

## RECUPERAÇÃO DE UM SOLO SALINIZADO DEVIDO A EXCESSO DE FERTILIZANTES EM AMBIENTE PROTEGIDO.

**Sergio Nascimento Duarte<sup>1</sup>; Nildo da Silva Dias<sup>2</sup>; José Francisco Teles Filho<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, [snduarte@esalq.usp.br](mailto:snduarte@esalq.usp.br)*

<sup>2</sup>*Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, RN*

### 1 RESUMO

O aumento da salinidade em ambientes protegidos da região Sudeste do Brasil dá-se, geralmente, em função do excesso de fertilizantes aplicados via água de irrigação; portanto, é necessário que medidas preventivas e corretivas sejam tomadas, pois o uso intensivo de adubação, a falta de chuvas e a contínua evaporação da água do solo podem aumentar o teor de sais na solução do solo. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade da utilização da fórmula de Hoffman (1980) para o cálculo da lâmina de lavagem de recuperação de solos salinos. O experimento foi desenvolvido em duas estufas plásticas na área experimental do Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP. O estudo foi feito aproveitando-se de um experimento anterior em que o solo das parcelas experimentais passou por um processo de salinização artificial mediante adição de fertilizantes. Foram utilizadas 20 parcelas experimentais com salinidade inicial da camada de 0-40 cm entre 2 e 6 dS m<sup>-1</sup>, avaliados previamente por meios da medição da CE<sub>es</sub>. Procurou-se aplicar lâminas de lavagem, calculadas individualmente para cada nível da salinidade, com o intuito de abaixar a concentração de sais da solução do solo para níveis próximos a 1 dS m<sup>-1</sup>. Os resultados obtidos revelaram que a lâmina de lavagem foi subestimada, havendo a necessidade de se aplicar um maior volume de água.

**UNITERMOS:** salinidade, lixiviação, condutividade elétrica.

### **DUARTE, S. N.; DIAS, N. da S.; TELES FILHO, J. F. RECOVERY OF A SALINIZED SOIL DUE TO EXCESS OF FERTILIZERS UNDER GREENHOUSE CONDITIONS**

### 2 ABSTRACT

The increase of the salinity in greenhouses of the Southeastern region of Brazil usually occur because of the overapplication of fertilizers in irrigation water; therefore, preventive and corrective actions are necessary. Manure overuse, lack of rains and continuous soil water evaporation can increase salt concentration in a soil solution. The aim of this work was evaluate the use viability of the Hoffman's formula (1980) on calculation of leaching depths necessary for recovery of salinized soil. The experiment was carried out in two greenhouses located in the experimental area of the Department of Rural Engineering of the Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - USP, in Piracicaba, State of São Paulo, Brazil. The study took advantage of a previous experiment,

in which the experimental parcel soil was submitted to a process of artificial salinization by fertilizer addition. Twenty experimental parcels were used and had initial salinity of the 0-40 cm layer, between 2 and 6 dS m<sup>-1</sup>, previously evaluated by the measurement electric conductivity of the saturation extract. The depth of leaching water was calculated for each salinity level, in order to lower the concentration salts in the soil solution for levels close to 1 dS m<sup>-1</sup>. The results showed that Hoffman's formula underestimated the water depth and, thus, it was necessary to apply more water to completely recover the salinized soil.

**KEYWORDS:** salinity, leaching, electric conductivity.

### 3 INTRODUÇÃO

A salinização de solos sob cultivos em estufas tem sido um dos principais problemas desse sistema de cultivo. Segundo Trani et al. (1997), recentemente, vem se observando uma expansão menos acentuada do cultivo protegido com hortaliças no estado de São Paulo devido aos custos de instalação, manutenção e ao crescimento de pragas e doenças do solo, salinização, bem como devido à deficiência da pesquisa científica em tecnologia de cultivo protegido para hortaliças.

Com o advento da irrigação localizada veio a fertirrigação que, da mesma forma da adubação mineral convencional, pode salinizar o solo. Em irrigação localizada, com o cultivo intensivo das áreas visando altos rendimentos, o manejo inadequado da aplicação dos fertilizantes tem proporcionado baixa eficiência de utilização destes nutrientes. Neste contexto, tem-se cada vez aplicado mais adubos, elevando a concentração de sais na água de irrigação em até 1.000 mg L<sup>-1</sup>, o que resulta em um aumento na condutividade elétrica da água em mais de 1,5 dS m<sup>-1</sup>; para culturas sensíveis à salinidade esse valor já é suficiente para reduzir os seus rendimentos em até 20 % (Folegatti, 1999).

O incremento da salinização nos solos irrigados é inevitável, uma vez que os sais não participam do processo de evaporação, ou seja, a água retorna a atmosfera e os sais permanecem no solo em níveis crescentes e prejudiciais (Santos, 1997).

Em ambiente protegido, pelo fato da evapotranspiração diminuir em até 50 % e o rendimento da cultura elevar-se em até 100 %, quando comparado com o cultivo em campo aberto, a concentração de nutrientes na água de irrigação poderá ficar quatro vezes maior. De acordo com Medeiros (1998), em condições protegidas, os problemas de salinização podem se complicar ainda mais, pois a lixiviação dos sais depende apenas do excesso de água de irrigação, ao contrário do que ocorre em campo aberto, onde as chuvas que caem lavam os sais do solo.

Segundo Medeiros (1998), sob condições de ambiente protegido, na região de Campinas, mesmo irrigando com água de baixa salinidade (condutividade elétrica – CE < 0,30 dS m<sup>-1</sup>), cerca de 6 % das estufas avaliadas apresentavam solo salino e 40 % apresentavam solo ligeiramente salino. Nesse caso, a salinidade estava diretamente relacionada aos fertilizantes aplicados, e quanto maior era o tempo de cultivo na área, maior era o nível de salinidade.

Os níveis de salinidade do solo não podem ser reduzidos ao longo do tempo somente com o uso da irrigação e de práticas de manejo da cultura. Quando a salinidade do solo supera o limite de tolerância das culturas, deve-se parar o cultivo temporariamente e iniciar o processo de remoção dos sais por meios de práticas de recuperação. A seleção da prática

de recuperação adequada depende do diagnóstico da causa do problema de salinidade (Rhoades & Loveday, 1990).

O primeiro requisito para a recuperação de qualquer solo afetado por sais é a drenagem adequada. Em um solo com boa drenagem, a salinidade pode ser reduzida, para um nível tolerável, por meio de lâminas de lavagens de recuperação. A quantidade de água necessária para realizar a lavagem dos sais do perfil de solo é determinada em função do nível inicial da salinidade do solo, do nível final desejado e da profundidade de solo a ser recuperado (que depende da cultura a ser explorada). Além disso, depende das propriedades do solo à ser recuperado e do método de aplicação de lâmina de lavagem (Dias et al., 2003).

De acordo com Blanco & Folegatti (2001), em cultivos protegidos, como o método de irrigação mais utilizado é o gotejamento, é mais vantajoso realizar-se a recuperação do solo salinizado pelo próprio sistema de irrigação, uma vez que este já se encontra instalado na área. Portanto, caso não haja revolvimento do solo após um cultivo, a recuperação pode ser realizada por gotejamento, desde que o plantio da cultura subsequente seja realizado dentro da região do bulbo molhado do cultivo anterior, onde a redução da salinidade pela lavagem é satisfatória. Do contrário, quando o solo for revolvimento, a recuperação pode ser feita por inundação, ou mesmo por gotejamento logo após o prepara do solo devendo-se, neste caso, proceder à amostragem após o solo ser revolvido.

Embora tenham sido desenvolvidos modelos determinísticos para simular a recuperação de solos salinos, as estimativas da quantidade de água de lixiviação necessária para recuperação de solo salino são baseadas em relações empíricas derivadas de pesquisas e experiências de campo (Rhoades & Loveday, 1990).

Hoffman (1980), baseado em dados experimentais de campo, estabeleceu a seguinte relação:

$$\left(\frac{C}{C_o}\right)^x \left(\frac{La}{Ls}\right) = K' \quad (1)$$

em que:

$C$  = Concentração de sais que se deseja obter no solo após a lixiviação, dS m<sup>-1</sup>;

$C_o$  = Concentração de sais originalmente presentes no solo, dS m<sup>-1</sup>;

$La$  = Lâmina de água necessária para recuperar um solo salino, m;

$Ls$  = Profundidade do solo a ser recuperado, m;

$K'$  = Constante que varia com a textura do solo, adimensional.

Considerando a concentração salina da água aplicada ( $C_a$ ), a relação ( $C/C_o$ ) pode ser substituída por  $(C - C_a)/(C_o - C_a)$ . Este procedimento aperfeiçoa o cálculo de  $La$  quando  $C_a$  aumenta ou quando se aproxima da recuperação completa (isto é,  $C = C_a$ ). O valor da constante "k" varia com o tipo de solo e método de aplicação de água, que de acordo com Hoffman (1980), os valores representativos de "k" para o método de lavagem por inundação contínua são de 0,45 para solo orgânico, 0,3 para argiloso e 0,1 para solo franco arenoso. Geralmente, é assumido o valor de 0,3 para inundação contínua. Este autor revela também que "k" praticamente não depende do tipo de solo quando a lavagem é feita por inundação intermitente, aspersão ou gotejamento, podendo assumir o valor de 0,1 para a lavagem de recuperação usando estes métodos de irrigação.

Levando-se em consideração estes aspectos, este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho da equação proposta por Hoffman (1980) por intermédio da recuperação de um solo salinizado propositalmente por meio da aplicação excessiva de fertilizantes.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em duas estufas plásticas em uma área experimental pertencente ao Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” -USP, no município de Piracicaba-SP.

Para este estudo utilizou-se um experimento anterior em que o material de solo das parcelas experimentais passou por um processo de salinização artificial mediante adição de fertilizantes. O solo utilizado foi originado de um perfil classificado como Latossolo Vermelho fase arenosa, proveniente do campus da ESALQ e denominado Série “Sertãozinho”, do qual retiraram-se amostras da camada de 0-20 cm para as análises química (Tabela 1) e físico-hídricas (Tabela 2), realizadas no Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes da ESALQ. As parcelas experimentais tinham as seguintes dimensões: 2m de comprimento por 1m de largura e 0,40 m de profundidade, sendo estas isoladas lateralmente com material plástico. Foram utilizadas 20 parcelas experimentais com salinidade inicial na camada 0-40 cm variando entre 2 e 6 dS m<sup>-1</sup>, avaliados previamente por meio da medição da condutividade elétrica do extrato de saturação (CE<sub>es</sub>). Procurou-se aplicar lâminas de lavagem, calculadas individualmente para cada nível da salinidade, com o intuito de abaixar a concentração de sais da solução do solo para níveis próximos a 1 dS m<sup>-1</sup>.

**Tabela 1.** Atributos químicos do solo

Camada	pH	MO	P	S	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	CTC	V	m
Cm	(CaCl <sub>2</sub> )	g kg <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>							%	
0-20	4,3	7	2	4	1,1	9	4	3	14,1	44	18

**Tabela 2.** Atributos físico-hídricos do solo

Camada	CC	PMP	Dg	Frações granulométricas			Textura
				Argila	Silte	Areia	
Cm	--cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup> ---	kg dm <sup>-3</sup>	-----g kg <sup>-1</sup> -----			
0-20	0,214	0,137	1,4	280	80	640	Franco-arenosa

O preparo da pasta de saturação consistiu na agitação de 300 g da amostra de solo com espátula, em recipiente plástico de 600 mL, com adição gradual de água destilada, até que a mesma apresentasse as características desejadas, como superfície brilhosa, movimento lento em posição inclinada e fácil deslizamento sobre a espátula. Após o preparo da pasta, as amostras foram colocadas em repouso por 10 horas e em seguida retirado o extrato por sucção, determinando-se a CE<sub>es</sub> por meio de condutivímetro, conforme a metodologia proposta por Richards (1954).

O método de lavagem de recuperação foi o de inundação contínua, sendo a lâmina de lavagem aplicada calculada para cada parcela, utilizando-se a fórmula de Hoffman (1980), preconizada para o cálculo da lâmina de lavagem de recuperação de solos salinos. Inicialmente foi calculada a lâmina de água necessária para elevar o solo das parcelas à

capacidade de campo, e só a partir de então foram aplicadas as lâminas de lavagem de recuperação utilizando-se o sistema de irrigação localizada já existente no local. Logo após as aplicações foi colocado plástico de polietileno preto sobre as parcelas para evitar a evaporação da água. Cada parcela contava com 7 gotejadores distribuídos ao longo do seu comprimento, centralizados e espaçados 0,20 m. Para os cálculos do volume de água foi considerada uma largura de 0,15 m de abrangência da faixa molhada do gotejador e uma profundidade de 0,4 m, adotando-se um valor de  $k$  igual a 0,1. Vinte e quatro horas após as aplicações foram retiradas amostras de solo por parcela nas profundidades de 5 a 20 e de 25 a 40 cm para análise da  $CE_{es}$  e interpretação dos resultados. O valor da  $CE$  final de cada parcela foi considerado como a média destas duas amostragens.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos após aplicação da lâmina de lavagem dos sais foram, na média dos tratamentos, cerca de 49 % mais altos do que o esperado ( $1 \text{ dS m}^{-1}$ ). De forma geral, houve um rebaixamento dos níveis de sais do solo após a aplicação das lâminas de lavagem, porém como verificado na Tabela 3, possivelmente a quantidade de água aplicada não foi suficiente para diminuir a salinidade à concentração final desejada. Este método se mostrou eficiente para recuperação de solos afetados por sais, entretanto se faz necessário ajuste para se ter resultados mais satisfatórios. Blanco & Folegatti (2001), verificaram que a lavagem de recuperação de um solo salinizado, utilizando-se um sistema de irrigação por gotejamento, após um cultivo em ambiente protegido proporcionou maior redução da salinidade apenas na região próxima ao gotejador, dentro do bulbo molhado.

De acordo com Dias et al. (2003), na prática, não é possível se estimar, com exatidão, a lâmina de lavagem de recuperação necessária, pois ela é influenciada por diversos fatores que ocorrem simultaneamente, como o fluxo de água e a presença de fendas no solo, a solubilidade dos sais, as restrições na difusão dos sais e a dispersão hidrodinâmica. Neste caso, nem toda a água aplicada contribui, no processo de dessalinização, para a lavagem dos sais. Parte da lâmina de lavagem passa diretamente através das fendas e macroporos do solo e sai da zona radicular com a mesma concentração salina inicial, enquanto outra parte se mistura com a solução do solo e sai da zona radicular com uma concentração salina que depende da proporção da mistura, realizando a lavagem dos sais.

A menor eficiência na lixiviação dos sais observada na Tabela 3 (Parcelas 15, 16 e 19) pode estar associada à variabilidade espacial no solo destes fatores que influenciam a recuperação citado por Dias et al (2003), já que o método de coleta do solo para estimativa da  $CE_{es}$  é destrutivo, não sendo possível se estimar a  $CE_{es}$  de forma pontual após a recuperação, podendo resultar em superestimativa. Esta variabilidade espacial do solo pode ser natural ou provocada, pela desuniformidade do sistema de irrigação devido à variação de vazão dos gotejadores, entre outros.

Com os resultados obtidos na Tabela 3 e utilizando-se a equação 1, por meio de uma regressão linear, foi obtido um coeficiente  $k = 0,15$ , ou seja, possivelmente este seria um valor mais adequado para se estimar a quantidade de água a aplicar, o que resultaria em maiores lâminas. Portanto, sendo o valor de  $k$  dependente do tipo de solo e do método de aplicação da lâmina, fica claro que este é um coeficiente que reflete a eficiência do método de aplicação de acordo com a textura do solo a ser recuperado e, com isso, o valor de  $k$  varia de maneira inversamente proporcional à eficiência do método para cada tipo de solo.

Tabela 3. Valores iniciais e finais de salinidade do solo (CE) das parcelas, após aplicação de lâmina de lavagem.

Parcelas*	Lâmina de Lavagem (mm)	CEinicial	CEfinal
		(dS m <sup>-1</sup> )	
1	90,0	2,25	1,10
2	89,4	2,24	0,92
3	67,4	1,69	0,67
4	100,8	2,52	1,12
5	121,8	3,05	1,08
6	88,0	2,20	1,92
7	62,0	1,55	0,61
8	108,6	2,71	2,08
9	91,0	2,27	1,17
10	135,6	3,39	2,13
11	158,4	3,96	1,28
12	178,6	4,46	1,07
13	95,2	2,38	1,52
14	99,8	2,49	1,55
15	74,4	1,86	2,02
16	74,8	1,87	1,10
17	138,2	3,45	1,85
18	107,2	2,68	2,23
19	67,0	1,67	1,32
20	99,8	2,49	2,97
Média	102,4	2,56	1,48

\* Lâmina para elevar o solo das parcelas à capacidade de campo foi de 53 mm.

## 6 CONCLUSÕES

Tendo em vista as condições em que o experimento foi conduzido, concluiu-se que a fórmula de Hoffman, aplicada com a constante k de 0,1 subestimou a lâmina de lavagem ideal para a recuperação do solo, havendo, portanto a necessidade de se aplicar mais água.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLANCO, F. V.; FOLEGATTI, M. V. Recuperação de um solo salinizado após cultivo em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.1, p.76-80, 2001.

DIAS, N. S. et al. **Prevenção, manejo e recuperação dos solos afetados por sais**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/Universidade de São Paulo, 2003. 118 p. (Série Didática n.13).

FOLEGATTI, M. V. Salinização em áreas cultivadas: manejo e controle. In: FOLEGATTI, M. V. (Ed.). *Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças*. Guaíba: Agropecuária, 1999. p.201-240.

HOFFMAN, G. J. Guidelines for reclamation of salt-affected soils. In: INTERAMERICAN SALINITY WATER MANAGEMENT TECHICAL CONFERENCE, Juarez, 1980. Proceedings. Juarez, 1980. p. 49-64.

MEDEIROS, J. F. **Manejo da água de irrigação salina em estufa cultivada com pimentão**. 1998. 152f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

RHOADES, J. D.; LOVEDAY, J. Salinity in irrigated agriculture. In: STEWART, D. R.; NIELSEN, D. R. (Ed.) *Irrigation of agricultural crops*. Madison: ASA, 1990. p. 1089-1142. (Agronomy, 30).

RICHARDS, L.A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: United States Salinity Laboratory, 1954. 160 p. (USDA. Agriculture Handbook, 60).

SANTOS, J. G. R. dos. **Desenvolvimento e produção da bananeira nanica sob diferentes níveis de salinidade e lâminas de água**. 1997. 173f. (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, 1997.

TRANI, P. E.; GROPPPO, G. A.; SILVA, M. C. P.; MINAMI, K.; BURKE, T. J. Diagnóstico sobre a produção de hortaliças no estado de São Paulo. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 15, n. 1, p. 19-24, 1997.