



Índices morfofisiológicos e de produção de alface sob estresse salino



Sergio B. A. Viana¹, Pedro D. Fernandes², Hans R. Gheyi²,
Frederico A. L. Soares¹ & Paulo T. Carneiro²

¹ DEAg/CCT/UFCG. Av. Aprígio Veloso 882, CP 10.087, CEP 58109-970, Campina Grande, PB. E-mail: sbaviana@ig.com.br, (Foto) Atualmente na UNEB, fredantonio@deag.ufcg.edu.br e torres@deag.ufcg.edu.br

² DEAg/CCT/UFCG. Fone: (83) 310-1185. E-mail: pdantas@deag.ufcg.edu.br e hans@deag.ufcg.edu.br

Protocolo 20 - 12/2/2003 - Aprovado em 6/2/2004

Resumo: No Nordeste brasileiro, a alface é uma importante olerícola cultivada sob condições de irrigação em que são utilizadas águas de qualidade variada; uma das características da região é a variação espacial e temporal da qualidade dos recursos hídricos. Mesmo assim, são escassos os trabalhos referentes aos efeitos da salinidade na formação de mudas e seu reflexo sobre a produção. Neste trabalho estudaram-se os efeitos de cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CE_e : 0,3, 1,0, 1,7, 2,4 e 3,1 dS m^{-1}), em relação aos índices morfofisiológicos da alface 'Elba', a partir de mudas produzidas com águas de 0,3 e 3,1 dS m^{-1} . Não houve efeito interativo entre os fatores estudados. O índice raiz/parte-aérea e a taxa de crescimento absoluto, foram afetados pela CE_e , mas sem efeito sobre a taxa de crescimento relativo. O crescimento das plantas, cujas mudas foram produzidas com CE_e de 3,1 dS m^{-1} , foi inferior no início do ciclo, recuperando-se paulatinamente durante o crescimento; no momento da colheita, as taxas de crescimento absoluto e relativo foram, respectivamente, iguais e superiores às das plantas produzidas com água de baixa salinidade. A evapotranspiração diminuiu com o aumento da salinidade. As relações $Na^+/(Ca^{2+} + Mg^{2+})$ e Na^+/K^+ em folhas foram incrementadas linearmente com a salinidade, mas as plantas conseguiram manter o balanço iônico favorável. O rendimento da alface diminuiu 6,1 e 9,0% por aumento unitário de condutividade elétrica do extrato de saturação do solo e da água de irrigação, acima de 0,3 e 1,73 dS m^{-1} , respectivamente.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L., condutividade elétrica, balanço iônico

Morphophysiological indices and production of lettuce under saline stress

Abstract: Lettuce is an important vegetable crop in the Northeast of Brazil cultivated under irrigated conditions using water of variable quality; one of the characteristics of this region is spatial and temporal variation in quality of water resources. In spite of this, research related to effects of salinity on the seedling formation and its posterior reflex on production is limited. In the present study, the effects of salinity of irrigation water (EC_w : 0.3, 1.0, 1.7, 2.4 and 3.1 dS m^{-1}) on growth response of lettuce 'Elba' using two types of seedlings produced with EC_w of 0.3 and 3.1 dS m^{-1} were evaluated in a greenhouse. The studied factors had no interactive effect. Root/shoot ratio and absolute growth rate were affected by salinity although relative growth rate was not affected directly. The seedlings produced with EC_w of 3.1 dS m^{-1} had lower growth rates at the beginning but recovered gradually during the growth cycle. In the last evaluation, the absolute and relative growth rates of these plants were, respectively, equal and superior to that of plants produced with water of low salinity. Increasing water salinity decreased evapotranspiration. The $Na^+/(Ca^{2+} + Mg^{2+})$ and Na^+/K^+ ratios in leaf increased linearly with the salinity but plants maintained favorable ionic balance. The decrease in lettuce yield was 6.1 and 9.0% per unit increase in electrical conductivity of the saturation extract of soil and of irrigation water above 0.3 and 1.73 dS m^{-1} , respectively.

Key words: *Lactuca sativa* L., electrical conductivity, ionic balance

INTRODUÇÃO

A salinidade é uma das formas de estresse ambiental a afetar o desenvolvimento das plantas. O estresse salino inibe o crescimento vegetal por efeito osmótico, restringindo a disponi-

bilidade de água, por toxicidade e/ou desordem nutricional, induzindo a modificações morfológicas, estruturais e metabólicas. O grau em que cada componente do estresse salino influencia o crescimento das plantas é dependente de muitos fatores, destacando-se, dentre eles: espécie vegetal, cultivar,

estádio fenológico, composição salina do meio e condições edafoclimáticas (Shannon, 1997).

Por intermédio da análise quantitativa de crescimento vegetal, técnica desenvolvida por fitofisiólogos (Magalhães 1979), é possível avaliar as condições morfofisiológicas da planta em diferentes intervalos do ciclo para quantificar o desenvolvimento vegetal; essa técnica constitui, portanto, valiosa ferramenta no estudo do comportamento vegetal em estresse salino, possibilitando a avaliação de seus efeitos sobre o crescimento e o grau de tolerância da planta à salinidade.

Segundo Ayers & Westcot (1999), a alface é ‘moderadamente sensível’ à salinidade. No Brasil, apesar de sua importância econômica (FIBGE, 2001), são poucas as pesquisas envolvendo estresse salino, sendo a grande maioria realizada na região Sudeste (Blanco et al., 1999; Silva et al., 1999; Gervásio et al., 2000) onde, além de distintas as condições ambientais, são também diferentes as variedades cultivadas.

Considerando-se os perigos da salinização em áreas irrigadas no Nordeste e em cultivos protegidos em todo o País, é imprescindível o desenvolvimento de práticas que visem à melhor adaptação das culturas ao estresse salino. Na literatura é conhecido o fenômeno de ‘hardening’ ou ‘acclimation’ que consiste de pré-tratamento de sementes ou mudas em condições de um determinado fator limitante, de forma que seu metabolismo, em fase posterior, se ajuste às condições do estresse imposto (Andoh & Kobata, 2001; Taiz & Zieger, 2002). Dependendo de famílias ou de grupos de plantas, a explicação pode estar em alterações na parede e membrana celular, acumulação de íons no vacúolo e síntese de solutos osmoticamente compatíveis no citosol (Kozlowski & Pallardy, 2002). Tem sido observado endurecimento salino na fase de germinação de trigo e cevada (Manchanda & Bhandhari, 1976), resultando em maior capacidade de adaptação dessas espécies à salinidade; com relação ao alface não há qualquer estudo nesse sentido.

Ante a carência de resultados de pesquisas relacionadas ao estresse salino em alface e considerando a variação espacial e temporal da qualidade da água (Audry & Suassuna, 1995) utilizada em irrigação no Nordeste do Brasil, objetivou-se com este trabalho avaliar índices morfofisiológicos e de produção da alface, em diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação, a partir de mudas produzidas com e sem estresse salino.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições abertas sob cobertura plástica, em instalações da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), em Campina Grande, PB, durante o período compreendido entre dezembro/1999 e fevereiro/2000.

O experimento consistiu de um fatorial 5 x 2 correspondendo, respectivamente, aos níveis de salinidade (S) da água de irrigação (CE_a : 0,3; 1,0; 1,7; 2,4 e 3,1 $dS\ m^{-1}$, a 25 °C) e aos tipos de muda (M_1 e M_2), produzidas usando-se águas com CE_a de 0,3 e 3,1 $dS\ m^{-1}$, respectivamente. Os tratamentos com três repetições, foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, sendo a parcela experimental constituída de um vaso com quatro plantas.

Foi utilizado o genótipo ‘Elba’ de alface (*Lactuca sativa*, L.), cultivar de folhas crespas e sem formar cabeça repolhuda. Mudas com 46 dias de idade, produzidas conforme procedimentos detalhados em Viana et al. (2001), foram transplantadas para vasos de PVC (60 cm de altura e capacidade para 21 L), em número de quatro por recipiente. Os vasos foram conectados, em sua base, a um recipiente plástico com 3 L de capacidade, para coleta da água de drenagem.

O material de solo foi do tipo Argissolo “franco-arenoso”, proveniente de Campina Grande – PB, cujas características determinadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) da UFPB, de acordo com metodologias propostas por EMBRAPA (1997), são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características físico-química do solo utilizado

Atributo	Valor
Densidade aparente – $kg\ dm^{-3}$	1,37
Classificação textural	Franco-arenoso
Retenção de umidade – $g\ kg^{-1}$	
10,13 kPa	87,2
1519,87 kPa	27,3
pH	4,54
P ($mg\ kg^{-1}$)	1,9
MO ($g\ kg^{-1}$)	6
Complexo sortivo ($cmol_c\ dm^{-3}$)	
H + Al	2,72
Ca	0,38
Mg	0,74
Na	0,20
K	0,06
Percentagem de sódio trocável	4,88
Capacidade de troca de cátions	4,1
Saturação de bases (V) – %	33,66
Extrato de saturação:	
CE – $dS\ m^{-1}$ a 25 °C	0,5
RAS – $(mmol\ L^{-1})^{0,5}$	1,84

Foi realizada uma calagem para elevar a saturação de bases (V) para 70%, correspondente a pH 6,25 conforme Osaki (1991), utilizando-se de hidróxido de cálcio. Adicionou-se húmus de minhoca ao solo em quantidade suficiente para elevar o teor de matéria orgânica (MO) para 25 $g\ kg^{-1}$ (base volume); em seguida, realizaram-se desinfecção e desinfestação do substrato com “brometo de metila”, na dose de 150 $mL\ m^{-3}$ de solo.

A adubação fosfatada foi incorporada à camada 0-20 cm com base na recomendação de 120 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 ; as adubações com N e K foram realizadas em cobertura nas doses de 60 $kg\ N$ e 90 $kg\ K_2O\ ha^{-1}$ (Filgueira, 2000), a partir de solução de uréia e nitrato de potássio, respectivamente; o N foi suplementado em seis e o K em dez aplicações na dose de 100 mL por vaso, iniciando-se dez dias após o transplantio, quando se confirmou o pegamento das mudas.

As águas de diferentes níveis de salinidade utilizadas na irrigação foram preparadas mediante adição de NaCl, $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ e $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, à água de abastecimento local, mantendo-se uma proporção, em equivalentes, de 7:2:1 para Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , respectivamente. No nível S_1 ($CE_a = 0,3\ dS\ m^{-1}$) foi necessário adicionar água destilada para obtenção das proporções desejadas de Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} .

As irrigações foram efetuadas diariamente, ao final da tarde; o volume de água fornecido às plantas, em cada tratamento, foi estimado diariamente, em função do percentual de água drenada, de forma a se obter 30% de lixiviação. O consumo de água pela planta (ET) foi estimado mediante a diferença entre o volume aplicado e o drenado.

Realizaram-se avaliações aos 0, 10, 20 e 30 dias após o transplante (DAT). Com os dados de fitomassa da parte aérea das quatro avaliações foram calculadas as taxas de crescimento absoluto [TCA = (fitomassa final – fitomassa inicial)/intervalo do tempo] e relativo (TCR = TCA/fitomassa inicial) (Benincasa, 1988) para três períodos distintos, em 0 – 10, 10 – 20 e 20 – 30 DAT. A relação raiz/parte aérea (R/PA) foi obtida a partir dos dados de fitomassa de parte aérea e de raiz aos 30 DAT. A fitomassa da planta foi obtida mediante secagem do material a 60°C, até peso constante, numa estufa com circulação forçada de ar.

Além das variáveis de crescimento avaliaram-se, diariamente, os efeitos do estresse salino sobre a evapotranspiração e a temperatura foliar entre 20 e 30 DAT, registrando-se a temperaturas de folhas de todas as plantas, diariamente às 14 horas, com termômetro infravermelho. Avaliou-se, ainda, por ocasião da colheita (30 DAT), o efeito da salinidade sobre as relações $\text{Na}^+ / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ e Na^+ / K^+ nas folhas; os teores desses cátions foram determinados empregando-se metodologia descrita por Malavolta et al. (1997), sendo os teores de Na^+ e K^+ obtidos por fotometria de chama e os de Ca^{2+} e Mg^{2+} , por espectrofotometria de absorção atômica.

Na análise de variância de dados o fator S (CEa) foi desdobrado em componentes de regressão polinomial, por ser de natureza quantitativa. Com os dados do fator M (tipo de muda) procedeu-se à comparação de médias pelo teste de Tukey (Ferreira, 2000).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Taxa de crescimento absoluto

O aumento da salinidade da água de irrigação reduziu linearmente o crescimento absoluto da parte aérea das plantas. De acordo com as equações de regressão (Figura 1A, B, C), os decréscimos da taxa de crescimento absoluto (TCA), relativos a S_1 , por incremento unitário de CE_a , foram 13,8, 11,0 e 9,0%, respectivamente, para os períodos de 0 – 10, 10 – 20 e 20 – 30 DAT; portanto diminuíram com o tempo, denotando aumento da tolerância à salinidade com o crescimento da planta.

No terço final do ciclo, os valores máximos e mínimos de TCA entre os níveis de salinidade estudados, foram 1761,42 e 1309,65 $\text{mg dia}^{-1} \text{ planta}^{-1}$ para S_1 e S_5 , respectivamente (Figura 1C). Apesar da TCA obtida com S_5 ter sido 25,6% inferior à de S_1 , ainda assim é 75,5% superior ao valor médio obtido por Dantas & Escobedo (1998), aos 31 DAT, também com alface, que foi de apenas 745,71 $\text{mg dia}^{-1} \text{ planta}^{-1}$.

Verificou-se diferença significativa ($p < 0,01$) na TCA obtida em plantas provenientes de mudas M_1 e M_2 até 20 DAT (Tabela 2), sendo o crescimento menor em M_2 , com decréscimo relativo de 37,7 e 15,6%, respectivamente, no primeiro e segundo intervalo de avaliação; no terço final do ciclo, estatisticamente

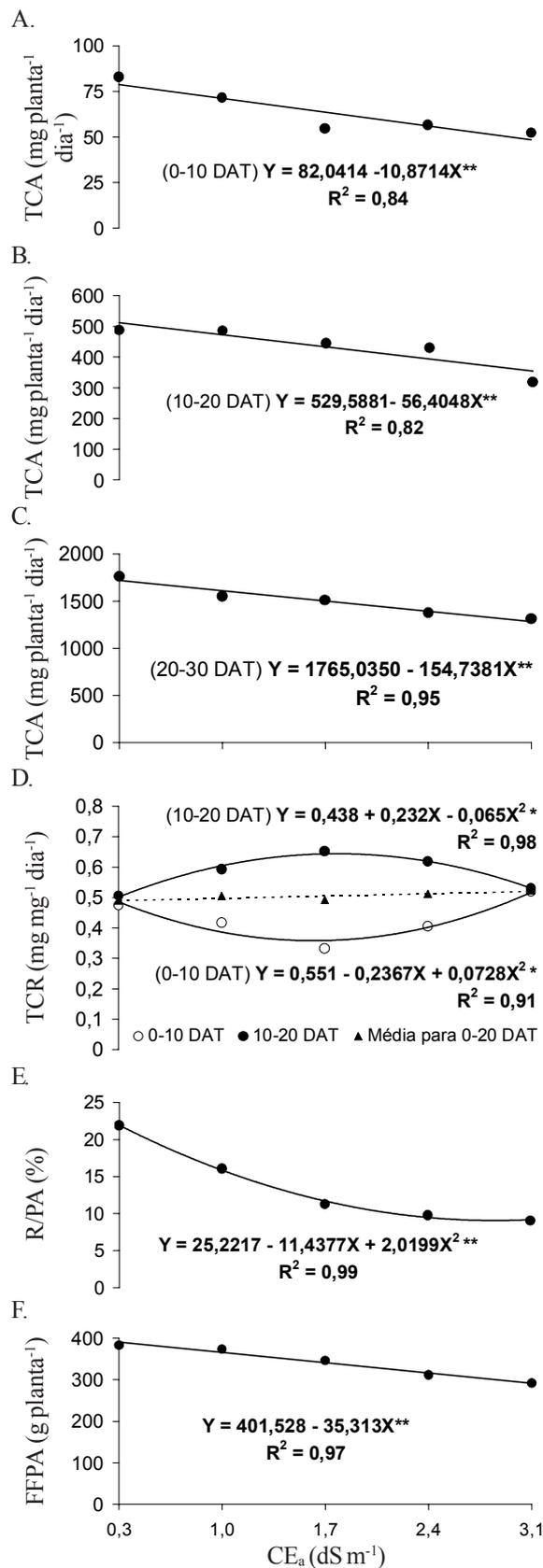


Figura 1. Taxa de crescimento absoluto (TCA) em 0 - 10 (A), 10 - 20 (B) e 20 - 30 (C) dias após o transplante (DAT); taxa de crescimento relativo (TCR) em 0 - 10 e 10 - 20 DAT (D); relação raiz/parte aérea (R/PA) (E) e fitomassa fresca da parte aérea (FFPA) (F) aos 30 DAT em função da condutividade elétrica da água de irrigação (CE_a)

Tabela 2. Resumo de ANOVA e médias para taxas de crescimento absoluto (TCA) e relativo (TCR), em três intervalos distintos do ciclo da alface, e TCR média (TCR_m); relação raiz/parte aérea (R/PA) e fitomassa fresca da parte aérea (FFPA) aos 30 dias após o transplântio (DAT) em função da salinidade da água e tipos de muda

Causa da Variância	TCA (DAT)			TCR (DAT)			TCR _m (0-30 DAT)	R/PA	Rendimento FFPa
	0-10	10-20	20-30	0-10	10-20	20-30			
	Valor F								
Salinidade (S)	5,380 **	6,674 **	5,041 **	2,658 ^{ns}	0,997 ^{ns}	0,973 ^{ns}	1,407 ^{ns}	16,92 **	22,45 **
Reg. pol. Linear	20,977 **	24,512 **	23,635 **	0,299 ^{ns}	0,210 ^{ns}	0,734 ^{ns}	2,780 ^{ns}	163,74 **	96,06 **
Reg. pol. Quadr.	2,812 ^{ns}	4,159 ^{ns}	0,527 ^{ns}	8,992 *	5,300 *	2,499 ^{ns}	1,781 ^{ns}	21,94 **	0,91 ^{ns}
Desv. Regressão	0,627 ^{ns}	0,697 ^{ns}	0,356 ^{ns}	0,449 ^{ns}	0,049 ^{ns}	0,563 ^{ns}	0,095 ^{ns}	0,160 ^{ns}	0,85 ^{ns}
Tipo de muda (M)	33,952 **	9,402 **	2,138 ^{ns}	26,756 **	5,283 *	9,953 **	0,018 ^{ns}	8,55 **	0,64 ^{ns}
S vs M	0,955 ^{ns}	0,612 ^{ns}	1,441 ^{ns}	0,491 ^{ns}	0,190 ^{ns}	1,085 ^{ns}	0,666 ^{ns}	1,73 ^{ns}	0,75 ^{ns}
CV (%)	21,83	15,11	12,76	24,84	25,92	22,87	7,28	23,41	9,94
	Média								
	mg dia ⁻¹			mg mg ⁻¹ dia ⁻¹				%	g planta ⁻¹
Salinidade	Figura 1A	Figura 1B	Figura 1C	Figura 1D	Figura 1D	Figura 1D		Figura 1E	Figura 1F
Tipo de muda									
M ₁	78,347	470,407	1450,82a	0,5310	0,5171	0,2647	0,4376a	15,343	344,47a
M ₂	48,813	397,013	1553,16a	0,3292	0,6433	0,3450	0,4392a	11,934	338,51a

(*) Significativo a 5% , (**) a 1% de probabilidade e (ns) Não significativo
Na coluna às médias seguidas de mesma letra não diferem entre si (p < 0,05)

não houve diferença significativa, indicando tendência de recuperação do crescimento das mudas produzidas com água salina, cujo efeito dependeu apenas da origem das mesmas, sem efeito interativo com os níveis de salinidade durante o ciclo produtivo restante (Tabela 2).

Taxa de crescimento relativo

Foi quadrático o efeito da salinidade sobre a taxa de crescimento relativo (Figura 1D) nos dois primeiros terços do ciclo (p < 0,05), porém sem efeito significativo no terço final (Tabela 2). Verifica-se, em 0 – 10 DAT, uma parábola de concavidade com ponto de mínima aproximadamente em S₃; em 10 – 20 DAT, a parábola se inverteu, manteve o vértice em S₃, denotando não ter havido efeito da salinidade sobre a TCR média, como aconteceu também no último período de avaliação (20 – 30 DAT) e em todo o ciclo (Tabela 2). Assim, verifica-se que a eficiência média para produção de material novo, por unidade de material pré-existente não foi influenciada pela salinidade.

O valor máximo de TCR foi 0,65 mg mg⁻¹ dia⁻¹, obtido com CE_a de 1,7 dS m⁻¹ (S₃) no intervalo de 10 – 20 DAT (Figura 1D); esse valor é semelhante ao máximo (0,6 mg mg⁻¹ dia⁻¹) obtido por Andrade Jr. (1994), estudando lâminas de irrigação em alface.

Ao contrário do fator S, o estresse salino na fase de produção de mudas afetou a TCR, ou seja, houve efeito do fator “Tipo de Muda” sobre a TCR nos três intervalos de avaliação (Tabela 2). Nos primeiros 10 dias, os valores de TCR para M₁ foram superiores (38%) aos de M₂ (p < 0,05); todavia, nos terços médio e final do ciclo a situação se inverteu e as plantas oriundas de mudas do tipo M₂ foram mais eficientes em produzir material novo, por unidade pré-existente. Os valores de M₁ foram 19,6% inferiores aos de M₂ no intervalo de 10 – 20 DAT, aumentando a diferença para 23,3% no último período (20 – 30 DAT); proporcionalmente, a vantagem de M₂ aumentou do segundo para o terço final do ciclo.

Com base nas taxas de crescimento (TCA e TCR), o estresse salino, a que as plantas do tratamento M₂ foram submetidas na

fase de produção de muda, foi paulatinamente superado ao longo do ciclo, resultando em melhor adaptação à salinidade. Na literatura, o fenômeno é conhecido como “hardening”, um processo adaptativo da planta, em resposta a um fator de estresse que ocorre mais facilmente quando o vegetal é submetido a um fator limitante na fase inicial de desenvolvimento, resultando em maior capacidade de crescimento, em presença daquele mesmo fator de estresse, em fase posterior (Taiz & Ziegler, 2002).

Relação raiz/parte aérea

A relação raiz/parte aérea (R/PA) foi estatisticamente afetada por ambos os fatores, sem efeito significativo para a interação (SxM) (Tabela 2). A salinidade afetou a R/PA com efeito quadrático, ocorrendo decréscimos relativos a S₁, de 28,1, 47,1, 57,2 e 58,2% nos tratamentos S₂, S₃, S₄ e S₅, respectivamente (Figura 1E). Com base na equação, as plantas irrigadas com água de 0,3 dS m⁻¹ (S₁) tiveram fitomassa seca radicular correspondente a 21,97% da fitomassa seca da parte aérea; este valor foi de apenas 9,2% nas plantas que receberam água de 3,1 dS m⁻¹ (S₅), denotando ser o crescimento radicular mais prejudicado pela salinidade.

A relação R/PA das plantas oriundas de mudas sem estresse salino (M₁) por ocasião da colheita, foi estatisticamente superior (Tabela 2), sendo 22,2% o decréscimo relativo médio verificado nas plantas de tratamento M₂; portanto, constata-se, mais uma vez que o efeito deletério da salinidade foi mais intenso sobre o sistema radicular, ainda que o estresse salino tenha ocorrido na fase de muda.

Rendimento da alface

A salinidade da água de irrigação afetou (p < 0,01) negativamente a fitomassa fresca da parte aérea (FFPA) da alface (Tabela 2). De acordo com os estudos de regressão (Figura 1F), a taxa de decréscimo relativo de FFPa (em relação a S₁) para cada incremento unitário de CE_a foi de 9,0%; o

rendimento obtido com as plantas submetidas ao tratamento S_5 foi, aproximadamente, 75% do observado em S_1 .

A redução linear de FFPA com o aumento da condutividade da água de irrigação (Figura 1F) está em consonância com os resultados obtidos por Gervásio et al. (2000) que também constataram redução de fitomassa da parte aérea da alface com o aumento da CE_a a partir de $0,3 \text{ dS m}^{-1}$.

Em concordância com a recuperação da taxa de crescimento absoluto das plantas oriundas de mudas M_2 , note-se que o pré-tratamento salino (fator ‘M’) não afetou significativamente a produção final da alface (Tabela 2), recuperando-se as plantas de forma gradual do estresse sofrido na fase de muda.

Conforme Ayers & Westcot (1999), a tolerância das culturas ao estresse salino deve ser quantificada com base na sua resposta à salinidade do solo em termos de condutividade elétrica do extrato de saturação (CE_{es}). Neste trabalho, o aumento da salinidade da água de irrigação resultou em aumento da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CE_{es}) com valores variando de $1,73$ a $5,97 \text{ dS m}^{-1}$; segundo estudo de regressão, o rendimento relativo diminuiu $6,1\%$ por aumento unitário da CE_{es} a partir do nível inicial. Deste modo, os rendimentos relativos da alface, equivalentes a $100, 90, 75$ e 50% , seriam obtidos com CE_{es} de $1,73, 3,37, 5,82$ e $9,90 \text{ dS m}^{-1}$, contra $1,3, 2,1, 3,2$ e $5,1 \text{ dS m}^{-1}$, citados por aqueles autores (Figura 2).

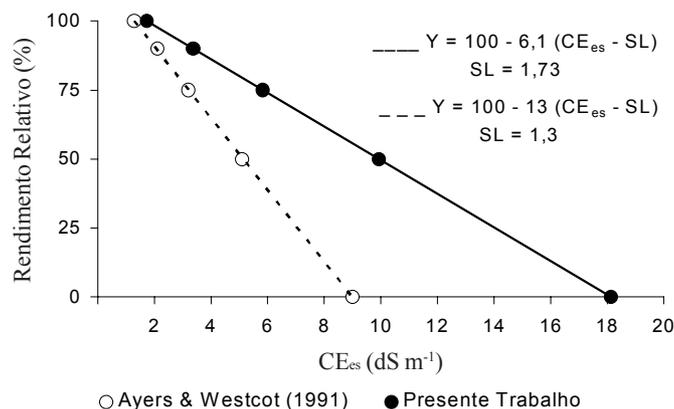


Figura 2. Rendimento relativo da alface (base em fitomassa fresca da parte aérea) em função da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CE_{es}) comparado com os dados relatados na literatura

Apesar de não ter sido obtida a salinidade limiar – SL (nível de salinidade tolerável pela planta sem diminuição da produção) para a alface Elba, no presente trabalho, é perfeitamente possível e pertinente se comparar a tolerância, em termos de percentual de decréscimo por incremento unitário de CE_{es} , expresso como “valor b” da equação obtida. Neste trabalho o “valor b” foi de $6,1$, enquanto Ayers & Westcot (1999) indicam o “valor b” de 13% para a alface. Conclui-se então, que nas condições do presente estudo, a cultivar Elba exibiu menor taxa de decréscimo de rendimento por incremento de salinidade, sugerindo ser esta cultivar mais tolerante à salinidade.

Ressalta-se que, apesar de ter havido decréscimo de rendimento relativo (RR) de 25% com a aplicação do tratamento S_5 (CE_a $3,1$ que resultou em CE_{es} de $5,77 \text{ dS m}^{-1}$), o peso fresco

médio de “cabeça” foi, ainda assim, de 291 g , o que corresponde a uma produtividade de $32,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ (considerando-se o espaçamento $0,3 \times 0,3 \text{ m}$). Este valor é razoável em se tratando de cultivar do grupo alface “solta crespa” (Filgueira, 2000).

Ferreira et al. (1998), estudando também níveis de CE_a sobre a alface do grupo “solta crespa” (cv. Verônica), verificaram rendimento máximo de $212 \text{ g planta}^{-1}$ com CE_a de $1,0 \text{ dS m}^{-1}$ (menor nível testado); sob este nível de salinidade foram obtidos, neste trabalho, $373,9 \text{ g planta}^{-1}$, ou seja, 76% a mais. O rendimento verificado por aqueles autores com CE_a de $1,0 \text{ dS m}^{-1}$ é ainda 27% inferior aos 291 g obtidos no presente estudo, com o nível mais alto de CE_a testado ($3,1 \text{ dS m}^{-1}$). A diferença pode ser devida ao tipo de substrato e às condições ambientais onde foi desenvolvido o experimento e, sobretudo, ao manejo de água.

Evapotranspiração relativa

A concentração excessiva de sais solúveis na zona radicular reduz o fluxo de água no sentido solo \rightarrow planta \rightarrow atmosfera, por efeito osmótico (Essa, 2002; Sultana et al., 2002) com conseqüente redução da transpiração da planta, prejudicando o seu metabolismo.

Neste trabalho, o efeito osmótico é constatado através da redução do consumo de água pelas plantas, com o aumento da salinidade (Figura 3A). O decréscimo na evapotranspiração seguiu tendência linear semelhante à discutida para taxa de

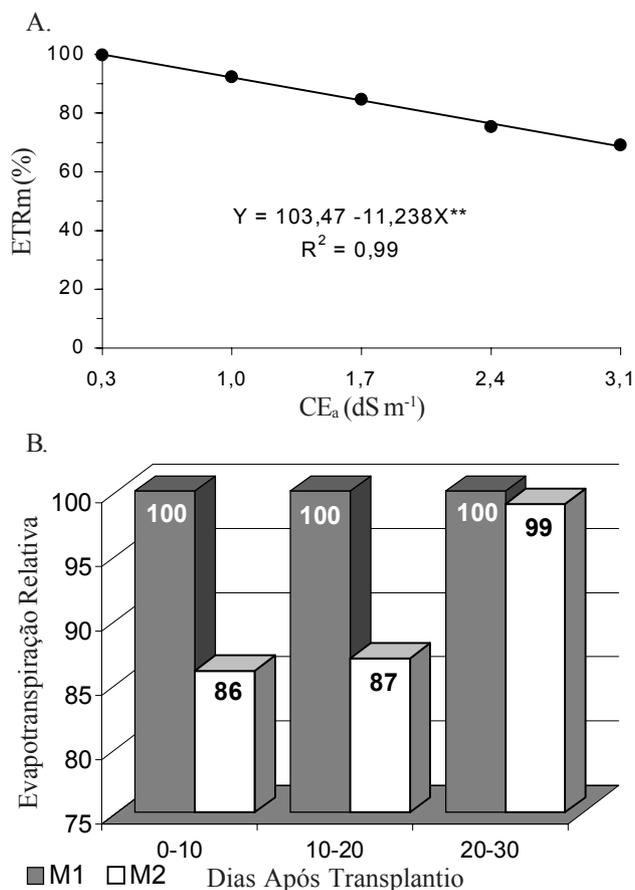


Figura 3. (A) Evapotranspiração relativa média (ETRm) da alface em função da salinidade da água de irrigação (CE_a) e (B) evapotranspiração relativa por terço do ciclo para cada tipo de muda (M)

crescimento absoluto. De acordo com a equação de regressão exposta na referida figura, a taxa de decréscimo relativo de evapotranspiração média do ciclo (ET_{Rm}) foi de 11,24% por incremento unitário de CE_a , valor aproximadamente igual à taxa média (0–30 DAT) de decréscimo relativo de TCA, que foi de 11,27%, uma comprovação de que o estresse salino induziu ao estresse hídrico, com conseqüente redução do crescimento.

Segundo Doorenbos & Kassam (1994), existe uma relação direta entre a evapotranspiração (ET) e o crescimento das plantas, quando a demanda de água é atendida plenamente; ao contrário, havendo restrição hídrica reduz-se o crescimento, fato aqui constatado com o aumento da CE_a .

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 M_2 demandaram, em média, apenas 86,5% da água consumida pelas originadas de M_1 ; no terço final do ciclo, com a recuperação do crescimento das plantas M_2 , este valor foi elevado a 99% (Figura 3B).

O aumento da temperatura foliar pode ser um forte indicativo de déficit hídrico no solo, uma vez que sinaliza o fechamento dos estômatos, uma tentativa da planta evitar maiores perdas de água por transpiração (Cairo, 1995 e Steppuhn, 2001). Segundo esses autores, o processo transpiratório deve ser entendido como transferência de energia na forma de calor latente da folha para o ar. De acordo com a equação exibida na Figura 4A, ocorreu elevação de 1,8 °C na temperatura foliar

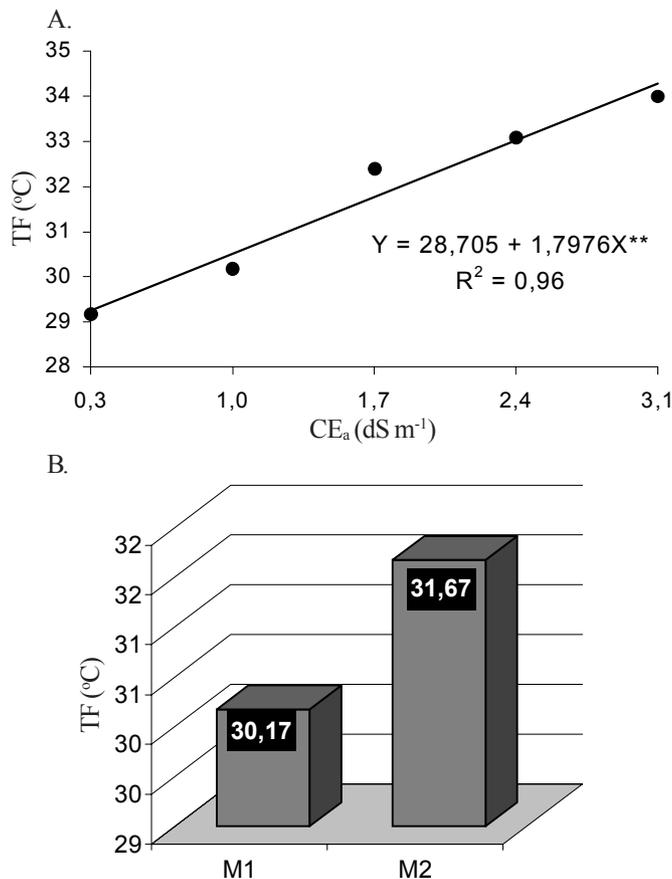


Figura 4. Temperatura foliar (TF) média às 14 h do período 20–30 dias após o transplante da alface em função da condutividade elétrica da água de irrigação (A) e para cada tipo de muda – M (B)

(TF) por incremento unitário de CE_a ; é mais uma evidência de que a salinidade, por efeito osmótico, restringiu o fluxo de água no sentido solo → planta → atmosfera e, por conseguinte, a transpiração, resultando em elevação da TF, afetando o crescimento das plantas. Também o pré-tratamento salino resultou em elevação da temperatura; note-se, na Figura 4B, que as plantas oriundas de mudas M_2 tiveram TF ligeiramente superior (5%) às de M_1 , estando em concordância com a pequena diferença da FFPA (1,73%) observada entre as plantas M_1 e M_2 .

De acordo com Taiz & Zeiger (2002), a fotossíntese líquida decresce rapidamente com o aumento da temperatura acima de 30 °C nas plantas C_3 . No presente estudo, a temperatura média foliar esteve abaixo de 30 °C, apenas nas plantas do tratamento S_1 (Figura 4A); assim, é mais uma vez explicado o decréscimo de rendimento ocorrido com o aumento da salinidade.

Pelas evidências discutidas e considerando que durante o período de estudo a umidade no substrato foi mantida próxima à capacidade de campo, infere-se ter sido o efeito osmótico a causa preponderante de redução do crescimento das plantas.

Relações $Na^+/(Ca^{2+}+Mg^{2+})$ e Na^+/K^+ em folhas

Dentre os fatores relacionados com a habilidade das plantas em tolerar o excesso de sais solúveis incluem-se a resistência dos genótipos em apresentar deficiência de Ca induzida pelo Na e a capacidade de manter níveis adequados de K, em condições de elevada concentração de Na^+ no solo (Navarro et al., 2000; Murillo et al., 2002).

Na Figura 5 estão os dados relativos dos teores de $Ca^{2+} + Mg^{2+}$, Na^+ e K^+ e das relações $Na^+/(Ca^{2+}+Mg^{2+})$ e Na^+/K^+ em folhas na época da colheita. Por não ser significativa a interação $S \times M$, está apresentada uma única equação de regressão, para M_1 e M_2 . Reduziu-se o teor de K^+ de forma logarítmica, com decréscimo relativo de 8,54, 12,30, 14,74, 16,56% entre S_2 , S_3 , S_4 e S_5 , respectivamente (Figura 5A). Para $Ca^{2+}+Mg^{2+}$, esses valores foram de 9,89, 16,57, 20,01 e 20,24%, sendo, portanto, mais acentuada a redução, comparativamente a K^+ , justificando a maior taxa de acréscimo de $Na^+/(Ca^{2+}+Mg^{2+})$ em relação a Na^+/K^+ ; de forma inversa, o teor de Na em folhas da alface aumentou cerca de 82% por aumento unitário de CE_a acima de S_1 (Figura 5A), tendo as plantas, em S_5 , teor de Na 230% superior ao observado em S_1 .

O incremento unitário de CE_a ocasionou, em relação a S_1 , aumento em torno de 113 e 97%, respectivamente, nas relações $Na^+/(Ca^{2+}+Mg^{2+})$ e Na^+/K^+ em folhas; em grande parte esse incremento se deveu ao aumento da acumulação de Na^+ , conforme exposto na Figura 5B.

O mecanismo de seletividade de absorção iônica, especificamente relacionado a Na^+ e K^+ , varia entre grupos de plantas (Taiz & Zeiger, 2002). Chartzoulakis & Klapaki (2000) constataram baixa relação Na^+/K^+ em grãos e folhas de plantas tolerantes a sais; segundo Bottacin et al. (1984), uma característica de tolerância das plantas à salinidade é a sua habilidade em manter a relação $Na^+/K^+ < 1,0$.

Note-se que os teores de K^+ e de $Ca^{2+}+Mg^{2+}$ decresceram de forma um pouco mais intensa até S_3 (Figura 5A), estabilizando-se, praticamente, com o aumento da salinidade além

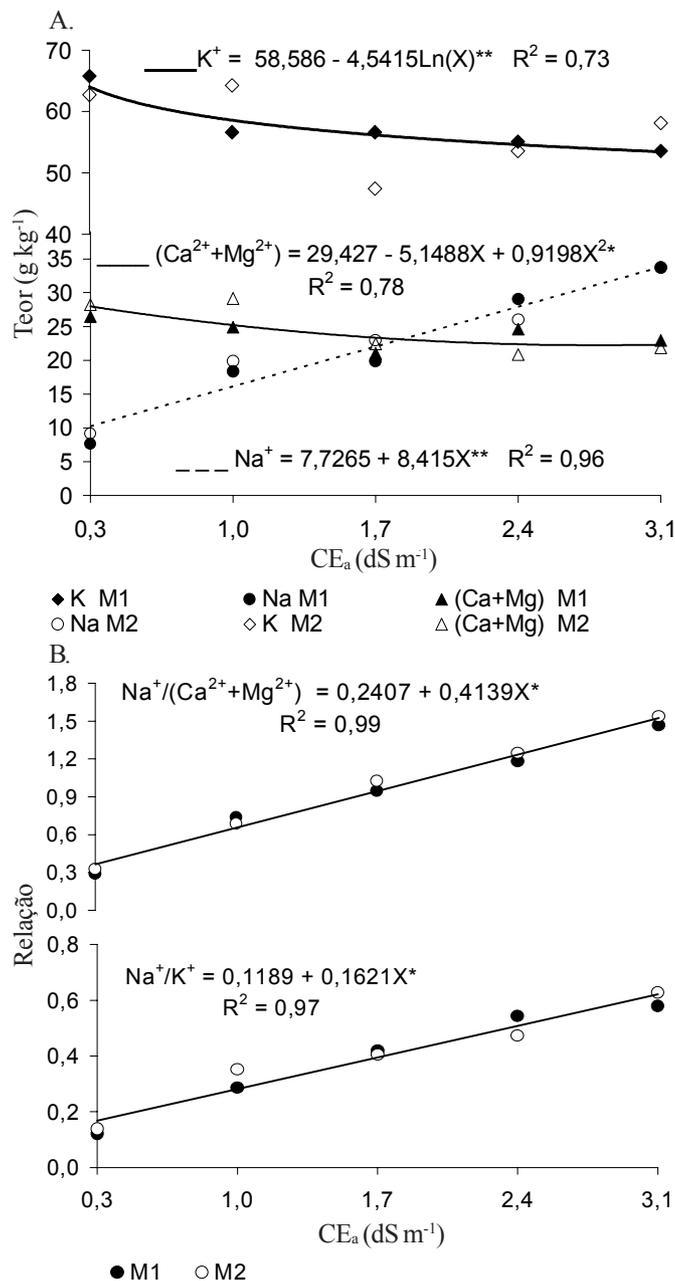


Figura 5. (A) Teores de K⁺, Na⁺ e Ca²⁺ + Mg²⁺ e (B) Relações Na⁺/(Ca²⁺+Mg²⁺) e Na⁺/K⁺ em folha da alface aos 30 dias após o transplante (DAT) em função da condutividade elétrica da água de irrigação (CE_a) e do tipo de mudas

desse nível (1,7 dS m⁻¹). As plantas conseguiram manter Ca²⁺+Mg²⁺ > Na⁺ até S₃ e K⁺ > Na⁺, mesmo com água de CE_a = 3,1 dS m⁻¹, apesar de intenso acréscimo dos teores de Na⁺, ficando a relação Na⁺/(Ca²⁺+Mg²⁺) abaixo de 1,6 e Na⁺/K⁺ menor que 0,6 (Figura 5B). Vale salientar que no presente trabalho a unidade utilizada dos teores de elementos foi g kg⁻¹, em vez de mM, considerada por Bottacin et al. (1984); caso seja computada a relação Na⁺/K⁺ em termos de mM, o valor de 0,6 observado passa a ser de 1,02, portanto, bem próximo do valor limite sugerido por aqueles autores. Esses valores expressam o favorável balanço iônico que as plantas conseguiram manter, mesmo com água de CE_a = 3,1 dS m⁻¹, tida por Ayers & Westcot (1999) como de elevada restrição para uso agrícola.

Os níveis de salinidade estudados não resultaram em desordem nutricional, mas apenas ocasionaram elevação dos teores de Na⁺ em folhas; isto, no entanto, parece não ter sido fator limitante do crescimento e rendimento da alface, uma vez que as plantas mantiveram um balanço iônico favorável e não foram constatados sintomas de toxicidade por Na⁺. Observou-se apenas leve intensificação da cor verde nas folhas das plantas nos tratamentos S₄ e S₅.

Concordando com os resultados do presente ensaio, Cramer & Spurr (1986), estudando níveis crescentes de salinidade com alta e baixa relação Na⁺/Ca²⁺ na água, observaram que a concentração de Na⁺ em folhas da alface foi em média 50% superior nos tratamentos com alta relação Na⁺/Ca²⁺, sem prejuízos, entretanto, para o crescimento das plantas.

CONCLUSÕES

1. A produção de mudas de alface cv. Elba com condutividade elétrica da água de irrigação de 3,1 dS m⁻¹ confere às plantas o fenômeno de endurecimento, com maior capacidade de crescimento posterior da parte comercial sob estresse salino, apesar de inibir o crescimento radicular.
2. O decréscimo da taxa de crescimento absoluto na cultivar Elba resultou em queda de 6,1 e 9% no rendimento, por incremento unitário de condutividade elétrica do extrato de saturação do solo e da água, respectivamente.
3. A causa preponderante da redução do crescimento das plantas foi de ordem osmótica, reduzindo evapotranspiração e causando aumento da temperatura foliar com a salinidade.
4. Não se observou desequilíbrio nutricional nem problemas de toxicidade na alface Elba até a condutividade elétrica da água de 3,1 dS m⁻¹.

AGRADECIMENTO

Ao revisor anônimo da Agriambi pelas sugestões apresentadas que melhoraram muito a compreensão do texto.

LITERATURA CITADA

- Andoh, H.; Kobata, T. Effect of seed hardening, wetting and redrying before sowing, on germination and seedling emergence of a Japanese wheat variety in desiccated soil. *Plant Production Science*, Tokyo, v.4, n.1, p.50-55, 2001.
- Andrade Júnior, A.S. Manejo da irrigação na cultura da alface (*Lactuca sativa* L) através do tanque classe A. Botucatu: UNESP, 1994. 104p. Dissertação Mestrado
- Audry, P.; Suassuna, J. A salinidade das águas disponíveis para a pequena irrigação no sertão do Nordeste: Caracterização, variação sazonal, limitação de uso. Recife: CNPq, 1995. 128p.
- Ayers, R.S.; Westcot, D.W. A qualidade da água na agricultura. 2ª ed. Campina Grande: UFPB. 1999, 153p. Estudos da FAO Irrigação e Drenagem, 29 revisado
- Benincasa, M.M.P. Análise de crescimento de plantas. Jaboticabal: FUNEP, 42p. 1988.

- 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, 28, 1999, Pelotas. Anais... Pelotas: SBEA, 1999. CD-Rom
- Bottacin, A.; Cacco, G.; Saccomani, M. Nitrogen absorption and assimilation in NaCl-resistant and NaCl-susceptible millet genotypes (*Pennisetum americanum*). Canadian Journal of Botany, Ottawa, v.63, p.517-520, 1984.
- Cairo, P.A.R. Curso básico de relações hídricas de plantas. Vitória da Conquista, BA, UESB, 1995. 32p.
- Chartzoulakis, K.; Klapaki, G. Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. Scientia Horticulturae, Amsterdam, v. 86, n.3, p. 247-260, 2000.
- 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, 1986.
- Dantas, R.T.; Escobedo, J.F. Índices morfo-fisiológicos e rendimento da alface (*Lactuca sativa* L) em ambientes natural e protegido. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.2, n.1, p.27-31, 1998.
- Doorenbos, J.; Kassam, A.H. Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. Estudos da FAO: Irrigação e Drenagem, 33
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- Essa, T.A. Effect of salinity stress on growth and nutrient composition of three soybean (*Glycine max* L. Merrill) cultivars. Journal of Agronomy and Crop Science, Berlin, v.188, n.2, p.86-93, 2002
- Ferreira, P.V. Estatística experimental aplicada à agronomia. Maceió: UFAL/EDUFAL/ FUNDEPES, 3 ed. 2000, 422p.
- 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, 27, 1998, Poços de Caldas. Anais... Poços de Caldas: SBEA, 1998. p.106-108.
- FIBGE – Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Anuário Estatístico do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2001. s/p
- Filgueira, F.A.R. Asteráceas. In: Novo manual de olericultura. Viçosa: UFV, 2000. p.289-295.
- Gervásio, E.S.; Carvalho, J.A.; Santana, M.J. Efeito da salinidade da água de irrigação na produção da alface americana. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.4, n.1, p.125-128, 2000.
- Kozłowski, T.T.; Pallardy, S.G. Acclimation and responses of woody plants to environmental stresses. Botanical Review, New York, v.68, n.2, p.270-334, 2002.
- Magalhães, A.C.N. Análise quantitativa de crescimento. In: Ferri, M.G., (Coord.) Fisiologia vegetal. São Paulo: EPU / EDUSP, 1979. p.331-350.
- Malavolta, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2 ed. Piracicaba: Potafôs, 1997. 201p.
- Manchanda, H.R.; Bhandhari, D.K. Effect of presoaking of seeds in salt solutions on yield of wheat and barley irrigated with highly saline waters. Journal Indian Society of Soil Science, New Delhi, v.24, p.432-435, 1976.
- Murillo, B.A.; Troyo, E.D.; Garcia, J.L.H.; Larrinaga, J.A.M.; Nieto, A.G. Effect of salinity on genotypes of the cowpea in the seedling stage. Agrochimica, Pisa, v.46, n.1-2, p.73-87, 2002.
- Navarro, J.M.; Botelho, M.A.; Cerda, A.; Martinez, V. Effect of salinity x calcium interaction on cation balance in melon plants grown under two regimes of orthophosphate. Journal of Plant Nutrition, New York, v.23, n.7, p.991-1006, 2000.
- Osaki, F. Calagem e adubação. 2. ed. rev. ampliada. Campinas: Instituto Brasileiro de Ensino Agrícola, 1991. 503p.
- Shannon, M.C. Adaptation of plants to salinity. Advances in Agronomy, San Diego, v.60, n.1, p.75-120, 1997.
- 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. Revista de Horticultura Brasileira, Brasília, v.17, n.3, p.327, 1999.
- Steppuhn, H. Pré-irrigação de a severely-saline soil with in-situ water to establish dryland forages. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v.44, n.6, p.1543-1551, 2001.
- Sultana, N.; Keda, T.; Kashem, M. A. Effect of seawater on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. Photosynthetica, Prague, v.40, n.1, p.115-119, 2002.
- Taiz, L.; Zeiger, E. Plant physiology. 3 ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2002. 798p.
- Viana, S.B.A.; Fernandes, P.D.; Gheyi, H.R. Germinação e formação de mudas de alface em diferentes níveis de salinidade de água. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.5, n.2, p.259-264, 2001.