

PRODUÇÃO DE ALFACE SOB DIFERENTES NÍVEIS DE SALINIDADE DO SOLO.

Nildo da Silva Dias; Sergio Nascimento Duarte; Roberto Takafumi Yoshinaga; José Francisco Teles Filho

Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP., CP 09, CEP 13418-900, nisdias@esalq.usp.br

1 RESUMO

Devido à falta de conhecimento por parte dos nossos agricultores e técnicos a respeito do manejo adequado da fertirrigação, tem sido freqüente os problemas de salinização de solo, sobretudo em ambiente protegido. Desse modo, com o objetivo estudar os efeitos de diferentes níveis iniciais de salinidade do solo no crescimento e na produção de alface, foi desenvolvido um experimento em ambiente protegido no Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", município de Piracicaba, SP. Utilizaram-se amostras de 10 kg de solo de um Latossolo Vermelho, as quais foram peneiradas, secas ao ar e acondicionadas em vasos de 17 L, tendo em sua base perfurada uma camada de envelope de 2 cm (brita + geotextil), resultando em uma camada de solo de 20 cm. As amostras de solos foram salinizadas artificialmente por excesso de adubos utilizados na fertirrigação. A umidade do solo foi elevada até a máxima capacidade de retenção e, concomitantemente, foram adicionados os sais diluídos via água, obtendo-se 9 níveis diferentes de salinidade do solo (0,4; 1,0, 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 7,0 e 8,0 dS m⁻¹) com 5 repetições. As proporções e os tipos de sais aplicados no solo seguiram a recomendação de adubação para a cultura do alface. Determinou-se o limite máximo de salinidade (salinidade limiar) tolerado pela cultura, causada pelo excesso de fertilizantes e seus efeitos nas variáveis de produção comercial e nos componentes de produção. Concluiu-se que todas as variáveis analisadas foram influenciadas pelos níveis iniciais de salinidade, e que para a maioria delas, o nível limiar foi superior ao usualmente citado na literatura (1,3 dS m⁻¹).

UNITERMOS: condutividade elétrica, fertirrigação, *Lactuca sativa* L.

**DIAS, N. S.; DUARTE, S. N.; YOSHINAGA, R. T.; TELES FILHO, J. F.
LETTUCE YIELD UNDER DIFFERENT LEVELS OF SOIL SALINITY.**

2 ABSTRACT

Due to the lack of knowledge of the appropriate fertirrigation management in greenhouses by our farmers and technicians, problems of soil salinity have been observed frequently. To evaluate lettuce yield and growth under different levels of soil salinity caused by excessive fertilizer application, a study under greenhouse conditions was carried out in the experimental field of the Rural Engineering Department of the "Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – USP", Piracicaba, Brazil. 10-kg soil samples in Oxysol were used. They were sifted, dried in open air and conditioned in 17-L perforated base vases with a 2-cm envelope layer

(gravel + synthetic fabric), resulting in a 20-cm soil depth. The soils samples were salinized artificially by excess of fertilizers used in fertirrigation. The soil moisture was elevated to the maximum retention capacity using water with diluted salts to obtain 9 different levels of soil salinity (0.4, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0 and 8.0 dS m⁻¹) with 5 repetitions. The proportions and types of salts applied in the soil followed the total nutrient extraction for the culture of lettuce (*Lactuca sativa* L.). The maximum tolerated salinity limit caused by fertilizer excess was determined and also its effects in commercial production and production components. The results showed that different levels of soil salinity influenced all analyzed variables and that for most of the variables the maximum limit was higher than the one used found in the literature (1,3 dS m⁻¹).

KEYWORDS: Electric conductivity, fertirrigation, *Lactuca sativa* L.

3 INTRODUÇÃO

O cultivo de hortaliças em condições protegidas é a forma mais utilizada em países desenvolvidos, sendo que o tomate, o pimentão, a alface e o pepino compõem o grupo das espécies mais cultivadas nestas condições. Segundo Stanghellini (1993), várias são as finalidades do cultivo em ambiente protegido, entre as quais destaca-se a eliminação do efeito negativo das baixas temperaturas, geadas, vento, granizo e excesso de chuva, a possibilidade de diminuição do ciclo de produção, a economia de água, entre outras.

Na última década, observou-se um aumento do cultivo em estufas, notadamente nos países mediterrâneos (GÁLVEZ et al., 1993). No Brasil, pode-se verificar tal ocorrência no Estado de São Paulo, principalmente, no cultivo de olerícolas. Entretanto, o manejo inadequado da irrigação, a adição de fertilizantes em altas dosagens e a inexistência de chuvas promotoras de lixiviação do excesso de sais de adubos aplicados via água de irrigação, podem trazer como consequência a salinização dos solos das estufas e prejudicar o rendimento das culturas sensíveis.

O excesso de sais no solo reduz a disponibilidade de água para as plantas devido ao efeito osmótico, além de trazer problemas como o efeito de íons tóxicos específicos sobre a fisiologia vegetal, a tal ponto de afetar seus rendimentos e a qualidade de sua produção. As culturas sofrem redução progressiva do crescimento e da produção à medida que a concentração salina aumenta. Segundo Doorenbos e Pruitt (1977), a menor absorção de água pelas plantas em condições salinas produz sintomas semelhantes aos de seca periódica, como por exemplo, murchamento temporário, queimaduras das folhas, coloração verde azulada, crescimento reduzido e folhas pequenas.

Toda cultura possui um nível de salinidade limite a partir do qual passa a sofrer estresse, e conseqüentemente, passa a ocorrer perdas de produção, proporcionalmente ao aumento da salinidade. Segundo Tanji (1990), a cultura da alface apresenta-se como uma cultura moderadamente sensível a salinidade. Porém, este limite de tolerância encontrado na literatura refere-se a níveis de salinidade ocasionados pelo uso de água de qualidade inferior. Deve-se ressaltar que a curva típica que relaciona o rendimento relativo com níveis crescentes de salinidade no solo ocasionadas por excesso de fertilizantes não apresenta o mesmo comportamento daquelas determinadas por meio de salinização do solo com sais provindos de água de irrigação de qualidade marginal. Esta observação deve-se ao fato de que um pequeno incremento de fertilizantes no solo pode acarretar em um consumo de luxo de nutrientes pela cultura e conseqüente aumento de produtividade. Entretanto, a partir de certo nível, o potencial osmótico e os desequilíbrios nutricionais poderiam vir a reduzir os rendimentos relativos.

Assim, é necessário conhecer o limite máximo (salinidade limiar) tolerado pela cultura quando a salinização é dada por excesso de fertilizantes. Deste modo, objetivou-se neste trabalho estudar os efeitos de diferentes níveis iniciais de salinidade do solo, causada pela aplicação excessiva de fertilizantes no cultivo de alface, visando desta forma obter subsídios para definir critérios de manejo da fertirrigação para esta cultura.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A primeira etapa do experimento foi conduzida no Laboratório de Física do Solo, do Departamento de Engenharia Rural, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, no município de Piracicaba, SP. Esta etapa constou de ensaios que visaram obter curvas de condutividade elétrica em função da concentração de fertilizantes. As proporções, bem como os tipos de sais aplicados na água, seguiram aquelas correspondentes à extração total de nutrientes para a cultura do alface, conforme recomendação proveniente da análise de solo realizada no Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ-USP. Utilizaram-se como fontes de fertilizantes os seguintes produtos: nitrato de amônio (NH_4NO_3), cloreto de potássio (KCl), sulfato de magnésio (MgSO_4), ácido fosfórico (H_3PO_4) e nitrato de cálcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$).

Para encontrar a relação entre a condutividade elétrica da solução (CE_s) e os totais de sais dissolvidos, nas proporções desejadas de fertilizantes, utilizou-se inicialmente como referência a equação proposta por Richards (1954) apresentada na equação (1):

$$C = 640 \text{ CE}_s \quad (1)$$

em que:

C = concentração de sais fertilizantes, mg L^{-1} ;

CE_s = condutividade elétrica da solução, dS m^{-1} .

Utilizaram-se diferentes soluções de concentrações conhecidas e preparadas a partir da diluição com água de abastecimento, em balões de 100 mL, de um padrão de 6400 mg L^{-1} , totalizando 21 soluções. A concentração dessas soluções variaram de 0,2 até 6400 mg L^{-1} , com intervalos de 320 mg L^{-1} , o que correspondeu, respectivamente, a salinidades teóricas variando de 0,2 até 10 dS m^{-1} , com intervalos de $0,5 \text{ dS m}^{-1}$, com base na equação (1). A amostra em branco ($0,2 \text{ mg L}^{-1}$) correspondeu à condutividade elétrica inicial da água de abastecimento sem a adição dos fertilizantes. A partir dessa preparação, determinou-se a condutividade elétrica real das soluções, utilizando-se um condutivímetro digital com leituras autocompensadas para a temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$. A curva que relaciona a concentração dos fertilizantes e a condutividade elétrica das soluções foi estabelecida por meio de um diagrama de dispersão, onde foram plotados os valores da concentração de sais fertilizantes versus os da condutividade elétrica encontrada.

A segunda etapa do experimento foi conduzido em vasos de 17 L, contendo uma camada de 2 cm de brita no fundo, recoberta com manta geotêxtil (BIDIM OP-30) e preenchido com 10 kg de solo. Estes vasos estavam dispostos sobre uma bancada instalada no interior de uma estufa plástica da área experimental do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP. Os tratamentos consistiram na indução, por excesso de fertilizantes, de 9 níveis iniciais de salinidade do solo, com a condutividade elétrica do extrato de saturação (CE_{es}) variando de 1 a 8 dS m^{-1} e uma testemunha, que correspondeu à salinidade natural da solução do solo, qual seja, $\text{CE}_{es} = 0,3 \text{ dS m}^{-1}$. Adotou-se o delineamento estatístico de blocos casualizados completos com 5 repetições.

O processo de salinização do solo dos vasos deu-se por meio da aplicação de soluções salinas, tomando-se como base a curva artificial de solução fertilizante, obtida previamente em laboratório na primeira etapa do experimento. As proporções e os tipos de sais aplicados no solo seguiram a recomendação de adubação para a cultura do alface. Utilizaram-se como sais fertilizantes o $MgSO_4$, KCl , NO_3NH_4 , $[NO_3]_2Ca$ e H_3PO_4 . O solo foi classificado como Latossolo Vermelho, fase arenosa, denominado “Série Sertãozinho”, do qual retiraram-se amostras da camada de 0-20 cm para as análises químicas (Tabela 1) e físico-hídricas (Tabela 2). As plantas foram transplantadas para os vasos aos 15 dias após a germinação, sendo colocada uma planta por vaso.

A cultura utilizada foi a alface (*Lactuca sativa*), do tipo Folhas Crespas (Americana) denominada comercialmente de Verônica. O manejo da irrigação foi feito diariamente com base na umidade do solo, obtida por meio de pesagem dos vasos, sendo o volume de água aplicado suficiente para se atingir a capacidade de campo, com controle diferenciado, de acordo com os 9 níveis iniciais de salinidade. As características avaliadas foram altura das plantas, medindo-se do colo da planta até o ápice da folha mais alta, matéria seca e fresca da parte aérea, utilizando-se balança eletrônica digital. Além disso, o diâmetro do colo e número de folhas também foram medidos no momento da colheita.

Os resultados foram interpretados por meios da análise de variância. O fator quantitativo relativo aos níveis de salinidade iniciais do solo foi analisado estatisticamente por meio de regressão polinomial (linear e quadrática).

Tabela 1. Caracterização química do solo

Camada	pH	MO	P	S	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	CTC	V	m
cm	(CaCl ₂)	g kg ⁻¹	Mg dm ⁻³		-----mmol _c dm ⁻³ -----					-----%-----	
0-20	4,3	7	2	4	1,1	9	4	3	14,1	44	18

Tabela 2 Características físico-hídricas do solo

Camada	CC	PMP	Dg	Frações granulométricas			Floculação	Textura
				Argila	Silte	Areia		
cm	--cm ³	cm ³ ---	Kg dm ⁻³	-----g kg ⁻¹ -----			%	
0-20	0,214	0,137	1,4	280	80	640	100	Franco-arenosa

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Curva de salinidade artificial

A relação entre a concentração das soluções de fertilizantes utilizadas para salinizar o solo e a condutividade elétrica destas soluções pode ser observada na Figura 1A. A equação encontrada foi $CE_a = 0,0013C + 0,25$ com valor de R^2 igual a 0,9888, divergindo da equação proposta por Richards (1954) ($CE_a = 0,00156 C$) e por Dias et al. (2003) ($CE_a = 0,0009C + 0,3096$), devido possivelmente ao fato da condutividade elétrica ser afetada pela valência e concentração relativa dos íons contidos na solução (RHOADES, 1994). De acordo com Ferreira e Martinez (1997), a condutividade elétrica, além da temperatura, depende de outros fatores como: número de espécies iônicas presentes na solução, cargas das espécies iônicas, mobilidade de cada íon, área efetiva dos eletrodos e distância entre os eletrodos. Desta forma, a equação das

curvas de salinização artificial depende dos tipos e das proporções de sais presentes na água de irrigação.

Quanto à salinização do solo, observa-se na Figura 1B que há diferença sensível entre CE_{es} esperada e a CE_{es} obtida após a adição dos fertilizantes, provavelmente devido ao efeito da adsorção dos sais fertilizantes para o solo estudado. O modelo de curva de salinidade artificial é específico para cada tipo de solo e cultura, pois depende das características do solo e da recomendação da fertirrigação.

Deve-se ressaltar que o volume de água aplicado ao solo durante o processo de salinização artificial correspondeu ao necessário para se elevar a umidade do solo à máxima capacidade de retenção, evitando que o excesso de água no solo promovesse a lixiviação dos sais.

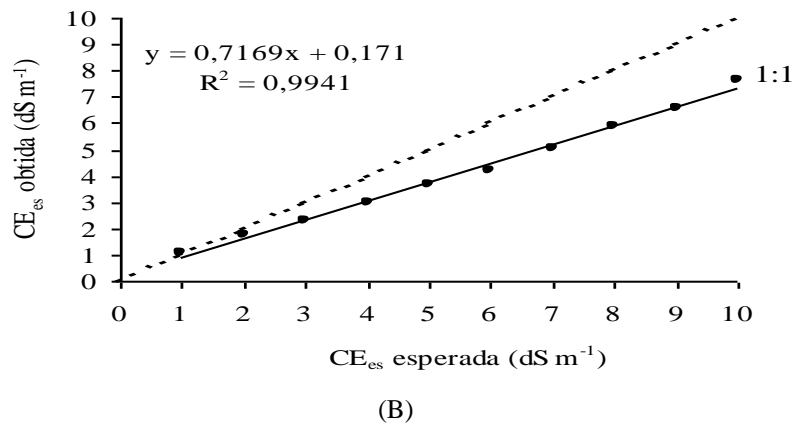
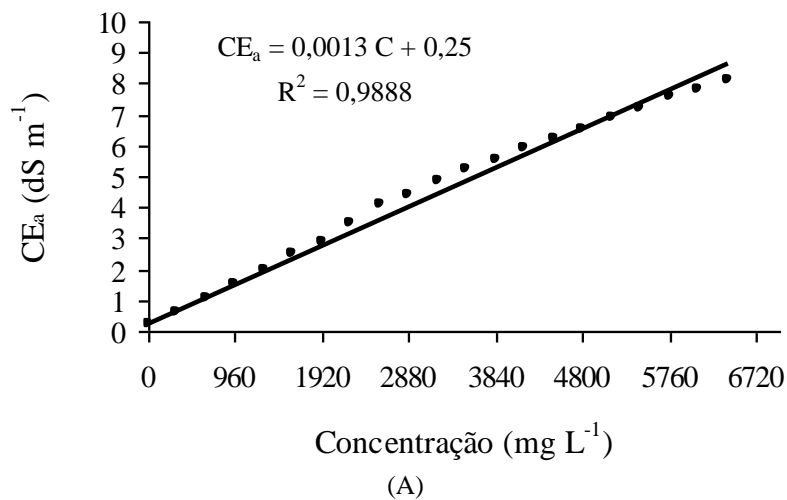


Figura 1 - Relações entre a concentração das soluções de fertilizantes e a condutividade elétrica das soluções utilizadas (A) e entre a CE_{es} esperada e a CE_{es} obtida após a adição dos fertilizantes (B).

Efeito da salinidade sobre a produção de alface

Todos os parâmetros avaliados (altura de planta, diâmetro do caule, peso seco da parte aérea e peso fresco da parte aérea) foram significativamente (1% de probabilidade) influenciados pelos níveis de salinidade inicial do solo (Tabela 3), demonstrando que a alface é realmente sensível à salinidade, fato este claramente comprovado neste trabalho devido às diferenças de produção (matéria seca e fresca da parte aérea) verificadas entre os tratamentos com níveis mais altos de salinidade e de menor concentração de sais. Maas e Hoffman (1977) mostraram que as altas concentrações de sais diminuem o potencial osmótico na solução do solo, reduzindo a disponibilidade de água das plantas, sendo que as culturas mais sensíveis sofrem redução progressiva na produção e componentes de produção a medida em que a concentração salina aumenta.

Tabela 3. Resumo da análise de variância e valores médios de altura de planta, diâmetro do caule, peso seco da parte aérea e peso fresco da parte aérea para os 9 tratamentos.

Fator de variação	Característica avaliada				
	Altura de planta	Diâmetro	Peso fresco	Peso seco	Número de folhas
	Estatística F				
Salinidade (S)	6,92**	9,46**	8,81**	7,49**	8,52**
(dS m ⁻¹)	Média				
	(cm)	(mm)	(g)	(g)	(unidade)
S ₀ = 0,4	14,8	19,4	74,68	4,68	13,2
S ₁ = 1,0	17,4	23,2	110,17	6,28	15,6
S ₂ = 2,0	16,4	21,2	87,73	5,79	14,0
S ₃ = 3,0	14,1	18,5	63,18	5,35	13,2
S ₄ = 4,0	17,0	20,6	88,42	6,15	14,2
S ₅ = 5,0	15,6	18,8	70,99	5,20	13,4
S ₆ = 6,0	15,9	18,5	63,03	4,98	12,6
S ₇ = 7,0	9,2	9,9	12,60	0,86	6,6
S ₈ = 8,0	8,6	9,0	15,40	1,22	6,4
S ₉ = 9,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0

A Figura 2 mostra os valores médios das variáveis medidas em relação aos níveis de salinidade e as respectivas equações de ajuste. Podem-se constatar os pontos de máximos para as funções quadráticas obtidos para as variáveis altura da planta, diâmetro do caule, peso seco e fresco da parte aérea e número de folhas ocorreram para os valores de salinidade de 2,93; 2,38; 1,03, 2,48 e 2,54 dS m⁻¹, respectivamente. A maioria destes valores foram superiores ao encontrado na literatura (1,3 dS m⁻¹) determinado por meio de salinização do solo com sais provindos de água de irrigação de qualidade marginal (MAAS e HOFFMAN, 1977). Esta observação deve-se possivelmente ao fato de que, um pequeno incremento de fertilizantes no solo, pode acarretar em um consumo de luxo de nutrientes pela cultura e conseqüente aumento de produtividade, compensando o efeito negativo da diminuição do potencial osmótico da solução.

Consumo de água

Verifica-se na Figura 3 que houve efeito quadrático significativo dos níveis de salinidade sobre o consumo da planta, com decréscimo no consumo hídrico a partir da CE_{es} = 0,90 dS m⁻¹ (R² = 0,82). Um importante fator no controle da salinidade em culturas irrigadas é o conhecimento da evapotranspiração da cultura em cada fase de seu desenvolvimento. No presente trabalho, o efeito osmótico pode ser facilmente constatado por meio da redução do

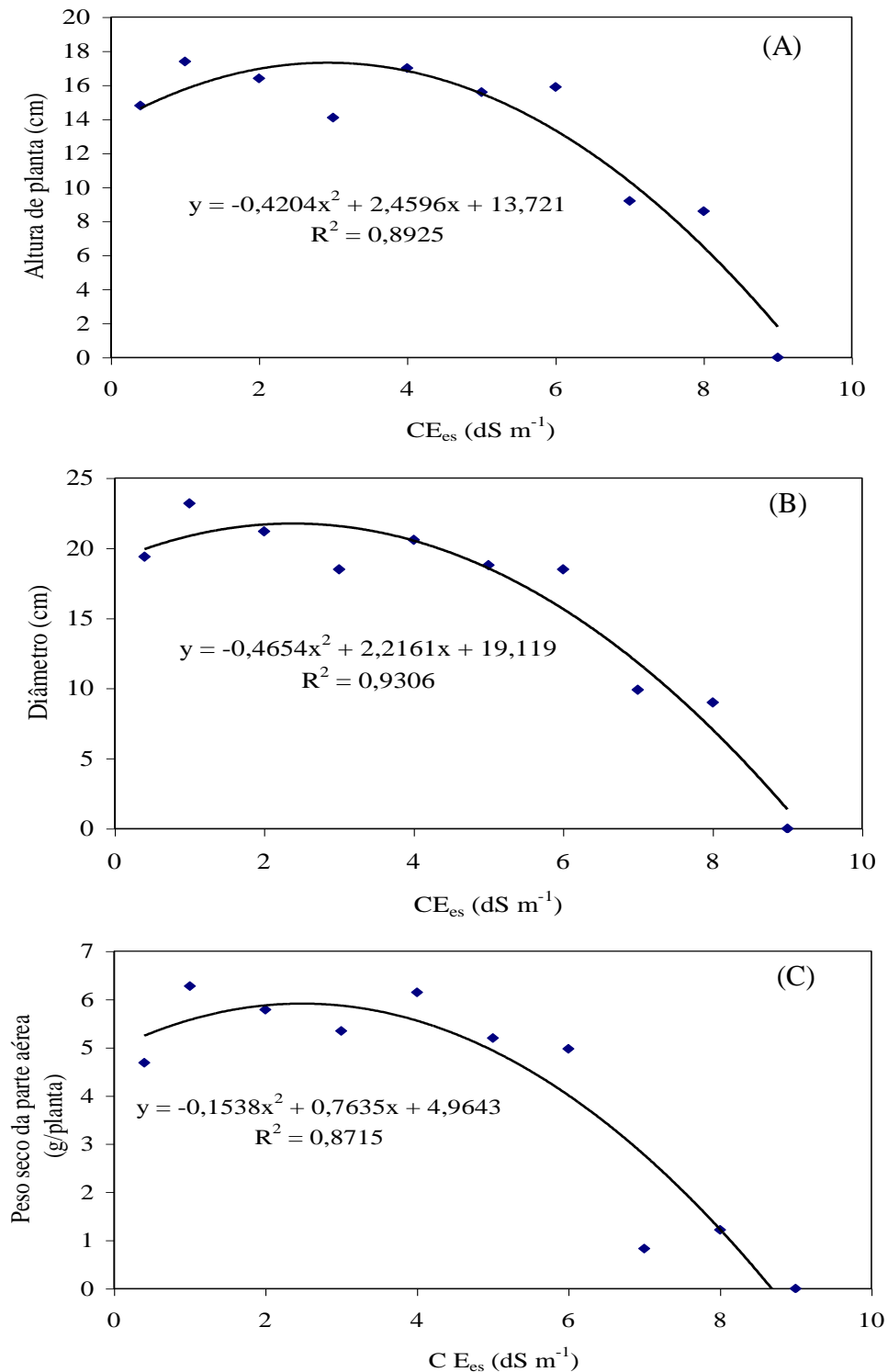
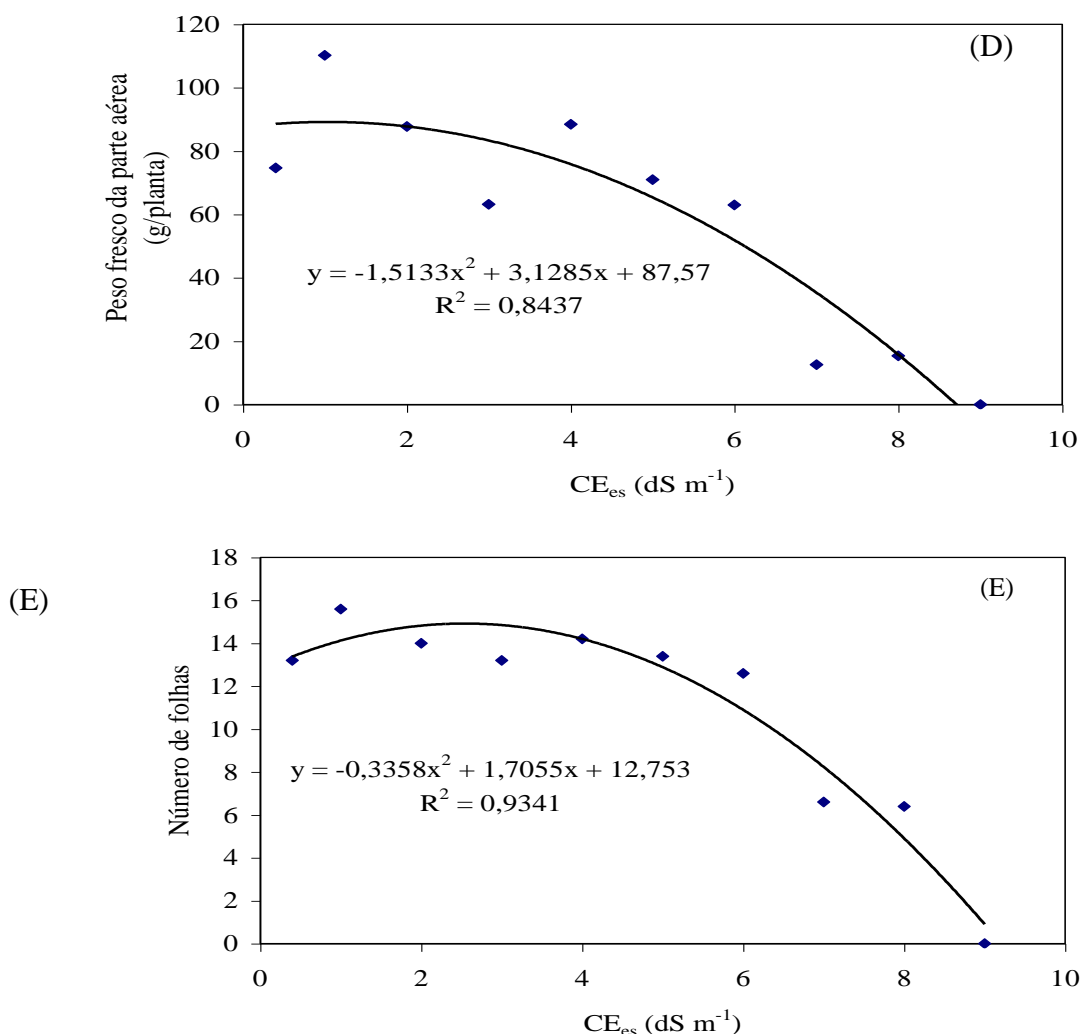


Figura 2- Equações de ajuste entre os valores obtidos para as variáveis: altura de planta (A), diâmetro do caule (B), peso seco da parte aérea, (C) peso fresco da parte aérea (D) e número de folhas (E), em função dos 9 níveis de salinidade do solo.



Continuação da **Figura 2**

consumo de água pelas plantas, ocorrida com o aumento da salinidade (Figura 3). Sabe-se que a concentração de sais solúveis na zona radicular reduz o fluxo de água no sentido solo – planta – atmosfera, devido ao efeito osmótico (RHOADES e LOVEDAY, 1990).

Com base na equação de regressão da Figura 3, constata-se que o consumo em S_0 foi 2,22 vezes maior que em S_9 , indicando que as plantas sofreram estresse hídrico, induzido pelo estresse salino (seca fisiológica), ocorrido pela redução do potencial osmótico da solução do solo, observação que esta de acordo com citações de Menguel e Kirkby (1987) e Dias (2004).

O efeito quadrático observado no consumo hídrico foi semelhante aos efeitos encontrados para as variáveis de crescimento da planta (altura e matéria seca), comprovando que o estresse salino induz ao menor consumo de água, como consequência da redução do crescimento.

Segundo Doorenbos e Kassam (1994), existe uma relação direta entre a evapotranspiração e o crescimento, ou seja, a evapotranspiração é igual à máxima, e da mesma forma o crescimento, quando a necessidade hídrica da planta é plenamente satisfeita. De modo contrário, quando existe uma restrição hídrica, ocorre redução do crescimento, fato constatado no presente estudo,

pois o aumento da CE_{es} reduziu o consumo de água pelas plantas a partir de um determinado nível

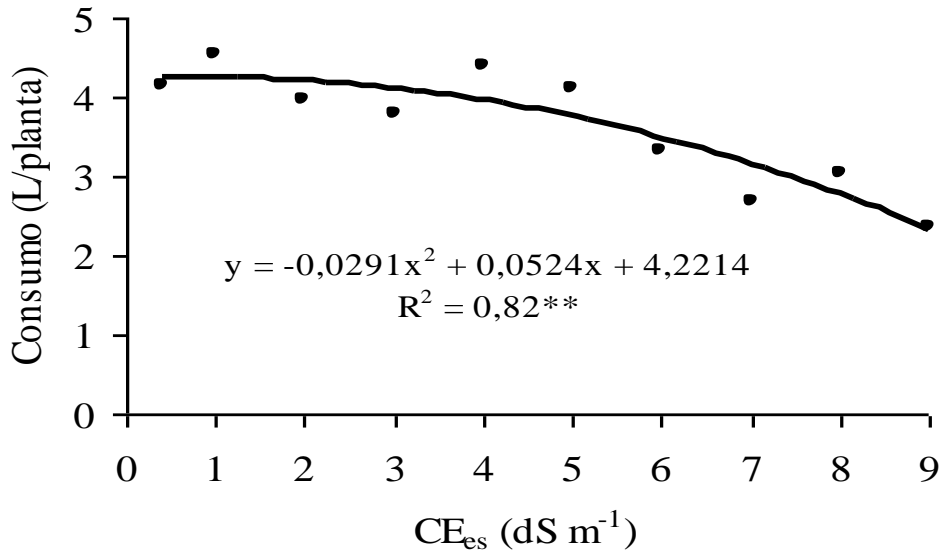


Figura 3 – Consumo de água ao longo do ciclo do meloeiro em função dos níveis de salinidade

6 CONCLUSÕES

Com exceção da variável peso fresco da parte aérea, as demais variáveis de avaliação da produtividade da alface revelaram que a planta tolerou níveis de salinidade superiores à aqueles comumente citados na literatura. Este fato sugere que a salinidade causada por excesso de fertilizantes pode acarretar um consumo de luxo de nutrientes pela cultura e, conseqüentemente, diminuir os efeitos negativos da tensão osmótica sobre a produtividade, quando se compara com salinização do solo causada por sais provindos de água de irrigação de qualidade inferior.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DIAS, N.S. **Manejo da fertirrigação e controle da salinidade em solo cultivado com melão rendilhado sob ambiente protegido**. 2004. 110 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p. (Estudos FAO, Irrigação e Drenagem, 33).
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Las necesidades de aguas de los cultivos**. Roma: FAO, 1977. 143 p. (Estúdios FAO: Riego, Drenaje, 24).
- FERREIRA, P.A.; MARTINEZ, M.A. Movimento e modelagem de sais no solo. In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. de (Ed.). **Manejo e controle da salinidade na**

- agricultura irrigada**. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande; Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1997. cap.6, p. 171-206.
- GALVÉZ, J.L. et al. Los invernaderos de cubierta asimétrica. **HortoFruticultura**, n.12. p.30-33, 1993.
- MAAS, E.V.; HOFFMAN, G.J. Crop salt tolerance: evaluation of existing data. In: PRECEEDING INTERNATIONAL SALINITY CONFERENCE, 1977. Lubbock: Texas Tech. University, 1977. p.187-198.
- MENGUEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 4.ed. Bern: International Potash Institute. 1987. 687 p.
- RHOADES, J.D.; LOVEDAY, J. Salinity in irrigated agriculture. In: STEWART, D.R.; NIELSEN, D.R. (Ed.). **Irrigation of agricultural crops**. Madison: AMERICAN SOCIETY OF AGRONOMY. 1990. p.1089 – 1142. (Agronomy Series, 30).
- RHOADES, J.D. Eletrical conductivity methods for measuring and mapping soil salinity. **Advances in Agronomy**, Newark, v. 49, n.1. p.201-251, 1994.
- RICHARDS, L. A. (Ed.). **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: U.S. Salinity Laboratory, 1954. 160 p. (Agriculture Handbook, 60).
- STANGHELLINI, C. Evapotranspiration in greenhouse with special reference to mediterranean conditions. **Acta Horticulturae**, Leuven, v.1, n.335, p.296-304, 1993.
- TANJI, K.K. Nature and extent of agricultural salinity. In: TANJI, K. K. (Ed). **Agricultural salinity assessment and management**. New York: ASCE, 1990. p. 1-17.