. Localização e caracterização da área experimental

Ambos os experimentos foram conduzidos em instalações do Departamento de Engenharia Agrícola/Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, Campus II, em Campina Grande - PB, com as seguintes coordenadas geográficas: 7°15'18" de latitude sul, 35°52'28" de longitude oeste do meridiano de Greenwich e altitude de 550m, durante o período compreendido entre 19 de novembro de 1999 e 03 de fevereiro de 2000.

O clima da região de acordo com a classificação climática de Köppen adaptada ao Brasil (Nakata & Coelho, 1978; Coelho & Soncin, 1982), é do tipo Csa, que representa um clima mesotérmico, semi-úmido, com verão quente e seco (4 a 5 meses) e

chuvas de outono e inverno. Os meses de junho e julho são os mais frios. As médias anuais são inferiores a 20°C (IBGE, 1991).

3.3. Solo

O material de solo utilizado para o preparo do substrato do Experimento I (sub-item 3.4.2.) e para o enchimento dos vasos do Experimento II (sub-item 3.5.4.), foi um solo franco arenoso, não salino e não sódico, cujas características químicas e físico-hídricas constam nas Tabelas 10 e 11, respectivamente. As análises foram realizadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS), da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Campus II – Campina Grande-PB, de acordo com as metodologias propostas por Richards (1954).

Tabela 10. Características químicas do material de solo utilizado no experimento.

| Características químicas | | Valor |
|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| Complexo sortivo cmol.c.kg ⁻¹ | Cálcio | 0,38 |
| | Magnésio | 0,74 |
| | Sódio | 0,20 |
| | Potássio | 0,06 |
| | Hidrogênio | 2,12 |
| | Alumínio | 0,60 |
| | Soma de bases (S) | 1,38 |
| | Capacidade de troca de cátions (CTC) | 4,1 |
| Saturação de bases (V), % | | 33,66 |
| Porcentagem de sódio trocável (PST) | | 4,88 |
| Carbonato de cálcio Qualitativo | | Ausente |
| Carbono orgânico, g.kg ⁻¹ | | 3,5 |
| Matéria orgânica, g.kg ⁻¹ | | 6,0 |
| Fósforo assimilável, mg.kg ⁻¹ | | 1,9 |
| pH em água (1:2,5) | | 4,80 |
| Condutividade elétrica da suspensão solo-água (1:2,5), dS.m ⁻¹ | | 0,14 |
| pH do extrato de saturação | | 4,54 |
| Condutividade elétrica do extrato de saturação, dS.m ⁻¹ | | 0,50 |
| Extrato de saturação mmol.L ⁻¹ | Cloreto | 2,25 |
| | Carbonato | 0,00 |
| | Bicarbonato | 0,50 |
| | Sulfato | Ausente |
| | Cálcio | 0,62 |
| | Magnésio | 3,00 |
| | Potássio | 0,20 |
| | Sódio | 2,47 |
| Porcentagem de saturação, g.g ⁻¹ | | 18,77 |
| Relação de adsorção de sódio, (mmol.L ⁻¹) ^{0,5} | | 1,84 |
| Classificação em relação a salinidade | | Não salino, não sódico |

Tabela 11. Características físico-hídricas do material de solo utilizado no experimento.

| Características físico-hídricas | | Valor |
|----------------------------------------|-----------------------------|----------------|
| Granulometria g.kg ⁻¹ | Areia | 635,0 |
| | Silte | 198,2 |
| | Argila | 166,8 |
| Classificação textural | | Franco arenoso |
| Densidade aparente, g.cm ⁻³ | | 1,37 |
| Densidade real, g.cm ⁻³ | | 2,68 |
| Porosidade % | | 48,9 |
| Tensão (kPa) | Residual | 0,50 |
| | 10,13 (capacidade de campo) | 8,72 |
| | 20,27 | 7,73 |
| | 33,44 | 6,80 |
| | 50,66 | 5,33 |
| | 101,33 | 4,33 |
| | 202,65 | 4,31 |
| | 506,63 | 3,44 |
| | 1013,25 | 3,11 |
| | 1519,88 (ponto de murcha) | 2,73 |
| Água disponível (%) | | 5,99 |

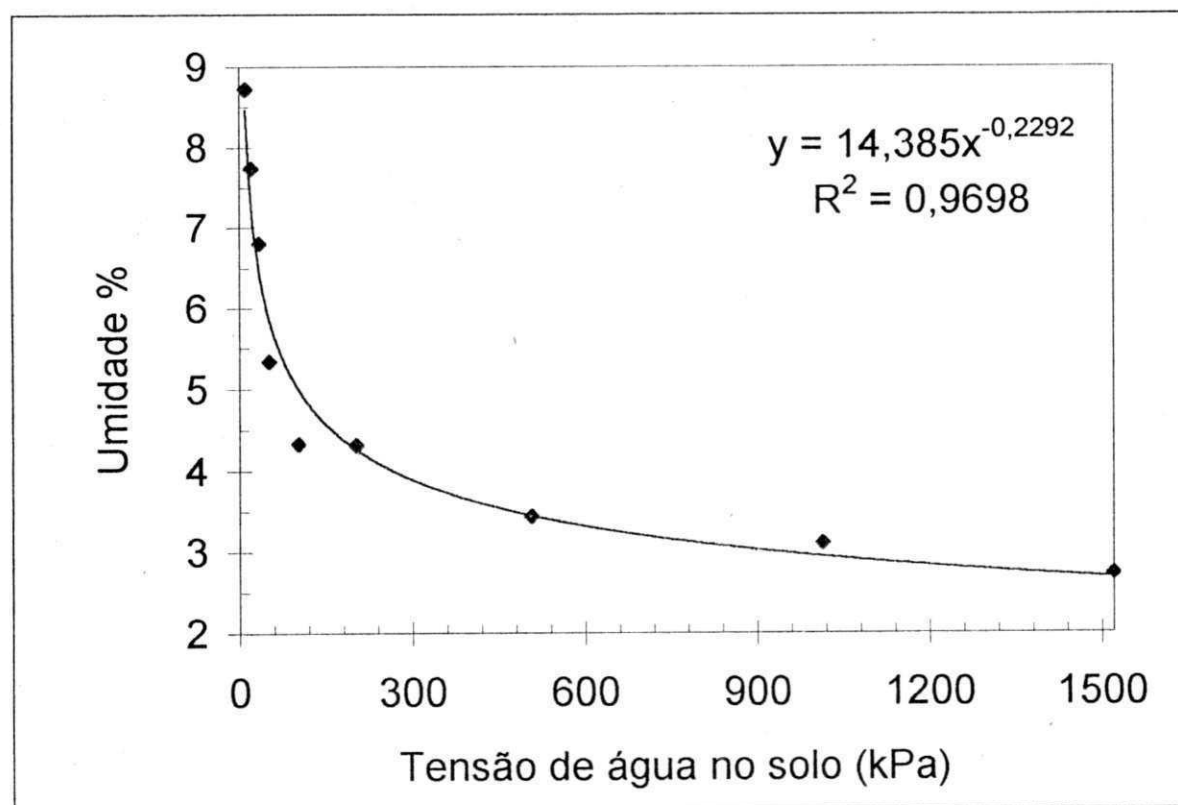


Figura 1. Curva de retenção de água no solo.

3.4. Preparo das águas de irrigação

No preparo das água foi utilizada a relação $\text{meq.L}^{-1} = \text{CE}_a \cdot 10$, extraída de Rhoades *et al.* (1992), e válida para CE_a entre 0,1 a 5dS.m^{-1} .

As águas foram preparadas a partir dos sais NaCl , $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, utilizando-se água do sistema de abastecimento, devidamente diluída com água destilada e acrescido os sais de acordo com o tratamento. A quantidade de cada componente utilizado no preparo das águas de irrigação (NaCl , $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, água do sistema de abastecimento e água destilada) foi determinada de forma a se obter a CE_a do respectivo tratamento, com uma equivalência de 7:2:1 para Na:Ca:Mg, respectivamente. Para tanto, levou-se em consideração as quantidades desses elementos presentes na água do sistema de abastecimento. A diluição com água destilada, específica, para cada tratamento salino, foi necessária para que se conseguisse a proporção desejada entre Na:Ca:Mg.

A proporcionalidade utilizada para Na:Ca:Mg, é de acordo Medeiros (1992), uma aproximação bastante representativa da maioria das fontes de água disponíveis para irrigação no Nordeste brasileiro. No Apêndice 1, consta a sequência de cálculos utilizada no preparo das águas salinizadas.

Na Tabela 12 consta as quantidades de cada componente utilizada no preparo das águas de irrigação utilizadas nos Experimentos I e II, e os resultados das análises químicas da água do sistema de abastecimento (açude de Boqueirão), realizadas conforme as metodologias descritas por Richards (1954), encontram-se na Tabela 13.

Tabela 12. Valores de sais e água utilizados no preparo das soluções de irrigação.

| CE_a (dS.m^{-1}) | NaCl 1N | $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 1N | $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 1N | Água destilada | Água de Boqueirão |
|--------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------|-------------------|
| (mL.L^{-1} de água de irrigação) | | | | | |
| 0,3 | 1,49 | 0,38 | 0,00 | 907,39 | 90,74 |
| 1,0 | 5,32 | 1,39 | 0,17 | 744,84 | 248,28 |
| 1,7 | 8,53 | 2,18 | 0,05 | 494,62 | 494,62 |
| 2,4 | 13,43 | 3,58 | 0,75 | 491,12 | 491,12 |
| 3,1 | 18,33 | 4,98 | 1,45 | 487,62 | 487,62 |
| 3,8 | 24,36 | 6,79 | 2,70 | 0,00 | 966,15 |

Tabela 13. Resultados de análise química da água do sistema de abastecimento – CAGEPA (Boqueirão).

| Cátions | Valor | Ânions | Valor |
|--------------------------------------------------------|--------------|---------------------------------------------------------------------|--------------|
| Ca ⁺⁺ (mmol _c .L ⁻¹) | 2,43 | Cl ⁻ (mmol _c .L ⁻¹) | 8,78 |
| Mg ⁺⁺ (mmol _c .L ⁻¹) | 3,30 | HCO ₃ ⁻ (mmol _c .L ⁻¹) | 2,26 |
| Na ⁺ (mmol _c .L ⁻¹) | 6,73 | CO ₃ ⁻ (mmol _c .L ⁻¹) | 0,00 |
| K ⁺ (mmol _c .L ⁻¹) | 0,20 | SO ₄ ⁻ (mmol _c .L ⁻¹) | 0,00 |
| Σ cátions (mmol _c .L ⁻¹) | 12,66 | Σ ânions (mmol _c .L ⁻¹) | 11,04 |
| pH | 7,78 | RAS (mmol.L ⁻¹) ^{0,5} | 3,98 |
| CE (dS.m ⁻¹) a 25°C | 1,16 | | |

3.4. Experimento I

3.4.1. Tratamentos e delineamento estatístico

Foi estudado o efeito de seis níveis de salinidade da água de irrigação sobre germinação, vigor e produção de mudas da cv. de alface 'Elba' até 46 dias pós semeio. O delineamento estatístico foi o inteiramente casualizado, com cinco repetições e cinco recipientes por parcela.

O estudo de germinação e produção de mudas foi analisado em esquema simples com seis tratamentos, os quais foram:

| Níveis de salinidade da água de irrigação (S) | Condutividade elétrica correspondente (CEa em dS.m ⁻¹) |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| S ₁ | 0,3 |
| S ₂ | 1,0 |
| S ₃ | 1,7 |
| S ₄ | 2,4 |
| S ₅ | 3,1 |
| S ₆ | 3,8 |

O estudo de vigor foi analisado em esquema fatorial, sendo, os tratamentos compostos da combinação de dois fatores: salinidade da água de irrigação, em 6 níveis (acima citados), e época de avaliação, em dois, ou seja, avaliação aos 7 e 14 dias após semeadura (E₁ e E₂, respectivamente). A partir da combinação dos referidos fatores, resultaram doze tratamentos, como segue:

| | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| (1) S ₁ E ₁ | (3) S ₂ E ₁ | (5) S ₃ E ₁ | (7) S ₄ E ₁ | (9) S ₅ E ₁ | (11) S ₆ E ₁ |
| (2) S ₁ E ₂ | (4) S ₂ E ₂ | (6) S ₃ E ₂ | (8) S ₄ E ₂ | (10) S ₅ E ₂ | (12) S ₆ E ₂ |

3.4.2. Instalação e condução do experimento

Para os estudos de germinação, vigor e produção de mudas até 46 dias de idade, foram utilizados copos descartáveis de 150 mL de capacidade, perfurados na parte inferior para permitir a livre drenagem. Os recipientes foram preenchidos com 130 g de substrato composto de 2 partes de húmus de minhoca + 0,5 de arcia lavada + 0,5 de solo “franco arenoso”, com base em peso. Foram preparados 25 recipientes para cada tratamento salino, sendo 5 por repetição. Foram preparados mais 35 recipientes para o tratamento salino S_1 e mais 35 para o S_5 , com o objetivo de fornecer mudas para o Experimento II.

O substrato, já nos recipientes, sofreu 5 lavagens com 40mL de água destilada em cada aplicação, de forma a reduzir a condutividade elétrica da água de drenagem de 7,89 para 0,49 $dS.m^{-1}$. No dia anterior à semeadura, cada recipiente recebeu 40 mL da respectiva água salinizada. O semeio foi realizado no dia 19/11/99, sendo semeadas de forma equidistante oito sementes em cada recipiente e, a profundidade de 0,5cm (CATI, 1997). Após a semeadura efetuou-se uma irrigação com 12 mL/recipiente com a respectiva água.

As irrigações foram efetuadas 2 vezes ao dia, ou seja, pela manhã (09:00h) e final da tarde (18:00h), com a adição de 12 mL da respectiva solução de irrigação, de forma a se obter lixiviação. Houve monitoramento da drenagem uma vez por dia, sendo determinado o volume de drenagem, média de 10 recipientes por tratamento (2 por repetição). Os 10 recipientes eram postos (na hora da irrigação) em bandeja plástica onde se coletava o volume drenado (uma bandeja para cada tratamento).

O desbaste foi realizado no dia 14/12/99, deixando-se duas plântulas por vaso, as que representavam a média das plântulas da respectiva repetição.

Foi utilizado adubação afim de que as plântulas tivessem níveis satisfatórios de crescimento. Desta forma a partir do dia 16/12/99, iniciou-se o seguinte plano de adubação:

- ✓ 16/12/99 – 10 mL/vaso de solução de Nitrato de cálcio a 20 mg.L⁻¹ de N.
- ✓ 18/12/99 – solução de adubo foliar comercial (Albatrós⁸), 1,8g/L, via foliar.
- ✓ 19/12/99 – 10 mL/vaso de solução de Nitrato de cálcio a 20 mg.L⁻¹ de N.
- ✓ 21/12/99 – solução de adubo foliar comercial (Albatrós), 1,8g/L, via foliar.
- ✓ 22/12/99 – 10 mL/vaso de solução de Nitrato de cálcio a 20 mg.L⁻¹ de N.
- ✓ 24/12/99 – solução de adubo foliar comercial (Albatrós), 1,8g/L, via foliar.
- ✓ 25/12/99 – 10 mL/vaso de solução de uréia 0,25%.
- ✓ 28/12/99 – 10 mL/vaso de solução de nitrato de potássio a 20 mg.L⁻¹ de K.
- ✓ 29/12/99 – 10 mL/vaso de solução de uréia 0,25%.
- ✓ 30/12/99 – 10 mL/vaso de solução de Nitrato de cálcio a 20 mg.L⁻¹ de N.
- ✓ 31/12/99 – 10 mL/vaso de solução de uréia 0,25%.
- ✓ 01/01/00 – 10 mL/vaso de solução de nitrato de potássio a 20 mg.L⁻¹ de K.

† A temperatura média ambiente diária medida na casa de vegetação, durante o período do experimento, foi de 30°C. /

3.4.3. Avaliações de germinação, vigor e desenvolvimento final das mudas

Procedeu-se a avaliação da germinação, expressa em percentagem no sétimo dia, conforme recomendação de BRASIL (1992), e no décimo e décimo quarto dia após semeadura. Foram incluídas as duas últimas datas por estar trabalhando com salinidade, que normalmente atrasa a germinação.

O estudo de vigor foi efetuado através de duas avaliações de crescimento/desenvolvimento das plântulas, efetuadas no sétimo e décimo quarto dia após semeadura, utilizando-se de 25 plântulas/tratamento (5 por repetição). As variáveis avaliadas foram: (i) número de folhas (NF); (ii) fitomassa seca da parte aérea (FSPA); (iii) fitomassa seca de raiz (FSR); (iv) fitomassa seca total (FST); (v) comprimento de raiz (CR) – todas por planta; Índice de Velocidade de Emergência (IVE), calculado de acordo com a equação apresentada a seguir, contida em Vieira & Carvalho (1994), através dos dados de número de plântulas emergidas, diariamente, em cada repetição.

⁸ Adubo foliar comercial 'Albatrós'. Composição: N-7%; P₂O₅-17%; K₂O-35%; MgO-3%; Ca-0,10%; B-0,02%; Cu-0,02%; Fe-0,15%; Mn-0,10%; Zn-0,02%; Mo-0,0005%. Quantidade suficiente para molhar totalmente as folhas até começar a escorrer.

$$IVE = \frac{e_1}{N_1} + \frac{e_2}{N_2} + \dots + \frac{e_n}{N_n} \quad \dots \quad (\text{eq. 7})$$

Onde:

e_1, e_2, \dots, e_n - número de plântulas emergidas, computadas na primeira, segunda, ... , última contagem.

N_1, N_2, \dots, N_n - número de dias da sementeira à primeira, segunda, ... , e última contagem.

A avaliação final de crescimento das mudas submetidas aos tratamentos salinos foi efetuada 46 dias após sementeira, sendo estudadas as mesmas variáveis descritas anteriormente para o estudo de vigor, a exceção do IVE, porém, a partir de 10 plantas/tratamento (2 por repetição).

3.5. Experimento II

3.5.1. Tratamentos e delineamento estatístico

Foram testados cinco níveis de salinidade da água de irrigação em mudas da alfaca 'Elba', produzidas sem e com estresse salino, do transplante à colheita.

Os tratamentos resultaram da combinação de dois fatores: salinidade da água de irrigação em 5 níveis, medidos em termos de condutividade elétrica ($S_1=0,3$; $S_2=1,0$; $S_3=1,7$; $S_4=2,4$ e $S_5=3,1$ dS.m⁻¹) e tipo de mudas, produzidas com e sem estresse salino (M_1 - produzida com CEa de 0,3; M_2 com CEa de 3,1 dS.m⁻¹). Com a combinação dos dois fatores foram obtidos os dez tratamentos relacionados a seguir:

- | | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| (1) M_1S_1 | (3) M_1S_2 | (5) M_1S_3 | (7) M_1S_4 | (9) M_1S_5 |
| (2) M_2S_1 | (4) M_2S_2 | (6) M_2S_3 | (8) M_2S_4 | (10) M_2S_5 |

O ensaio foi instalado no delineamento estatístico inteiramente casualizado, com dez tratamentos e três repetições, arranjados em esquema fatorial 5x2. Cada parcela experimental constituiu-se de um vaso, contendo, inicialmente quatro plantas.

3.5.2. Recipientes

Os vasos com capacidade de 21,21 L ($353,43 \text{ cm}^2$ de área x 60 cm de altura) foram confeccionados a partir de tubos de PVC de 300 mm de diâmetro. Para tanto, os tubos foram cortados “transversalmente em pedaços de 60cm” e “longitudinalmente ao meio”. A parte inferior foi fechada com um “tampo” de madeira confeccionado com um furo central onde foi instalada a tubulação de drenagem. A parte frontal foi fechada com um retângulo de acrílico com as dimensões de 60 cm x 30 cm, comprimento e largura, respectivamente. Um recipiente plástico com capacidade de 3L, foi conectado à saída da drenagem para coleta da lâmina de lixiviação. Uma vista frontal do vaso, ou “parcela experimental”, pode ser observada na Figura 2. Os vasos foram instalados sobre estrutura de alvenaria individual.

3.5.3. Controle das irrigações e monitoramento da drenagem

As irrigações foram efetuadas diariamente ao final de cada tarde. Até 11 dias após o transplântio (DAT) adotou-se um único volume de irrigação para todos os tratamentos (500mL da respectiva água) devido a não se observar diferença de demanda de água entre os tratamentos. O volume de irrigação foi calculado de forma a se obter aproximadamente, 50% de drenagem para facilitar o pegamento das mudas e lavar os sais do substrato oriundos da matéria orgânica. A partir daí, em função do sucesso no pegamento das mudas e das distintas demandas evapotranspirométricas, cada um dos dez tratamentos passou a ter um volume de irrigação próprio, corrigido, diariamente em função do percentual drenado, de forma a se obter 30% de lixiviação, e corrigir o aumento da demanda de água, devido ao crescimento das plantas. Assim, o volume de irrigação era calculado diariamente com base no volume evapotranspirado no dia anterior, dividido pelo fator de “0,7”, de forma a restabelecer a umidade no solo à capacidade de campo, e se obter um volume médio de drenagem de aproximadamente 30%. A fração de lixiviação adotada, é uma aproximação da média dos valores calculados para cada nível salino de água de irrigação (Tabela 14), de acordo com a equação apresentada por Rhoades (1974), a seguir:

$$NL = \frac{CEa}{5 \cdot CEes - CEa} \quad \dots \text{ (eq. 8)}$$

Onde: NL – necessidade de lixiviação

CEes – salinidade limiar da cultura, em $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ conforme Maas & Hoffman (1977)

Tabela 14. Estimativa da necessidade de lixiviação média a ser utilizada no Experimento II, conforme equação apresentada por Rhoades (1974).

| | | | | | |
|------------------------------------------------------------|-----|-----|-------------------------------------|-----|-----|
| CEa ($\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$) | 0,3 | 1,0 | 1,7 | 2,4 | 3,1 |
| CEes limiar da cultura ($\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$) | | | 1,3 $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ | | |
| NL (%) | 21% | 24% | 27% | 32% | 38% |
| Média pela fórmula | | | 28% | | |
| Valor adotado | | | 30% | | |

3.5.4. Preparo do solo e enchimento dos vasos

Em função do baixo pH apresentado pelo solo (pH em água 4,54), inadequado a alface (ideal entre 6,0 e 6,8 de acordo com Filgueira, 1982), realizou-se calagem mediante o método de saturação de bases, com o objetivo de elevar o pH do solo para 6,25 ($\text{pH}_{\text{provável}} = 4,5 + 0,025V$, conforme Osaki, 1991), através da elevação da percentagem de saturação de bases (33,66%) para 70% (Osaki, 1991; van Raij *et al.*, 1985). Assim, estimou-se a quantidade de carbonato de cálcio necessária pelo referido método e a partir daí, calculou-se a equivalência em termos de hidróxido de cálcio, que foi o corretivo utilizado, devido à sua maior reatividade, além do fato de não ser necessário adicionar mais magnésio, uma vez que a percentagem de saturação deste elemento no material de solo original, já era de 18% da CTC potencial do solo (CTC a pH 7,0). A dose do produto utilizado (cal hidratada) foi de $0,47\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ de solo, levando em considerando a pureza do produto (85%).

Além da calagem foi realizada adubação construtiva de fertilidade para fósforo e potássio, de acordo metodologia descrita por Lopes & Guidolin (1989). Para o fósforo esta adubação teve o objetivo de elevar a quantidade deste elemento no material de solo de 1,9 para $12 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, para tanto se utilizando de 0,64g de superfosfato simples, com 18% de P_2O_5 por quilograma de solo, considerando eficiência de adubação fosfatada de 20%. Para potássio, admitindo-se que com a calagem realizada o pH seria elevado a 6,25, e

com isso seriam liberadas cargas negativas equivalentes a 70% da CTC potencial, a adubação construtiva teve o objetivo de elevar para 3% a participação deste elemento na CTC efetiva a pH 6,25, conforme metodologia descrita por Lopes & Guidolin (1989), assim, utilizou-se $17,6 \text{ mg de KCl.kg}^{-1}$ de solo.

Levando-se em consideração a densidade do solo e a da matéria orgânica utilizados no experimento ($1,37$ e $0,7 \text{ g.cm}^{-3}$, respectivamente), procedeu-se à adição de húmus de minhoca ao solo, em quantidade suficiente para elevar a quantidade de matéria orgânica (MO) de 6 para 25 g.kg^{-1} . Para o enchimento dos 20 cm da parte superior dos recipientes, a adição de MO foi de um terço, com base em volume, em função da natureza da cultura (olerícola) e da superficialidade de seu sistema radicular, exigindo solos friáveis para boa produção, conforme Filgueira (1982).

Após a adição da MO, o solo passou por um processo de desinfecção e desinfestação com “brometo de metila” na dose recomendada pelo fabricante, ou seja, $150 \text{ mL do produto/m}^3$ de solo. O período de tratamento foi de uma semana.

Como pode ser observado na Figura 2, os vasos foram preenchidos no sentido “base-superfície”, por uma camada de 5 cm de brita ($1,77 \text{ L}$) + 5 cm de areia lavada ($1,77 \text{ L}$) + 25 cm de solo ($8,84 \text{ L}$) + 20 cm de substrato ($7,07 \text{ L}$) composto de: $2/3$ de solo + $1/3$ de húmus de minhoca (base volume). Deixou-se uma camada livre de 5 cm na superfície para facilitar as irrigações.

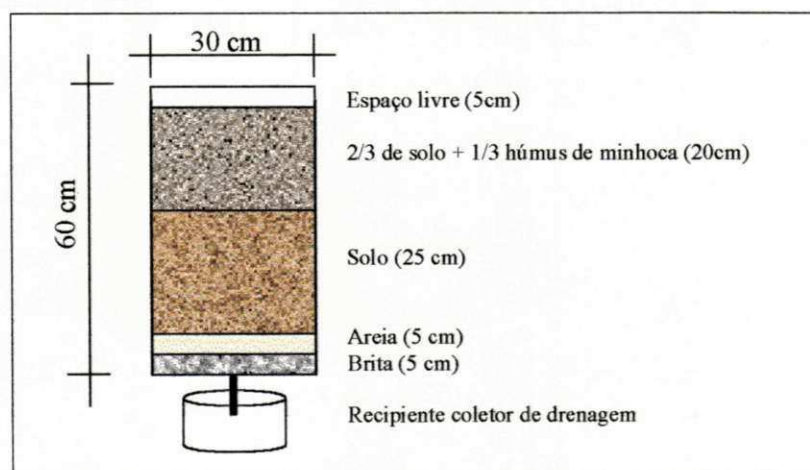


Figura 2. Disposição das camadas de material usado no preenchimento dos vasos.

3.5.5. Transplântio

O transplântio foi efetuado no dia 4 de janeiro de 2000. Em cada vaso foi transplântado o conteúdo de dois copos, cada um com duas mudas de 46 dias. As mudas utilizadas no transplântio foram as que representavam a média das produzidas com água de 0,3 e 3,1 dS.m⁻¹, para os tratamentos M₁ e M₂, respectivamente.

Por ocasião do transplântio, procedeu-se a avaliação das mudas restantes (avaliação final do Experimento I). As variáveis avaliadas foram: número de folhas (NF), fitomassa seca da parte aérea (FSPA), de raiz (FSR) e total (FST), comprimento de raiz (CR), já descritas anteriormente.

3.5.6. Desbaste

Foram realizados dois desbastes, deixando-se sempre as plantas mais vigorosas em cada vaso. A operação foi realizada, cortando-se com o auxílio de um estilete, a haste da planta rente ao nível do solo, no vaso. A partir das plantas desbastadas obteve-se a fitomassa verde e seca da parte aérea e o número de folhas/planta. O primeiro desbaste aconteceu no dia 14/01/00 (10 DAT), eliminando-se duas plantas por vaso; o segundo foi no dia 24/01/00 (20 DAT), deixando-se uma planta por vaso, sendo colhida 10 dias após, ou seja, aos 30 DAT.

3.5.7. Controle de ervas daninhas

O controle de plantas invasoras foi realizado manualmente, tão logo surgiam, porém, em função de o substrato de crescimento ter passado por tratamento com “brometo de metila”, o surgimento de ervas daninhas foi muito reduzido.

3.5.8. Adubação

Em função da elevada quantidade de húmus de minhoca utilizada no preparo do substrato de preenchimento dos vasos na camada 0-20cm, dispensou-se a adubação de fundação nitrogenada. Porém para “fósforo” foram incorporados 10 g de superfosfato simples/vaso na camada 0-20cm, o equivalente a uma adubação de 120kg.ha⁻¹

de P_2O_5 , conforme recomendação de Filgueira (1982), que é de 90 a $150\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de P_2O_5 , conforme o solo disponha mais de 30 ou menos de $10\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de “P” disponível. Vale ressaltar que na estimativa dos 10g/vaso, previu-se o desbaste de duas plantas aos 10 DAT e de mais uma aos 20 DAT.

As adubações N-K foram efetuadas em cobertura, através de dez aplicações no solo de solução de nitrato de potássio – KNO_3 – ($1,6\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) na dose de 100mL/vaso, sendo o fornecimento de nitrogênio suplementado por seis aplicações de 50mL/vaso de solução de uréia a 2,5g/L. As aplicações foram iniciadas dez dias após o transplântio (logo depois do primeiro desbaste), ou seja, quando se confirmou o pegamento das mudas, conforme recomendação de Osaki (1991), e foram realizadas diariamente, conforme Tabela 15. O plano de adubação N-K forneceu 176 mg de K_2O e 164,5 mg de N para a planta colhida no tempo intermediário e 528 mg de K_2O + 381 mg de N para cada planta colhida no final do experimento.

Tabela 15. Calendário de adubação utilizado no Experimento II.

| | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 14/01 | 15/01 | 16/01 | 17/01 | 18/01 | 19/01 | 20/01 | 21/01 | 22/01 |
| U | N | U | N | N | U | N | N | U |
| 23/01 | 24/01 | 25/01 | 26/01 | 27/01 | 28/01 | 29/01 | 30/01 | |
| * | N | U | N | N | U | N | N | |

U = 50mL de solução de uréia a 2,5 g/L; N = 100mL de solução de nitrato de potássio a 1,6 g/L;

* = não foi realizado adubação.

As quantidades de N e K_2O , fornecidas por planta (381 mg de N + 528 mg de K_2O), foram baseadas nas recomendações de $60\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N em cobertura e, $90\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de K_2O , quando o solo tem teor inferior a $60\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de K, conforme Filgueira (1982).

3.5.9. Colheita

A colheita foi realizada no dia 03/02/00, ou seja, 30 dias após o transplântio das mudas. O critério utilizado para se decidir o “momento de colher” foi o de quando 2/3 das plantas, em qualquer tratamento, atingisse o ponto de colheita. A colheita foi iniciada às 19:00h, quando então as plantas já tinham um aspecto denotando boa recuperação da turgescência. Para tanto, a haste de cada planta foi cortada rente ao nível do solo, com pesagem da parte aérea (cabeça), logo em seguida, em balança com precisão de 0,01g, instalada no local; na sequência, foi contado o número de folhas que tivessem mais de 5cm

de comprimento, só então era colhida outra planta; depois as plantas foram individualmente acondicionadas em sacos de papel, devidamente identificados, e levados para secagem em estufa a 65°C, até massa constante. Antes da coleta do sistema radicular, foi retirada uma amostra de solo por vaso na camada 0 a 25, em seguida, com auxílio de jato d'água, o sistema radicular foi cuidadosamente separado do solo e posteriormente lavado, para retirada de todas as partículas, sendo toda essa operação realizada sobre tela de malha fina, com o objetivo de se evitar perda de massa radicular. Assim como para a parte aérea, as raízes foram individualmente acondicionadas em sacos de papel, devidamente identificados, e postos a secar em estufa a 65°C, até massa constante.

3.5.10. Avaliação do crescimento da cultura

O crescimento da cultura foi avaliado aos 10, 20 e 30 dias após o transplântio das mudas. Na primeira época, os dados foram oriundos de duas plantas por parcela e nas outras avaliações, de uma planta por parcela.

As três coletas foram efetuadas no início da noite, sendo todas as medidas, à exceção da matéria seca, efetuadas tão logo a planta era colhida. Aos 10 e 20 DAT, coletou-se apenas a parte aérea, sendo a metodologia de coleta, a mesma descrita no subitem 3.5.9, à exceção do critério de contagem do número de folhas, em que nas duas primeiras avaliações, foram consideradas as que estivessem totalmente abertas, e na coleta final, como anteriormente descrito, contaram-se as folhas que tivessem comprimento superior a 5 cm.

As variáveis estudadas – todas por planta – foram:

- (a) fitomassa verde da parte aérea → obtida através de pesagem em balança digital instalada no local, tão logo a planta era colhida. Utilizou-se balança com sensibilidade de 0,0001g, para as duas primeiras coletas e de 0,01g para a coleta final, devido ao tamanho das plantas dificultar o uso da balança de quatro casas decimais;
- (b) fitomassa seca da parte aérea → obtida por pesagem em balança digital (0,0001g), após secas em estufa de ventilação forçada a 65°C, até massa constante;
- (c) número de folhas → contou-se o número de folhas que estivessem totalmente abertas, sendo que na avaliação final, contou-se as folhas que apresentavam comprimento mínimo de 5 cm, desprezando-se as folhas que estavam secas rente ao solo;

- (d) fitomassa seca de raízes → idem variável (b). Esta variável só foi mensurada na coleta final, ou seja, por ocasião da colheita (30 DAT);
- (e) diâmetro médio da cabeça → obtido através da medição, na horizontal, em três direções equidistantes, em cada planta, ainda no vaso. Assim como a variável (d), o diâmetro médio da cabeça só foi mensurado por ocasião da coleta final.
- (f) fitomassa seca total da planta → esta variável, também, só foi mensurada por ocasião da colheita, constando da soma da fitomassa de raiz com a da parte aérea, obtidas aos 30 DAT.

Além das variáveis de crescimento, nos últimos dez dias do ciclo, realizou-se diariamente, às 14 horas, mensuração da temperatura foliar, mediante termômetro infravermelho, para constatação da atividade transpiratória da alface, nos diversos tratamentos salinos. Conforme Cairo (1995), o aumento da temperatura foliar pode ser um forte indicador da ocorrência de déficit hídrico no solo, uma vez que sinaliza o fechamento dos estômatos, uma tentativa de a planta evitar maiores perdas de água por transpiração.

3.5.11. Índices fisiológicos

A partir dos dados de matéria seca obtidos nas avaliações, foram calculados os seguintes índices fisiológicos: (a) Taxa de crescimento absoluto (TCA), conforme equação 4 (pág. 47) descrita por Benincasa (1988); (b) Taxa de crescimento relativo (TCR), conforme equação 5 (pág. 47), contida em Medeiros (1990); (c) Relação raiz/parte aérea (R/PA) segundo equação 6 (pág. 48), extraída de Magalhães (1979).

3.5.12. Análise do solo no fim do Experimento II

Para a realização das análises de salinidade no solo, foi retirada uma amostra em cada vaso na camada "0 a 25 cm". As análises constaram de pH da pasta de saturação, condutividade elétrica do extrato de saturação a 25°C, cátions (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ e Na^+) e ânions (Cl^- , CO_3^{--} , HCO_3^- , sulfato qualitativo), de acordo com metodologia proposta por Richards (1954).

3.6. Análise estatística

3.6.1. Experimento I

O efeito dos diferentes níveis de salinidade de água de irrigação sobre a germinação, e crescimento das mudas, até 46 dias pós-semeadura, foi avaliado mediante aplicação de análise de variância simples e teste “F”, e o efeito dos diferentes níveis de CEA e épocas de avaliação, sobre o vigor das plântulas de alface, foi analisado em esquema fatorial, também através de teste “F” (Gomes, 1978; Ferreira, 1991). Foi realizada análise de regressão polinomial (linear e quadrática) para explicar o efeito da salinidade em cada variável estudada, por ser um fator quantitativo, e teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade no estudo de vigor, para comparação das médias do fator “época de avaliação”, por ser qualitativo, seguindo-se as recomendações contidas em Santos *et al.* (1998).

3.6.2. Experimento II

O efeito dos diferentes níveis de salinidade de água de irrigação e tipos de mudas sobre o crescimento e produção da alface foi analisado em esquema fatorial, mediante aplicação de análise de variância e teste “F” (Gomes, 1978; Ferreira, 1991). Para o fator “níveis de salinidade de água de irrigação” realizou-se análise de regressão polinomial (linear e quadrática), por ser um fator quantitativo; para o fator “tipo de mudas”, por ser qualitativo, aplicou-se o teste de Tukey (nível de 5% de probabilidade) para comparação das médias, baseado em Santos *et al.* (1998).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Experimento I

4.1.1. Percentual de germinação (PG)

Verifica-se pela análise de variância dos dados de germinação (Tabela 16), ter havido efeito significativo da salinidade da água de irrigação (1% de probabilidade), nas três épocas de avaliação. Os dados obtidos no 10^o e 14^o dias após semeadura (DAS) foram os mesmos, portanto, não houve variação do número de sementes germinadas, entre as duas últimas avaliações. De acordo com os estudos de regressão, o efeito da salinidade foi quadrático, nas três épocas de contagem (7^o, 10^o e 14^o DAS).

Conforme as equações obtidas (Figura 3), houve incremento do percentual de germinação até 1,7dS.m⁻¹ (S₃) na contagem de 7 DAS e até 1,56 dS.m⁻¹ na contagem final – 14 DAS (nesta última o incremento de S₁ ao ponto de máxima foi de 4,4%), quando, então, começou a decrescer o número de sementes germinadas. Com base no modelo matemático exposto para 14 DAS, observa-se que só a partir de 2,81dS.m⁻¹ houve decréscimo relativo da germinação, comparada ao valor obtido no nível mais baixo (S₁), como pode ser constatado mediante observação da Figura 3, onde os valores de PG para 0,3 e 2,81dS.m⁻¹, aos 14 DAS foram rigorosamente iguais. A germinação diminuiu 2,21% no nível S₅ de CEa e 9,58% em S₆ (com base na equação de 14 DAS). Apesar de ter havido efeito significativo da salinidade sobre o PG, verifica-se que com o nível salino mais elevado (3,8dS.m⁻¹), a percentagem de germinação, relativa a S₁, foi de aproximadamente 90%.

Não havendo na literatura disponível, resultados de pesquisa, a respeito dos efeitos de salinidade sobre a germinação em alface, comparam-se os do presente trabalho

com os obtidos por Souza (1999), em melão e melancia; com a primeira espécie, esse autor verificou aumento da germinação, nos tratamentos mais baixos de CEa, chegando a 9%, em relação à testemunha (água destilada), quando a CEa foi de $2\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, produzida com cloreto de cálcio, reduzindo-se após esse nível; em melancia, o mesmo autor obteve incremento relativo de 10% para o tratamento de $2\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, a partir de solução de nitrato de cálcio, e de 6% quando a irrigação era com água de $4\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, preparada com cloreto de cálcio, também seguidos de queda do PG acima dos citados níveis.

Desta forma, infere-se que até o nível de $2,81\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ – conforme o estudo de regressão – a redução de potencial osmótico (ψ_o) da solução do solo, gerado pela salinidade, não prejudicou a absorção de água pelas sementes de alface; ao contrário, parece ter favorecido o processo de embebição das sementes, em função da manutenção de um maior teor de umidade no substrato, no período compreendido entre irrigações, hipótese que pode ser constatada pelo maior volume de drenagem coletado (inclusive antes da germinação das sementes), quanto maior era a salinidade (Apêndice 2).

De acordo Uhivits (1946) e Ayers & Hayward (1949), o efeito prejudicial da salinidade sobre a germinação deve-se à diminuição da absorção de água pelas sementes, em função da redução do ψ_o da solução do solo, bem como, à absorção excessiva de íons, afetando vários processos fisiológicos, relacionados à germinação. No presente trabalho, aconteceu redução da germinação, nos níveis mais altos de salinidade, quando o ψ_o na solução do solo estava, provavelmente baixo, a ponto de dificultar o processo de absorção de água pelas sementes.

Segundo Uhivits (1946) e Prisco & O'Leary (1970), a ocorrência excessiva de sais solúveis no solo acarreta redução do potencial hídrico e, por conseguinte, redução do gradiente de potencial, entre o solo e a semente, dificultando o processo de embebição e comprometendo a germinação. Certamente, foi o que aconteceu neste trabalho, com alface, em níveis mais altos de CE.

Nos níveis mais altos de salinidade, podem ter ocorrido problemas de toxicidade, direta ou indireta, provavelmente por sódio, como freqüentemente reportado na literatura. Souza (1999), estudando germinação de melão, constatou maiores valores de percentagem de germinação com os sais de cálcio que com os de sódio. Segundo Mehta & Desai (1957), o íon sódio inibe mais a germinação que o cálcio, em várias culturas. Grid-

Papp (1969) verificou que os sais de cálcio estimulam a germinação de sementes de algodão, enquanto que sais de sódio e potássio inibem a germinação e o crescimento da radícula.

Observa-se, através das médias dos vários tratamentos (Tabela 16), ter havido pequena variação do percentual de germinação, a partir de uma semana, apenas com um pequeno incremento nos níveis salinos S_1 e S_2 , sendo que, para os demais tratamentos, não houve nenhum aumento após o período de contagem de sete dias após a semeadura, período esse, recomendado por Brasil (1992), para teste de germinação de alface. Verifica-se, também, que o percentual de germinação (PG) máximo foi de 87% (Tabela 16); em todos os tratamentos foram obtidos valores médios de PG acima do padrão mínimo nacional que é de 70% (Filgueira, 1982).

Tabela 16. Resumo de ANAVA e médias para percentagem de germinação da alface nas três épocas de avaliação, aos 7, 10 e 14 dias após semeadura (DAS).

| Causa de variância | Épocas de avaliação (DAS) | |
|--------------------|---------------------------|------------------------|
| | 7 | 10 e 14 ⁽¹⁾ |
| | Teste F | |
| Salinidade (S) | 6,34 ** | 6,08 ** |
| Reg. Pol. Linear | 7,4582 * | 11,4424 ** |
| Reg. Pol. Quadr. | 17,1840 ** | 12,3403 ** |
| Desv. Reg. | 2,3585 ^{ns} | 2,2035 ^{ns} |
| QMResíduo | 17,7083 | 18,5417 |
| CV (%) | 5,22 | 5,31 |
| | Médias | |
| Salinidade | | |
| S_1 | 78,50 | 80,50 |
| S_2 | 86,50 | 87,00 |
| S_3 | 82,00 | 82,00 |
| S_4 | 82,50 | 82,50 |
| S_5 | 82,00 | 82,00 |
| S_6 | 72,50 | 72,50 |

⁽¹⁾ Os valores observados no 10º dia não variaram até o 14º dia; (*) significativo a 5% e (**) a 1% de probabilidade; (^{ns}) não significativo a 5% de probabilidade.

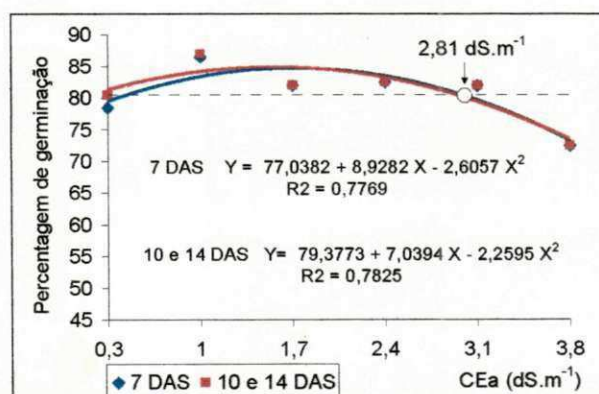


Figura 3. Curvas de regressão significativas para percentagem de germinação em função da salinidade da água de irrigação aos 7, 10 e 14 dias após semeadura (DAS) da alface.

4.1.2. Avaliação de vigor

4.1.2.1. Índice de velocidade de emergência (IVE)

De acordo com os valores contidos na Tabela 17, observa-se que a velocidade de emergência de plântulas, expressa em termos de 'IVE', foi afetada pela salinidade (S), sem ter variado entre épocas (E) de contagem – 7 e 14 dias após a semeadura (DAS). Não sendo significativa a interação SxE, o efeito da salinidade, sobre a velocidade de emergência, não variou entre os dois períodos de avaliação citados.

O efeito dos tratamentos salinos, sobre a velocidade de emergência, foi bastante semelhante ao obtido para o percentual de germinação, com efeito quadrático da salinidade sobre o IVE, significativo ao nível de 1% de probabilidade (Tabela 17). Conforme o modelo quadrático obtido, houve incremento de 0,3 (S_1) a 1,36 $dS.m^{-1}$, quando então a velocidade de emergência começou a decrescer (Figura 4). Houve decréscimo relativo (comparado a S_1) do IVE, a partir de 2,42 $dS.m^{-1}$, valor este, inferior ao discutido no sub-item anterior, para o percentual de germinação (2,81 $dS.m^{-1}$), denotando, assim, uma maior sensibilidade para velocidade de emergência, com o aumento da salinidade; isto já era de se esperar, uma vez que a salinidade, ao reduzir o potencial osmótico do meio, aumenta o tempo de embebição das sementes, retardando a emergência das plântulas.

Vários autores têm constatado redução da velocidade de emergência, em outras espécies, devido à diminuição do potencial osmótico, quer através de tratamentos de salinidade, como no caso de coentro, estudado por Filgueira (1993), quer de simulação de estresse, induzido por agentes osmóticos, como nos casos de Magalhães & Carelli (1972), em feijão, Sharma (1976), em forrageiras, e Pereira (1997), em algodão; redução da velocidade de emergência foi, também, observada em algodão, por Jensen (1971), com níveis crescentes de estresse hídrico no solo.

Conforme a equação obtida (Figura 4), os decréscimos de IVE, relativos a S_1 , foram de 6,63 e 16,77%, para S_5 e S_6 , respectivamente. Comparando-se estes valores com os discutidos para o PG nos tratamentos S_5 e S_6 (2,21 e 9,58%, respectivamente), confirma-se que a salinidade afetou mais a velocidade de emergência que o percentual de germinação em si.

4.1.2.2. Avaliação de crescimento aos 7 e 14 dias após semeadura (DAS)

Conforme a análise de variância (Tabela 17), a salinidade afetou, significativamente, o vigor das plântulas em termos de número de folhas (NF), comprimento de raiz (CR), fitomassa seca da parte aérea (FSPA), de raiz (FSR) e total (FST), aos 7 e 14 DAS, ao nível de 1% de probabilidade. As médias observadas estão apresentadas na Tabela 17.

O efeito da salinidade sobre o NF e CR não dependeu da época de avaliação. Embora tenha havido diferença significativa, também, entre as duas épocas, o efeito não foi interativo com os níveis de salinidade (Tabela 17). Com base nos estudos de regressão, observa-se que o vigor das plântulas, expresso em termos de número de folhas e comprimento de raiz, decresceu linearmente com o aumento da salinidade, segundo os modelos matemáticos contidos na Figura 4, e variou, também, entre o 7º e o 14º DAS, conforme a comparação de médias, através do Teste de Tukey a 5% de probabilidade (Tabela 17).

O fato de o efeito da salinidade não ter dependido da época, pode ser constatado pela semelhança entre os termos “b” das equações, aos 7 e 14 DAS (principalmente para NF - Figura 4), termo esse, que rege a taxa de decréscimo absoluto com o aumento da salinidade. Para se comprovar a igualdade estatística dos coeficientes angulares (b), obtidos para os modelos matemáticos nas duas épocas, realizou-se teste de paralelismo entre as curvas de 7 e 14 DAS, para cada variável, segundo metodologia descrita por Graybill (1976), constatando-se não haver, de fato, diferença estatística entre os termos “b” das equações nas duas avaliações, ao nível de 5% de probabilidade (Tabela 20), reforçando o resultado da análise de variância para a interação, anteriormente discutido.

Apesar de não ter havido efeito interativo, optou-se por realizar regressões individuais, em cada época de amostragem, por se tratar de estudos de vigor, em que é importante se avaliar a variação ocorrida entre duas épocas e, ainda mais, por ter ocorrido incremento médio para NF e CR de 26,41 e 32,40%, respectivamente, de 7 para 14 DAS.

Ao contrário, o vigor das plântulas, avaliado através da fitomassa seca da parte aérea (FSPA), de raízes (FSR) e total (FST), foi afetado pela salinidade (S),

diferentemente, entre as duas épocas de avaliação (E), conforme se observa pelos valores significativos das respectivas interações (SxE) na Tabela 17. Os valores de desdobramento dessas interações encontram-se na Tabela 21. Verifica-se que aos 7 DAS (S em E₁), a produção de fitomassa decresceu linearmente com o aumento da salinidade, enquanto que aos 14 DAS (S em E₂) a resposta foi quadrática para FSPA e FST. Foi rejeitado o modelo quadrático, para essas duas variáveis, devido ao fato de os valores de FSPA e FST, voltarem a crescer a partir de S₅, conforme as respectivas equações, fato esse improvável de acontecer sob condições de salinidade, adotando-se, por isso, o modelo linear que, também, teve significância ao nível de 1% de probabilidade e razoável coeficiente de determinação (Figura 4).

Barros (1998), estudando vigor em melão, da mesma forma, encontrou efeito linear e decrescente da salinidade da água de irrigação, sobre o comprimento de raiz, fitomassa seca da parte aérea, de raiz e total.

Conforme o desdobramento do fator 'E', em cada nível de 'S', verifica-se que para as três variáveis, constantes na Tabela 21, houve incremento significativo de fitomassa (1% de probabilidade) entre as duas avaliações (E₁ e E₂), mesmo nos níveis mais altos de salinidade, fato comprovado também pelo teste de comparação de médias, contido na mesma Tabela 21 (Tukey - 5% de probabilidade). As médias observadas estão apresentadas nas Tabelas 17 e 21.

De acordo com as equações lineares obtidas (Figura 4), os percentuais de "decréscimos relativos" por incremento unitário de salinidade (CEa) aos 7 e 14 DAS foram de 6,16 e 4,71%, 4,86 e 6,01%, 9,66 e 9,16%, 12,54 e 12,53%, 10,71 e 10,92%, respectivamente para NF, CR, FSPA, FSR e FST. Observa-se, mediante os citados decréscimos, que a salinidade afetou mais o vigor em termos de fitomassa, sendo mais acentuado para fitomassa seca de raiz, em ambas as épocas de avaliação; embora alguns trabalhos, encontrados na literatura, reportem que a salinidade iniba menos o crescimento radicular do que o da parte aérea (Meiri & Shalhevet, 1973; Maas & Hoffman, 1977; Shannon, 1979), outros, referenciam o sentido inverso, abordando, o maior efeito negativo da salinidade sobre as raízes (Amorim, 1994; Marinho, 1996).

Houve efeito de época de amostragem ao nível de 1% de probabilidade, para todas as variáveis estudadas (Tabela 17). Analisando-se apenas aquelas em que o efeito foi

isolado, vê-se pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, que E_1 diferiu de E_2 ; os acréscimos médios de 7 para 14 DAS, foram de 26,18 e 32,40% para NF e CR, respectivamente. Em termos de fitomassa, em que os fatores foram interativos, constatam-se os maiores incrementos entre as avaliações (Tabela 18), justamente a dimensão mais afetada pela salinidade, nas duas épocas de avaliação, como anteriormente discutido (decréscimos relativos). Observa-se, ainda, pela Tabela 18, que o maior incremento de 7 para 14 DAS, ocorreu em termos de FSR, o que também pode ser constatado na Tabela 19, onde se verifica que, em média, aos 7 DAS a relação raiz/parte aérea foi de 46%, valor este aumentado para 95% aos 14 DAS; as plantas, de 7 para 14 DAS, desenvolveram mais o sistema radicular, independentemente da salinidade (aproximadamente 276% em cada nível de salinidade – Tabela 18), embora o efeito da salinidade, em cada época, tenha sido mais severo para a FSR, como discutido anteriormente (maiores decréscimos relativos para FSR, nas duas épocas). O fato, talvez, seja característico da espécie em estudo, investindo, logo após a germinação, no crescimento da parte aérea, para logo realizar fotossíntese e passar a ser independente das reservas da semente e, em um segundo momento, incrementar a massa radicular para atender a demanda transpiratória.

Verifica-se, na última avaliação de vigor (14 DAS), que com o aumento da salinidade acima de S_2 , ocorreu menor relação raiz/parte aérea, confirmando o maior efeito depreciativo da salinidade sobre o crescimento radicular (Tabela 19). Observa-se, como citado anteriormente, que independentemente da salinidade, houve 276% de acréscimo de FSR entre as avaliações, porém, o incremento de FSPA entre 7 e 14 DAS foi crescente com a salinidade (Tabela 19), daí a menor R/PA aos 14 DAS, nos níveis mais altos de CEa.

Voltando-se ao efeito interativo obtido para FSPA, FSR e FST (Tabela 17), verifica-se, através da Figura 4, que as taxas de decréscimo “absoluto”, ocorridas com o aumento da salinidade, aos 7 e 14 DAS, foram distintas, como pode ser constatado pela diferença estatística entre os coeficientes angulares, obtidos aos 7 e 14 DAS, para as três variáveis, conforme o teste de paralelismo (Tabela 20).

Apesar dos distintos valores de decréscimos absolutos, observados entre as épocas de avaliação (E' – Tabela 20), em termos “relativos” os decréscimos ocorridos, por incremento unitário de CEa (comparados a S_1), aos 7 e 14 DAS, foram muito semelhantes (9,66 e 9,16%, 12,54 e 12,53%, 10,71 e 10,92%, respectivamente para FSPA, FSR e FST). O fato aconteceu, justamente, em função de ter ocorrido incremento semelhante de 7

para 14 DAS, em todos os níveis salinos (Tabela 18), sendo, em média, de 81,20 para FSPA, 276,49 para FSR e de 143,92% para FST, o que manteve a mesma tendência de “decréscimo relativo”, entre as duas avaliações, em cada variável e, obviamente, aumentou o “decréscimo absoluto” de fitomassa por incremento de salinidade aos 14 DAS (em cada variável), resultando daí o efeito interativo (SxE).

Com base no anteriormente discutido, constata-se que a salinidade afetou, negativamente, o vigor, em todas as variáveis estudadas, com decréscimo linear a partir de S_1 , a exceção do IVE, onde só houve decréscimo (comparado a S_1) com CEa superior a $2,42 \text{ dS.m}^{-1}$, conforme o modelo matemático obtido. O vigor, em termos de NF e CR, foi afetado de forma semelhante aos 7 e 14 DAS, ou seja, com taxa de decréscimo absoluto estatisticamente igual nas duas avaliações (Tabela 20, Figura 4), tendo em vista não ter havido efeito interativo; porém, quando analisado em termos de decréscimo absoluto de fitomassa, o vigor foi afetado (pela salinidade), de forma mais severa aos 14 DAS, sendo mais intenso sobre a fitomassa seca de raiz (Figura 4).

Na literatura são encontrados vários trabalhos reportando os efeitos depreciativos da salinidade sobre o vigor de outras culturas (Ayers & Hayward, 1949; Ayers, 1951; Prisco *et al.*, 1975, dentre outros). Os efeitos são de natureza físico-química; física, em função de a salinidade reduzir o potencial osmótico da solução do solo, dificultando a absorção de água pelas raízes das plantas, e química, por efeitos tóxicos, que pode se dar por ação direta do íon ou por desordem nutricional (Uhivits, 1946; Ayers & Hayward, 1949).

Tabela 17. Resumo de ANAVA e médias para índice de velocidade de emergência (IVE), número de folhas (NF), comprimento de raiz (CR), fitomassa seca da parte aérea (FSPA), de raiz (FSR) e fitomassa seca total (FST), relativos aos dados obtidos em duas épocas (E), 7 e 14 dias após a semeadura (DAS) da alface.

| Causa de variância | Variáveis | | | | | |
|--------------------|------------------------------|----------------------|----------------------|-------------|-------------|-------------|
| | IVE | NF | CR | FSPA | FSR | FST |
| | Teste F | | | | | |
| Salinidade (S) | 33,2370 ** | 15,8407 ** | 7,7741 ** | 18,8462 ** | 21,4630 ** | 22,2366 ** |
| Reg. Pol. Linear | 45,1282 ** | 70,2725 ** | 32,2981 ** | - | - | - |
| Reg. Pol. Quadr. | 24,5977 ** | 0,6459 ^{ns} | 0,0220 ^{ns} | - | - | - |
| Desv. Reg. | 4,4794 * | 0,7309 ^{ns} | 0,9114 ^{ns} | - | - | - |
| Época (E) | 0,0215 ^{ns} | 204,1667 ** | 130,3024 ** | 399,6831 ** | 912,4820 ** | 695,1746 ** |
| S x E | 0,0133 ^{ns} | 1,3222 ^{ns} | 0,9574 ^{ns} | 3,1061 * | 7,5709 ** | 5,1748 ** |
| QMResíduo | 0,2785 | 0,0360 | 0,5773 | 0,1047 | 0,1134 | 0,3996 |
| CV (%) | 4,8025 | 6,2757 | 9,4614 | 11,1881 | 14,8796 | 12,2942 |
| | Médias | | | | | |
| | Emergência.dia ⁻¹ | n ^o | cm | mg | | |
| Salinidade | | | | | | |
| S ₁ | 11,2980 | 3,38 | 8,9820 | 3,65 | 3,02 | 6,68 |
| S ₂ | 11,9760 | 3,20 | 8,4280 | 3,15 | 2,68 | 5,82 |
| S ₃ | 11,0580 | 3,00 | 7,9880 | 2,84 | 2,20 | 5,00 |
| S ₄ | 11,4620 | 3,00 | 8,1700 | 2,69 | 2,00 | 4,67 |
| S ₅ | 10,9780 | 2,84 | 7,5440 | 2,58 | 1,98 | 4,55 |
| S ₆ | 9,1640 | 2,72 | 7,0700 | 2,44 | 1,70 | 4,13 |
| Época | | | | | | |
| E ₁ | 10,9793 a | 2,6733 b | 6,9107 b | 2,0567 b | 0,9500 b | 2,9900 b |
| E ₂ | 10,999 a | 3,3733 a | 9,1500 a | 3,7267 a | 3,5767 a | 7,2933 a |
| dms | 0,2741 | 0,0986 | 0,3946 | 0,1680 | 0,1749 | 0,3283 |

(*) significativo a 5% e (**) a 1% de probabilidade; (^{ns}) não significativo a 5% de probabilidade; médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si a 5% de probabilidade.

Tabela 18. Acréscimo percentual de 7 para 14 DAS em cada nível salino, conforme as respectivas equações de regressão^a, obtidas para a alface.

| Tratamento | NF | CR | FSPA | FSR | MST |
|-----------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|
| Incremento de 7 para 14 DAS | | | | | |
| S ₁ | 23 | 35 | 79 | 276 | 145 |
| S ₂ | 24 | 34 | 80 | 276 | 145 |
| S ₃ | 25 | 33 | 81 | 276 | 144 |
| S ₄ | 27 | 32 | 82 | 277 | 144 |
| S ₅ | 29 | 30 | 83 | 277 | 143 |
| S ₆ | 31 | 29 | 84 | 277 | 142 |
| Média | 26,18 | 32,40 | 81,20 | 276,49 | 143,92 |

^a equações contidas na Figura 4.

Tabela 19. Relação raiz/parte aérea^b da alface (%) em função dos níveis de salinidade aos 7 e 14 DAS.

| DAS | S ₁ | S ₂ | S ₃ | S ₄ | S ₅ | S ₆ | MÉDIA |
|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|
| E ₁ 7 | 49 | 53 | 44 | 40 | 44 | 46 | 46 |
| E ₂ 14 | 100 | 104 | 97 | 95 | 95 | 82 | 95 |
| MÉDIA | 74 | 79 | 71 | 67 | 69 | 64 | 71 |

^b valores calculados a partir das médias observadas

Tabela 20. Teste de paralelismo entre as curvas obtidas para a alface aos 7 e 14 DAS, segundo metodologia descrita por Graybill (1976).

| Variável | NF | CR | FSPA | FSR | FST |
|----------|---------------------|--------------------|--------|----------|----------|
| Teste F | 0,074 ^{ns} | 2,33 ^{ns} | 4,74 * | 30,82 ** | 15,97 ** |

(*) significativo a 5% e (**) a 1% de probabilidade; (^{ns}) não significativo a 5% de probabilidade

Tabela 21. Desdobramento da interação e médias para fitomassa seca da parte aérea (FSPA), de raiz (FSR) e fitomassa seca total (FST) aos 7 (E₁) e 14 (E₂) dias após semeadura (DAS) da alface.

| Causa de variância | Variáveis | | |
|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | FSPA | FSR | FST |
| | Teste F | | |
| S em E ₁ | 11,2015 ** | 10,2870 ** | 12,0226 ** |
| Reg. Pol. Linear | 55,5357 ** | 43,4398 ** | 57,8761 ** |
| Reg. Pol. Quadr. | 0,0345 ^{ns} | 1,5745 ^{ns} | 0,2679 ^{ns} |
| Desv. Reg. | 0,1458 ^{ns} | 2,1402 ^{ns} | 0,6563 ^{ns} |
| QMResíduo | 0,0442 | 0,0230 | 0,1152 |
| CV (%) | 10,2184 | 15,9639 | 11,3499 |
| | Médias (mg) | | |
| S ₁ | 2,46 | 1,20 | 3,66 |
| S ₂ | 2,34 | 1,24 | 3,56 |
| S ₃ | 2,10 | 0,92 | 2,98 |
| S ₄ | 2,00 | 0,80 | 2,80 |
| S ₅ | 1,82 | 0,80 | 2,60 |
| S ₆ | 1,62 | 0,74 | 2,34 |
| S em E ₂ | 10,9158 ** | 14,9943 ** | 13,9891 ** |
| Reg. Pol. Linear | 42,9011 ** | 69,2735 ** | 60,7534 ** |
| Reg. Pol. Quadr. | 10,3538 ** | 3,5773 ^{ns} | 7,4943 * |
| Desv. Reg. | 0,4415 ^{ns} | 0,7069 ^{ns} | 0,5659 ^{ns} |
| QMResíduo | 0,1652 | 0,2038 | 0,6840 |
| CV (%) | 10,9054 | 12,6229 | 11,3397 |
| | Médias (mg) | | |
| S ₁ | 4,84 | 4,84 | 9,70 |
| S ₂ | 3,96 | 4,12 | 8,08 |
| S ₃ | 3,58 | 3,48 | 7,02 |
| S ₄ | 3,38 | 3,20 | 6,54 |
| S ₅ | 3,34 | 3,16 | 6,50 |
| S ₆ | 3,26 | 2,66 | 5,92 |
| E em S ₁ | 135,2962 ** | 292,0558 ** | 228,2478 ** |
| E ₁ | 2,4600 b | 1,2000 b | 3,6600 b |
| E ₂ | 4,8400 a | 4,8400 a | 9,7000 a |
| E em S ₂ | 62,6847 ** | 182,8303 ** | 127,8231 ** |
| E ₁ | 2,3400 b | 1,2400 b | 3,5600 b |
| E ₂ | 3,9600 a | 4,1200 a | 8,0800 a |
| E em S ₃ | 52,3185 ** | 144,4585 ** | 102,1164 ** |
| E ₁ | 2,1000 b | 0,9200 b | 2,9800 b |
| E ₂ | 3,5800 a | 3,4800 a | 7,0200 a |
| E em S ₄ | 45,4873 ** | 126,9655 ** | 87,5137 ** |
| E ₁ | 2,0000 b | 0,8000 b | 2,8000 b |
| E ₂ | 3,3800 a | 3,2000 a | 6,5400 a |
| E em S ₅ | 55,1847 ** | 122,7686 ** | 95,1616 ** |
| E ₁ | 1,8200 b | 0,8000 b | 2,6000 b |
| E ₂ | 3,3400 a | 3,1600 a | 6,5000 a |
| E em S ₆ | 64,2420 ** | 81,2579 ** | 80,1860 ** |
| E ₁ | 1,6200 b | 0,7400 b | 2,3400 b |
| E ₂ | 3,2600 a | 2,6600 a | 5,9200 a |
| dms | 0,4116 | 0,4285 | 0,8043 |

(*) significativo a 5% e (**) a 1% de probabilidade; (^{ns}) não significativo a 5% de probabilidade; médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si a 5% de probabilidade.

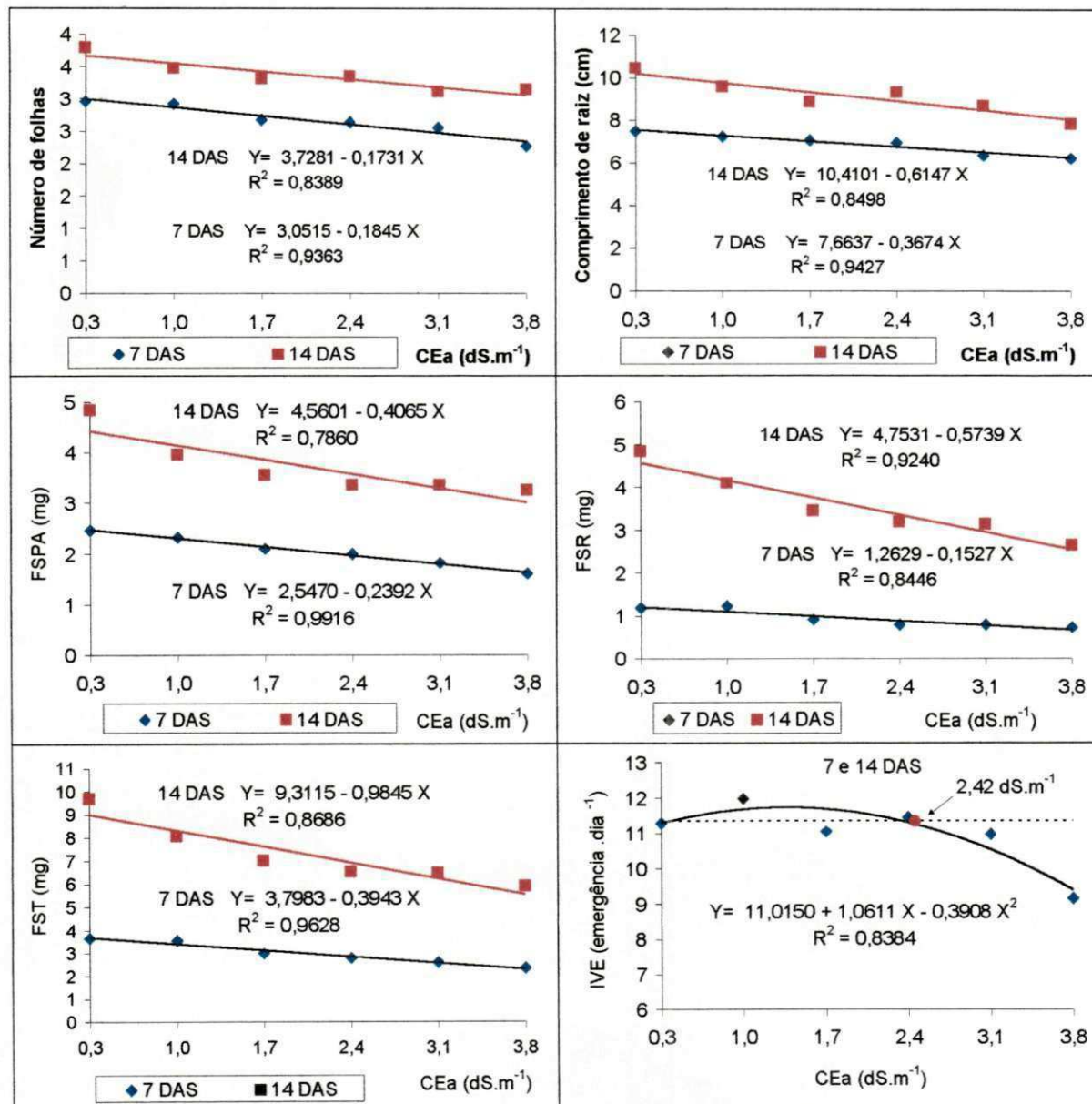


Figura 4. Curvas de regressão significativas para número de folhas (NF); comprimento de raiz (CR); fitomassa seca da parte aérea (FSPA) e de raiz (FSR); fitomassa seca total (FST) e índice de velocidade de emergência (IVE), em função da salinidade da água de irrigação aos 7 e 14 dias após semeadura (DAS) da alfaca.

4.1.3. Avaliação final das mudas aos 46 dias após semeadura (DAS)

A salinidade afetou, significativamente (1% de probabilidade), todas as variáveis estudadas aos 46 DAS (Tabela 22). Conforme os estudos de regressão, o efeito foi linear e decrescente, para as variáveis número de folhas (NF), comprimento de raiz (CR), fitomassa seca da parte aérea (FSPA) e fitomassa total (FST), e quadrático (o efeito) para fitomassa seca de raiz (FSR). As médias observadas estão na Tabela 22.

De acordo com a equação (obtida por regressão), significativa ao nível de 1% de probabilidade (Figura 5), o NF sofreu decréscimo relativo (comparado a S_1) de 6,36% para cada incremento de $0,7 \text{ dS.m}^{-1}$ de CEa, ou de 9,09% por incremento unitário (CEa). De acordo com os valores estimados (para cada tratamento salino) pela regressão, a média geral foi de 6,98 folhas/muda, sendo o máximo de 8,30 para S_1 e o mínimo de 5,66 folhas/muda, em S_6 . Verifica-se que o decréscimo relativo no nível S_6 foi de 31,81% (-2,64 folhas/muda). Comparando-se as médias de folhas (Tabela 22), contadas nas mudas M_1 e mudas M_2 , utilizadas no Experimento II, provenientes de S_1 e S_5 , respectivamente, constata-se que os tratamentos envolvendo M_1 , do Experimento II, iniciaram com uma vantagem média de 2,2 folhas/muda.

Não havendo na literatura disponível, resultados de pesquisa, referenciando o comportamento da emissão foliar em alface, na fase de muda sob estresse salino, compararam-se os do presente trabalho com os obtidos por Souza (1999), que também constatou redução na emissão de folhas, com o aumento da salinidade da água de irrigação, no estudo de desenvolvimento inicial do melão e da melancia (30 DAS), sendo que para o meloeiro, a emissão foliar foi a variável mais afetada. Nerson & Paris (1984) reportam que na fase de plântula, a emissão foliar, em melão, é uma das variáveis de crescimento mais afetadas pela salinidade.

O comprimento de raiz, aos 46 DAS, sofreu decréscimo relativo (comparado a S_1) e linear de 4,68%, para cada incremento de $0,7 \text{ dS.m}^{-1}$, acima de S_1 , ou de 6,69% por incremento unitário (CEa), conforme a equação de regressão obtida, indicando menor sensibilidade, que a ocorrida para o NF (avaliação final das mudas 46 DAS). De acordo com os valores estimados para cada tratamento salino, pelo modelo matemático, a média geral foi de 13,81cm, com máximo de 15,64 e mínimo de 11,98 cm, para S_1 e S_6 , respectivamente; portanto, o decréscimo relativo para S_6 foi de 23,40%. Souza (1999),

estudando vigor em melão e melancia, constatou, da mesma forma, redução no comprimento de raiz, com o aumento da salinidade da água de irrigação.

Assim como para o estudo de vigor, os maiores decréscimos ocorreram em termos de fitomassa. Conforme a Figura 5, baseando-se nas equações de regressão, significativas ao nível de 1% de probabilidade, houve decréscimos lineares de fitomassa seca, da parte aérea e total, relativos a S_1 , de 10,30 e 9,67%, respectivamente, por incremento de $0,7 \text{ dS.m}^{-1}$ (CEa), ou de 14,72 e 13,81%, por incremento unitário de CEa. Assim, conforme as equações obtidas, ocorreram decréscimos relativos na fitomassa seca da parte aérea (FSPA) de 41,2 e 51,5%, nos níveis S_5 e S_6 , e de 38,68 e 48,35% para FST, respectivamente. Os poucos trabalhos existentes na literatura disponível, a respeito de estresse salino em alface, na fase inicial de desenvolvimento, também evidenciam decréscimo de fitomassa com o aumento da salinidade (Shannon *et al.*, 1983; Cramer & Spurr, 1986a e 1986b), bem como, na fase final (Ferreira *et al.*, 1998; Silva *et al.*, 1999; Blanco *et al.*, 1999; Gervásio *et al.*, 2000).

Para a fitomassa seca de raiz (FSR), o efeito da salinidade foi quadrático, com significância ao nível de 1% de probabilidade (Tabela 22) e coeficiente de determinação de 0,94 (Figura 5). Conforme a predição do modelo matemático, houve incremento da FSR de 0,3 (S_1) até $1,42 \text{ dS.m}^{-1}$, seguido de decréscimo a partir desse ponto (Figura 5). Ainda de acordo com a equação – obtida por regressão – irrigando-se alface (cv. Elba, nas condições deste estudo) com água de 0,3 e $2,54 \text{ dS.m}^{-1}$, resulta em mesma fitomassa seca de raiz, pois, até $2,54 \text{ dS.m}^{-1}$ não houve efeito depreciativo da salinidade sobre a FSR. Os decréscimos relativos (comparados a S_1) para S_5 e S_6 foram de 14,38 e 40,46%, respectivamente (com base no modelo matemático obtido).

Tendo em vista os decréscimos relativos ocorridos para FSPA e FSR – baseados nos estudos de regressão, anteriormente abordados – constata-se que na avaliação final das mudas (46 DAS), o maior efeito depreciativo da salinidade ocorreu em termos de parte aérea (Figura 5), sendo a diferença mais acentuada em S_3 ($1,7 \text{ dS.m}^{-1}$), onde a FSPA sofreu decréscimo de 20,6%, ao passo que para a FSR, houve incremento de quase 10%; fato também constatado pela maior taxa de decréscimo (relativo a S_1) de número de folhas, que de comprimento de raiz (46 DAS \rightarrow NF 6,36% e CR 4,68%). Desta forma, se no desenvolvimento inicial das plântulas, avaliado através dos estudos de vigor, a salinidade afetou mais o desenvolvimento radicular, com o crescimento das plantas aos 46 DAS, o

maior prejuízo ocorreu em termos de parte aérea, confirmando observações contidas na literatura de ser a mesma mais sensível à salinidade do que as raízes (Mciri & Shalhevet, 1973; Maas & Hoffman, 1977; Shannon, 1979).

Cramer & Spurr (1986a), estudando o efeito da salinidade em alface, iniciando a aplicação das soluções salinas, quando da emissão da segunda folha acima do cotilédone e irrigando até 20 dias após, encontraram, também, maior sensibilidade da parte aérea (cv. Climax), uma vez que o crescimento radicular, não sofreu redução com o aumento da concentração salina até 40 mol.m^{-3} de NaCl, ao passo que neste nível, ocorreu redução relativa de 30% para a parte aérea.

Na literatura são encontradas referências, evidenciando que em condições de estresse hídrico e salino, diminui o transporte de citokinas da raiz para a parte aérea (Itai *et al.*, 1965; 1968; 1971) e que as citokinas são importantes para a síntese de proteínas e para o crescimento das plantas, por estarem envolvidas na restauração da RuDP (rubisco), no processo fotossintético (Gordon & Letham, 1975; Skene, 1975; Bradford, 1982).

Tabela 22. Resumo de ANAVA e médias para número de folhas (NF), comprimento de raiz (CR), fitomassa seca da parte aérea (FSPA), de raiz (FSR) e fitomassa seca total (FST), aos 46 dias após semeadura (DAS) da alface.

| Causa de variância | Variáveis | | | | |
|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | NF | CR | FSPA | FSR | FST |
| | Teste F | | | | |
| Salinidade (S) | 17,28 ** | 6,29 ** | 7,92 ** | 4,17 ** | 7,62 ** |
| Reg. Pol. Linear | 85,0311 ** | 26,3720 ** | 35,8964 ** | 11,8564 ** | 32,9472 ** |
| Reg. Pol. Quadr. | 0,0083 ^{ns} | 0,0773 ^{ns} | 2,2275 ^{ns} | 7,8116 ** | 3,5573 ^{ns} |
| Desv. Reg. | 0,4555 ^{ns} | 1,6597 ^{ns} | 0,4959 ^{ns} | 0,3963 ^{ns} | 0,5237 ^{ns} |
| QMResíduo | 0,2875 | 1,7792 | 0,0009 | 0,0001 | 0,0014 |
| CV (%) | 7,68 | 9,66 | 21,67 | 23,20 | 20,78 |
| | Médias | | | | |
| | n° | cm | mg | | |
| Salinidade | | | | | |
| S ₁ | 8,40 | 15,28 | 176,48 | 39,04 | 215,48 |
| S ₂ | 7,60 | 15,92 | 171,88 | 43,82 | 215,66 |
| S ₃ | 7,20 | 13,52 | 168,56 | 45,54 | 214,08 |
| S ₄ | 6,90 | 13,49 | 139,72 | 41,36 | 181,06 |
| S ₅ | 6,20 | 12,37 | 101,62 | 30,54 | 132,16 |
| S ₆ | 5,60 | 12,29 | 87,48 | 25,36 | 112,84 |

(*) significativo a 5% e (**) a 1% de probabilidade; (^{ns}) não significativo a 5% de probabilidade

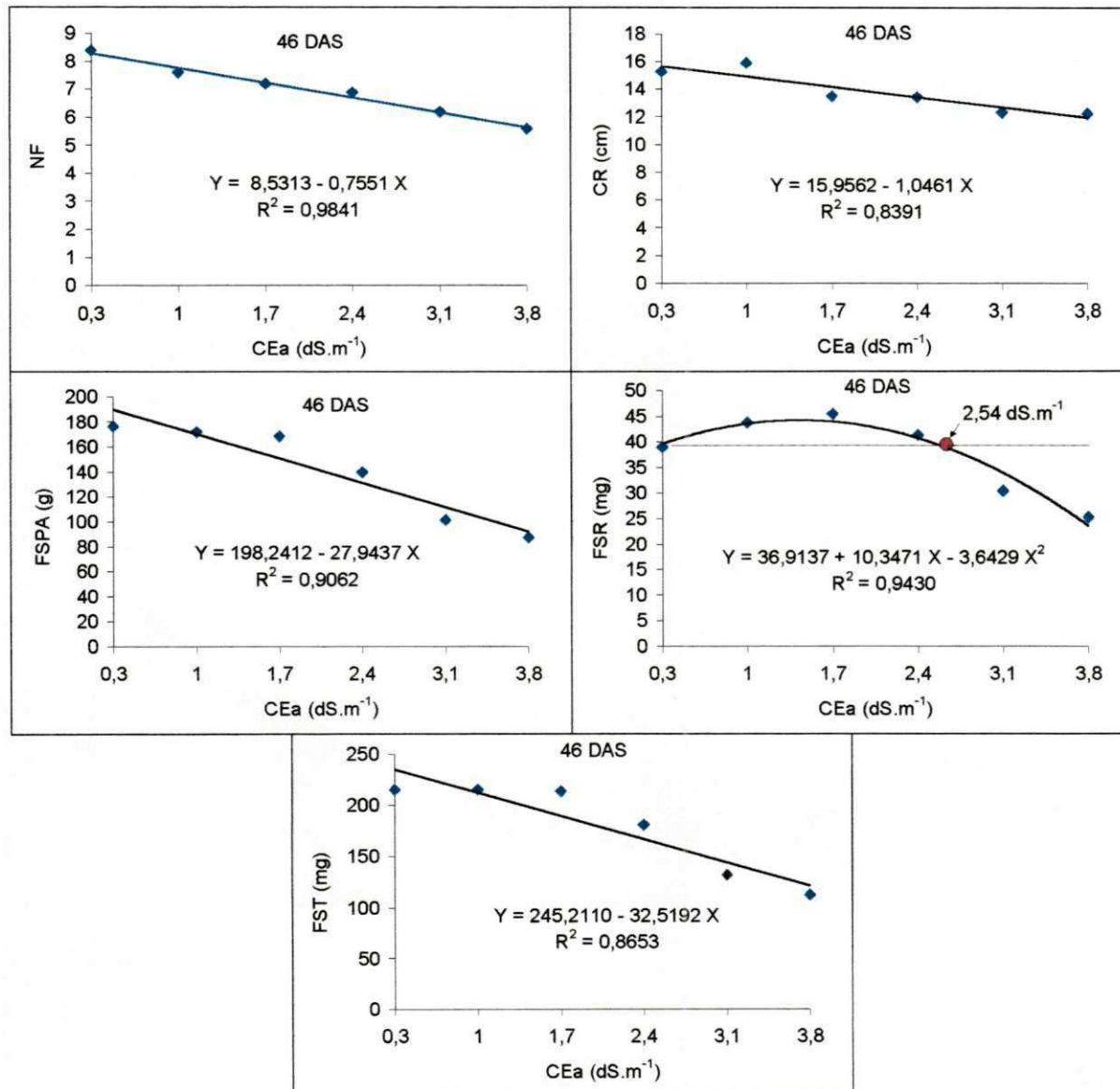


Figura 5. Curvas de regressão significativas para número de folhas (NF); comprimento de raiz (CR); fitomassa seca da parte aérea (FSPA); de raiz (FSR) e total (FST), em função da salinidade da água de irrigação aos 46 dias após semeadura (DAS) da alfalfa.

4.2. Experimento II

4.2.1. Desenvolvimento vegetativo da alface

4.2.1.1. Número de folhas (NF)

De acordo com Benincasa (1988), o crescimento de uma planta pode ser acompanhado, a partir da contagem de unidades estruturais morfológicas, como ramificações, folhas, flores, frutos e raízes, fornecendo informações importantes quanto à fenologia, sendo, muitas vezes, usadas para detectar diferenças entre tratamentos estabelecidos.

De acordo com a análise de variância dos dados (Tabela 23), o número de folhas foi afetado pela salinidade da água de irrigação, ao nível de 1% de probabilidade, nas três avaliações efetuadas (10, 20 e 30 dias após transplante - DAT). Conforme os estudos de regressão, o efeito foi linear, havendo decréscimo, relativo a S_1 , para cada incremento de $0,7 \text{ dS.m}^{-1}$ (incremento entre níveis de 'S' testados) de 4,19, 3,99 e 6,07%, aos 10, 20 e 30 DAT, respectivamente; por incremento unitário de CEa, acima de S_1 , os decréscimos relativos foram de 5,99, 5,70 e 8,68%, respectivamente para os mesmos períodos, o que reflete o efeito negativo da salinidade sobre a emissão de folhas. As curvas de regressão – significativas ao nível de 1% de probabilidade – constam na Figura 6 e as médias, para cada tratamento salino, estão apresentadas na Tabela 23. Aos 10 dias após o transplante, os valores máximos e mínimos de NF foram de 8,17 e 6,92, aos 20 DAT de 14,83 e 12,33 e aos 30 DAT foram obtidas 44,67 e 34,33 folhas/planta (com base nas médias – Tabela 23).

Verifica-se que os percentuais de decréscimos relativos de NF, por incremento unitário de CEa, oscilaram durante o ciclo; no estudo de vigor obteve-se o valor médio de 5,44% (média das avaliações de 7 e 14 DAS); aos 46 DAS o percentual de decréscimo de NF aumentou para 9,09%; na primeira avaliação após o transplante – 10 DAT – este valor havia caído para 5,99%, não variando muito até a segunda avaliação (5,70% – 20 DAT), porém, aumentando para 8,68% na avaliação final (30 DAT). Observa-se, que em média, a taxa de decréscimo do NF, por incremento unitário de CEa, foi maior no Experimento I (7,26%) que no Experimento II (6,79%), denotando maior sensibilidade na fase inicial (em relação a esta variável).

Os poucos trabalhos, encontrados na literatura disponível, a respeito dos efeitos da salinidade sobre o crescimento e desenvolvimento da alface (Shannon *et al.*, 1983; Cramer & Spurr, 1986a e 1986b; Ferreira *et al.*, 1998; Silva *et al.*, 1999; Blanco *et al.*, 1999; Gervásio *et al.*, 2000), não fazem qualquer referência à ação dos sais sobre a emissão de folhas, porém, todos se reportam à redução de fitomassa da parte aérea, levando a crer, que assim como nesta dissertação, também nos referidos trabalhos tenha havido redução do NF com o incremento da salinidade. Redução da emissão foliar, devido ao aumento da salinidade, tem sido constatada em outras culturas (Amorim, 1994, trabalhando com alho; Marinho, 1996, com abacaxi; Jácome, 1999, com algodão). Em coentro, Medeiros *et al.* (1993; 1998) e Filgueira (1993) observaram reduções significativas na produção de folhas-verdes, com o aumento da salinidade da água de irrigação.

Redução do número de folhas por planta, tem sido constatada, também, em alface, sob condições de restrição de água, como registrado por Andrade Júnior (1994), quando da aplicação de lâminas de irrigação, inferiores a 0,75 da evaporação do Tanque Classe A.

Observando-se as médias de NF, nas distintas épocas de avaliação, em relação ao fator tipo de muda – M₁ e M₂ – (Tabela 23), verifica-se, mais uma vez, ser a alface sensível à salinidade, uma vez que as plantas oriundas de mudas produzidas sem estresse salino (M₁) formaram maior número de folhas (NF), em todas as amostragens, apesar de não ter havido efeito significativo do “fator tipo de muda” aos 20 DAT (Teste F – 5% de probabilidade). Aos 10 DAT, o número médio de folhas produzidas por planta, oriunda da muda M₂, foi 10,97% inferior ao de M₁; enquanto que aos 30 DAT, aquele valor reduziu para 8,60%.

Apesar de ter havido efeito isolado do fator tipo de muda (M), sobre o número de folhas/planta, o mesmo não foi interativo com os níveis de CEa estudados (Tabela 23), uma vez que o efeito da salinidade sobre o NF, independeu do tipo de muda usada, ou seja, a tendência de decréscimo linear desta variável, com o incremento de CEa, ocorreu em ambos os tratamentos do fator ‘M’.

Sob condições de estresse salino, o fluxo de água no sentido “solo→planta→atmosfera” é reduzido, devido ao decréscimo do potencial hídrico da

solução do solo, condicionado pela concentração de sais solúveis na rizosfera – efeito osmótico (Richards, 1954; Menguel & Kirkby, 1987; Rhoades & Loveday, 1990); com a diminuição do fluxo de água, reduz-se a transpiração da planta, prejudicando o seu metabolismo, quer devido ao aumento da temperatura foliar e seu efeito sobre a atividade de várias enzimas, quer devido à menor disponibilidade de água livre (na planta). Nessas condições, ocorre perda de turgescência, prejudicando, também, o alongamento celular (Cairo, 1995).

Conforme a literatura, é comum ocorrer adaptações morfológicas nas plantas, sob condições de estresse hídrico e salino, uma forma de reduzir a perda de água por transpiração; dentre essas adaptações, destaca-se a redução do tamanho e do número de folhas (Maas & Nieman, 1978; Shannon, 1979; Fageria, 1989). São encontradas referências mostrando que, em condições de estresse hídrico e salino, diminui o transporte de citocininas da raiz para a parte aérea (Itai *et al.*, 1965; 1968 e 1971); sendo as citocininas importantes para a síntese de proteínas e crescimento das plantas, por estarem envolvidas na restauração da RuDP (rubisco) no processo fotossintético (Gordon & Letham, 1975; Skene, 1975; Bradford, 1982), este é um dos fatores, a explicar, a redução do crescimento das plantas sob condições de estresse salino. Vale lembrar que a Rubisco é fundamental ao processo de fixação do CO₂, no ciclo de Calvin (fase escura da fotossíntese).

Tabela 23. Resumo de ANAVA e análise de regressão para número de folhas (NF) em épocas distintas do ciclo, aos 10, 20 e 30 dias após o transplântio (DAT) da alface.

| Fator | Épocas de amostragem – Dias após o transplântio (DAT) | | |
|------------------|-------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|
| | 10 | 20 | 30 |
| | Teste F | | |
| Salinidade (S) | 7,1916 ** | 5,5645 ** | 7,4367 ** |
| Reg. Pol. Linear | 23,0907 ** | 15,8049 ** | 42,3073 ** |
| Reg. Pol. Quadr. | 0,2453 ^{ns} | 0,8711 ^{ns} | 0,0102 ^{ns} |
| Desv. Reg. | 0,5024 ^{ns} | 0,0767 ^{ns} | 0,5355 ^{ns} |
| Tipo de muda (M) | 21,9481 ** | 1,5806 ^{ns} | 6,1332 * |
| S x M | 1,5747 ^{ns} | 0,2097 ^{ns} | 0,2489 ^{ns} |
| QMRresíduo | 0,5133 | 1,0333 | 15,2667 |
| CV (%) | 9,5956 | 7,3484 | 9,9421 |
| | Médias | | |
| Salinidade | | | |
| S ₁ | 8,1667 | 14,8333 | 44,6667 |
| S ₂ | 7,8333 | 14,5000 | 42,0000 |
| S ₃ | 7,5000 | 14,0000 | 40,0000 |
| S ₄ | 6,9167 | 13,5000 | 35,5000 |
| S ₅ | 6,9167 | 12,3333 | 34,3333 |
| Tipo de muda | | | |
| M ₁ | 7,9000 a | 14,0667 a | 41,0667 a |
| M ₂ | 7,0333 b | 13,6000 a | 37,5333 b |
| dms | 0,3718 | 0,7743 | 2,9761 |

(*) significativo a 5% e (**) a 1% de probabilidade; (^{ns}) não significativo a 5% de probabilidade; médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si a 5% de probabilidade.

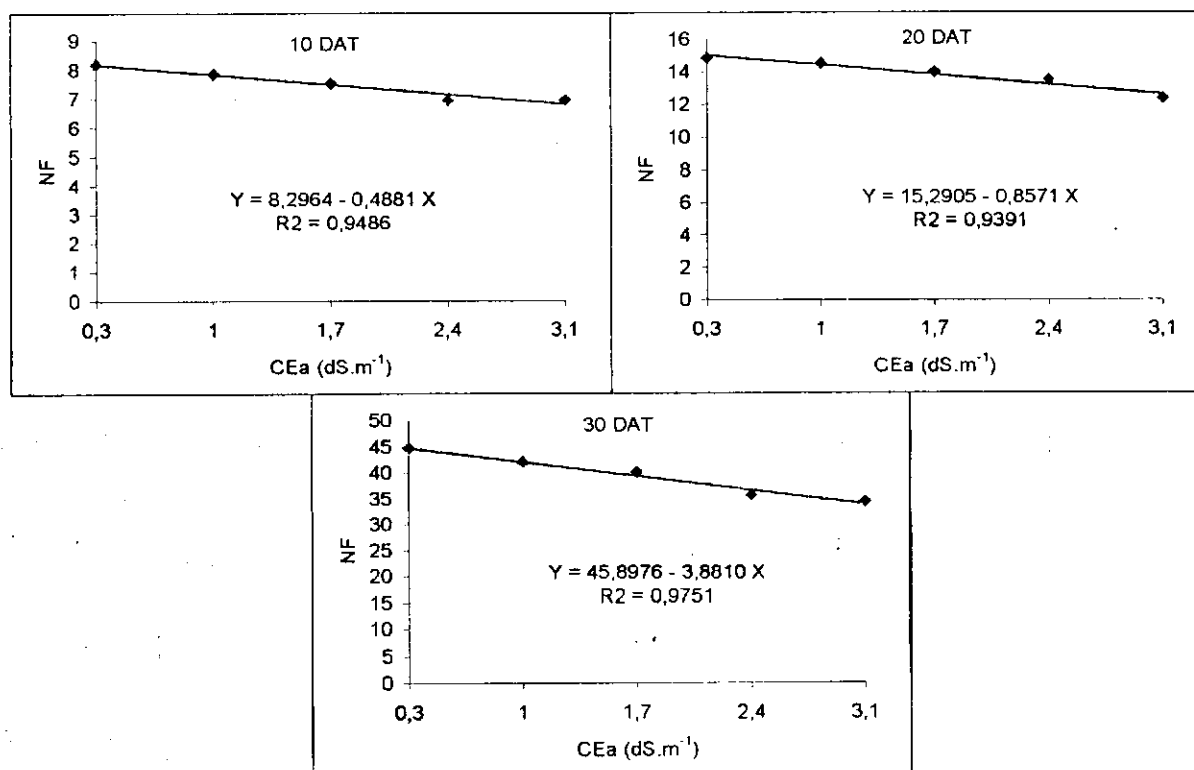


Figura 6. Curvas de regressão significativas para número de folhas (NF) em função da salinidade da água de irrigação aos 10, 20 e 30 dias após o transplântio (DAT) da alface.

O crescimento da alface, expresso em termos de número de folhas/planta (NF), em cada nível dos fatores ‘S’ e ‘M’ estudados, está apresentado na Figura 7. Verifica-se, através da inclinação das curvas, que independentemente do tratamento, o incremento do NF ocorreu de forma mais lenta até 20 DAT, e bem mais rápida a partir daí.

Verifica-se, através da Figura 7, que as curvas correspondentes aos tratamentos S₁, S₂ e S₃, entre as avaliações de 10 e 20 DAT, apresentaram-se paralelas, com inclinações semelhantes, significando, portanto, taxas de crescimento semelhantes, mas, com valores absolutos, em cada data, inversamente proporcionais à salinidade. As diferenças observadas para os tratamentos salinos, em relação a S₁, começaram a se acentuar dos 20 aos 30 DAT; nesse período, observou-se as menores taxas de emissão foliar para S₄ e S₅, tendo em vista as menores inclinações de suas curvas em relação ao eixo X (Figura 7). Verifica-se que aos 30 DAT (final do ciclo), os tratamentos S₄ e S₅ foram os que mais prejudicaram a emissão de folhas.

Para o fator “tipo de muda – M”, a tendência foi a mesma, ou seja, a diferença relativa em relação a M₁ aumentou bastante aos 30 DAT, evidenciando, também, o efeito deletério da salinidade sobre o NF, no final do ciclo; ainda que o estresse tenha ocorrido na fase de muda.

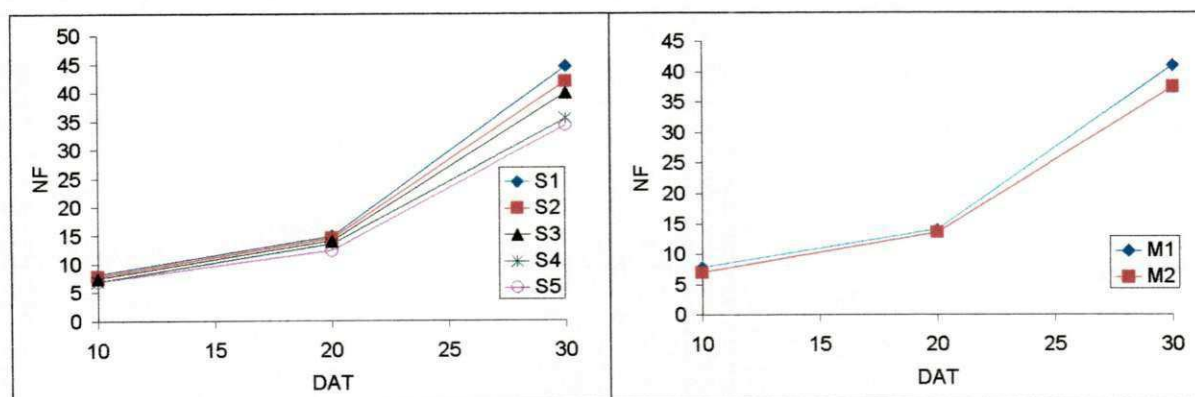


Figura 7. Evolução do número de folhas (NF) da alface para cada nível de CEa e tipo de muda, em função dos dias após o transplante (DAT).

4.2.1.2. Fitomassa verde (FVPA) e seca (FSPA) da parte aérea

Assim como para o número de folhas, o fator “salinidade da água de irrigação – S” afetou a fitomassa verde e seca da parte aérea, ao nível de 1% de probabilidade (Tabela 24), com redução linear nas três avaliações (10, 20 e 30 DAT). De acordo com as análises de regressão, os decréscimos relativos (comparados a S_1) para cada incremento de $0,7 \text{ dS.m}^{-1}$ (incremento entre níveis de ‘S’) aos 10, 20 e 30 DAT foram de 9,34, 7,33 e 6,32% para FVPA e de 9,65, 8,01 e 6,75 para FSPA, respectivamente; por incremento unitário de CEa, os valores foram da ordem de 13,35, 10,47 e 9,03% para FVPA e de 13,79, 11,45 e 9,64% para FSPA, correspondentes aos mesmos períodos de avaliação. No final do ciclo (30 DAT), os decréscimos ocorridos nos tratamentos S_4 e S_5 , relativos a S_1 , foram de 18,96 e 25,28%, para FVPA, e de 20,25 e 27%, para FSPA, respectivamente. As curvas de regressão, significativas ao nível de 1% de probabilidade, para cada avaliação, estão apresentadas na Figura 8.

Com base nos citados decréscimos, verifica-se que a tolerância da alface cv. Elba, frente ao aumento da salinidade da água de irrigação, foi crescente com o tempo; o fato, segundo Lima (1997), ocorre com a maioria das culturas, embora, existam exceções, como o arroz, que é mais afetado durante o florescimento. Vários autores têm reportado que a tolerância das culturas varia durante o ciclo fenológico (Shainberg & Oster, 1978; Bresler *et al.*, 1982; Fageria, 1989).

A redução linear de fitomassa da parte aérea, ocorrida neste trabalho, quando a irrigação foi realizada com água de CE superior a $0,3 \text{ dS.m}^{-1}$ (Figura 8), está em concordância com os resultados obtidos por Gervásio (2000), que também constatou redução de fitomassa da parte aérea, com o aumento da CEa acima de $0,3 \text{ dS.m}^{-1}$, sendo que os níveis testados por aquele autor variaram de 0,18 a 6 dS.m^{-1} . Ferreira *et al.* (1998), estudando o comportamento da alface, ‘cv. Verônica’, frente ao aumento da CEa (1,0, 2,5, 4,0, $5,5 \text{ dS.m}^{-1}$), concluíram que os valores de fitomassa, verde e seca, da parte aérea, decresceram com o aumento da CEa; fato semelhante foi, também, constatado por Silva *et al.* (1999) em alface, testando exatamente os mesmos tratamentos estudados por Ferreira *et al.* (1998), porém, sem citar a cultivar estudada. Outros autores também verificaram decréscimo de fitomassa em alface, sob condições de estresse salino (Shannon *et al.*, 1983; Cramer & Spurr, 1986a; 1986b; Blanco *et al.*, 1999).

O pré-tratamento salino (fator “Tipo de muda – M”) afetou, ao nível de 1% de probabilidade, a fitomassa verde e seca da parte aérea, aos 10 e 20 DAT; porém, por ocasião da colheita (30 DAT), não houve efeito, significativo, desse “fator”, sobre as citadas variáveis (Tabela 24). Observa-se que as plantas, oriundas de mudas do tipo M₂, tiveram crescente capacidade de recuperação, em termos de produção de fitomassa da parte aérea; aos 10 DAT, a diferença de M₂, em relação a M₁, para FVPA foi de 29,62%, e de 31,59% para FSPA; aos 20 DAT, as diferenças caíram para 12,42 e 18,25%, respectivamente, chegando a 1,73 e 0,03% aos 30 DAT. Desta forma, constata-se, claramente, que o estresse sofrido na fase de muda, foi gradualmente superado durante o ciclo, de tal forma, que por ocasião da colheita, não mais havia diferença estatística, em termos de fitomassa da parte aérea, entre as plantas oriundas de mudas produzidas sem e com estresse salino, M₁ e M₂, respectivamente. Observa-se que a fitomassa verde da parte aérea, foi incrementada em média 3129 % de 10 para 30 DAT nos tratamentos envolvendo mudas M₂ e 2213 % nos de M₁; em termos de fitomassa seca da parte aérea estes valores foram de 3049 % e 2055 %, respectivamente para M₁ e M₂, de 10 para 30 DAT. Podendo-se afirmar que o estresse salino, na fase de germinação e produção de mudas, conferiu às plantas uma maior capacidade de recuperação do crescimento/desenvolvimento, em termos de parte aérea, na presença de sais solúveis. Na literatura é conhecido o fenômeno de “hardening”, traduzido para o português como “endurecimento”, aplicável a casos como este, uma forma de explicar a retomada de crescimento/desenvolvimento das plantas, em grau mais acentuado, após algum estresse inicial (Kramer, 1983).

Não houve efeito interativo, entre os fatores estudados, sobre a produção de fitomassa da parte aérea, nas três avaliações (Tabela 24). Assim, o efeito depreciativo e linear da salinidade da água de irrigação, sobre a produção de fitomassa verde e seca da parte aérea, ocorreu de forma estatisticamente igual, nas plantas originadas de ambos os “tipos de mudas”, ou seja, o efeito negativo da salinidade não dependeu do tipo de muda usada.

Na Figura 9 estão apresentadas as curvas de evolução de fitomassa da parte aérea das plantas, para cada nível de salinidade e tipo de muda. Verifica-se que as tendências de crescimento, em ambas as variáveis, foram bem semelhantes às obtidas para o número de folhas, como era de se esperar, tendo em vista ser foliar, a maior contribuição em termos de fitomassa da parte aérea em alface; como discutido para evolução do NF,

ocorreu, também, incremento para FVPA e FSPA, em grau mais lento até 20 DAT e em maior grau, no intervalo entre 20 e 30 DAT, independentemente do tratamento testado.

Tabela 24. Resumo de ANAVA e médias para fitomassa verde (FVPA) e seca (FSPA) da parte aérea, em três épocas do ciclo da alface, aos 10, 20 e 30 dias pós transplante (DAT).

| Fator | Épocas de amostragem (DAT) | | | | | |
|------------------|----------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | FVPA | | | FSPA | | |
| | 10 | 20 | 30 | 10 | 20 | 30 |
| | Teste F | | | | | |
| Salinidade (S) | 15,7551 ** | 9,6321 ** | 22,4536 ** | 11,3890 ** | 10,7193 ** | 10,0094 ** |
| Reg. Pol. Linear | 50,1477 ** | 30,8658 ** | 96,0596 ** | 38,6222 ** | 43,0577 ** | 52,3904 ** |
| Reg. Pol. Quadr. | 2,9268 ^{ns} | 0,3075 ^{ns} | 0,9099 ^{ns} | 1,7610 ^{ns} | 3,6561 ^{ns} | 0,0082 ^{ns} |
| Desv. Reg. | 0,8286 ^{ns} | 0,1239 ^{ns} | 0,8492 ^{ns} | 0,6361 ^{ns} | 1,0624 ^{ns} | 0,3121 ^{ns} |
| Tipo de muda (M) | 66,0511 ** | 11,2450 ** | 0,6347 ^{ns} | 51,9349 ** | 20,9379 ** | 0,0001 ^{ns} |
| S x M | 1,5107 ^{ns} | 0,8295 ^{ns} | 0,7481 ^{ns} | 1,4624 ^{ns} | 1,0028 ^{ns} | 0,9651 ^{ns} |
| QMRresíduo | 4,4197 | 73,7974 | 15,2667 | 0,0252 | 0,3796 | 3,7484 |
| CV (%) | 16,5674 | 10,8176 | 9,9421 | 20,1610 | 12,0231 | 9,6111 |
| | Médias | | | | | |
| Salinidade | g | | | | | |
| S ₁ | 15,9205 | 91,9400 | 383,8283 | 1,0048 | 5,8892 | 23,5033 |
| S ₂ | 14,5067 | 87,1690 | 373,9083 | 0,8873 | 5,7465 | 21,2800 |
| S ₃ | 11,8095 | 79,2932 | 346,7883 | 0,7148 | 5,1624 | 20,2800 |
| S ₄ | 10,6556 | 74,5021 | 311,5050 | 0,7050 | 5,0142 | 18,7517 |
| S ₅ | 10,5545 | 64,1595 | 291,4317 | 0,6250 | 3,8101 | 16,9067 |
| Tipo de muda | | | | | | |
| M ₁ | 14,8951 a | 84,6722 a | 344,4707 a | 0,9351 a | 5,6392 a | 20,1473 a |
| M ₂ | 10,4836 b | 74,1533 b | 338,5140 a | 0,6397 b | 4,6098 b | 20,1413 a |
| dms | 1,0908 | 6,5433 | 15,5969 | 0,0824 | 0,4693 | 1,4747 |

(*) significativo a 5% e (**) a 1% de probabilidade; (^{ns}) não significativo a 5% de probabilidade; médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si a 5% de probabilidade.

4.2.1.3. Percentagem de matéria seca da parte aérea (PMS)

Conforme a análise de variância dos dados de percentagem de matéria seca da parte aérea [$PMS = (FSPA/FVPA) \times 100$], não houve efeito dos fatores estudados, sobre esta variável, nas três avaliações (10, 20 e 30 DAT); porém, aos 20 DAT, houve efeito interativo dos fatores (SxM), com significância de 5% de probabilidade (Tabela 25).

Os valores de desdobramento da interação significativa, ocorrida para a avaliação aos 20 DAT, estão na Tabela 26. Verifica-se, mediante análise de regressão para o fator “salinidade de água de irrigação – S”, em cada nível do fator “tipo de muda – M”, que houve efeito, significativo, da salinidade sobre a PMS, apenas para as plantas oriundas de mudas produzidas sem estresse salino (M₁); o efeito foi linear, causando decréscimo da PMS, relativo a S₁, de 5,18% por incremento unitário de CEa; a curva de regressão está

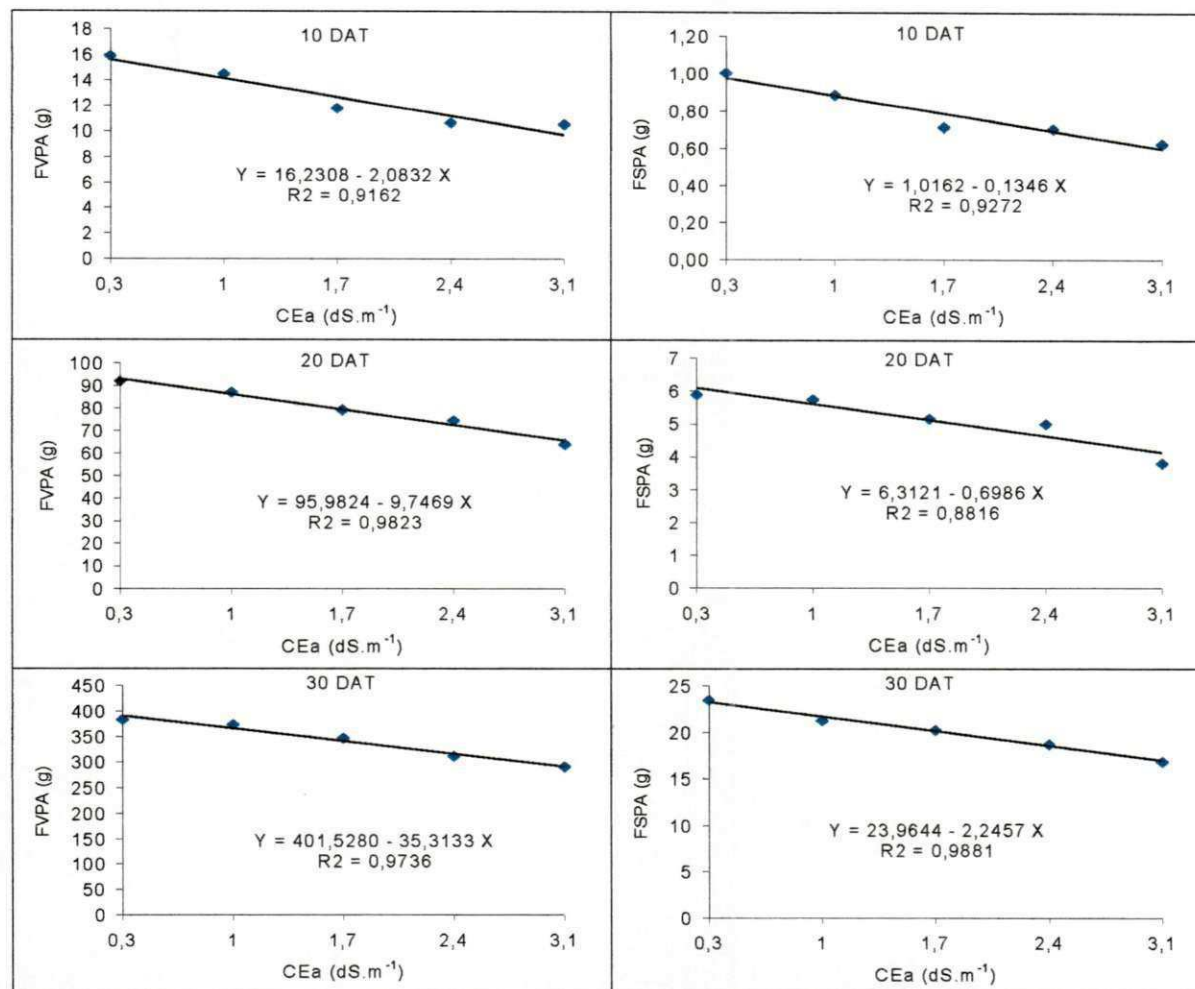


Figura 8. Curvas de regressão significativas para as variáveis fitomassa verde (FVPA) e seca (FSPA) da parte aérea da alface, em função da salinidade da água de irrigação, aos 10, 20 e 30 dias após o transplante (DAT).

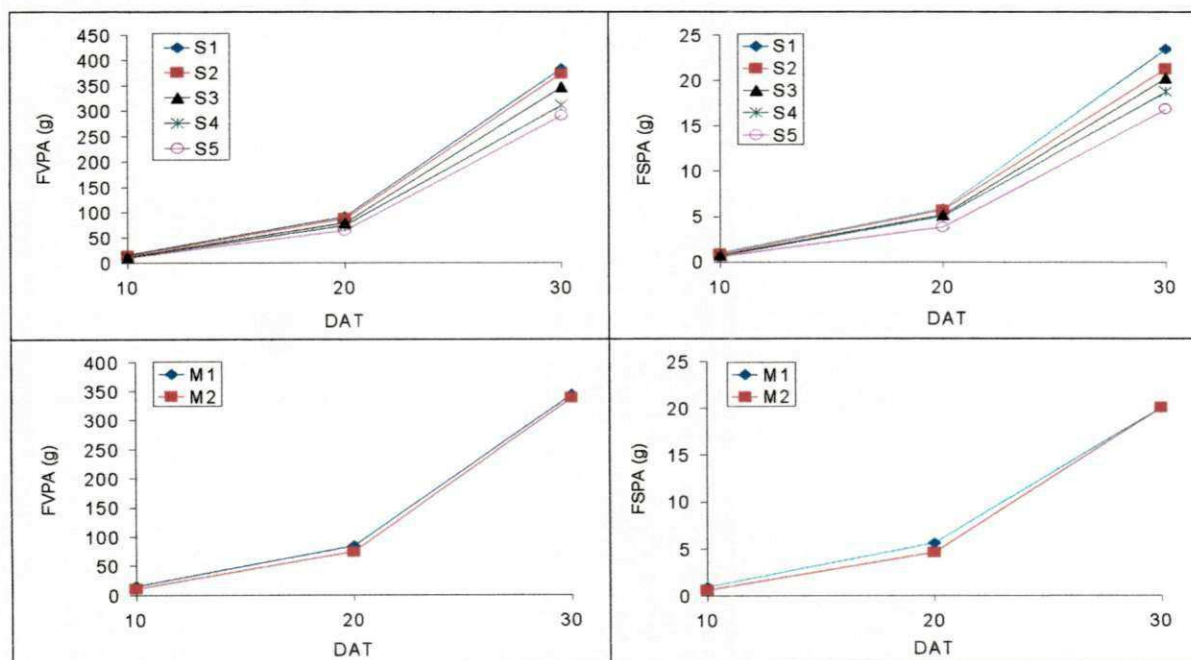


Figura 9. Evolução da fitomassa verde (FVPA) e seca (FSPA) da parte aérea da alface para cada nível de CEa e tipo de muda, em função dos dias após o transplante (DAT).

apresentada na Figura 10. Através do desdobramento dos graus de liberdade para o fator 'M', dentro de cada nível de 'S', constatou-se diferença estatística, entre M₁ e M₂, apenas nos dois primeiros níveis de salinidade (S₁ e S₂ - Tabela 26), com vantagem para M₁; as plantas originadas do tratamento M₁ tiveram teor de matéria seca 19,19% superior, no nível S₁ e 21,92% no S₂, em relação às do tipo M₂.

Normalmente, a percentagem de matéria seca das plantas aumenta com a salinidade (Kramer, 1983), fato constatado por Blanco *et al.* (1999) e Blanco (1999), em alface e pepino, respectivamente; porém, Medeiros (1998), estudando o efeito da salinidade em pimentão, não constatou diferença do percentual de matéria seca, entre os tratamentos salinos.

Tabela 25. Resumo de ANOVA e médias para percentagem de matéria seca da parte aérea, em distintas épocas do ciclo da alface - 10, 20 e 30 dias pós transplante (DAT).

| Fator | Épocas de amostragem (DAT) | | |
|------------------|----------------------------|----------------------|----------------------|
| | 10 | 20 | 30 |
| | Teste F | | |
| Salinidade (S) | 2,3147 ^{ns} | 2,0261 ^{ns} | 0,8454 ^{ns} |
| Reg. Pol. Linear | 0,1307 ^{ns} | 1,2191 ^{ns} | 0,2947 ^{ns} |
| Reg. Pol. Quadr. | 0,3847 ^{ns} | 3,7385 ^{ns} | 0,2609 ^{ns} |
| Desv. Reg. | 3,7882 * | 0,7393 ^{ns} | 1,0508 ^{ns} |
| Tipo de muda (M) | 0,8354 ^{ns} | 3,9303 ^{ns} | 0,2729 ^{ns} |
| S x M | 0,9932 ^{ns} | 3,6009 * | 0,9997 ^{ns} |
| QMRresíduo | 0,5068 | 0,2863 | 0,2064 |
| CV (%) | 11,5010 | 8,3037 | 7,7055 |
| | Médias | | |
| Salinidade | | | |
| S ₁ | 6,3175 | 6,3783 | 6,1283 |
| S ₂ | 6,0308 | 6,5800 | 5,7100 |
| S ₃ | 6,0208 | 6,5550 | 5,8400 |
| S ₄ | 6,6775 | 6,7617 | 6,0117 |
| S ₅ | 5,9017 | 5,9433 | 5,7900 |
| Tipo de muda | | | |
| M ₁ | 6,2737 a | 6,6373 a | 5,8527 a |
| M ₂ | 6,1057 a | 6,2500 a | 5,9393 a |
| dms | 0,3694 | 0,4075 | 0,3460 |

(*) significativo a 5% e (**) a 1% de probabilidade; (^{ns}) não significativo a 5% de probabilidade; médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si a 5% de probabilidade.

Tabela 26. Desdobramento da interação e médias para percentagem de matéria seca da parte aérea (PMS), aos 20 dias após o transplântio (DAT) da alface.

| Causa de variância | PMS 20 DAT | Causa de variância | PMS 20 DAT | | | | | | |
|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| S dentro de M | | | | | | | | | |
| | Teste F | | Teste F | | | | | | |
| S em M ₁ | 3,5256 * | S em M ₂ | 2,4893 ^{ns} | | | | | | |
| Reg. Pol. Linear | 11,2624 ** | Reg. Pol. Linear | 1,1287 ^{ns} | | | | | | |
| Reg. Pol. Quadr. | 0,7277 ^{ns} | Reg. Pol. Quadr. | 4,3827 ^{ns} | | | | | | |
| Desv. Reg. | 1,0562 ^{ns} | Desv. Reg. | 2,2229 ^{ns} | | | | | | |
| QMRResíduo | 0,1791 | QMRResíduo | 0,3934 | | | | | | |
| CV (%) | 6,3769 | CV (%) | 10,0359 | | | | | | |
| Salinidade | Médias (%) | Salinidade | Médias (%) | | | | | | |
| S ₁ | 6,9367 | S ₁ | 5,8200 | | | | | | |
| S ₂ | 7,2300 | S ₂ | 5,9300 | | | | | | |
| S ₃ | 6,5633 | S ₃ | 6,5467 | | | | | | |
| S ₄ | 6,4033 | S ₄ | 7,1200 | | | | | | |
| S ₅ | 6,0533 | S ₅ | 5,8333 | | | | | | |
| M dentro de S | | | | | | | | | |
| M em S ₁ | 6,5333 * | M em S ₂ | 8,8547** | M em S ₃ | 0,0015 ^{ns} | M em S ₄ | 2,6910 ^{ns} | M em S ₅ | 0,2536 ^{ns} |
| M ₁ | 6,9367 a | M ₁ | 7,2300 a | M ₁ | 6,5633 a | M ₁ | 6,4033 a | M ₁ | 6,0533 a |
| M ₂ | 5,8200 b | M ₂ | 5,9300 b | M ₂ | 6,5467 a | M ₂ | 7,1200 a | M ₂ | 5,8333 a |
| dms = 0,9113 | | | | | | | | | |

(*) significativo a 5% e (**) a 1% de probabilidade; (^{ns}) não significativo a 5% de probabilidade; médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si a 5% de probabilidade.

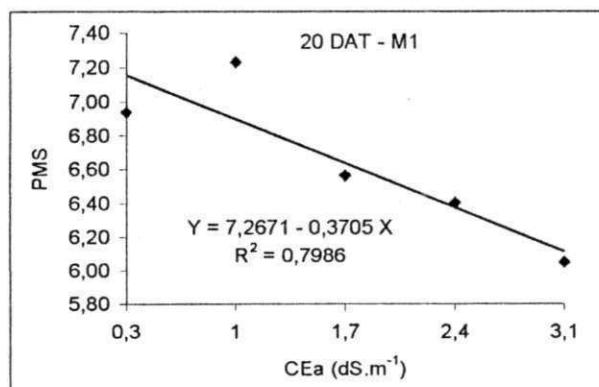


Figura 10. Curva de regressão significativa para percentagem de matéria seca da parte aérea (PMS) no tratamento M₁, em função da salinidade da água de irrigação, aos 20 dias após o transplântio (DAT) da alface.

4.2.1.4. Variáveis avaliadas ao final do ciclo

4.2.1.4.1. Fitomassa seca de raiz (FSR) aos 30 DAT

A fitomassa seca de raiz foi afetada pela salinidade da água de irrigação, ao nível 1% de probabilidade (Tabela 27), sendo quadrático o efeito, segundo os estudos de regressão. Os decréscimos, em relação a S₁, foram de 32,24, 54,50, 66,79 e 69,12%, para

S₂, S₃, S₄ e S₅, respectivamente; o modelo matemático obtido consta na Figura 11. Comparando-se o decréscimo de FSR, da ordem de 69,12%, no nível mais alto de salinidade, com o anteriormente discutido para FSPA, que foi de 27% (S₅), aos 30 DAT, constata-se que no final do ciclo, o maior prejuízo da salinidade ocorreu em termos de raiz.

Também houve efeito isolado do fator “Tipo de muda – M”, sobre a FSR, ao nível de 1% de probabilidade (Tabela 27); as plantas oriundas de mudas produzidas sem estresse salino (M₁) tiveram, ao final do ciclo, fitomassa radicular estatisticamente superior à das plantas provenientes de mudas produzidas sob condições de estresse (M₂). O decréscimo de FSR ocorrido em M₂, relativo a M₁, foi de 22,57%, ao passo que para FSPA, como discutido no sub-item 4.2.1.2, não houve diferença, significativa, entre M₁ e M₂ (diferença de apenas 0,03%), ficando, assim, evidenciado que o maior efeito depreciativo da salinidade, ao final do ciclo, ocorreu em termos de FSR, ainda que o estresse tenha ocorrido na fase de muda.

Apesar de ter havido efeito isolado dos fatores estudados, estatisticamente significativos, sobre a fitomassa seca das raízes (Tabela 27), não foi ele interativo, uma vez que a redução quadrática da fitomassa seca de raiz, com o aumento da salinidade, ocorreu tanto nas plantas oriundas de mudas M₁, quanto nas de M₂.

Observa-se que o efeito da salinidade, sobre as partes morfológicas da alface, variou durante o ciclo fenológico, ora sendo mais intenso sobre o sistema radicular, ora sobre a parte aérea. No estudo de vigor constatou-se maior prejuízo sobre o sistema radicular; aos 46 DAS – avaliação final das mudas – o efeito foi inverso, sendo a parte aérea mais afetada; porém, por ocasião da colheita (30 DAT), assim como no estudo de vigor, o sistema radicular foi o mais prejudicado.

Cramer & Spurr (1986a), trabalhando com alface (cv. Climax), verificaram que a salinidade inibe menos o crescimento radicular do que o da parte aérea; no estágio inicial de desenvolvimento (20 dias após a emergência), o aumento da salinidade até 40 mol.m⁻³ de NaCl, não prejudicou o crescimento radicular, ao passo que nesse nível, houve redução relativa de 30% para a parte aérea (fitomassa). Shannon *et al.* (1983), também constataram menor sensibilidade para o sistema radicular da alface, cultivada em sistema hidropônico, sob condições de salinidade. Outros autores, trabalhando com espécies

diferentes, relatam maior sensibilidade do sistema radicular em condições de estresse salino (Amorim, 1994; Marinho, 1996; Souza, 1999).

4.2.1.4.2. Fitomassa seca total (FST) aos 30 DAT

Conforme era de se esperar, as significâncias estatísticas, obtidas para fitomassa seca total, foram iguais às obtidas para fitomassa seca da parte aérea – FSPA (30 DAT), haja vista, ter sido da parte aérea, a maior contribuição na FST da planta, neste trabalho; o fato pode ser melhor constatado através das médias contidas na Tabela 27. Portanto, da mesma forma que para a FSPA, a salinidade afetou a FST no final do ciclo (30 DAT), ao nível de 1% de probabilidade (Tabela 27). De acordo com as análises de regressão, a FST decresceu linearmente, desde S_1 ; o percentual de decréscimo, relativo a S_1 , por incremento de $0,7 \text{ dS.m}^{-1}$ de CEa (incremento entre níveis de S), foi de 8,81%, sendo de 12,58% a diminuição da fitomassa seca total, por incremento unitário de CEa. Na Figura 11 está apresentada a curva de regressão para FST, significativa ao nível de 1% de probabilidade (Tabela 27), bem como, o seu coeficiente de determinação.

Também como discutido, anteriormente, para FSPA (30 DAT), não houve diferença estatística, entre M_1 e M_2 (Tabela 27), em relação à fitomassa seca total das plantas, ao final do ciclo (30 DAT), apesar de ter havido efeito do fator ‘M’, sobre a fitomassa seca de raiz (30 DAT), como discutido no sub-item anterior; vale ressaltar que a contribuição “média” da FSR, na FST da planta, foi de apenas 12,35%, sendo o restante originado da parte aérea (FSPA), daí a semelhança dos resultados estatísticos obtidos para FST e FSPA. Igualmente, não houve efeito interativo dos fatores estudados, uma vez que o decréscimo linear da FST, ocorrido com os níveis crescentes de salinidade, independeu do tipo de muda usada.

Outros autores têm constatado decréscimo de fitomassa total, com o aumento da salinidade em alface (Shannon *et al.*, 1983; Cramer & Spurr, 1986a e 1986b; Ferreira *et al.*, 1998); bem como, em outras culturas (Souza, 1990; Marinho, 1996; Medeiros, 1998; Souza, 1999, dentre outros).

4.2.1.4.3. Diâmetro médio da cabeça (DM) aos 30 DAT

De acordo com a análise de variância, a salinidade da água de irrigação afetou o diâmetro médio da cabeça da alface (cv. Elba), ao nível de 1% de probabilidade (Tabela 27). Pelos estudos de regressão, nota-se que o efeito foi linear e decrescente (Figura 11); ainda de acordo com o modelo matemático obtido, houve decréscimo relativo (comparado a S_1) de 2,76%, para cada incremento de $0,7 \text{ dS.m}^{-1}$ de CEa, acima de S_1 (incremento entre níveis de S), ou de 3,95%, por incremento unitário (CEa); desta forma, os decréscimos relativos estimados para os níveis mais altos de salinidade, foram de 8,28 e 11,04%, para S_4 e S_5 , respectivamente. Portanto, o diâmetro da cabeça de alface teve comportamento inversamente proporcional ao incremento de salinidade. Silva *et al.* (1999) e Ferreira *et al.* (1998) também encontraram decréscimo do diâmetro da cabeça, em alface, com o aumento da salinidade da água de irrigação.

O fator “Tipo de muda” produziu, também, efeito significativo sobre o diâmetro médio da cabeça da alface, conforme pode ser constatado na Tabela 27, onde está apresentada a análise de variância dos dados de DM. De acordo com o teste de comparação de médias (Tukey a 5% de probabilidade), também contido na referida tabela, o diâmetro médio da cabeça de plantas originadas de M_1 diferiu do obtido para as de M_2 ; portanto, as plantas oriundas de mudas produzidas em condições de estresse salino (M_2) tiveram DM estatisticamente superior (+4%). De fato, as plantas oriundas de mudas M_1 , desenvolveram cabeça mais compacta (observação visual), com folhagem mais ereta, daí o menor diâmetro de cabeça mensurado, o que, no entanto, não redundou em maior fitomassa da parte aérea (já discutido anteriormente), inferindo-se, desta forma, que o maior DM apresentado por M_2 foi, meramente, devido a uma questão de posicionamento da folhagem. Entre os níveis de CEa estudados (S), o DM decresceu com o aumento da salinidade, como discutido anteriormente, porém, isto se deveu ao maior crescimento da alface, quanto menor era a salinidade, apesar de as plantas submetidas aos níveis mais baixos de CEa, terem formado cabeça mais compacta; por conseguinte, neste caso, a maior contribuição para o DM, foi, de fato, o maior crescimento da parte aérea, quanto menor era a salinidade, e não, o posicionamento da folhagem. Cermeño (s.d.)⁹, citado por Gervásio (2000),

⁹ CERMEÑO, Z. S. *Cultivo de plantas hortícolas em estufa*. Portugal: Litexa, s.d., 368p.

constatou, também, formação de cabeças pouco consistentes, quando a alface era submetida a estresse salino.

Os efeitos dos fatores “salinidade” e “tipo de muda”, sobre o diâmetro médio de cabeça da alface (cv. Elba), ocorreram isoladamente (Tabela 27), sem haver efeito interativo, devido ao DM ter decrescido, com o aumento da salinidade, de forma, estatisticamente igual, em ambos os níveis do fator “tipo de muda”.

Tabela 27. Resumo de ANAVA e médias para fitomassa seca de raiz (FSR), matéria seca total (FST) e diâmetro média da cabeça (DM) aos 30 dias após o transplante da alface.

| Fator | FSR | FST | DM |
|------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | Teste F | | |
| Salinidade (S) | 29,8790 ** | 19,2800 ** | 15,2268 ** |
| Reg. Pol. Linear | 250,7017 ** | 106,2715 ** | 61,3527 ** |
| Reg. Pol. Quadr. | 29,2158 ** | 1,8025 ^{ns} | 0,3488 ^{ns} |
| Desv. Reg. | 0,2374 ^{ns} | 0,3506 ^{ns} | 0,3213 ^{ns} |
| Tipo de muda (M) | 8,9033 ** | 0,8269 ^{ns} | 14,8655 ** |
| S x M | 1,5925 ^{ns} | 0,7239 ^{ns} | 1,5011 ^{ns} |
| QMResíduo | 0,4391 | 4,8069 | 1,4015 |
| CV (%) | 23,3523 | 9,5399 | 2,9231 |
| | Médias | | |
| Salinidade | g | | cm |
| S ₁ | 5,1467 | 28,6500 | 42,8883 |
| S ₂ | 3,4167 | 24,6967 | 41,8883 |
| S ₃ | 2,2967 | 22,5767 | 40,2767 |
| S ₄ | 1,7933 | 20,5450 | 39,0533 |
| S ₅ | 1,5350 | 18,4417 | 38,3900 |
| Tipo de muda | | | |
| M ₁ | 3,1987 a | 23,3460 a | 39,6660 b |
| M ₂ | 2,4767 b | 22,6180 a | 41,3327 a |
| dms | 0,5047 | 1,6700 | 0,9017 |

(*) significativo a 5% e (**) a 1% de probabilidade; (^{ns}) não significativo a 5% de probabilidade; médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si a 5% de probabilidade.

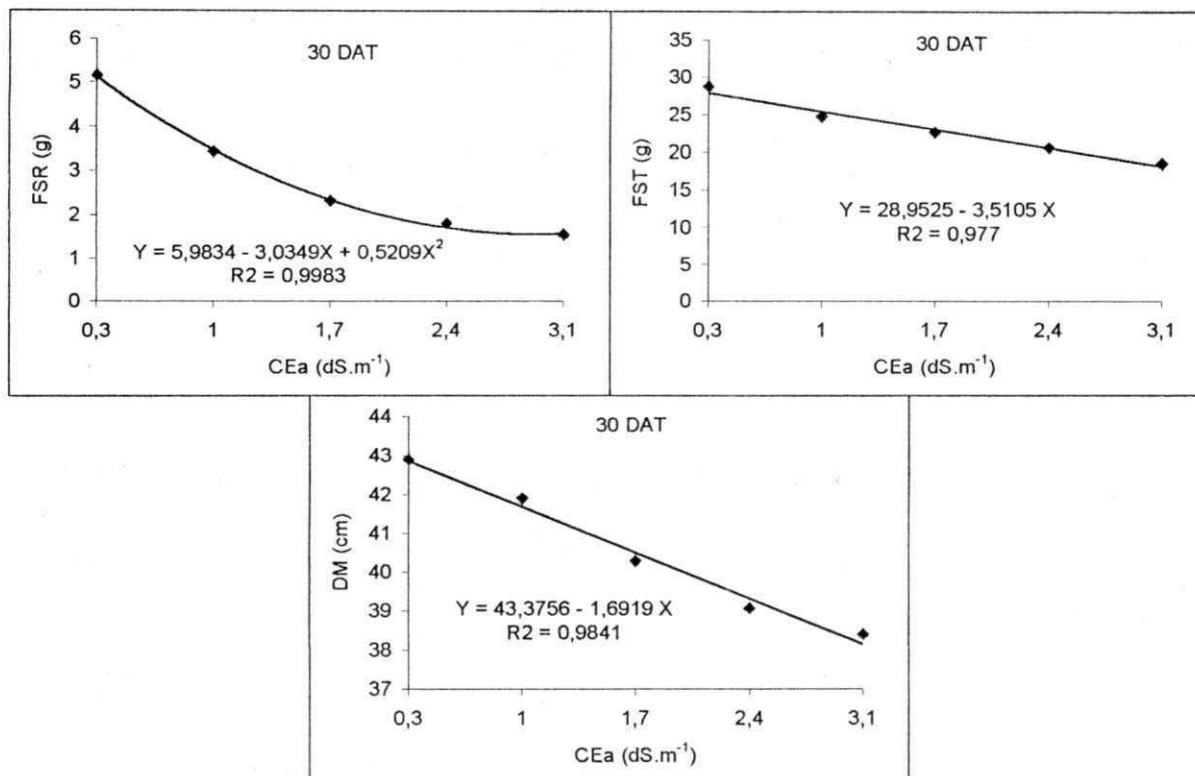


Figura 11. Curvas de regressão significativas para fitomassa seca de raiz (FSR), total (FST), e diâmetro médio da cabeça (DM) da alface, em função da salinidade da água de irrigação, aos 30 dias após o transplantio (DAT).

4.2.1.5. Índices fisiológicos

4.2.1.5.1. Taxa de crescimento absoluto (TCA)

Analisando os resultados estatísticos para TCA ao longo do ciclo (Tabela 28), constata-se que a salinidade afetou linearmente o crescimento absoluto da parte aérea das plantas, ao nível de 1% de probabilidade. De acordo com as equações matemáticas, obtidas mediante análise de regressão dos dados, os decréscimos relativos da TCA (comparados a S_1), por incremento de $0,7 \text{ dS.m}^{-1}$ de CEa (incremento entre níveis de S estudados), foram de 9,66, 7,70 e 6,30%, de 0-10, 10-20 e 20-30 DAT, respectivamente; os decréscimos, por incremento unitário de CEa, foram de 13,80, 11 e 9%, respectivamente. Observa-se que o percentual de decréscimo da TCA diminuiu ao longo do ciclo, denotando, aumento da tolerância à salinidade com o passar do tempo. As curvas de regressão, significativas ao nível de 1% de probabilidade (Tabela 28), para os citados intervalos, encontram-se na Figura 12.

As médias observadas de TCA, nos três intervalos, para cada nível de S e de M, são apresentadas na Tabela 28; as médias estão plotadas, em função dos dias após o transplântio (DAT) na Figura 13. Observa-se que os valores de TCA foram sempre crescentes, independentemente do tratamento, desde o transplântio à colheita (30 DAT), uma comprovação de que o ponto máximo de crescimento das plantas não tinha sido alcançado na amostragem final. Hamada (1993), estudando em alface, a aplicação de lâmina de irrigação equivalente a 0,6 da evaporação do Tanque Classe A, constatou crescimento contínuo até aos 35 DAT, quando foi realizada a colheita; Bastos (1994) constatou crescimento da TCA em alface, até 37 DAT, em estudo de determinação dos coeficientes de cultura, fato também evidenciado por Dantas (1998), pesquisando índices morfo-fisiológicos e rendimento da alface, em ambiente natural e protegido, no verão e no inverno. O fato sugere que a alface atinge o máximo de crescimento, em termos de matéria seca, durante a fase de florescimento.

No terço final do ciclo (20-30 DAT), os valores máximos e mínimos de TCA, obtidos entre os níveis de salinidade estudados, foram de 1761,42 e 1309,65mg.dia⁻¹, para S₁ e S₅, respectivamente. Apesar de o valor de TCA, obtido no nível S₅ (no citado intervalo), ter sido 25,65% inferior ao de S₁, ainda assim, é superior ao valor médio obtido por Dantas (1998), aos 31 DAT, que foi de 5,22 g.semana⁻¹ (745,71 mg.dia⁻¹), e não muito distante dos 1520 mg.dia⁻¹ obtidos por Andrade Júnior (1994), aos 63 DAT; ambos trabalharam com alface.

Houve diferença significativa (1% de probabilidade), entre M₁ e M₂, até 20 dias após o transplântio (Tabela 28). Observando-se as médias para cada nível de 'M', obtidas em cada intervalo de estudo (0-10, 10-20 e 20-30 DAT) e suas diferenças estatísticas, conforme o teste de comparação de médias (Tabela 28), constata-se que M₂ foi inferior a M₁ nos dois primeiros intervalos, com decréscimo relativo de 37,70 e 15,60%, no primeiro e segundo intervalo, respectivamente; porém, no terço final do ciclo, não houve diferença estatística entre níveis de M, apesar de M₂ ter resultado em TCA média superior, 7,05% mais alta. Com base nestas evidências, nota-se que o estresse salino, ao qual o tratamento M₂ foi submetido na fase de produção de muda, foi paulatinamente sendo superado ao longo do ciclo, não havendo mais diferença estatística entre os tratamentos M₁ e M₂, por ocasião da colheita. O comportamento evolutivo da TCA, para cada nível de 'M' e 'S', está apresentado na Figura 13.

Ainda pela Tabela 28, observa-se não ter havido efeito interativo dos fatores estudados, sobre o crescimento absoluto, em qualquer dos períodos do transplante à colheita, uma vez que a tendência de decréscimo linear da TCA, foi bastante semelhante em todas os tratamentos, independentemente do tipo de muda utilizada.

4.2.1.5.2. Taxa de crescimento relativo (TCR)

A taxa de crescimento relativo sofreu efeito quadrático da salinidade (Tabela 28) nos dois terços iniciais do ciclo (0-10 e 10-20), porém, sem qualquer efeito significativo no terço final (20-30 DAT). As curvas de regressão significativas (5% de probabilidade) para TCR aos 0-10 e 10-20 DAT estão apresentadas na Figura 12. Verifica-se nos primeiros 10 DAT (1º terço do ciclo), uma parábola de concavidade voltada para cima, com ponto de mínima aproximadamente em S_3 ; de 10 a 20 DAT (2º terço), a parábola se inverteu, contudo, manteve o vértice em S_3 . Mediante visualização da Figura 12, observa-se que os níveis salinos que resultaram, no primeiro terço do ciclo, em menores valores de TCR, compensaram proporcionalmente no segundo, e vice-versa; de forma que a curva média, com os dados de 0-20 DAT, teve comportamento praticamente paralelo ao eixo X (Figura 12), denotando não haver efeito da salinidade sobre a TCR média, tendo em vista a inversão proporcional das curvas discutidas, e pelo fato de a salinidade não ter produzido efeito significativo sobre a TCR no terço final. Isto fica comprovado pela não significância do fator salinidade sobre a TCR média do ciclo (0-30 DAT), como se constata na Tabela 28.

Assim, em termos de eficiência média (todo o ciclo) para produção de material novo, por unidade de material preexistente, não houve efeito dos níveis de salinidade estudados. Inversão de valores de TCR, ao longo do ciclo, entre tratamentos foi, também, constatado por Dantas (1998), estudando índices morfo-fisiológicos e rendimento da alface, em ambiente natural e protegido, no verão e no inverno, sem registrar influências significativas sobre a TCR.

Houve efeito do fator “tipo de muda”, sobre a taxa de crescimento relativo da alface, nos três intervalos de avaliação (0-10, 10-20 e 20-30 DAT), ao nível de 1% de probabilidade (Tabela 28). Observando-se as médias e suas respectivas diferenças, pelo teste de Tukey (Tabela 28), constata-se que nos primeiros 10 DAT, os valores de TCR

relacionados a M_1 foram superiores aos de M_2 , com um decréscimo relativo de 38%. Porém, nos terços médio e final do ciclo (10-20 e 20-30 DAT), a situação se inverteu, e as plantas oriundas de mudas do tipo M_2 foram mais eficientes em produzir material novo, por unidade de material preexistente. Os decréscimos relativos relacionados a M_1 foram de 19,62 e 23,28%, nos períodos de 10 a 20 e 20 a 30 DAT, respectivamente. Observa-se que em termos proporcionais, a vantagem de M_2 aumentou do segundo para o terço final do ciclo.

O comportamento evolutivo da TCR, em cada nível dos fatores estudados, está apresentado na Figura 13. Observa-se que, independente do nível salino, os valores de TCR cresceram do primeiro para o segundo intervalo de avaliação (0-10 para 10-20 DAT), quando então começaram a decrescer, chegando no último intervalo (20-30 DAT) em níveis abaixo do inicial. Em relação aos tratamentos de M , observa-se em M_1 que o valor máximo de TCR aconteceu no primeiro intervalo, ocorrendo pequeno decréscimo no segundo período e, maior, no terço final do ciclo, ao passo que M_2 apresentou o mesmo comportamento discutido para os níveis de salinidade, ou seja, a TCR cresceu do primeiro para o segundo intervalo de avaliação, e decresceu, a partir de então. Andrade Júnior (1994) e Hamada (1993), ambos estudando diferentes lâminas de irrigação em alface, constataram, igualmente, evolução da TCR até aproximadamente 20 DAT, seguido de decréscimo a partir daí, independentemente do tratamento dispensado; comportamento semelhante foi, também, observado por Bastos (1994), em estudo de determinação dos coeficientes de cultura da alface, bem como, por outros autores em outros cultivos (Lopes *et al.*, 1982 e Stone *et al.*, 1988, em feijão; Urchei, 1992, em cevada).

Observa-se (Tabela 28 e Figura 13) que o valor máximo de TCR foi de 0,65 $\text{mg.mg}^{-1}.\text{dia}^{-1}$, obtido com CEa de $1,7\text{dS.m}^{-1}$ (S_3) no intervalo de 10-20 DAT; porém, como anteriormente discutido, não houve efeito dos fatores estudados sobre a TCR média do ciclo. O referido valor é semelhante ao valor máximo obtido por Andrade Júnior (1994), estudando lâminas de irrigação em alface, da ordem de $0,6 \text{ mg.mg}^{-1}.\text{dia}^{-1}$.

Não houve, também, efeito interativo dos fatores estudados, sobre a taxa de crescimento relativo, nos três intervalos de avaliação (Tabela 28), uma vez que o efeito quadrático da salinidade sobre a TCR, observado nos dois primeiros intervalos do ciclo, bem como, a igualdade estatística entre os níveis de salinidade, no intervalo final (20 a 30 DAT), ocorreram em ambos os níveis de 'M'.

4.2.1.5.3. Relação raiz/parte aérea (R/PA)

Verifica-se através da Tabela 28, que a salinidade afetou a relação raiz/parte aérea, ao nível de 1% de probabilidade. Conforme os estudos de regressão, o efeito foi quadrático, como pode ser constatado, também, na Figura 12. Os decréscimos, relativos a S_1 (conforme a regressão), foram de 28,07, 47,14, 57,19 e 58,24% nos tratamentos S_2 , S_3 , S_4 e S_5 , respectivamente. Ainda de acordo com o modelo matemático obtido, as plantas que foram irrigadas com água de $0,3 \text{ dS.m}^{-1}$ (S_1), tiveram fitomassa seca radicular correspondente a 21,97%, da fitomassa seca da parte aérea; este valor foi de apenas 9,18%, nas plantas que receberam água de $3,1 \text{ dS.m}^{-1}$ (S_5). Comparando-se o decréscimo de R/PA, ajustado pelo modelo matemático, para as plantas que receberam o tratamento S_5 (58,24% aos 30 DAT), com o discutido no sub-item 4.2.1.2, para fitomassa seca da parte aérea (27% - 30 DAT), constata-se que o crescimento radicular foi o mais prejudicado pela salinidade ao final do ciclo.

O fator “tipo de muda” produziu, também, efeito sobre a relação R/PA (Tabela 28). Conforme o teste de comparação de médias (Tukey - 5% de probabilidade), contido na tabela citada, as plantas oriundas de mudas produzidas sem estresse salino (M_1) desenvolveram uma relação raiz/parte aérea, estatisticamente superior, por ocasião da colheita (30 DAT); o decréscimo relativo médio, ocorrido nas plantas do tratamento M_2 , foi de 22,22%. Comparando-se o referido decréscimo, com o verificado para a fitomassa seca da parte aérea (30 DAT), no mesmo tratamento (M_2), que foi de apenas 0,03% (estatisticamente não significativo), fica mais uma vez evidenciado que o maior efeito deletério da salinidade, neste estudo, ocorreu sobre o sistema radicular, ainda que o estresse salino tenha ocorrido na fase de muda; ainda mais pelo fato de, em todos os níveis salinos estudados, M_1 ter apresentado R/PA superior, à exceção de S_5 , onde os valores foram praticamente iguais, o que reforça a afirmação de ter sido o sistema radicular a parte da planta mais prejudicada pela salinidade.

Note-se que a relação raiz/parte aérea decresceu rapidamente com o incremento da CEa até $1,7 \text{ dS.m}^{-1}$ (Figura 12); o fato ocorreu devido a fitomassa seca de raiz ter decrescido da mesma forma, bem como, em função da pequena taxa de redução ocorrida em termos de fitomassa seca da parte aérea.

Os fatores estudados afetaram as variáveis avaliadas apenas de forma isolada, não havendo efeito interativo. O efeito quadrático da salinidade, sobre a relação raiz/parte aérea, ocorreu de forma semelhante em ambos os níveis do fator "tipo de muda".

Tabela 28. Resumo de ANAVA e médias para taxa de crescimento absoluto (TCA) e relativo (TCR) em três intervalos distintos do ciclo da alface e TCR média (TCR_m), bem como, relação raiz/parte (R/PA) aérea aos 30 dias após o transplântio (DAT).

| Causa de Variância | TCA (DAT) | | | TCR (DAT) | | | TCR _m | R/PA |
|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | 0-10 | 10-20 | 20-30 | 0-10 | 10-20 | 20-30 | | |
| | Teste F ¹ | | | | | | | |
| Salinidade (S) | 5,3799 ** | 6,6743 ** | 5,0411 ** | 2,6576 ^{ns} | 0,9972 ^{ns} | 0,9727 ^{ns} | 1,4067 ^{ns} | 16,9244 ** |
| Reg. Pol. Linear | 20,9766 ** | 24,5115 ** | 23,6349 ** | 0,2990 ^{ns} | 0,2095 ^{ns} | 0,7338 ^{ns} | 2,7801 ^{ns} | 163,7376 ** |
| Reg. Pol. Quadr. | 2,8118 ^{ns} | 4,1589 ^{ns} | 0,5273 ^{ns} | 8,9922 * | 5,3002 * | 2,4991 ^{ns} | 1,7805 ^{ns} | 21,9437 ** |
| Desv. Reg. | 0,6267 ^{ns} | 0,6970 ^{ns} | 0,3563 ^{ns} | 0,4490 ^{ns} | 0,0486 ^{ns} | 0,5630 ^{ns} | 0,0951 ^{ns} | 0,1600 ^{ns} |
| Tipo de muda (M) | 33,9521 ** | 9,4017 ** | 2,1381 ^{ns} | 26,7558 ** | 5,2826 * | 9,9528 ** | 0,0185 ^{ns} | 8,5452 ** |
| S x M | 0,9554 ^{ns} | 0,6116 ^{ns} | 1,4409 ^{ns} | 0,4906 ^{ns} | 0,1901 ^{ns} | 1,0846 ^{ns} | 0,6658 ^{ns} | 1,7256 ^{ns} |
| QMResíduo | 192,6727 | 4297,0113 | 36739,519 | 0,0114 | 0,0226 | 0,0049 | 0,0010 | 10,2019 |
| CV (%) | 21,83 | 15,11 | 12,76 | 24,84 | 25,92 | 22,87 | 7,28 | 23,41 |
| | Médias | | | | | | | |
| | mg.dia ⁻¹ | | | mg.mg ⁻¹ . dia ⁻¹ | | | % | |
| Salinidade | | | | | | | | |
| S ₁ | 82,8500 | 488,4333 | 1761,4167 | 0,4748 | 0,5062 | 0,3145 | 0,4318 | 21,9117 |
| S ₂ | 71,5500 | 485,9167 | 1553,3667 | 0,4177 | 0,5926 | 0,2765 | 0,4289 | 16,0683 |
| S ₃ | 54,6333 | 444,7667 | 1511,7500 | 0,3326 | 0,6534 | 0,3021 | 0,4294 | 11,3117 |
| S ₄ | 56,5333 | 430,9167 | 1373,7667 | 0,4059 | 0,6191 | 0,2838 | 0,4363 | 9,8183 |
| S ₅ | 52,3333 | 318,5167 | 1309,6500 | 0,5195 | 0,5298 | 0,3474 | 0,4656 | 9,0833 |
| Tipo de muda | | | | | | | | |
| M ₁ | 78,3467 a | 470,4067 a | 1450,8200 a | 0,5310 a | 0,5171 b | 0,2647 b | 0,4376 a | 15,3433 a |
| M ₂ | 48,8133 b | 397,0133 b | 1553,1600 a | 0,3292 b | 0,6433 a | 0,3450 a | 0,4392 a | 11,9340 b |
| dms | 10,5727 | 49,9298 | 145,9967 | 0,0814 | 0,1146 | 0,0531 | 0,0243 | 2,4329 |

(*) significativo a 5% e (**) a 1% de probabilidade; (^{ns}) não significativo a 5% de probabilidade; médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si a 5% de probabilidade.

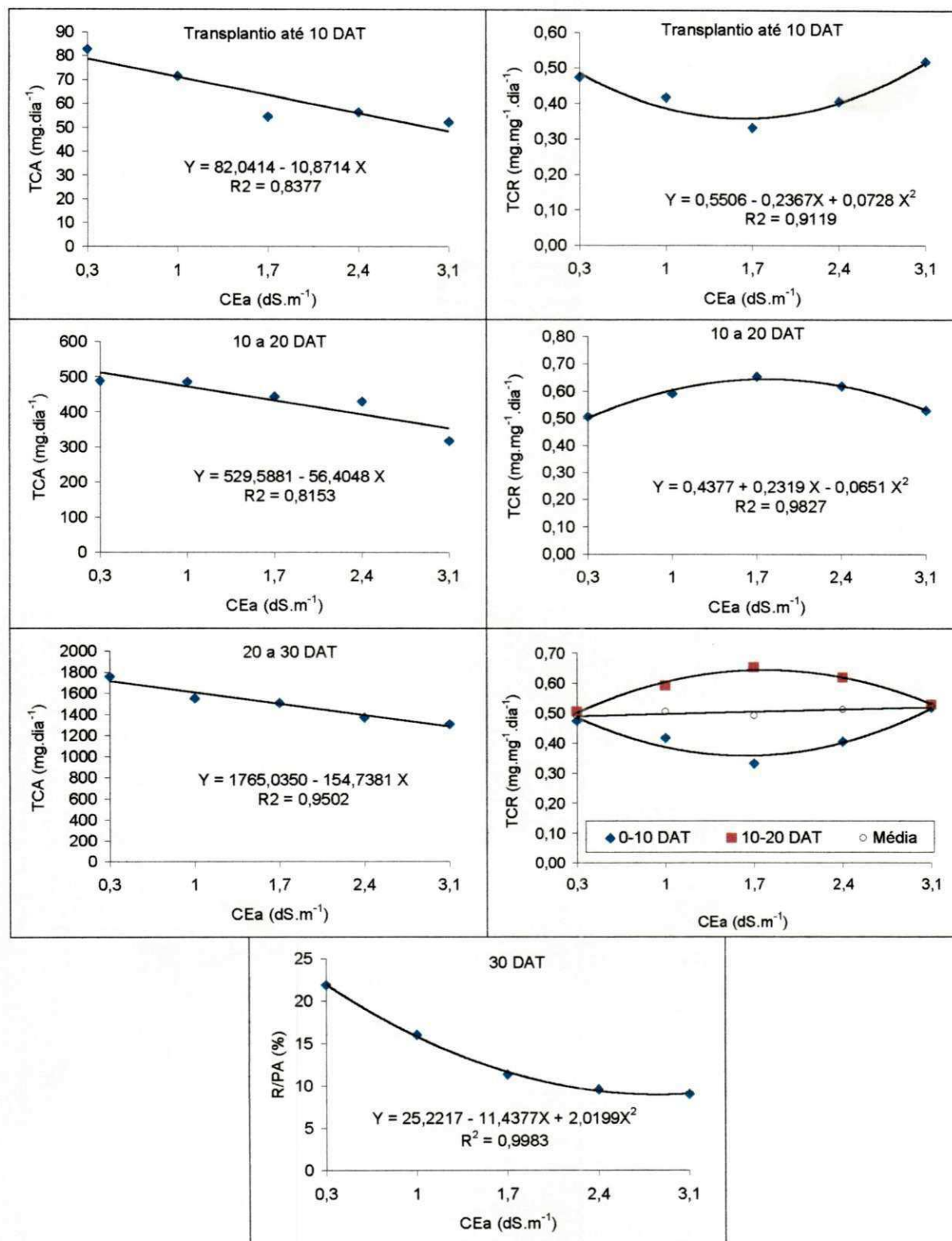


Figura 12. Curvas de regressão significativas para taxa de crescimento absoluto (TCA) do transplântio à colheita (0-30 DAT); taxa de crescimento relativo (TCR) de 0-10 e 10-20 DAT e relação raiz/parte aérea (R/PA) da alface aos 30 DAT.

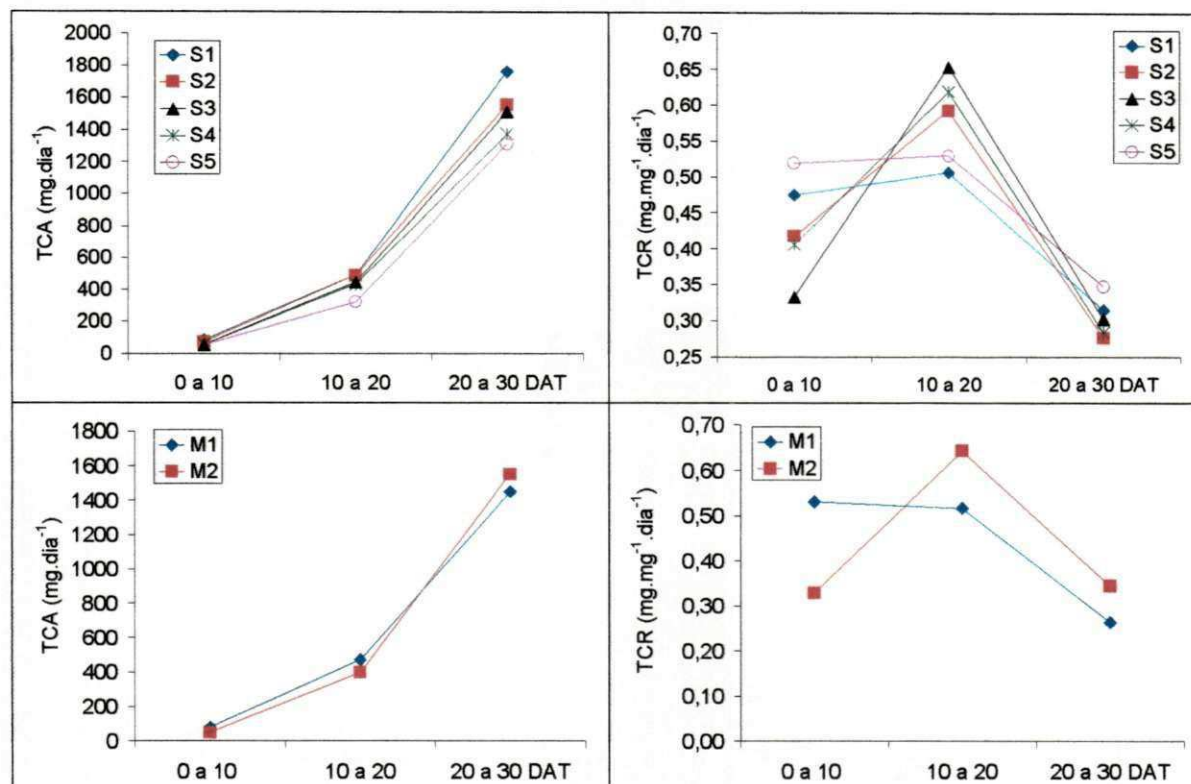


Figura 13. Evolução da taxa de crescimento absoluto (TCA) e relativo (TCR) para cada nível de CEa e tipo de muda, em função dos dias após o transplântio (DAT) da alface.

4.2.2. Efeitos da salinidade sobre o crescimento da alface

Conforme o discutido, todas as variáveis estudadas sofreram efeito depreciativo com o aumento da CEa acima de $0,3 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Há vários anos se conhece que a salinidade afeta o crescimento das plantas; Allison, em 1964, já reportava que os sais solúveis, em concentrações elevadas na solução do solo, afetam o crescimento das plantas por efeito osmótico, pela acumulação de íons, em concentrações tóxicas, na planta, e por desordem nutricional.

No presente trabalho, o efeito osmótico pode ser claramente constatado, através da redução do consumo de água pelas plantas, ocorrido com o aumento da salinidade (Figura 14 a, b, c). Em termos de consumo médio durante o ciclo, houve decréscimo da evapotranspiração relativa (comparação a S₁) de 8%, por incremento de $0,7 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ de CEa (Figura 14 a), comprovando que o estresse salino, induz um estresse hídrico, devido à redução do potencial osmótico da solução no solo. O estresse salino ocorrido na fase de muda, também redundou em queda de consumo d'água, uma vez que nos dois terços iniciais do ciclo, as plantas do tratamento M₂ demandaram, em média, apenas

86,5%, da água consumida pelas originadas de M_1 , nesse mesmo período; no terço final do ciclo este valor foi elevado a 99% (Figura 14 c).

De acordo com Doorenbos & Kassam (1994), existe uma relação direta entre evapotranspiração e rendimento das culturas; a evapotranspiração real é igual à máxima, e da mesma forma a produção, quando o suprimento de água é plenamente satisfeito (desde que as outras condições de cultivo estejam atendidas); ao contrário, quando o suprimento é insuficiente, ocorre queda de produção. Também no presente trabalho, o rendimento teve uma relação direta com a evapotranspiração.

A pressão osmótica da solução do solo na capacidade de campo (CC), à qual as plantas do tratamento S_1 estavam submetidas (fim do ciclo), foi de aproximadamente 126,41 kPa (Tabela 29), valor este obtido segundo correlação entre condutividade elétrica e pressão osmótica contida em Daker (1988), e considerando a umidade na capacidade de campo igual à metade da de saturação; conforme a Figura 15 (b), o valor encontrado de pressão osmótica (126,41 kPa) foi aumentado em 72,95 kPa, para cada incremento unitário de CEes acima da ocorrida em S_1 , cujo valor foi de $1,73 \text{ dS.m}^{-1}$ (Tabela 29). De acordo com Singh & Alderfer (1966), a produtividade da alface decresce sob condições de tensão de umidade no solo, inferiores a -100 kPa (pressão hídrica maior que 100 kPa). No presente trabalho, houve queda de rendimento desde S_1 ; neste nível de salinidade, as plantas estavam submetidas a uma tensão osmótica de -126,41 kPa na capacidade de campo, enquanto que em solos normais, de textura grossa, sem problemas de salinidade, a tensão de umidade no solo na CC corresponde a -10 kPa (Bernardo, 1995); estando, portanto, de acordo com os resultados de Singh & Alderfer (1966). Os dados estão, também, de acordo com citações de Maas & Hoffman (1977) e de Maas (1984), de queda de rendimento da alface, quando a CEes excede $1,3 \text{ dS.m}^{-1}$; no final do ciclo do presente trabalho, a condutividade elétrica do extrato de saturação ($\text{CEes} = 1,73 \text{ dS.m}^{-1}$), no nível mais baixo de salinidade (S_1), foi superior a esse limiar. Assim, fica evidenciado que o efeito osmótico foi uma das causas, a condicionar redução do crescimento das plantas, com o aumento da salinidade, por induzir ao estresse hídrico; fato constatado pela redução do consumo de água pelas plantas, com o aumento da salinidade (Figura 14 a, b). Vale ressaltar que, de acordo com a Figura 15 (a), houve incremento de $1,41 \text{ dS.m}^{-1}$ na CEes, para cada incremento unitário de CEa.

A temperatura média foliar, mensurada no terço final do ciclo, através de termômetro infravermelho (Tabela 30), é mais uma evidencia de que a salinidade, por efeito osmótico, tenha induzido déficit hídrico no solo, restringindo o fluxo de água no sentido solo→planta→atmosfera e, por conseguinte, a transpiração, causando a elevação da temperatura foliar e afetando o crescimento das plantas; pelos valores contidos na Figura 15 (c), houve elevação de 1,8 °C na temperatura foliar, para cada incremento unitário de CEa. Conforme Cairo (1995), o aumento da temperatura foliar pode ser um forte indicador da ocorrência de déficit hídrico no solo, uma vez que sinaliza o fechamento dos estômatos, uma tentativa de a planta evitar maiores perdas de água por transpiração; o processo transpiratório deve ser entendido como transferência de energia, na forma de calor latente, da folha para o ar.

De acordo com Magalhães (1979), a fotossíntese líquida decresce rapidamente com o aumento da temperatura acima de 30°C nas plantas C₃¹⁰, como é o caso da alface; verifica-se na Tabela 30, que a temperatura média foliar esteve abaixo de 30°C, apenas nas plantas que receberam o tratamento S₁ (CEa de 0,3 dS.m⁻¹). Assim, é mais uma vez justificável, o decréscimo de rendimento ocorrido com o aumento da salinidade.

Portanto, a salinidade pode ter prejudicado o crescimento da alface, também, por redução da transpiração e consequente aumento da temperatura foliar, reduzindo a fotossíntese. Existem referências mostrando que em condições de estresse hídrico e salino, diminui o transporte de citocininas da raiz para a parte aérea (Itai *et al.*, 1965; 1968 e 1971) e que as citocininas são importantes para a síntese de proteínas e para o crescimento das plantas, por estarem envolvidas na restauração da RuDP (rubisco), no processo fotossintético (Gordon & Letham, 1975; Skene, 1975; Bradford, 1982). Vale ressaltar que a RuDP é fundamental no processo de fixação do CO₂ no ciclo de Calvin (fase escura da fotossíntese).

Além do efeito osmótico da salinidade sobre o crescimento das plantas, anteriormente evidenciado, podem ter ocorrido, também, problemas de fito-toxicidade por íons específicos; visualmente, notou-se apenas intensificação do verde das folhas nos níveis S₄ e S₅. Conforme a literatura, é característico da salinidade a presença de

¹⁰ Plantas as quais o ciclo de Calvin constitui a única via de fixação de carbono; nelas, o primeiro produto detectável da fixação do CO₂ é o 3-fosfoglicrato (PGA).

concentrações elevadas de certos íons na solução do solo (Epstein & Rains, 1987; Szabolcs, 1989). Altas concentrações destes íons, em relação a outros, podem causar toxicidade e deficiências induzidas de alguns nutrientes que estejam presentes, em baixas concentrações (Lauchli & Epstein, 1990). Muitos autores afirmam que condições específicas, reinantes em solos salinos e ou sódicos, podem afetar diferentes processos metabólicos das plantas, como assimilação de CO₂, fotossíntese, síntese de proteínas, respiração, relações hídricas, reações enzimáticas e conversão de fitohormônios (Strogonov, 1964; Meiri & Shalhevet, 1973; Bernstein, 1975; Shannon, 1979; Menguel & Kirkby, 1987).

De acordo com os resultados de análise do extrato de saturação do solo, no final do ciclo de cultivo (Tabela 29), os elementos que sofreram grandes incrementos com a salinidade foram o sódio e o cloreto; também houve elevação da relação Na/Ca. Existem evidências na literatura de que o cloreto pode ter o papel de aliviar, até certo ponto, o estresse salino em alface, ao passo que o sódio é danoso (Cramer & Spurr, 1986a). Muitos autores abordam os efeitos danosos do sódio sobre o crescimento das plantas, sobretudo, por causar distúrbios na nutrição de cálcio (Ansari *et al.*, 1978; Elzam & Epstein, 1969; Kingsbury e Epstein, 1986). Conforme Hanson (1984), o cálcio tem o importante papel de aumentar a seletividade das raízes, reduzindo o acúmulo de íons tóxicos nos tecidos das plantas.

Assim, parece pertinente inferir, que além do efeito osmótico, também o tóxico, provavelmente por sódio, baseado nas evidências anteriormente discutidas, tenha contribuído para a redução do crescimento das plantas, com o aumento da salinidade, sobretudo em nível radicular, tendo em vista a severa redução da R/PA, discutida no subitem 4.2.1.5.3; vale lembrar que, sob condições de estresse hídrico, que pode ser induzido pela salinidade, normalmente, ocorre o inverso, ou seja, aumento da R/PA, na tentativa de a planta aumentar o volume de solo explorado por suas raízes (Turner, 1986; Ludlow & Muchow, 1990).

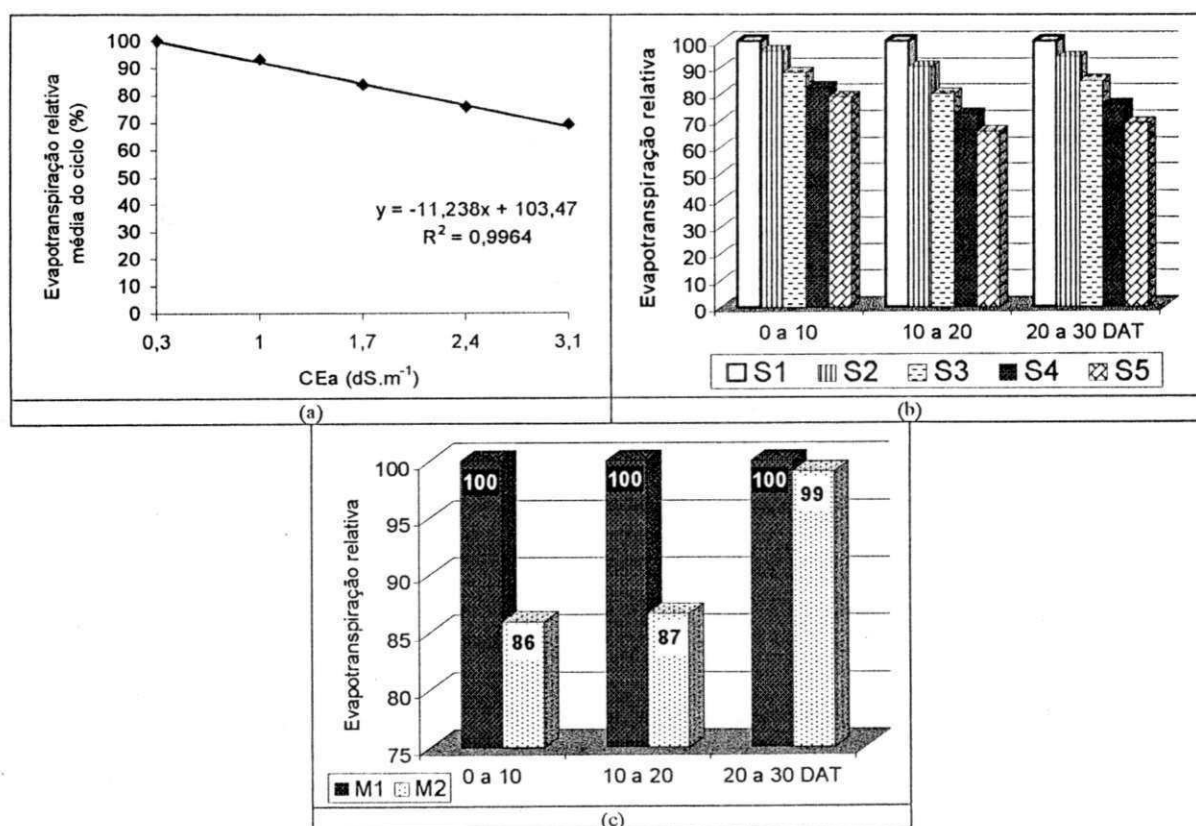


Figura 14. Evapotranspiração relativa média (a) e por terço do ciclo (b) da alfaca em função da salinidade da água de irrigação (CEa); evapotranspiração relativa (c) por terço do ciclo para cada nível do fator tipo de muda (M).

Tabela 29. Resultados de análise do extrato de saturação do solo no final do ciclo.

| Característica | Fatores estudados | | | | | | | |
|--------------------------------------------|-------------------|----------------|----------------------|----------|----------|----------|----------------|----------|
| | Tipo de muda | | Níveis de salinidade | | | | | |
| | M ₁ | M ₂ | 0,3 | 1 | 2,4 | 3,1 | S ₅ | |
| pH | 7,01 | 6,81 | 6,96 | 6,86 | 6,89 | 6,81 | 7,04 | |
| Percentagem de saturação | 33,32 | 33,53 | 33,13 | 33,55 | 33,26 | 33,34 | 33,86 | |
| CEes (dS.m ⁻¹) | 3,97 | 3,93 | 1,73 | 3,14 | 4,17 | 4,95 | 5,77 | |
| RAS (mmol.L ⁻¹) ^{0,5} | 7,79 | 7,49 | 1,99 | 5,52 | 8,00 | 10,13 | 12,56 | |
| PO ⁽²⁾ na CC (kPa) | 289,63 | 286,81 | 126,45 | 228,95 | 304,22 | 360,88 | 420,58 | |
| Cátions (mmol.L ⁻¹) | Ca | 11,74 | 12,26 | 8,65 | 11,47 | 13,19 | 13,38 | 13,31 |
| | Mg | 10,34 | 10,80 | 8,60 | 10,53 | 10,87 | 11,51 | 11,36 |
| | Na | 26,83 | 25,84 | 5,79 | 18,30 | 27,76 | 35,71 | 44,12 |
| | K | 0,43 | 0,44 | 0,40 | 0,39 | 0,43 | 0,45 | 0,49 |
| Ânions (mmol.L ⁻¹) | Cl | 34,38 | 33,35 | 6,69 | 23,42 | 35,98 | 46,20 | 57,02 |
| | CO ₃ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | HCO ₃ | 8,04 | 7,41 | 7,19 | 7,39 | 7,54 | 8,14 | 8,36 |
| | SO ₄ | presente | presente | presente | presente | presente | presente | presente |

⁽²⁾ Pressão osmótica do solo na unidade de capacidade de campo, obtida segundo correlação entre CEes e PO, contida em Daker (1988).

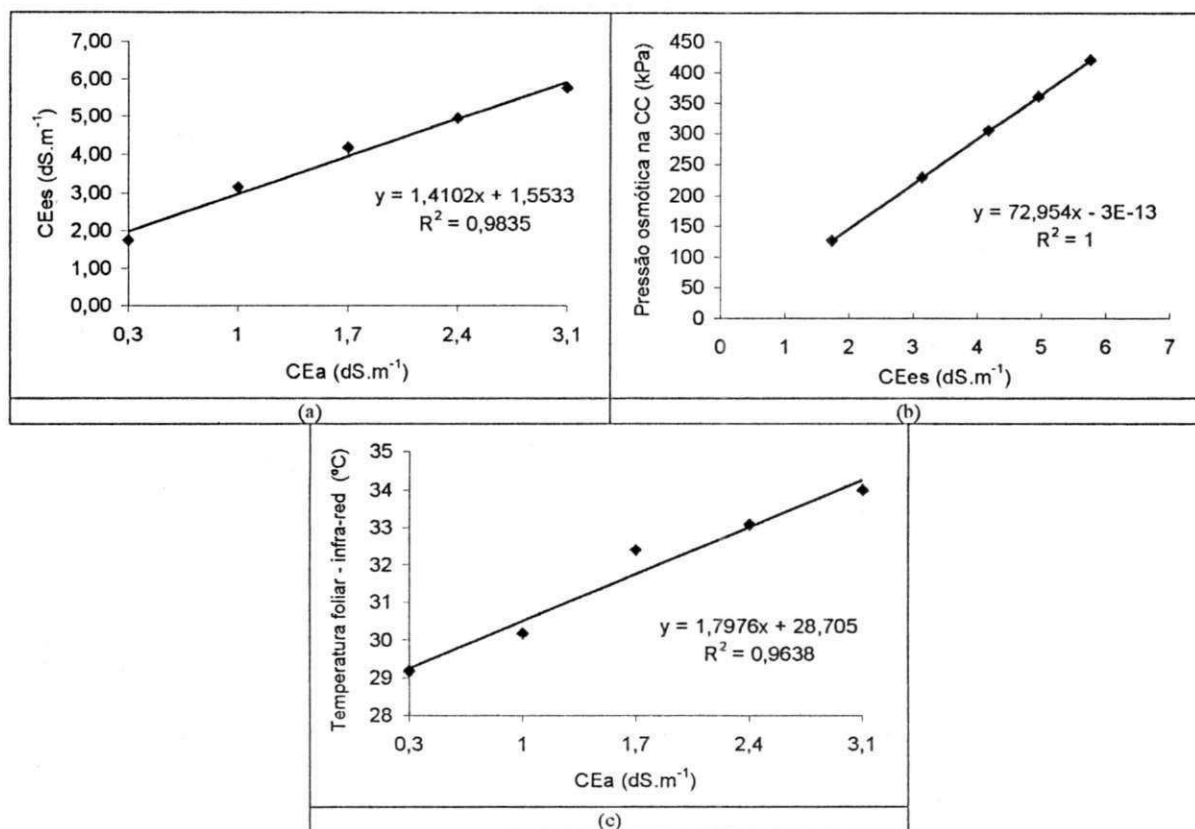


Figura 15. Regressão entre condutividade elétrica do extrato de saturação e da água de irrigação no final do ciclo (a), condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) e pressão osmótica do solo na capacidade de campo (b) e temperatura foliar da alface em função da condutividade elétrica da água de irrigação (c).

Tabela 30. Temperatura média foliar da alface, no terço final do ciclo (termômetro infravermelho).

| Temperatura Infra-red (°C) | Fatores estudados | | | | | | |
|-------------------------------|-------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | Tipo de muda | | Níveis de salinidade | | | | |
| | M ₁ | M ₂ | S ₁ | S ₂ | S ₃ | S ₄ | S ₅ |
| | 30,17 | 31,67 | 29,17 | 30,17 | 32,39 | 33,08 | 34,00 |

4.2.3. Tolerância relativa da alface à salinidade

4.2.3.1. Fases fenológicas

Na Figura 16, estão apresentadas, as curvas de rendimento relativo de fitomassa seca da parte aérea (FSPA), em função da salinidade da água de irrigação, obtidas para a análise de vigor (média 7 e 14 DAS), produção de mudas (46 DAS), e para as avaliações efetuadas aos 10, 20 e 30 dias após o transplântio (DAT). Verifica-se, através

da inclinação das curvas, que a taxa de decréscimo de FSPA variou durante o ciclo, com o incremento da CEa; na fase inicial de desenvolvimento (média entre 7 e 14 DAS, correspondente aos estudos de vigor), o decréscimo de FSPA, por incremento unitário de CEa, foi de 9,41%; na avaliação final das mudas, efetuada aos 46 DAS, aquele valor aumentou para 14,72%, decrescendo, paulatinamente, após o transplante das mudas, sendo de 13,79% dez dias após o transplante, e baixando para 11,45% aos 20 DAT e 9,64% por ocasião da colheita (30 DAT).

Assim, a tolerância da cultivar de alface 'Elba', à salinidade da água de irrigação, foi maior no início (vigor) e final do ciclo (30 DAT), onde ocorreram as menores taxas de decréscimo de fitomassa seca da parte aérea, como pode ser constatado pela semelhança das respectivas curvas apresentadas na Figura 16; houve menor tolerância, em termos de FSPA, na avaliação final das mudas (46 DAS). A maior tolerância aos sais, referida para a fase inicial do ciclo (vigor), pode ser constatada, também, em termos de percentagem de germinação (PG), onde a tolerância foi ainda maior, tendo em vista, ter havido efeito da salinidade, apenas com CEa superior a $2,81 \text{ dS.m}^{-1}$ (Figura 3).

Com base nos decréscimos, anteriormente discutidos, verifica-se que após o transplante, a tolerância da alface, cv. Elba, frente ao aumento da salinidade da água de irrigação, foi crescente com o tempo; o fato, segundo Lima (1997), ocorre com a maioria das culturas, embora, existam exceções, como o arroz, que é mais afetado durante o florescimento. Vários autores têm reportado que a tolerância das culturas varia durante o ciclo fenológico (Shainberg & Oster, 1978; Bresler *et al.*, 1982; Fageria, 1989).

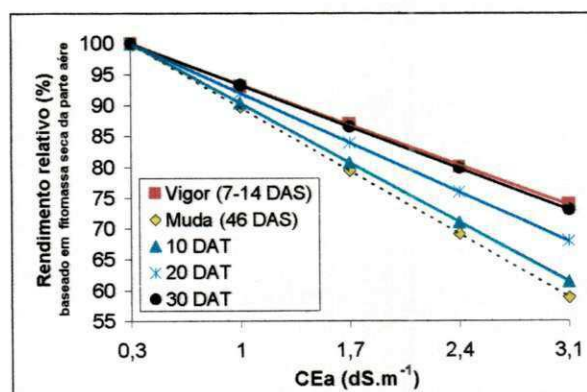


Figura 16. Rendimento relativo de fitomassa seca da parte aérea da alface, cv. Elba, nos primeiros dias após a sementeira (vigor), na fase de muda (46 dias após a sementeira - DAS), e aos 10, 20 e 30 dias após o transplante (DAT).

4.2.3.2. Rendimento final (em termos de fitomassa verde da parte aérea)

Analisando-se o rendimento final da alface, em termos de tolerância à salinidade da água de irrigação, observa-se decréscimo de rendimento relativo (RR) de 9,03% por incremento unitário de salinidade, desde o nível mais baixo de CEa estudado ($0,3 \text{ dS.m}^{-1}$). Gervásio (2000) também constatou decréscimo de RR, em alface, quando a irrigação foi efetuada com água de CE superior a $0,3 \text{ dS.m}^{-1}$, sendo $0,18 \text{ dS.m}^{-1}$ o menor nível testado. Conforme Maas & Hoffman (1977) e Maas (1986), a redução do rendimento relativo em alface, é iniciada quando a CEa excede a $0,9 \text{ dS.m}^{-1}$. De acordo os estudos de regressão do presente trabalho (Figura 17 c), os rendimentos relativos de 100, 90, 75 e 50%, seriam alcançados com águas de 0,3, 1,41, 3,07 e $5,85 \text{ dS.m}^{-1}$, contra 0,9, 1,4, 2,1 e $3,4 \text{ dS.m}^{-1}$, indicados por Maas & Hoffman (1977) e Maas (1986); esses valores indicam uma maior sensibilidade da cultivar Elba para rendimentos relativos próximos a 100%, igualdade em 90% e a partir daí, maior tolerância à salinidade. Entretanto, os valores referidos por Maas & Hoffman (1977), levam em consideração o fator de concentração de sais no solo (FC) de 1,5 vezes a água de irrigação, fato que não ocorreu neste trabalho, como pode ser constatado na Figura 17 (b), onde o FC variou de acordo com os tratamentos de CEa e teve uma relação inversa com a lâmina de lixiviação. Desta forma, em função dos distintos fatores de concentração de sais no solo, entre a presente pesquisa e as indicações contidas em Maas & Hoffman (1977), não seria conveniente analisar a tolerância em termos de CEa, uma vez que o valor de salinidade no solo, neste trabalho, excedeu 1,5 vezes a CEa.

Conforme Ayers & Westcot (1991), Maas & Hoffman (1977) e Maas (1986), a tolerância das culturas à salinidade, deve ser quantificada com base na sua resposta à salinidade do solo, normalmente expressa em termos de condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes); assim, o máximo de salinidade na zona radicular que pode ser tolerado pelas plantas, sem afetar negativamente o seu desenvolvimento, é denominado de salinidade limiar (SL), onde o rendimento potencial da cultura é de 100% e, a partir do qual, ocorre decréscimo linear com o incremento de salinidade.

Verifica-se, através da Tabela 29, que a CEes aumentou de 1,73 a $5,77 \text{ dS.m}^{-1}$ de S_1 a S_5 . Conforme os estudos de regressão (Figura 17 a) os rendimentos relativos de 100, 90, 75 e 50%, seriam alcançados com CEes 1,73, 3,37, 5,82 e $9,90 \text{ dS.m}^{-1}$, contra

1,3, 2,1, 3,20 e 5,1 dS.m⁻¹, indicados por Maas & Hoffman (1977). Mais uma vez, observa-se distinção entre os resultados deste trabalho e as indicações contidas em Maas & Hoffman (1977). Contudo, por ter o rendimento da alface, no presente trabalho, decrescido desde o tratamento salino mais baixo (S₁), onde a CEes foi superior à salinidade limiar indicada pela literatura (Maas & Hoffman, 1977; Maas, 1986), parece, também, não ser pertinente a comparação dos valores de CEes que condicionaram os rendimentos anteriormente referidos; isto, simplesmente, por não se saber, se o rendimento máximo obtido neste trabalho (S₁), poderia ser ainda maior, caso o valor de condutividade elétrica do extrato de saturação, mensurado em S₁, fosse menor. Todavia, é perfeitamente possível e pertinente, se comparar a tolerância, em termos de percentual de decréscimo por incremento unitário de CEes, expresso no “valor b” da equação obtida.

Neste trabalho, o “valor b” foi de 6,1%, ou seja, o rendimento relativo decresceu 6,1% (Figura 17 a), por incremento unitário de CEes; Maas & Hoffman (1977) e Maas (1986) indicam o valor b de 13% para a alface. Verifica-se, que apesar de não se ter obtido o valor de SL para a alface (cv. Elba) no presente trabalho, pode-se precisar, que nas condições deste estudo, a cultivar estudada tem menor taxa de decréscimo de rendimento por incremento de salinidade, que o referido para alface na literatura consultada, denotando uma maior tolerância à salinidade.

Apesar de ter havido decréscimo de rendimento relativo (RR) de 25%, quando da aplicação do tratamento S₅ (CEa 3,1 e CEes de 5,77 dS.m⁻¹), ainda assim, o peso fresco de cabeça foi de 291g (média), o correspondente a uma produtividade de 32,3 Mg.ha⁻¹ (considerando o espaçamento 0,3 x 0,3m); esse valor é bastante razoável, em se tratando de cultivar do grupo “solta crespá”. Ferreira *et al.* (1998), estudando, também, níveis de CEa sobre a alface do grupo “solta crespá” (cv. Verônica), obtiveram o rendimento máximo de 212g.planta⁻¹ com CEa de 1,0 dS.m⁻¹; com este nível de salinidade, obteve-se no presente trabalho 373,9g.planta⁻¹ (41,54 Mg.ha⁻¹), ou seja, 76% a mais. O rendimento obtido por Ferreira *et al.* (1998), com CEa de 1,0 dS.m⁻¹, é 27% inferior às 291g obtidas nesta dissertação, com o nível mais alto de CEa estudado (3,1 dS.m⁻¹). Silva *et al.* (1999), estudando os mesmos tratamentos testados por Ferreira *et al.* (1998), embora sem citada a cultivar, obtiveram peso fresco de cabeça máximo de 104,2g, com o nível menor de CEa estudado (1,0 dS.m⁻¹).

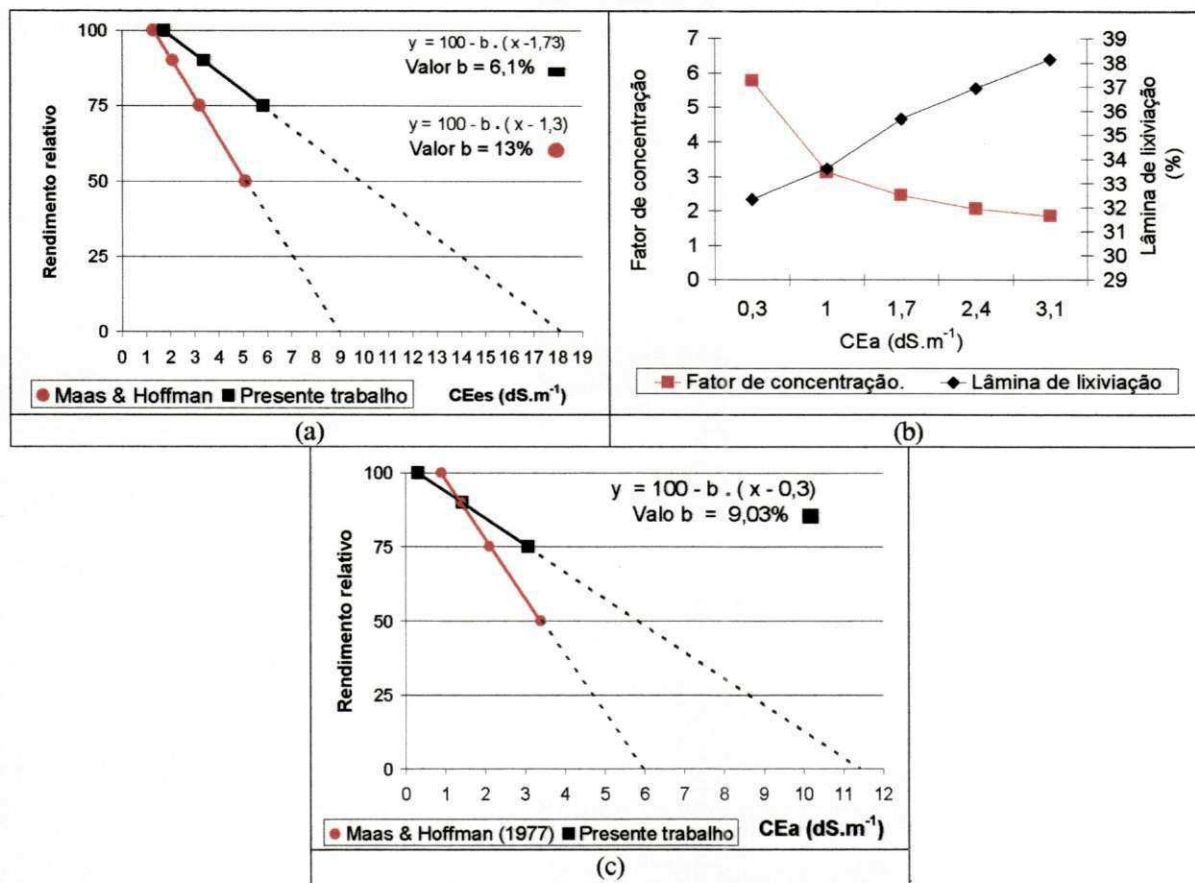


Figura 17. Rendimento relativo da alface (fitomassa verde da parte aérea) em função da condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) no fim do ciclo (a); fator de concentração de sais no solo e lâmina de lixiviação média do ciclo para cada nível do fator “salinidade da água de irrigação” (b); rendimento relativo da alface em função da condutividade elétrica da água de irrigação – CEa (c).

5. CONCLUSÕES

1. Na germinação da alface, o estresse salino prejudica mais a velocidade de emergência (IVE) que o percentual de germinação (PG). Os valores críticos de CEa (comparados a S_1), a partir dos quais, ocorrem decréscimo de PG e IVE, são de 2,81 e 2,42 dS.m⁻¹, respectivamente.
2. Com o incremento da CEa além de 0,3 dS.m⁻¹, ocorre decréscimo linear do vigor, em termos de número de folhas, comprimento de raiz, fitomassa seca de parte aérea, de raiz e total.
3. Na fase de muda, com CEa superior a 0,3 dS.m⁻¹, ocorre decréscimo linear das variáveis número de folhas, comprimento de raiz, fitomassa seca de parte aérea e total; sobre a fitomassa seca de raiz, o efeito é quadrático, havendo prejuízo quando a CEa excede 2,54 dS.m⁻¹.
4. Na fase de produção comercial, o estresse salino, também, produz efeito negativo, sendo linear e decrescente, desde 0,3 dS.m⁻¹ (CEa), para as variáveis número de folhas, diâmetro da cabeça, fitomassa verde e seca da parte aérea, e fitomassa seca total da planta. A fitomassa seca radicular e a relação raiz/parte aérea decrescem, de forma quadrática, com o incremento da CEa acima de 0,3 dS.m⁻¹.
5. O efeito da salinidade, ao final do ciclo vegetativo da alface, é mais intenso sobre o sistema radicular, que sobre a parte aérea.
6. A taxa de crescimento absoluto (TCA) da alface (0 a 30 DAT – parte aérea), decresce, linearmente, com o aumento da salinidade; os decréscimos relativos de TCA, por incremento unitário de CEa, são menores com o passar do tempo, sendo respectivamente de 13,80, 11 e 9% nos intervalos de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 DAT.

7. Os níveis de CEa testados, do transplântio à colheita, não produzem efeito significativo sobre a eficiência da alface – média do ciclo (0 a 30 DAT) – em produzir matéria nova, por unidade (de matéria) preexistente (TCR).
8. A produção de mudas, em condições de $3,1 \text{ dS.m}^{-1}$ de CEa, confere às plantas de alface o fenômeno de endurecimento (hardening), com maior capacidade de crescimento da parte comercial (parte aérea), em condições de estresse salino.
9. A utilização de água de CE igual a $3,1 \text{ dS.m}^{-1}$, na fase de produção de muda, não tem influência posterior sobre a produção da alface, porém, inibe o crescimento radicular e, por conseguinte, as plantas oriundas de mudas produzidas em condições de estresse salino, resultam, ao final do ciclo, em menor relação raiz/parte aérea.
10. A tolerância da cultivar de alface 'Elba', à salinidade da água de irrigação, em termos de rendimento de fitomassa seca da parte aérea, é maior no início (vigor) e no final do ciclo, quando ocorrem as menores taxas de decréscimo desta variável. Após o transplante, a tolerância ao estresse salino, aumenta com o tempo.
11. O rendimento final da alface, cv. Elba, decresce, linearmente, com o incremento de salinidade, com decréscimo de 9,03%, por incremento unitário de condutividade elétrica da água de irrigação - CEa.
12. Não foi possível se determinar o valor de salinidade limiar (SL), porém, com base nos 6,1% de taxa de decréscimo relativo de rendimento, por incremento unitário de CEes (valor b), conclui-se que a cultivar de alface 'Elba', nas condições do presente estudo, tem maior tolerância à salinidade, que os 13% reportado na literatura para alface.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLISON, L. E. Salinity in relation to irrigation. *Advances in Agronomy*, New York, v.16, p.139-180, 1964.
- AMORIM, J. R. A. **Comportamento do alho (*Allium sativum* L.) sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação.** Campina Grande: UFPB, 1994. 97p. (Dissertação de mestrado).
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. **Manejo da irrigação na cultura da alface (*Lactuca sativa* L) através do Tanque Classe A.** Botucatu: UNESP, 1994. 104p. (Dissertação de mestrado).
- ANSARI, R.; NAQUI, S. M.; ALA, S. A. Growth and composition of two cultivars of *Triticum aestivum* as affected by soil salinity. *Soil Science*, Baltimore, v.9, p.443-453, 1978.
- ARAGUEZLAFARGA, R. **Adequacion del agua para riego.** Tenerife: INIA, 1982. (INIA. Curso Internacional de Riego Localizado, 3).
- ARAÚJO FILHO, J. B.; GHEYI, H. R.; AZEVEDO, N. C.; SANTOS, J. G. R. Efeitos da salinidade no crescimento e no teor de nutrientes em cultivares de bananeira. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Campinas, v.19, p.417-422, 1995.
- ARNON, I. **Crop production in dry regions.** London: I. Hill, 1972, 650p.
- AYERS, A. D. Seed germination as affected by soil moisture and salinity. *Agronomy Journal*, Madison, v.4, p.82-84, 1951.
- AYERS, A. D.; WADLEIGH, C. H.; BERNSTEIN, L. Salt tolerance of six varieties of Lettuce. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, Geneva, v.57, p.237-242, 1951.
- AYERS, A. D.; HAYWARD, H. E. A method for measuring the effects of soil salinity on seed germination with observations on several crop plants. *Soil Science Society Proceedings*, Madison, v.13, p.224-226. 1949.
- AYERS, A. D.; WADLEIGH, C. H.; MAGISTAD, D. C. The interrelationship of salt concentration and soil moisture content with growth of beans. *Agronomy Journal*, Madison, v.35, p.796-810, 1943.

- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB. Tradução de GHEYI, H. R.; MADEIROS, J. F.; DAMASCENO, F. A. 1991, 218p. (Estudos da FAO Irrigação e Drenagem, 29 revisado).
- BALL, M. C.; CHOW, W. S.; ANDERSON, J. M. Salinity-induced potassium deficiency causes loss of functional photosystem II in leaves of the grey mangrove, *avicennia marina*, through depletion of the atrazine-binding polypeptide. **Aust. J. Plant Physiol**, Victoria, v.14, p.351-361, 1987.
- BARROS, A. D. **Germinação, vigor e desenvolvimento do meloeiro (*Cucumis melo* L.) sob diferentes níveis de salinidade de água de irrigação**. Campina Grande: UFPB, 1998. 78p. (Dissertação de mestrado).
- BASTOS, E. A. **Determinação dos coeficientes de cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) através do Tanque Classe A**. Botucatu: UNESP, 1994. 101p. (Dissertação de mestrado).
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas**. Jaboticabal: FUNEP, 1988. 42p.
- BERNARDO, S. **Manual de Irrigação e Drenagem**. 6.ed. Viçosa: UFV, Impr. Univ., 1995. 657p.
- BERNSTEIN, L. Effects of salinity on mineral composition and growth of plants. **Plant analysis and Fertilizer Problems**, v.4, p.25-45, 1964.
- BERNSTEIN, L. **Salt tolerance of fruit crops**. Washington: United States Department of Agriculture, Agriculture Information Bulletin nº 292. 1965.
- BERNSTEIN, L. Crop growth and salinity. In: SCHILFGAARD, J. van (ed). **Drainage for agriculture**. Madison, Amer. Soc. Agron. 1974. cap. 3, p.39-54. (Agronomy, 17).
- BERNSTEIN, L. Effect of salinity and sodicity on plant growth. **Annual Rev. Phytopathol.**, Palo Alto, n.13, p. 295-311, 1975.
- BERNSTEIN, L.; HAYWARD, H. E. Physiology of salt tolerance. **Annual Rev. Plant Physiology**, Palo Alto, v.9, p.25-46, 1958.
- BIGGAR, J. W. **Water quality for agriculture and related uses**. Department of Land, Air and Water Resources. University of California. Class Notes. 1984.
- BLANCO, F. F. **Tolerância do pepino enxertado à salinidade em ambiente protegido e controle da salinização do solo**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1999. 104p. (Dissertação de mestrado).
- BLANCO, F. F.; MEDEIROS, J. F.; FOLEGATTI, M. V. Produção da alface (*Lactuca sativa* L.) em ambiente protegido sob condições salinas. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, XXVIII, Pelotas, 1999. Anais, CD-ROM. Pelotas: SBEA, 1999.
- BOHN, H. L.; McNEAL, B. L.; O'CONNOR, G. A. **Soil chemistry**. 2ª ed. New York: John Wiley & Sons, 1985. 341p.
- BRADFORD, K. J. Regulation of shoot responses to root stress by ethylene, abscisic acid, and cytokinin. In: WAREING, P. F. (ed). **Plant Growth Substances**, Academic Press, London, p.599-608, 1982.

- BRADY, N.; BUCKMAN, H. C. **Natureza e propriedades dos solos**. Rio de Janeiro: Livraria Freitas Bastos S. A., 1983. 647p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNDA/CLAV, 1992. 365P.
- BRESLER, E. Application of a conceptual model to irrigation water requirement and salt tolerance of crops. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.51, p.788-793, 1987.
- BRESLER, E.; HOFFMAN, G. J. Irrigation management for salinity control: theories and tests. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.50, p.1552-1560, 1986.
- BRESLER, E.; McNEAL, B. L.; CARTER, D. L. **Saline and sodic soil: Principles, dynamics and modeling**. Berlin: Springer-Verlag, 1982. 249 p.
- BRIGGS, G. E.; KIDD, F.; WEST, C. A quantitative analysis of plant growth. **Ann. Appl. Biol**, Cambridge, v.7, p.103-123, 1920.
- CAIRO, P. A. R. **Curso básico de relações hídricas de plantas**. Vitória da Conquista/BA: UESB, 1995. 32p.
- CAMARGO, L. S. **As hortaliças e seu cultivo**. 3 ed. Campinas; Fundação Cargill, 1992. 252p.
- CATI. **Manual técnico das culturas**. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral - CATI. Manual 08, p.13-18, 1997.
- CHRISTIANSEN, J. E.; OLSEN, E. C.; WILLARDSON, L. S. Irrigation water quality evaluation. **Journal of the Irrigation and Drainage**, Berlin, v.103, p.155-169, 1977.
- COELHO, M. A.; SONCIN, N. B. **Geografia do Brasil**. São Paulo, Ed. Moderna. 1982. 368p.
- CRAMER, G. R.; SPURR, A. S. Responses of lettuce to salinity. I. Effects of NaCl and Na₂SO₄ on growth. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.9, n.2, p.115-130, 1986a.
- CRAMER, G. R.; SPURR, A. S. Salt responses of lettuce to salinity. II. Effects of calcium on growth and mineral status. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.9, n.2, p.131-142, 1986b.
- CRAMER, G. R.; EPSTEIN, E.; LAUCHLI, A. Kinetics of root elongation of maize in response to short-term exposure to NaCl and elevated calcium concentration. **J. Expt. Bot.**, Oxford, v.39, p.1513-1522, 1988.
- CRUCIANI, D. E. **A Drenagem na Agricultura**. 4. Ed. São Paulo: Ed. Nobel, 1987. 337p.
- DAKER, A. **A água na agricultura**. 7ª ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, v.3, 1988, 543p.
- DANTAS, R. T.; ESCOBEDO, J. F. Índices morfo-fisiológicos e rendimento da alface (*Lactuca sativa* L) em ambientes natural e protegido. **Rev. Bras. de Eng. Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, n.1, p.27-31, 1998.

- DONEEN, L. D. Water quality for irrigated agriculture. *In*: POLJAKOFF-MAYBER, A.; GANE, J. (Ed.) **Plants in saline environments**. Berlin; Springer-Verlag, 1975. p.56-76. (Ecological Studies, 15).
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Trad. de H. R. GHEYI, A. A. de SOUZA, F. A. V. DAMASCENO e J. F. de MEDEIROS. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. (FAO. Estudos de irrigação e Drenagem, 33).
- DUTTA, S. K.; BANERJI, B.; SOM, J. Varietal behavior of rice under different types of low lying water logged situations in West Bengal. *In*: NATIONAL SYMP. OF INCREASING RICE YIELD IN KHARIF. **Proceedings ...** Held at CRRI, 1978.
- EATON, F. M. Water uptake and growth as influenced by inequalities in the concentration of the substrate. **Plant Physiology**, Bethesda, v.16, p.545-564, 1941.
- ELZAM, O. E.; EPSTEIN, E. Salt relations of two grass species differing in salt tolerance. I. Growth and salt content at different salt concentrations. **Agrochimica**, Bari, v.13, p.187-195, 1969.
- EPSTEIN, E. Dual pattern of ion absorption by plant cells and by plants. **Nature**, London, v.212, p.1324-1327, 1956.
- EPSTEIN, E. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. New York: John Wiley and Sons. 1972. 412p.
- EPSTEIN, E. The essential role of calcium in selective cation transport by plant cells. **Plant Physiology**, Bethesda, v.36, p.437-444, 1961.
- EPSTEIN, E. Genetic potentials for solving problems of soil mineral stress; adaptation of crops to salinity. *In*: **Proceeding of a Workshop**. Beltsville, Maryland, 1976. Plant adaptation mineral stress. p.73-82.
- EPSTEIN, E.; RAINS, D. W. Advances in salt tolerance. **Plant and Soil**, The Hague, v.99, p.17-29, 1987.
- FAGERIA, N. K. **Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas**. Brasília: EMBRAPA/DPU, 1989. 425p (EMBRAPA_CNPAF. Documento, 18).
- FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M. P.; GHEYI, H. R. Avaliação de cultivares de arroz para tolerância à salinidade. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.16, n.5, p.677-681, 1981.
- FAGERIA, N. K.; GHEYI, H. R. Melhoramento genético das culturas e seleção de cultivares. *In*: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E. & MEDEIROS, J. M. (cd). **Manejo e controle da salinidade na agricultura**. Campina Grande: UFPB-SBEA, 1997. p.363-383.
- FERREIRA, P. V. **Estatística experimental aplicada à agronomia**. Maceió: UFAL/EDUFAL/FUNDEPES, 1991. 437p.
- FERREIRA, Y. R. P.; DUARTE, S. N.; MIRANDA, J. H.; MEDEIROS, J. F. Efeito da salinidade de água de irrigação e da lâmina de lixiviação na cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) cultivada em vasos. *In*: **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, XXVII, Poços de Caldas, 1998. Anais. Poços de Caldas: SBEA, 1998. p.106-108.
- FILGUEIRA, F. A. R. Cichoriáceas. *In*: **Manual de olericultura**. 2ª ed. São Paulo: Agrônômica Ceres, 1982. p, 77-86.

- FILGUEIRA, R. F. **Efeito de diferentes níveis de salinidade do solo no comportamento de duas cultivares de coentro** (*Coriandrum sativum* L.). Mossoró: ESAM, 1993. 46p. (Monografia de Especialização).
- FRENKEL, L. H. Reassessment of water quality criteria for irrigation. *In*: SHAINBERG, I.; SHALHEVET, J. **Soil salinity under irrigation**. Berlin: Springer-Verlag, p.143-72, 1984.
- GARDÉ, A.; GARDÉ, N. **Culturas hortícolas**. 5ª ed. Lisboa: Livraria Clássica Editora A. M. Teixeira & C.ª FILHOS, LTDA. p.186-201, 1981.
- GERVÁSIO, E. S.; CARVALHO, J. A.; SANTANA, M. J. Efeito da salinidade da água de irrigação na produção da alface americana. **Rev. Bras. de Eng. Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.1, p.125-128, 2000.
- GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; BATISTA, M. A. F. **Prevenção, manejo e recuperação de solos salinos e sódicos**. Documento elaborado para Escola Superior de Agronomia de Mossoró/Rn, 1991. 70p.
- GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 8ª ed. São Paulo. Nobel, 1978. 430p.
- GORDON, M. E.; LETHAM, D. S. Regulators of cell division in plant tissues. XXII. Physiological aspects of cytokinin-induced radish cotyledon growth. **Austr. J. Plant Physiol.**, Victoria, v.2, p.129-154, 1975.
- GRAYBILL, F. A. **Theory and application of the linear model**. Ed. Wadsworth and Brooks, Pacific Grove, California, 1976, 704p.
- GREENWAY, H. Salinity, plants growth and metabolism. **J. Austral. Inst. Agric. Sci.**, Sydney, v.39, p.24-34, 1973.
- GRID-PAPP, F. P. Cultura e Adubação do Algodoeiro. *In*: Instituto Brasileiro de Potassa. São Paulo. p.117-160, 1969.
- HAMADA, E. **Desenvolvimento e produção da alface** (*Lactuca sativa* L), submetida à diferentes lâminas de água, através da irrigação por gotejamento. Campinas: Universidade Estadual Paulista, 1993. 102p. (Dissertação de mestrado).
- HANSON, J. B. The function of calcium in plant nutrition. *In*: TINKER, P. B.; LAUCHLI, A. (eds.), **Advances in Plant Nutrition**. Volume I, Praeger, New York, p.149-208, 1984.
- HAYWARD, H. E.; WADLEIGH, C. H. Plant growth on saline and alkali soils. **Advance in Agronomy**, New York, v.1, p.1-38, 1949.
- HEBRON, D. **Os problemas de salinização na irrigação**. Recife: SUDENE (Divisão de Documentação), 1967.17p.
- HOFFMAN, G. J.; RAWLINS, S. L.; OSTER, J. D.; JOBES, J. A.; MERRIL, S. D. Leaching requirement for salinity control I. Wheat, sorghum and lettuce. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.2, p.177-192, 1979.
- HOLANDA, J. S.; AMORIM, J. R. A. Qualidade da água para irrigação. *In*: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E. & MEDEIROS, J. M. (ed). **Manejo e controle da salinidade na agricultura**. Campina Grande: UFPB-SBEA, 1997. p.137-169.

- HOORN, J. W. van. Quality of irrigation water, limits of use of long-term effects. *In*: Salinity Seminar, Baghdad. Rome: FAO, 1971. p.117-35. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 7).
- HUNT, R. **Plant growth curves: the functional approach to plant growth analysis**. London: Edgard Arnold, 1982. 248p.
- IAC. **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. Boletim 200. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, IAC, 1998. 396 p.
- IKEHASHI, H.; PONNAMPERUMA, F. N. Varietal tolerance of rice to adverse soils. s.n.t. Paper presented at the symposium "soils and rice" at the International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines, September, p.20-23, 1977.
- INGVALSON, R. D.; RHOADES, J. D.; PAGE, A. L. Correlation of alfalfa yield with various index of salinity. **Soil Science**, Baltimore, v.122, n.3, p.145-153, 1976.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Anuário Estatístico do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991.
- ITAI, C.; RICHMOND, A.; VAADIA, Y. The role of root cytokinins during water and salinity stress. **Israel J. Bot.**, London, v.17, p.187-195, 1968.
- ITAI, C.; VAADIA, Y. Kinetin-like activity in root exudate of water-stressed sunflower plants. **Physiol. Plant.**, Copenhagen, v.18, p.941-944, 1965.
- ITAI, C.; VAADIA, Y. Cytokinin activity in water stressed shoots. **Plant Physiol.**, Bethesda, v.47, p.87-90, 1971.
- JÁCOME, A. G. **Crescimento e produção de genótipos de algodoeiro, em um solo salino-sódico**. Campina Grande: UFPB, 1999. 127p. (Dissertação de mestrado).
- JENSEN, R. D. Effects of soil water tension on the emergence and growth of cotton seedlings. **Agronomy Journal**, Madison, v. 63, p. 766-768, 1971.
- KAFKAFI, U. Plant nutrition under saline conditions. *In*: SHAINBERG, I.; SHALHEVET, K (Ed.). **Soil salinity under irrigation**. Berlin: Springer-Verlag, 1984. p.319-338. (Ecological Studies, 51).
- KINGSBURY, R. W.; EPSTEIN, E. Salt sensitivity in wheat. A case for specific ion toxicity. **Plant Physiol.**, Bethesda, v.80, p.651-654, 1986.
- KORKOR, S. A.; HILLAL, M. H. Use of saline water for irrigating wheat crop. **Agrochemical**, v.20, n.1-2, Mar./May, 1976.
- KOVDA, V. A.; YARON, B.; SHALHEVET, Y. Quality of irrigation water. *In*: KOVDA, V. A.; BERG, C. van den; HAGAN, R. M. (eds.). **International source book on irrigation, drainage and salinity**. London: HUTCHINSON/ FAO/UNESCO, Cap.7, p. 177-205, 1973.
- KRAMER, P. J. **Water relations of plants**. Orlando: Academic Press, 1983. 489p.
- KVET, J.; ONDOCK, J. P.; NECAS, J. *et al.* Methods of growth analysis. *In*: SESTAK, Z.; CASTSKY, J.; JARVIS, P. G. (Eds.). **Plant photosynthetic production**. The Hague: Dr. W. Junk, 1971. p.343-84.
- LAHAYE, P. A.; EPSTEIN, E. Salt toleration by bean plants: enhancement with calcium. **Science**, Washington, v.166, p.395-396, 1969.

- LAHAYE, P. A.; EPSTEIN, E. Calcium and salt toleration by bean plants. **Physiol. Plant.**, Copenhagen, v.25, p.213-218, 1971.
- LAUCHLI, A.; EPSTEIN, E. Transport of potassium and rubidium in plant roots. The significance of calcium. **Plant Physiology**, Bethesda, v.45, p.639-641, 1970.
- LAUCHLI, A.; EPSTEIN, E. Mechanisms of salt tolerance in plants. **California Agriculture**, Berkeley, v.38, n.10, p.18-21, 1984.
- LAUCHLI, A.; EPSTEIN, E. Plant responses to saline and sodic conditions. *In*: TANJI, K. K.(Ed.) **Agricultural salinity assessment and management**. New York: ASCE, 1990. cap.6, p.113-137.
- LEPRUN, J. C. **Primeira avaliação das águas superficiais do Nordeste**. Relatório do Convênio de manejo e conservação do solo do Nordeste brasileiro. Recife: SUDENE, p.91-141, 1983.
- LETEY, J.; DINAR, A. **Simulated crop-water production functions for several crops when irrigated with saline waters**. *Hilgardia*, v.54, n.1, p.1-32, 1986.
- LETEY, J.; KNAPP, K.; SOLOMON, K. Crop-water production functions under saline conditions. *In*: TANJI, K. K. (Ed.) **Agricultural salinity assessment and management manual**. New York: ASCE, 1990. cap.14, p.305-326.
- LIMA, L. A. Efeito de sais no solo e na planta. *In*: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E. & MEDEIROS, J. M. (ed). **Manejo e controle da salinidade na agricultura**. Campina Grande: UFPB/SBEA, 1997. p.113-136.
- LOGAN, J. **Interpretação de análises químicas da água**. Trad. LEMOS, A. M. de. Recife: U.S. Agency for International Development, 1965. 75p.
- LOPES, A. S.; GUIDOLIN, J. A. **Interpretação de análise de solo: conceitos e aplicações**. 3ª ed. Comitê de pesquisa/Técnico/ANDA (Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas). São Paulo, 1989. 50p.
- LOPES, N. L.; OLIVA, M. A.; FRETAS, J. C. *et al.* Análise de Crescimento e conversão de energia solar em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) submetido a três níveis de densidade de fluxo radiante. **Ceres**, v.29, p.586-606, 1982.
- LUDLOW, M. M.; MUCHOW, R. C. A critical evolution of traits for improving crop yields in water-limited environments. **Advances in Agronomy**, New York, v.43, p.107-153, 1990.
- MAAS, E. V. Crop tolerance. **California Agriculture**, Berkeley, v.38, n.10, p.20-21, 1984.
- MAAS, E. V. Salt tolerance of plants. **Applied Agricultural Research**, v.1, p.12-36, 1986.
- MAAS, E. V.; GRIEVE, C. M. Sodium-induced calcium deficiency in salt-stressed corn. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v.10, p.559-564, 1987.

- MAAS, E. V.; HOFFMAN, G. J. Crop salt tolerance: Evaluation of existing data. *In: International Salinity Conference*, Lubbock, 1976. Proceedings. Lubbock, 1976. p.187-198.
- MAAS, E. V.; HOFFMAN, G. J. Crop salt tolerance – current assessment. *In: ASCE (ed.). Journal of Irrigation and Drainage Division: American Society of Civil Engineers*, v.103, n.1R2, p.115-134, 1977.
- MAAS, E. V. ; NIEMAN, R. H. Physiology of plant tolerant to salinity. *In: JUNG, G. A. (ed.). Crop tolerance to sub-optimal land conditions*. Madison: Amer. Soc. Agron. 1978. cap. 1. p.277-9. (Special Publication, 32).
- MAGALHÃES, A. C. N. Análise quantitativa de crescimento. *In: FERRI, M. G. (Coord). Fisiologia vegetal*. São Paulo: EPU / EDUSP, 1979. p.331-350.
- MAGALHÃES, A. C.; CARELLI, M. L. Germinação de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) sob condições variadas de pressão osmótica. *Bragantia*, Campinas, v.31, n.5, p.19-26, 1972.
- MAGISTAD, C.; AYERS, A. D.; WADLEIGH, C. H.; GAUCH, H. G. Effect of salt concentration, kind of salt and climate on plant growth in sand cultures. *Plant Physiology*, Bethesda, v.18, p.151-166, 1943.
- MARINHO, F. J. L. **Avaliação do crescimento e desenvolvimento de mudas de abacaxizeiro (*Ananas comosus* L.) cv. Smooth Cayenne, em diferentes salinidade da água de irrigação**. Campina Grande: UFPB, 1996. 89p. (Dissertação de mestrado).
- MAROTO-BORREGO, J. V. Lechuga. *In: Horticultura herbácea especial*. Madrid: Ediciones Mundi Prensa. p.189-206, 1983.
- MEDEIROS, J. F. **Qualidade de água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo 'GAT' nos estados de RN, PB e CE**. Campina Grande: UFPB, 1992. 173p. (Dissertação de mestrado).
- MEDEIROS, J. F. **Manejo da água de irrigação salina em estufa cultivada com pimentão**. Piracicaba: ESALQ, 1998. 152p. (Tese Doutorado).
- MEDEIROS, J. F.; GHEYI, H. R. **Qualidade de água de irrigação**. Mossoró, ENA/ESAM. 1994. 60p.(ESAM, Boletim técnico/científico, 22).
- MEDEIROS, J. F.; GHEYI, H. R.; SILVA JÚNIOR, L. G. A. Efeito da salinidade da água de irrigação no desenvolvimento e produção do coentro (*Coriandrum sativum* L.). *In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola*, 22, Ilhéus, 1993. **Anais...** Ilhéus: SBEA/CEPLAC, 1993. v.5, p.3141-3153.
- MEDEIROS, J. F.; MEDEIROS, D. S.; PORTO FILHO, F. Q.; NOGUEIRA, I. C. C. Efeitos da qualidade e quantidade da água de irrigação sobre o coentro cultivado em substrato inicialmente salino. **Rev. Bras. de Eng. Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, n.1, p.22-26, 1998.
- MEDEIROS, J. G.; PEREIRA, W.; MIRANDA, J. E. C. Análise de crescimento em duas cultivares de batata-doce (*Ipomoea batatas* L. Lan). **Rev. Bras. Fisiol. Vegetal**, Brasília, v.2, p.23-29, 1990.

- MEIRI, A.; SHALHEVET, J. Crop growth under saline conditions. *In*: YARON, B.; DANFORS, E.; VAADIA, Y. (eds.). **Arid zone irrigation**. Berlin: Springer-Verlag, 1973. cap.6, p.277-290. (Ecological Studies, 5).
- MENGUEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 4 ed. Bern: Intern. Potash. Inst. 1987. 687p.
- MEHTA, B. V.; DESAI, R. S. Effect of soil salinity on germination of some seeds. **J. Soil Water Conservation**, Ankeny, v.6, p.169-176, 1957.
- MOLEN, W. H. van der. Salt balance and leaching requirement. *In*: ILRI (ed). **Drainage principles and applications**. Wageningen: ILRI, 1974, v.2, p.59-100. (ILRI Publication, 16).
- NADAL, R. ; GUIMARÃES, D. R.; BIASI, J. **Olericultura em Santa Catarina: aspectos técnicos e econômicos**. Florianópolis: EMPASC, 1986. 187p.
- NAKATA. H.; COELHO, M. A. **Geografia Geral: Geografia Física, Geografia Humana e Geografia Econômica**. São Paulo, Ed. Moderna. 1978, 257p.
- NERSON, H.; PARIS, H. S. Effects of salinity on germination, seedling growth, and yield of melons. **Irrigation Science**, Heidelberg, v.5, p.265-269, 1984.
- OSAKI, F. **Calagem e adubação**. 2º ed. rev. ampliada. Campinas – SP: Instituto Brasileiro de Ensino Agrícola, 1991. 503p.
- PALACIOS, O. V.; ACEVES, E. N. **Instructivo para el muestreo registro de datos e interpretacion de la calidad del agua para riego agrícola**. Chapingo: Colegio de Postgraduados, Escuela Nacional de Agricultura, 1970. 49p. (Rama de Riego y Drenaje, 15).
- PASTERNAK, D. Salt tolerance and crop production - a comprehensive approach. **Ann. Rev. Phytophathol.**, Palo Alto, v.25, p.271-291, 1987.
- PASTERNAK, D.; TWERSKY, M.; MALACH, Y. Salt resistance in agricultural crops. *In*: MUSSED, H. & STAPLES, R. C. (ed.). **Stress physiology in crop plants**. New York: John Wiley and Sons Inc., 1979. p.127-142.
- PEREIRA, J. R. **Genótipos de Algodoeiro Herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* H.) submetidos a estresse hídrico na fase de germinação**. Campina Grande: UFPB, 1997. 136p. (Dissertação de mestrado).
- PIZARRO, F. **Drenaje agrícola y recuperacion de suelos salinos**. Madrid. Editora Agrícola Española, S. A. 1985. 542p.
- POLJAKOFF-MAYBER, A.; LERNER, H. R. Plants in saline environments. *In*: PASSARAKLI, M. **Handbook of plant and crop stress**. New York: Marcel Dekker. 1993. cap.4, p.65-96.
- POSTEL, S. Water for Agriculture: Facing the Limits. Worldwatch Paper 93. Worldwatch Institute. Washington, 1989. 54 p.
- PRISCO, J. T.; BARBOSA, L.; FERREIRA, L. G. R. Efeito da salinidade na germinação e vigor de *Sorghum bicolor* (L) Moench. **Ciênc. Agron.**, Fortaleza, v.5, n.1-2, p.13-17, 1975.

- PRISCO, L. T.; O'LEARY, J. W. Osmotic and "toxic" effects of salinity on germination of *Phaseolus vulgaris* L. seeds. **Turrialba**, San Jose, v.20, p.177-184, 1970.
- RADFORD, P. J. Growth analysis formulae - their use and abuse. **Crop Sci.**, Madison, v.7, p.171-175, 1967.
- RAINS, D. W.; EPSTEIN, E. Preferential absorption of potassium by leaf tissue of the mangrove, *Avicennia marina*: an aspect of halophytic competence in coping with salt. **Aust. J. Bio. Sci.**, Melbourne, v.20, p.847-857, 1967.
- REEVE, R. C.; FIREMAN, M. Salt problems in relation to irrigation. *In*: HAGAN, R. M.; HAISE, R. H. & EDMINSTER, T. W. (ed.). **Irrigation of Agricultural Lands**. Madison. Amer. Soc. Agron., 1967. cap. 51. p. 988-1008. (Agronomy, 11).
- RHOADES, J. D. Quality of water for irrigation. **Soil Science**, Baltimore, v.113, n.4, p.277-284, 1972.
- RHOADES, J. D. Drainage for salinity control. *In*: VAN SCHILFGAARDE, J. (ed.). **Drainage and Agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1974. cap.15, p.433-461. 1974. (A.S.A. Agronomy, 17).
- RHOADES, J. P.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. **The use saline waters for crop production**. Rome: FAO, 1992. 133p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 48).
- RHOADES, J. D.; LOVEDAY, J. Salinity in irrigated agriculture. *In*: STEWART, D. R.; NIELSEN, D. R. (ed.) **Irrigation of agricultural crops**. Madison: ASA, CSSA, SSSA, 1990. p.1089-1142. (Agronomy, 30).
- RICHARDS, L. A. (ed.). **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: United States Salinity Laboratory, 1954, 160p. (USDA. Agriculture Handbook, 60).
- RUSH, D. W.; EPSTEIN, E. Breeding and selection for salt tolerance by the incorporation of wild germplasm into a domestic tomato. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.**, Geneva, v.106, p.699-704, 1981.
- RYDER, E. J. Lettuce. *In*: **Leafy salad vegetables**. Westport: AVI, p.13-94, 1979.
- SANTOS, J. W. dos; MOREIRA, J. de A. N.; BELTRÃO, N. E. de MACEDO. Avaliação do emprego dos testes de comparação de médias na revista Pesquisa Agropecuária Brasileira (PAB) de 1980 a 1994. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.33, n.3, p.225-230, 1998.
- SEABROOK, P. **Manual prático e completo de horticultura**. São Paulo: Trad. de BARROS, M. A. L. 2ª ed. p.45-48, 1983.
- SHAINBERG, I., OSTER, J. D. **Quality of irrigation water**. Bet Dagan: International Irrigation Center, 1978. 65p.
- SHALHEVET, J.; BERNSTEIN, L. Effects of vertically heterogeneous soil salinity on plant growth and water uptake. **Soil Science**, Baltimore, v.106, n.2, p.85-93, 1968.
- SHALHEVET, J.; KAMBUROV, J. **Irrigation and salinity: a world-wide survey**. New Delhi: International Commission on Irrigation and Drainage, 1976. 106p.

- SHANNON, M. C. In quest of rapid screening techniques for plant salt tolerance. **Hort. Science**, Fort Collins, v.14, n.5, p.587-589, 1979.
- SHANNON, M. C.; McCREIGHT, J. D. Salt tolerance of lettuce introductions. **J. Amer. Soc. Hort. Science**, Geneva, v.19, n.5, p.673-675, 1984.
- SHANNON, M. C.; McCREIGHT, J. D.; DRAPER, J. H. Screening test for salt tolerance in lettuce. **J. Amer. Soc. Hort. Science**, Geneva, v.108, n.2, p.225-230, 1983.
- SHARMA, M. L. Interaction of water potential and temperature effects on germination of three semi-arid plant species. **Agronomy Journal**, Madison, v.68, p.390-394, 1976.
- SILVA, E. F. F.; DUARTE, S. N.; FURLAN, R. A.; FERREIRA, Y. R. P.; MIRANDA, J. H. Utilização de águas com diferentes níveis de salinidade na irrigação da alface. **Rev. Hortic. Bras.**, Brasília, v.17, n.3, p.327, 1999.
- SINGH, R.; ALDERFER, R. B. Effects of soil-moisture stress at different periods of growth of some vegetable crops. **Soil Science**, Baltimore, v.101, p.69-80, 1966.
- SKENE, K. G. M. Cytokinin production by roots as a factor in the control of plant growth. *In*: TORREY, J. G.; CLARKSON, D. T. (eds.). **The Development and Function of Roots**, Chap. 17, Academic Press, New York, 1975.
- SMEDEMA L. K.; RYCROFT, D. W. **Land drainage: Planning and design of agricultural drainage systems**. London: B. T. Batsford Ltd., 1988. 376p.
- SONNENBERG, P. E. **Olericultura especial**. 5 ed. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 1985. v.1, 187p.
- SOUZA, R. F. A. **Germinação e desenvolvimento inicial de plantas de melão (*Cucumis melo* L.) e melancia (*Citrullus vulgaris*) sob diferentes salinidade da água de irrigação**. Campina Grande: UFPB, 1999. 96p. (Dissertação de mestrado).
- SOUZA, W. S. **Produção e desenvolvimento do tomate industrial (*Lycopersicon esculentum* Mill) em diferentes níveis de salinidade**. Campina Grande/PB: UFPB, 1990. 64p. (Dissertação de Mestrado).
- STONE, L. F.; PORTES, T. A.; MOREIRA, J. A. A. Efeitos da tensão da água no solo sobre a produtividade e crescimento do feijoeiro II. crescimento. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.23, p.503-510, 1988.
- STROGONOV, B. P. **Physiological bases of salt tolerance of plants**. Jerusalem, Israel: Prog. Sci. Transl., 1964. 279p.
- STROMBERG, L. K. **Water Quality for Irrigation**. Cooperative Extension of University of California. Fresno, 1980. 20p.
- SYVERTSEN, J. P.; YELENOSKY, G. Salinity can enhance freeze tolerance of citrus rootstock seedlings by modifying growth, water relations, and mineral nutrition. **J. Amer. Soc. Hort. Science**, Geneva, v.13, p.889-893, 1988.
- SZABOLCS, I. **Salt-Affected Soils**. Florida, Library of Congress, 1989, 274p.
- TANJI, K. K.; HANSON, B. R. Drainage and return flows in relation to irrigation management. *In*: STEWART, B. A.; NIELSEN, D. R. (co-cds.). **Irrigation of agricultural crops**. Madison: American Society Agronomy, 1990. cap. 35, p.1057-1087 (Monograph, 30).

- TAYER, J. N. **Effect of irrigation methods with saline waters on maize production and salt distribution in soil.** Bari, 1987. 285p. Thesis. (M.Sc.) - International Center for Advanced Mediterranean Agronomic Studies.
- THOMSON, W. W. The structure and function of salt glands. *In*: POLJAKOFF, A.; GALE, J. **Plants in saline Environments.** New York: Springer-Verlag. 1975. p.117-146.
- TURNER, N. C. Crop water deficits: a decade of progress. **Advances in Agronomy**, New York, v.39, p.1-51, 1986.
- UHIVITS, R. Effect of osmotic pressure on water absorption and germination of alfafa seeds. **American Journal Botany**, New York, v.33, p.278-285, 1946.
- UNESCO/FAO. **Irrigation, drainage and salinity: an international sourcebook.** Paris: UNESCO, Hutchinson, 1973. 510p.
- URCHEI, M. A. **Efeitos de défices hídricos, em três estádios fenológicos, da cultura da cevada (*Hordeum vulgare* L.).** Botucatu: Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, 1992, 165p. (Dissertação de mestrado).
- VAN RAIJ, B.; SILVA, N. M.; BATAGLIA, O. C; *et al.* **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo.** Boletim técnico, nº 100. Campinas: IAC, 1985. 107p.
- VASCONCELOS, M. F. Comportamento de cultivares do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L.) sob diferentes percentagens de sódio trocável. Campina Grande: UFPB, 1990. 76p. (Dissertação de mestrado).
- VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. **Teste de vigor em sementes.** Jaboticabal: FUNEP/UNESP-FCAVJ, 1994. 164p.
- WADLEIGH, C. H.; AYERS, A. D. Growth and biochemical composition of bean plants as conditioned by soil moisture tension and salt concentration. **Plant Physiology**, Bethesda, v.20, p.106-132, 1945.
- WATSON, D. J. The physiological basis of variation in yield. **Advances in Agronomy**, New York, v.4, p.141-145, 1952.
- WHALE, D. M.; HEILMEIER, H.; MILBRODT, H. The application of growth analysis to structure experimental designs and a new procedure for estimating unit leaf rate and its variance. **Ann. Bot.**, Oxford, v.56, p.631-650, 1985.
- WILCOX, L. V.; DURUM, W. H. Quality of irrigation. *In*: HAGAN, R. M.; HAISE, R. H.; EDMINISTER, T. W. (eds.). **Irrigation of agricultural lands.** Madison: Amer. Soc. Agron., 1967. cap.9, p.104-122. (Agronomy, 11).

7. APÊNDICES

APÊNDICE 1. Sequência de cálculo utilizada no preparo das águas de irrigação.

1º. Etapa: determinar os requerimentos de Na; Ca e Mg

Princípio: $\text{meq.L}^{-1} = \text{CE}_a * 10$ ($0,1 < \text{CE}_a < 5 \text{ dS.m}^{-1}$)

$$\rightarrow \text{meq.L}^{-1} = 1,7 \text{ dS.m}^{-1} * 10 = 17 \text{ meq.L}^{-1}$$

| | | | |
|-------------------------------------------------|-------------------|------------------|------------------|
| $1,7 \text{ dS.m}^{-1} = 17 \text{ meq.L}^{-1}$ | Sódio | Cálcio | Magnésio |
| <i>Proporção</i> | 7 | 2 | 1 |
| Requerido, meq/L | $17 * 0,7 = 11,9$ | $17 * 0,2 = 3,4$ | $17 * 0,1 = 1,7$ |
| Quantidade presente na água de Boqueirão, meq/L | 6,73 | 2,43 | 3,30 |

2º. Etapa: determinação do grau de diluição.

Necessário quando algum elemento na água a utilizar (Boqueirão) esteja em concentração acima do requerido, como ocorreu com o Mg. Assim determinou-se por tentativa o grau de diluição que satisfizesse a condição. Para este caso uma parte de água destilada para uma parte de água de boqueirão foi o suficiente, como constatado abaixo.

| | | | |
|----------------------------------|--------|--------|----------|
| | Sódio | Cálcio | Magnésio |
| Requerido, meq/L | 11,9 | 3,4 | 1,7 |
| Quantidade na água de Boqueirão | 6,73 | 2,43 | 3,3 |
| Diluição 1:1 | 6,73/2 | 2,43/2 | 3,3/2 |
| Na água após diluição 1:1, meq/L | 3,37 | 1,22 | 1,65 |

3ª. Etapa: determinar por diferença a quantidade de cada componente da solução de irrigação.

| Solução 1N → | NaCl | CaCl ₂ .2H ₂ O | MgCl ₂ .6H ₂ O |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Quantidade de solução 1N requerida/litro de água de irrigação, em mL | 11,9-3,37= 8,53 ^a | 3,34 -1,22 =2,18 ^b | 1,7 - 1,65 = 0,05 ^c |
| Quantidade de água /L de água de irrigação a preparar, em mL | = 1000mL - (a+b+c) = 989,24 mL ^d | | |
| Como a diluição foi de 1:1, então 'd' = 494,62 ml de água destilada + 494,62 mL de água de boqueirão | | | |

APÊNDICE 2. Volume de drenagem coletado por recipiente no Experimento I.

