

**MANEJO DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO SALINA EM ESTUFA
CULTIVADA COM PIMENTÃO**

JOSÉ FRANCISMAR DE MEDEIROS
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. **DÉCIO EUGÊNIO CRUCIANI**
Co-Orientador: Prof. Dr. **MARCOS VINICIUS FOLEGATTI**

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura
“Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, para
obtenção do título de Doutor em Agronomia, Área
de Concentração: Irrigação e Drenagem.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
janeiro - 1998

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - Campus "Luiz de Queiroz"/USP

Medeiros, José Francismar de

Manejo da água de irrigação salina em estufa cultivada com pimentão / José Francismar de Medeiros. - Piracicaba, 1998.

152 p.

Tese (doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1998.
Bibliografia.

1. Água-salinidade 2. Estufa 3. Irrigação 4. Pimentão 5. Salinidade do solo
(controle) I. Título

CDD 635.643

**MANEJO DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO SALINA EM ESTUFA
CULTIVADA COM PIMENTÃO**

JOSÉ FRANCISMAR DE MEDEIROS

Aprovada em: 13.03.1998

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Décio Eugênio Cruciani

ESALQ/USP

Prof. Dr. Sergio Nascimento Duarte

ESALQ/USP

Prof. Dr. Keigo Minami

ESALQ/USP

Prof. Dr. Hans Raj Gheyi

CCT/UFPB

Geol. Dr. Antônio Melhem Saad

IPT



Prof. DÉCIO EUGÊNIO CRUCIANI

Orientador

Este trabalho é um tributo ao pequeno agricultor brasileiro, que se desdobra e luta, com bravura e sofrimento, para produzir alimento para este povo, e não tem seu esforço reconhecido.

*Em memória ao meu pai, Francisco,
pela sua inteligência, criação e esforços
para a formação moral e intelectual
dos seus filhos, e ao meu irmão Pedro.*
MINHA HOMENAGEM

*À Risalva, que me acompanhou de perto em
todas as atividades, dando força e carinho;*

À minha mãe;

Aos meus tios, irmãos e primos;

Aos meus filhos.

OFEREÇO E DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus, que me fez participante de sua filiação, inteligência, bondade e vida, nunca me abandonando nos momentos difíceis.

Ao Departamento de Engenharia Agrícola - Escola Superior de Agricultura de Mossoró (ESAM) pela liberação para cursar este doutorado.

Ao Departamento de Engenharia Rural - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), pela oportunidade concedida para realização deste curso e apoio para o desenvolvimento deste trabalho de tese.

Ao CAPES-PICDT, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Prof. Hans Raj Gheyi, do Departamento de Engenharia Agrícola - UFPB/CCT, pelo incentivo para realização deste curso e pelas sugestões dadas durante a elaboração do projeto e desenvolvimento da pesquisa de campo.

Ao Prof. Décio Eugênio Cruciani, por ter contribuído de forma decisiva na escolha deste tema para estudar e pela objetiva orientação no desenvolvimento do trabalho.

Ao Prof. Marcos Vinicius Folegatti, pelos esforços feitos no sentido de possibilitar a realização da pesquisa, pela orientação e pelo estímulo ao estudo e ao trabalho.

Ao Prof. Keigo Minami, Departamento de Horticultura da ESALQ, por ter me incentivado para realização deste trabalho, como pelas sugestões dadas durante o desenvolvimento da pesquisa.

Aos componentes da comissão julgadora Prof. Sérgio Nascimento Duarte e Eng^o Geol. Antônio Melhem Saad, que juntos com os demais, contribuíram incisivamente na melhoria e engradecimento deste trabalho.

À coordenação, professores e todos os colegas do Curso de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem, pela contribuição científica e proveitosas amizades.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ, pela valiosa colaboração.

Aos Prof. Carlos Tadeu dos Santos Dias, da ESALQ/USP, Prof. César Gonçalves de Lima, FZEA/USP, Prof. Francisco Bezerra Neto, da ESAM, e Prof. João Gil Luna, do CCT/UFPB, pelas orientações no planejamento do experimento e nas análises estatísticas.

Ao Agrônomo Roberto, pela sua ajuda incontestada, durante o trabalho de campo.

Ao Sr. Francisco Rodrigues, pelos “trabalhos tratorais” realizados por ocasião da instalação do experimento de campo, sem os quais, não tinha atingido o sucesso desejado.

Finalmente, à todos aqueles que de uma forma ou de outra contribuíram para o sucesso deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE APÊNDICES	xiv
RESUMO	xv
SUMMARY	xvii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Considerações gerais	4
2.2. Necessidade hídrica e regime de irrigação para cultura do pimentão	5
2.3. Qualidade da água de irrigação	8
2.4. Balanço de sais na zona radicular e fração de lixiviação	13
2.5. Fatores que afetam a salinidade do solo e resposta das culturas à salinidade ..	19
2.5.1. <i>Salinidade integrada no tempo e no espaço</i>	21
2.5.2. <i>Frequência de irrigação</i>	23
2.5.3. <i>Necessidade de lixiviação</i>	25
2.5.4. <i>Frequência de lixiviação</i>	29
2.6. Salinidade e crescimento das plantas	30
2.7. Recuperação de solos salinos	37
3. MATERIAL E MÉTODOS	40
3.1. Localização e características da área experimental	40
3.2. Cultura	40
3.3. Descrição das estruturas experimentais	41
3.4. Experimento I	42
3.4.1. <i>Características químicas e físico-hídricas do solo</i>	42
3.4.2. <i>Sistema de irrigação e equipamentos para medidas climáticas</i>	46
3.4.3. <i>Tratamentos e delineamento estatístico</i>	46
3.4.4. <i>Preparação das águas e controle das irrigações</i>	47

	Página
3.4.5. <i>Condução do trabalho</i>	49
3.4.6. <i>Parâmetros avaliados</i>	50
3.5. Experimento II	61
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
4.1. Experimento I	63
4.1.1. <i>Desenvolvimento vegetativo da planta de pimentão</i>	63
4.1.2. <i>Balanço hídrico da cultura</i>	68
4.1.3. <i>Balanço de sais na zona radicular</i>	77
4.1.4. <i>Concentração mineral das folhas de pimentão e fertilidade do solo</i>	87
4.1.5. <i>Rendimento e os componentes de produção da cultura do pimentão</i>	92
4.1.6. <i>Caracteres dos frutos</i>	101
4.1.7. <i>Tolerância do pimentão à salinidade</i>	108
4.2. Experimento II - Recuperação do solo salinizado	112
4.3. Considerações finais e recomendações	117
5. CONCLUSÕES	120
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122
APÊNDICES	139

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Estufa utilizada no experimento e sua localização na área	41
2 Croqui da área experimental e esquema do sistema de irrigação	43
3 Salinidade das águas em cada irrigação ao longo do ciclo da cultura e média ponderada com o volume aplicado	48
4 Esquema de uma parcela experimental, mostrando as posições das plantas, tensiômetros, gotejadores e pontos de amostragem de solo	53
5 Coeficientes de cultivo adotados para estimar a lâmina de irrigação para as parcelas do tratamento controle (S1L0)	57
6 Crescimento das plantas de pimentão para cada nível de salinidade da água e lâmina relativa de irrigação	64
7 Fotos mostrando a distribuição de raízes no perfil transversal aos canteiros	69
8 Porcentagem de água absorvida por camada pela cultura do pimentão, estimada pelo balanço hídrico, em função do tempo	70
9 Coeficiente de cultivo do pimentão medido, sob estufa, em função do tempo	73
10 Lâmina acumulada de evapotranspiração da cultura do pimentão, sob estufa, para cada salinidade da água e lâmina relativa de irrigação	74
11 Fração de lixiviação estimada a partir do balanço hídrico para diferentes épocas de desenvolvimento da cultura, para cada salinidade da água e lâmina relativa de irrigação	78
12 Perfis de salinidade do solo aos 20 e 165 dias após o transplante, para cada salinidade da água e lâmina relativa de irrigação, em estufa cultivada com pimentão	79
13 Evolução da salinidade do solo ao longo do ciclo da cultura para cada camada do solo, e para cada salinidade da água e lâmina relativa de irrigação	81
14 Perfis de salinidade medidos transversalmente ao canteiro, a 10 cm das plantas, em parcelas que foram submetidas aos tratamentos S3L0 e S3L2	83
15 Curvas de salinização do solo por camada para cada água e lâmina relativa de irrigação, estimados pela equação de armazenamento de sais .	84

	Página
16	Produção de pimentão verde acumulada ao longo de nove colheitas para cada nível de salinidade da água e lâmina de irrigação 92
17	Número de frutos de pimentão verde acumulado ao longo de nove colheitas para cada nível de salinidade da água e lâmina de irrigação 93
18	Peso médio de frutos verdes de pimentão em cada colheita, ao longo do ciclo cultural, para cada nível de salinidade da água e lâmina de irrigação 94
19	Rendimento total (TOT) e comercial (COM) de pimentão, híbrido 'Luis', sob estufa, até a 115 e 165 dias após o transplantio, em função da salinidade da água de irrigação 97
20	Número de frutos por planta e peso médio dos frutos total (TOT) e comercial (COM) de pimentão, híbrido 'Luis', sob estufa, até a 115 e 165 dias após o transplantio, em função da salinidade da água de irrigação 101
21	Comprimento, largura e relação entre comprimento e largura dos frutos de pimentão nas primeiras 6 colheitas para cada salinidade da água e lâmina relativa de irrigação 103
22	Salinidade média do solo ao longo do tempo e ponderada com a quantidade de água absorvida pela cultura nas camadas 0-20, 20-40 e 40-60, considerando ciclos de 115 e 165 dias, em função da salinidade da água de irrigação 110
23	Rendimento total e comercial de pimentão, considerando os ciclos de 115 e 165 dias, em função da salinidade do solo ponderada com a fração de água absorvida em cada camada 111
24	Salinidade do solo da estufa, antes e após a recuperação, aplicando água por gotejamento e por inundação, em função da lâmina relativa de lavagem (LL) 114
25	Valores da constante k para o método de irrigação por gotejamento e inundação e em função da lâmina de lavagem aplicada 116
26	Perfis de salinidade após <u>dessalinização</u> do solo usando irrigação por gotejamento e inundação e aplicando lâminas de lavagem 33% menor (D1) e 33% maior (D3) do que a calculada por Hoffman (1980) 116

LISTA DE TABELAS

	Página
1	Granulometria média e classe textural do solo da área experimental, densidade global e resultados da análise de fertilidade do solo da estufa . 44
2	Parâmetros da equação de retenção de água do solo para os blocos da área experimental em diferentes profundidades 45
3	Parâmetros da equação de condutividade hidráulica em função do módulo do potencial mátrico da água do solo para as profundidades de 20, 40, e 60 cm 45
4	Resumo da ANAVA e médias da altura (cm) das plantas de pimentão em quatro épocas distintas, para cada salinidade da água e lâmina relativa de irrigação 65
5	Início da floração em função da salinidade da água e da lâmina relativa de irrigação 66
6	Resumo da ANAVA e médias do peso de biomassa fresco e seco das plantas de pimentão aos 165 dias após o transplantio e da porcentagem de matéria seca, para cada salinidade da água e lâmina relativa de irrigação 67
7	Média, ao longo do ciclo cultural, da área molhada (m^2) pela irrigação por parcela, para cada salinidade da água e lâmina relativa de irrigação .. 68
8	Resumo da ANAVA e médias da porcentagem de água absorvida por camada durante o ciclo cultural da planta de pimentão, estimada pelo balanço hídrico, para cada salinidade da água e lâmina relativa de irrigação 71
9	Resumo da ANAVA e médias dos valores absolutos do potencial mátrico médio (kPa) do solo ao longo do tempo, assumindo as profundidades de 20, 40 e 60 cm, e comprimento do ciclo da cultura de 115 e 165 dias 72
10	Evaporação do tanque classe A (ECA) medida dentro da estufa, e evapotranspiração da cultura (ETc) e coeficiente de cultivo (Kc) para o pimentão irrigado com água S1 para diferentes períodos de cultivo 73
11	Resumo da ANAVA e médias das lâminas de irrigação, de evapotranspiração (ETc) e de drenagem profunda ajustada (R) e da fração de lixiviação (FL), estimados pelo balanço hídrico para a cultura do pimentão, sob estufa 75

12	Resumo da ANAVA e médias da salinidade média do solo ao longo do tempo, assumindo as profundidades de 20, 40 e 60 cm, e comprimento do ciclo da cultura de 115 e 165 dias, como também, da salinidade média na profundidade de 60 cm, no final do cultivo	85
13	Médias ao longo do tempo da salinidade simulada, assumindo a média aritmética para diferentes profundidades da zona radicular e média ponderada com a porcentagem de água absorvida por camada em cada fase do ciclo cultural	86
14	Concentração mineral nas folhas de pimentão aos 115 dias do transplântio para cada salinidade da água e lâmina relativa de irrigação ..	88
15	Resumo da ANAVA e médias da concentração mineral das folhas de pimentão aos 165 dias do transplântio para cada salinidade da água e lâmina relativa de irrigação	88
16	Resumo da ANAVA e médias da concentração dos cátions e do fósforo extraíveis e PST na camada 0-20 cm no final do cultivo, para cada salinidade da água e lâmina relativa de irrigação	91
17	Resumo da ANAVA e médias dos rendimentos total e comercial de pimentão, assumindo os comprimentos do ciclo da cultura de 115 e 165 dias, para cada salinidade da água e da lâmina relativa de irrigação	96
18	Resumo da ANAVA e médias do número de frutos total e comercial de pimentão, assumindo comprimentos do ciclo cultural de 115 e 165 dias, para cada salinidade da água e lâmina relativa de irrigação	99
19	Resumo da ANAVA e médias do peso médio dos frutos totais e comerciais de pimentão, assumindo comprimentos do ciclo cultural de 115 e 165 dias, para cada salinidade da água e lâmina relativa de irrigação	100
20	Resumo da ANAVA e médias do comprimento (C), da largura (L), da relação entre comprimento e largura do fruto, índice de qualidade (IQ), das porcentagens de frutos com comprimento superior a 13,5 cm (PC135) e inferior a 9,0 cm (PC90) e com largura maior do que 7,0 cm (PL70) para a produção obtida até a quinta colheita	104
21	Resumo da ANAVA e médias de frutos com podridão estilar para as 5 primeiras colheitas e para as 4 últimas, expressas em rendimento e em número de frutos	105
22	Resumo da ANAVA e médias da espessura da polpa e da porcentagem de matéria seca dos frutos da terceira e sexta colheita	107

	Página
23	Resumo da ANAVA e valores médios, durante o ciclo, dos módulos dos potenciais (kPa) e da salinidade (dS.m^{-1}) do solo ponderados com a porcentagem de água absorvida pelo sistema radicular do pimentão em cada camada 109
24	Coefficientes de correlação entre os dados de rendimento obtidos até 115 ou 165 dias de cultivo e parâmetros do solo, expressos como média durante os ciclos culturais 111
25	Valores médios da lâmina de lavagem e salinidade do solo na profundidade 0-60 cm antes da recuperação para as parcelas que iriam ser recuperadas com irrigação por gotejamento e inundação e sob três lâminas relativas de lavagem 113
26	Resumo da ANAVA e médias da salinidade do solo após recuperação (CE_F), da redução de salinidade ($\text{CE}_F - \text{CR}_I$), da relação entre a salinidade após e antes da recuperação (CE_F/CR_I) e do coeficiente (k) da equação de recuperação, obtidos nas parcelas recuperadas por gotejamento e inundação e usando três lâminas relativas de lavagem 113

LISTA DE APÊNDICES

		Página
1	Descrição de um perfil característico do solo da área onde se realizou o experimento	140
2	Exemplos ilustrando a obtenção das equações $K(h)$	142
3	Valores médios e erro padrão por períodos para diferentes parâmetros climáticos e do solo, medidos no interior da estufa	143
4	Lâminas de irrigação aplicadas acumuladas para menor lâmina relativa de irrigação (L_0), para cada tipo de água de irrigação, e evaporação do tanque classe A acumulada dentro da estufa	144
5	Concentrações de adubos e sais adicionados às águas de irrigação ($\text{mmol}_c \cdot \ell^{-1}$) ao longo do ciclo cultural	145
6	Quantidades de nutrientes aplicadas por parcela, via água de irrigação, para cada período	147
7	Relação entre a condutividade elétrica do extrato de saturação (salinidade do solo) e condutividade elétrica obtida no sobrenadante da mistura de 1 parte de solo para duas partes de água, em peso	148
8	Módulo do potencial mátrico ao longo do tempo, nos diferentes tratamentos estudados, nas profundidades de 10, 30, 50 e 70 cm	149

MANEJO DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO SALINA EM ESTUFA CULTIVADA COM PIMENTÃO.

Autor: JOSÉ FRANCISMAR DE MEDEIROS

Orientador: Prof. Dr. DÉCIO EUGÊNIO CRUCIANI

Co-Orientador: Prof. Dr. MARCOS VINICIUS FOLEGATTI

RESUMO

Devido à falta de conhecimento por parte dos nossos agricultores e técnicos da tecnologia apropriada para o cultivo de hortaliças, tem sido freqüentes os problemas de salinização do solo. Sendo as hortaliças as plantas cultivadas mais sensíveis à salinidade, pequenos acúmulos de sais no solo podem diminuir a produção destas culturas, tanto em quantidade quanto em qualidade. Assim, o presente trabalho teve como objetivo estudar os efeitos de diferentes níveis de salinidade da água e da lâmina de irrigação que excede a evapotranspiração da cultura no desenvolvimento vegetativo e rendimento do pimentão e no processo de salinização do solo e avaliar procedimentos para controlar a salinidade do solo. Para isso, foram conduzidos dois experimentos em uma estufa de 200 m². No primeiro foi estudado o efeito da concentração de sais na água e da lâmina excedente de irrigação. Neste caso, foram aplicadas três lâminas de água proporcionais à evapotranspiração atual da cultura (1,0, 1,15 e 1,3ETa), com CE de 1,29, 2,54 e 4,45 dS.m⁻¹, de modo que a menor lâmina era suficiente para repor o uso consuntivo da cultura, monitorado com tanque classe A e tensiômetros.

Os resultados do primeiro experimento indicando a salinização do solo e o rendimento da cultura levaram ao estabelecimento dos parâmetros adotados no segundo

experimento iniciado logo a seguir. Este experimento foi conduzido em 24 parcelas que foram irrigadas com as águas mais salinas no primeiro experimento, e os tratamentos testados foram a combinação de dois métodos de aplicação de água (gotejamento e inundação) com três lâminas relativas de lavagem (0,67LL, 1,0LL e 1,33LL), em que LL foi calculada segundo Hoffman (1980), de modo a reduzir a salinidade na camada 0-60 cm para $1,5 \text{ dS.m}^{-1}$.

O resultados obtidos permitem concluir que para cada incremento unitário de salinidade da água houve uma redução de 6% do peso da planta e na sua ETa, tomando como base os valores obtidos para a água menos salina. Quanto ao rendimento do peso total de frutos colhidos num ciclo de 165 dias, a redução por unidade de incremento de salinidade foi de 8,2%, similar às perdas de rendimento observada para um ciclo de 115 dias. Considerando-se apenas a produção comercial, a redução do rendimento durante todo ciclo chegou a 10,2%. Por outro lado, esses mesmos parâmetros de produção não foram afetados significativamente pelas lâminas de irrigação equivalentes a 1,0, 1,15 e 1,3 da ETa. Os excessos de água de irrigação correspondentes a 15 e 30% da ETa produziram frações de lixiviação de 0,13 e 0,23, respectivamente. Entretanto, contrariando o que seria esperado, estas frações de lixiviação não conseguiram reduzir a salinidade do solo medida no perfil de 0 a 60 cm, em relação à menor fração (0,06). O experimento também revelou que para a cultura do pimentão $1,5 \text{ dS.m}^{-1}$ na salinidade do solo pode ser considerado como valor limite de tolerância, em concordância com o estabelecido pela literatura, fato semelhante ocorrido com a perda do máximo rendimento relativo, que ficou próximo de $14\% / (\text{dS.m}^{-1})$. Observou-se ainda, que a equação proposta por Hoffman (1980) para estimar a lâmina de lavagem para recuperar o solo salinizado de uma estufa, apresentou resultados satisfatórios.

Finalmente, pode concluir-se que não é recomendável utilizar para a cultura do pimentão água, incluindo os adubos, com salinidade acima de $2,5 \text{ dS.m}^{-1}$ e que se deve aplicar lâminas de lavagem quando a salinidade do solo for cerca de $2,0 \text{ dS.m}^{-1}$.

PALAVRAS-CHAVE: Irrigação; Salinidade; Pimentão; Estufa; Ambiente protegido.

MANAGEMENT OF SALINE IRRIGATION WATER FOR SWEET PEPPER CULTIVATED IN GREENHOUSE

Author: JOSÉ FRANCISMAR DE MEDEIROS

Adviser: Prof. Dr. DÉCIO EUGÊNIO CRUCIANI

Co-Adviser: Prof. Dr. MARCOS VINICIUS FOLEGATTI

SUMMARY

Due to the lack of knowledge of the appropriate technology for greenhouse cultivation by our farmers and technicians, problems of soil salinization have been frequently observed to affect the cultivation of the vegetables under these conditions. As the vegetables are more sensitive to soil salinity, small accumulations of salts in the soil may decrease the production of these crops, in amount as well as in quality. The objective of the present work was to study the effects of different levels of water salinity and depths of irrigations, exceeding evapotranspiration of crop, on growth and yield of sweet pepper, risks of soil salinization and to evaluate procedures to control it. Two experiments were conducted in a greenhouse of 200 m². In the first experiment, the effect of salt concentration of irrigation water and depth of irrigation in soil salinization and crop yield were studied. In this case, 3 depths of water, equivalent to 1.0, 1.15 and 1.3 of actual evapotranspiration (ET_a), and electrical conductivities (EC) of 1.29, 2.54 and 4.45 dS.m⁻¹ were applied. The smallest depth was enough to restore the consumptive use of the crop, monitored with class A pan and tensiometers.

Results of the first experiment with respect to soil salinization and crop yield permitted to establish the limits of treatments for second experiment which begun soon after. This experiment was carried out in 24 plots irrigated with the most saline waters of first experiment and other treatments consisted of combination of two methods of water application (trickle and flood) with three leaching depths (0.67LD, 1.0LD and 1.33LD).

The LD was calculated according to equation recommended by Hoffman (1980) to reduce soil salinity in 0-60 cm depth to 1.5 dS.m^{-1} .

Results showed that for each unit increment of water salinity, there was 6% reduction in plant weight and ET_a , in relation to the values obtained for the least saline water. For pepper yield such reduction was found to be 8.2% for crop cycle of either 115 or 165 days, though for the commercial production, the reduction of the yield during whole cycle was 10.2%. On the other hand, the production parameters were not significantly affected by irrigation depths. The surplus irrigation water corresponding to 15 and 30% of ET_a produced leaching fractions of 0.13 and 0.23, respectively. However, these leaching fractions were not able to reduce the soil salinity in the 0-60 cm depth, in comparison to the smallest fraction (0.06). The experiment revealed that for sweet pepper crop soil salinity up to 1.5 dS.m^{-1} in the saturation extract of the soil may be considered as critical limit of tolerance, in accordance with the literature. Similarly the loss in relative yield due to per unit increase of soil salinity beyond this limit was nearly 14%. To reduce soil salinity value below the critical limit of crop tolerance, the equation proposed by Hoffman (1980) presented satisfactory results to estimate leaching depths to reclaim the saline soil under greenhouse conditions.

Finally, it may be concluded that it is not recommendable to use irrigation water of salinity, including due to incorporation of fertilizers, beyond 2.5 dS.m^{-1} , and that adequate depths of water should be applied to leach soil when salinity in soil attains values beyond 2.0 dS.m^{-1} .

KEY WORDS: Irrigation; Salinity; Sweet pepper; Greenhouse; Protected environment.

1. INTRODUÇÃO

Para suprir a taxa de crescimento da demanda de alimentos é necessário um incremento anual na área irrigada por volta de 2,25% (Rhoades et al., 1992). Com as limitações para a expansão da área irrigada, por razões, entre elas, do alto custo atual da irrigação e das áreas adequadas e suprimentos de água disponíveis para irrigação já terem sido praticamente todos utilizados (FAO, 1988), uma outra maneira de aumentar a produtividade e produção de alimentos, é através do cultivo em estufa, pois esta prática permite maior produtividade e requer menor quantidade de água. Segundo Stanghellini (1993), a FAO estima que a evapotranspiração é reduzida em 30% e que o uso de água por unidade de produção pode ser diminuído em até 50%, dado a maior produtividade dos cultivos em ambientes protegidos.

O desenvolvimento do cultivo em estufas tem crescido no mundo a uma taxa muito elevada (Nelson, 1991). De acordo com Martalerz (1977), a área total em todo mundo era de aproximadamente 300.000 ha. Atualmente, nos países mediterrâneos, que antes tinham pouca tradição de uso desta tecnologia, passaram a utilizá-la intensivamente. De acordo com Bot (1992), as exigências em produtos de melhor qualidade e proteção ambiental tem despertado os interesse para o cultivo em estufa.

No Brasil também tem-se observado um aumento significativo do uso de estufas, sobretudo nas regiões Sudeste e Sul. Sua expansão tem se dado mais para o cultivo de hortaliças, visando protegê-las das chuvas, granizos e geadas, e procurando obter-se produtos de boa qualidade e maior produtividade. Segundo Oliveira (1995), a superfície coberta por estufa no Brasil era estimada em 1000 ha, utilizadas para o cultivo e produção de plantas ornamentais, hortaliças e mudas das mais variadas espécies de

plantas e que estão presentes em todas as regiões do Brasil. Há uma projeção de que a área coberta com estufa deva dobrar a cada 5 anos (Araújo¹).

Entretanto, a pesquisa científica no Brasil sobre o cultivo em estufa, ainda é muito incipiente. Com a expansão da atividade, vários problemas surgidos têm sido relatados por agricultores e técnicos envolvidos com esta atividade agrícola no Estado de São Paulo.

Devido à falta de conhecimento da tecnologia apropriada para este tipo de cultivo, tem sido freqüentes os problemas de salinização do solo, prejudicando o cultivo das hortaliças nessas condições. Estes problemas provavelmente estão relacionados ao manejo inadequado da irrigação e fertilização.

Embora as águas de irrigação atualmente utilizadas sejam de boa qualidade, altas doses de fertilizantes aplicadas via água de irrigação têm elevado os níveis de salinidade da água. Além disso, o uso de águas subterrâneas que apresentem concentrações salinas relativamente elevadas, como ocorre em algumas regiões do Estado de São Paulo, pode piorar ainda mais o problema.

O manejo da irrigação em estufa é diferente, quando se compara com irrigação em condições de campo, em regiões sub-úmidas, pois não se pode contar com a água de chuva. Assim sendo, o manejo da irrigação, com respeito ao controle da salinidade do solo, assemelha-se muito às condições de regiões áridas, onde somente a água de irrigação é responsável pelo suprimento das necessidades hídricas da cultura e pela possível lixiviação dos sais no perfil.

Para promover uma lixiviação adequada de sais da zona radicular das culturas durante o cultivo, necessita-se de uma estimativa bastante precisa da evapotranspiração da cultura, que para estufa, segundo Baille (1992), pode ser bastante diferente das condições de campo, e ainda, que o solo tenha boa drenagem interna. Segundo Ayers & Westcot (1991) e Rhoades & Loveday (1990), a lâmina de água adicional à evapotranspiração, depende principalmente da concentração de sais da água de irrigação e da tolerância da cultura à salinidade.

¹ARAÚJO, J.A.C. (FCAVJ/UNESP, Jaboticabal). Comunicação pessoal, 1995.

Com respeito as culturas exploradas em estufa no Estado de São Paulo, observa-se que as mais cultivadas são plantas floríferas, pimentão, tomate, pepino, alface, abobrinha, melão, entre outras, que segundo Oliveira (1995) não diferem muito das culturas exploradas em outras regiões do país. Talvez o pimentão seja a olerícola mais cultivada nessas condições, pois segundo Melo (1997), tem sido a cultura que tem melhor se adaptado ao cultivo de ambiente protegido no Estado de São Paulo. Levando-se em conta a tolerância das culturas à salinidade, o pimentão seria, entre as olerícolas listadas, uma das menos tolerantes (Ayers & Westcot, 1991).

Diante do exposto, o presente trabalho de pesquisa teve como objetivo estudar os efeitos de diferentes níveis de salinidade da água e da lâmina de irrigação que excedia a evapotranspiração da cultura no desenvolvimento vegetativo e rendimento do pimentão e no processo de salinização do solo e avaliar procedimentos para controlar a salinidade do solo.

Ao mesmo tempo pretende-se comprovar as seguintes hipóteses correlatas:

- a) A concentração salina da água de irrigação e a quantidade de fertilizantes aplicados são os fatores diretos responsáveis pela elevação da salinidade do solo em áreas de estufas.
- b) O excesso de água de irrigação que percola abaixo da zona radicular pode controlar a acumulação de sais nesta região.
- c) O rendimento das culturas diminui à medida que cresce a salinidade da água de irrigação e/ou na zona radicular acima da concentração limite tolerada pela cultura.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Considerações gerais

A produção das culturas onde a salinidade está presente, pode somente ser completamente avaliada no contexto das características estabelecidas para as condições específicas de campo. Uma vez conhecidas as condições ambientais, as práticas de rotação de cultura e manejo, as culturas podem ser selecionadas baseadas em sua tolerância à salinidade, fatores econômicos, sistema de irrigação, drenabilidade do solo e práticas culturais preferidas. Irrigação e práticas de manejo das culturas sob condições salinas são frequentemente diferentes das condições não salinas. A informação básica requerida para as decisões de manejo onde a salinidade está presente, inclui como as culturas respondem à salinidade e aos íons tóxicos e o efeito dos sais na infiltração da água no solo. Também, dependendo da situação, informações sobre os efeitos de determinados fatores ambientais como temperatura, umidade e poluição do ar, a respeito do risco do umedecimento do dossel das plantas pela aspersão, das mudanças na tolerância à salinidade nos vários estágios de crescimento da cultura e da corrosão de equipamentos devem ser consideradas (Hoffman et al., 1992).

De acordo com Rhoades & Loveday (1990), Van Hoorn & Van Alphen (1994), entre outros, a remoção de sais da zona radicular para manter a solução do solo a um nível de salinidade compatível com o sistema de cultivo depende da manutenção do balanço de sais. Essa lixiviação dos sais é o fator mais importante para evitar a salinização de uma área irrigada. Além disso, segundo Scaloppi & Brito (1986), vários outros fatores podem ainda afetar o processo de salinização, como a drenabilidade do

solo, a precipitação dos sais de baixa solubilidade, manejo da irrigação e manejo agronômico.

Além disto, para se estabelecer a fração de lixiviação necessária para controle da salinidade do solo irrigado, precisa-se conhecer com exatidão a evapotranspiração real da cultura.

Dada a quase inexistência de pesquisas realizadas sobre manejo de irrigação e controle de salinidade sob condições de cultivo em estufa na maior parte do mundo, em seguida serão apresentadas informações gerais colhidas também para as condições de campo.

2.2. Necessidade hídrica e regime de irrigação para cultura do pimentão.

Para se proceder a irrigação é necessário conhecer quanta água deve ser aplicada. Isto se complica quando existem problemas de salinidade, pois a cultura pode reduzir o consumo de água. Além disso, para manter o rendimento da cultura elevado, se faz necessário aplicar uma lâmina em excesso para lixiviar os sais, a qual depende do uso consuntivo da cultura. Então, nestas condições, a estimativa precisa da evapotranspiração da cultura se torna ainda mais importante.

A lâmina de irrigação pode ser estimada a partir da medida da evapotranspiração da cultura, que pode ser obtida diretamente através do balanço hídrico aplicado a um volume de solo explorado pela planta ou em lisímetros e, indiretamente, determinando a evapotranspiração de referência através da demanda evaporativa do ar e a partir de elementos meteorológicos medidos (Pereira et al., 1997).

Allen (1993), Boulard & Jemaa (1993), Zhang & Lemeur (1992) recomendam a estimativa da evapotranspiração através do método de Penman-Monteith para as condições de estufa. O trabalho dos últimos autores, que estudaram o efeito da resistência aerodinâmica na estimativa da evapotranspiração, incluindo também o método do balanço de energia, mostra que pode produzir um erro significativo, principalmente para a equação de Penman-Monteith.

Stanghellini (1988), estudando a resistência externa (para a transferência de vapor e calor) e resistência interna (para transferência de vapor) para condições de estufas, e os parâmetros utilizados para estimativa de evapotranspiração pelos métodos de Penman-Monteith e do balanço de energia, obteve como primeira aproximação, que a resistência externa pode ser considerada como uma constante para uma dada cultura, enquanto a resistência interna pode ser representada por uma função exponencial inversa da radiação de ondas curtas.

Com respeito aos métodos indiretos ou climatológicos, Doorenbos & Kassam (1994), Jensen et al. (1989), Pereira et al. (1997), entre outros, apresentam diferentes procedimentos para estimativa da evapotranspiração, os quais podem ser agrupados em cinco categorias, segundo os princípios envolvidos no seu desenvolvimento, ou seja, em métodos empíricos (tanque classe A, Thornthwaite, Camargo, Radiação Solar, Jensen-Haise, Hargreaves-Samani, Blaney-Cridle, etc), método aerodinâmico, métodos de balanço de energia (da razão de Bowen e de Priestley-Taylor), métodos combinados (Penman, Penman simplificado, Penman-Monteith, etc) e método de correlação dos turbilhões. Quando se utiliza um destes métodos para estimar a evapotranspiração, é necessário aplicar um coeficiente, que depende do poder evaporativo do ar, da cultura e de sua fase fenológica, chamado de coeficiente de cultivo - K_c (Doorenbos & Kassam, 1994). Os valores de K_c variam com o método de estimativa da evapotranspiração de referência (Barbieri, 1981; Peres et al., 1992).

Nem a evaporação do tanque nem a evapotranspiração de referência calculada por relações empíricas reflete precisamente a evapotranspiração real da cultura em todas as condições climáticas, requerendo adaptações dependendo do local (Pruitt² et al., citado por Hartz, 1996).

Hartz (1996) também ressalta os erros que podem ser cometidos quando se utiliza os coeficientes de cultura, pois além de depender do método de estimativa da evapotranspiração de referência, outros fatores como densidade e arranjo de plantas e

² PRUITT, W.D.; FERERES, E. & SNYDER, R.L. Reference evapotranspiration (ET_o) for California. Univ. of Calif., 1987. (Ext. Bul., 1922).

tipo de condução da planta afetam os valores do coeficiente. O autor cita um exemplo para cultura do pimentão, onde afirma que o K_c de um cultivo em fileiras duplas em leito de 1,0 m de largura sobrestimará a necessidade hídrica de fileiras duplas em leito de 1,5 m, onde as plantas não cobrirão totalmente o solo.

Castilla et al. (1990) e Martinez-Raya & Castilla (1989), estudando a evapotranspiração, respectivamente, de pepino, melão, melancia e feijão e de pimentão, cultivados em estufa plástica sem aquecimento, concluíram que a evaporação do tanque classe A medida no interior da estufa e o coeficiente de cultivo da FAO estimaram razoavelmente a evapotranspiração da cultura até os 100 dias após o transplântio, porém usando um coeficiente de tanque próximo de 1,0 e para períodos onde a temperatura foi superior a 10 °C.

A evaporação do tanque classe medida dentro da estufa é menor do que no campo aberto (Farias et al., 1994). Martins (1992), em dois anos de pesquisa, verificou que a evaporação sob cobertura plástica foi cerca de 30% a menos do que no campo, o que contribuiu para uma menor evapotranspiração da cultura dentro da estufa.

Segundo Monteiro et al. (1985), a menor evapotranspiração no interior das estufas é devido, principalmente, à parcial opacidade do filme plástico à radiação e à redução da ação dos ventos, que são os principais fatores da demanda evaporativa da atmosfera, embora a temperatura do ar e a umidade relativa, em alguns momentos, possam ser, respectivamente, maior e menor no interior da estufa do que a céu aberto, o que contribuiria para maior evapotranspiração.

Segundo Doorenbos & Kassam (1994), a cultura do pimentão, em condições de campo, tem um ciclo de 120 a 150 dias, apresentando coeficiente de cultivo de 0,4 logo após o transplântio, 0,95 a 1,1 durante o período de cobertura plena e, para a época de colheita de pimentão verde, valores de K_c oscilando entre 0,8 a 0,9. Com respeito a sensibilidade ao suprimento de água (K_y), a cultura é classificada como de sensibilidade média a alta ($K_y=1,1$ para todo o ciclo), sendo bastante sensível ao déficit de umidade do solo, sobretudo, no início da floração, quando não deve utilizar mais do que 25% da água

disponível. Quanto a eficiência de utilização de água, a cultura produz 1,5 a 3,0 kg de frutos verdes com 90% de umidade por m³ de água consumida pela cultura.

Pellitero et al. (1993), estudando o efeito do regime de irrigação, ou seja, a variação da depleção da água disponível do solo no rendimento de pimentão e composição do fruto processado, verificaram que a menor depleção (10-15%) resultou no rendimento máximo, sendo a redução na produção causada pela diminuição do número de frutos; e que o aumento da depleção de água para 55% elevaram a porcentagem de matéria seca, sólidos solúveis, acidez total e açúcares dos frutos.

Wierenga & Saddiq (1985), objetivando determinar a faixa ótima de tensão da água do solo para o pimentão cultivado em condições de campo e irrigado por gotejamento, verificaram que os maiores rendimentos foram obtidos para potenciais entre -15 e -25 kPa na camada de 0 a 60 cm de profundidade. Frizzone et al. (1997) observaram que o potencial mátrico médio de -32 kPa já reduziu de forma drástica o rendimento de pimentão, sob condições de estufa, embora a altura de planta não tenha sido afetada pelos potenciais de água do solo.

2.3. Qualidade da água de irrigação

Partindo-se do princípio de que todas as águas contêm sais, mesmo utilizando águas para irrigação que apresentam reduzidas concentrações salinas, existe um certo potencial de salinização em condições de chuvas e/ou drenagem insuficientes. Normalmente, em regiões áridas e semi-áridas, as concentrações das águas superficiais e subterrâneas apresentam maior concentração salina do que em regiões úmidas e sub-úmidas, o que vai se somar ao problema de salinização e sodificação do solo.

Para determinar a viabilidade do uso de uma determinada água de irrigação, deve-se levar em consideração a concentração e composição química da mesma, a tolerância das culturas aos sais, as propriedades físicas e químicas do solo, as práticas de manejo do solo, água e culturas, as condições climáticas, o método de irrigação e as condições de drenagem (Contreras & Elezondo, 1980).

O conceito de qualidade de água depende das necessidades do usuário. Na avaliação da qualidade da água para irrigação, leva-se em consideração, principalmente, as características químicas e físicas, sendo poucas as vezes em que outros fatores importantes são considerados (Ayers & Westcot, 1991).

Segundo Ayers (1977) e Ayers & Westcot (1991), a qualidade da água para irrigação está relacionada a seus efeitos prejudiciais ao solo e às culturas, requerendo muitas vezes técnicas especiais de manejo para controlar ou compensar eventuais problemas associados a sua utilização. Assim, a conveniência de uma água para irrigação deve ser avaliada conjuntamente com o estudo das condições locais de uso, tomando como base os fatores relacionados à água, ao solo e à planta.

Os sais solúveis, que ocorrem no solo e na água, originam-se principalmente a partir da intemperização dos minerais primários constituintes da crosta terrestre (FAO, 1973; Richards, 1954).

O teor de sais das águas superficiais é função das rochas predominantes nas nascentes, da zona climática, da natureza do solo em que a água flui e de poluições devido às atividades humanas. Já no caso de águas subterrâneas, o teor de sais depende da origem da água e do curso sobre a qual ela flui, em conformidade com a lei de dissolução, baseada no contato entre a água e o substrato que armazena a referida água. As mudanças no teor de sais da água subterrânea no processo de recarga resulta de redução (geralmente de natureza bioquímica), troca catiônica, evapotranspiração e precipitação (Yaron, 1973).

A água de irrigação, que é responsável pela salinização secundária dos solos nas áreas irrigadas, 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, sua localização geográfica, época de coleta, etc (Doneen, 1975; Medeiros, 1992; Richards, 1954; Shalhevet & Kamburov, 1976).

Embora diversos fatores possam influenciar na qualidade e composição de sais solúveis presentes na água de irrigação, as variações na composição não são muito

acentuadas para determinada região. Estudos de Leprun (1983), feito com águas da Região Nordeste do Brasil, mostraram que a concentração dos principais íons presentes na água pode ser estimada a partir de sua condutividade elétrica, que expressa a concentração total de sais solúveis. Resultados semelhantes foram encontrados em outros estudos realizados com águas da Região Nordeste, em situações específicas (Costa et al., 1982; Leite, 1991; Martins, 1993; Medeiros, 1992), como também em outras partes do mundo (Richards, 1954). Estes estudos demonstram que a concentração de cloretos nas águas gira em torno de 60% da concentração equivalente de ânions, embora possa ser superior a 70% nas águas muito salinas, ou até abaixo da concentração de bicarbonato, quando a $CE < 0,7 \text{ dS.m}^{-1}$. Quanto ao sulfato, dificilmente supera os 10%, exceto para determinadas partes do mundo que pode chegar ao 50% (Ayers & Westcot, 1991). Com respeito aos cátions, a concentração de Na fica acima de 50%, enquanto o Ca e Mg se equiparam.

Recomenda-se que as estufas devam ser situadas nas partes mais altas do terreno, onde os solos são mais profundos e tenha boa drenagem. Então, devido a maior proximidade, água de poços é mais comumente utilizada para irrigar as áreas das estufas. No Estado de São Paulo, por se caracterizar por uma região sub-úmida, as águas superficiais são de boa qualidade quanto a concentração total de sais. No entanto, há indícios de que água de poços possa ser altamente salinas. Num estudo desenvolvido por Oliveira & Salati (1981), visando conhecer a qualidade da água de poços na região de Piracicaba, SP, verificaram que 41, 34 e 7% dos poços tinham água com salinidade maior do que 0,75, 2,25 e 4,00 dS.m^{-1} , respectivamente. E quanto a composição, estas águas mais salinas apresentavam mais de 90% da concentração equivalente dos cátions composta de sódio. Com respeito aos ânions, cerca de 60% era de cloretos e 30% de sulfatos.

Segundo Bar-Yosef (1991), os níveis de salinidade produzidos pelos fertilizantes é suficiente para ultrapassar os valores tolerados por culturas mais sensíveis à salinidade, como é a maioria das olerícolas.

Moura (1994), estudando a condutividade elétrica da água de irrigação submetida a diferentes doses de adubos utilizados na fertirrigação, concluiu que para cada $\text{g} \cdot \ell^{-1}$ de água dos adubos nitrato de potássio, nitrato de amônio, cloreto de potássio, sulfato de potássio e nitrato de cálcio, a salinidade da água era acrescida, respectivamente, em 1,30, 1,48, 1,57, 1,27 e 0,99 $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$. Com respeito ao sulfato de amônio, a salinidade é incrementada em 2,1 $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$. Considerando a dosagem média de adubos aplicados em fertirrigação, para condições de campo, de $0,4 \text{ g} \cdot \ell^{-1}$, conforme recomendada por Pizarro (1990), estes adubos seriam capazes de aumentar a salinidade da água de irrigação em torno de $0,7 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$, em média. Entretanto, em condições de estufa, devido a menor evapotranspiração e maior rendimento das culturas, a concentração de adubos na água de irrigação normalmente obtida tem sido bem superior a dosagem de $0,4 \text{ g} \cdot \ell^{-1}$, o que pode produzir concentrações de sais na água de irrigação prejudiciais às hortaliças. Então, na avaliação da qualidade da água de irrigação, quando se utiliza fertirrigação, deve considerar-se as concentrações dos adubos.

A avaliação da adequabilidade da qualidade da água para fins de irrigação, é realizada levando-se em consideração os efeitos potenciais sobre o rendimento das culturas e as mudanças nas características do solo (Shainberg & Oster, 1978; Van Hoorn & Van Alphen, 1994).

Allison (1964), Ayers & Westcot (1991), Palacios & Aceves (1970), Shainberg & Oster (1978), e outros, apontam como características mais importantes na avaliação da água de irrigação os seguintes parâmetros: concentração total de sais solúveis, concentração relativa de sódio, concentração dos íons tóxicos e outras características.

Atualmente, a FAO recomenda a classificação proposta pela University of California Committee of Consultants (1974). Essas diretrizes se baseiam no estudo do grau de restrição no uso da água com problemas potenciais, tais como: salinidade, problemas de infiltração, toxicidade de íons específicos e outros problemas (Ayers & Westcot, 1991).

Segundo Rhoades & Loveday (1990), a adequabilidade de uma água de irrigação vinha 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 avaliar a adequabilidade de uma água de irrigação consiste de: (i) prever a composição e o potencial mátrico da água do solo, no tempo e no espaço, resultante da irrigação e do cultivo e (ii) interpretar tais informações em termos de como as condições do solo são afetadas e 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, 1987; Bresler & Hoffman, 1986; Letey & Dinar, 1986; Letey *et al.*, 1990; entre outros) para levar em conta as variáveis climáticas, culturas, solos, água, atmosfera, manejo de irrigação e tempo, relacionando as variáveis que influenciam o potencial total da água e seus componentes. Entretanto, segundo Rhoades *et al.* (1992), a maioria dos dados de entrada requeridos por esses modelos não estão geralmente disponíveis para muitas aplicações práticas e existem muitas incertezas a respeito de como relacionar a resposta das culturas à salinidade e ao potencial mátrico variável no tempo e espaço, tal como pode ser previsto por estes modelos. Por estas razões, modelos conceitualmente simplificados, como os existentes para condições de equilíbrio, podem ser mais apropriados para avaliar a adequabilidade da água de irrigação. Estes modelos, provavelmente, fornecem a pior situação que resultaria da irrigação com uma determinada água.

Assim, Rhoades & Loveday (1990) e Rhoades *et al.* (1992) recomendam um modelo para condições de equilíbrio relativamente simples desenvolvido por Rhoades & Merrill (1976). A seqüência básica é a seguinte: (1) prever a salinidade, sodicidade e concentração de íons tóxicos da água do solo em uma zona radicular simulada, resultante do uso de uma determinada água de irrigação de dada composição, aplicada com uma fração de lixiviação especificada e (2) avaliar o efeito deste nível de salinidade (ou concentração iônica) no rendimento da cultura e do nível de sodicidade sobre a permeabilidade do solo. Também existe uma versão deste modelo, com mais

sofisticação, em forma de programa para computador, denominado “Watsuit” (Rhoades, 1977; Rhoades & Merrill, 1976).

2.4. Balanço de sais na zona radicular e fração de lixiviação

Hoffman *et al.* (1992), Rhoades & Loveday (1990), Richards (1954) e Van Hoorn & Van Alphen (1994), de forma simples, descrevem que a relação entre a lâmina percolada abaixo da zona radicular e a água total aplicada é igual a relação entre a concentração de sais da água aplicada e da água drenada abaixo da zona radicular, correspondendo a fração de lixiviação (FL).

Segundo Hoffman (1981), a quantidade de água que deve ser lixiviada abaixo da zona radicular depende da concentração de sais na água de irrigação; do solo e da água do lençol freático; da tolerância das culturas a serem exploradas; condições climáticas; e do manejo do solo e água.

Considerando-se a zona radicular como um só estrato, com uma distribuição homogênea de água e sais, e um período mais ou menos longo como o de um ano, de maneira que o teor de água seja o mesmo no início e no final do período considerado, o balanço de água na zona radicular de um cultura, numa área irrigada, é dado pela eq. (1).

$$I + P = E + R^* \quad (1)$$

em que I é a água efetiva de irrigação, P é a precipitação pluviométrica efetiva, E é a evapotranspiração e R* é a percolação profunda líquida, determinada pela eq. (2).

$$R^* = R - G \quad (2)$$

sendo G a ascensão capilar e R, a percolação profunda, drenagem profunda, ou o fluxo para baixo.

Segundo Rhoades (1974), uma relação de balanço de sais pode ser obtida pela soma algébrica de várias entradas e saídas de sais para a salinidade da água (solução) do solo (S_{as}) da zona radicular.

$$V_a C_a + V_g C_g + S_m + S_f - V_r C_r - S_p - S_c = \Delta S_{as} \quad (3)$$

sendo V_a , V_g e V_r , e C_a , C_g e C_r volumes e concentrações totais de sais da água de irrigação, solo e água de drenagem, respectivamente. O V_g refere-se a água que se move dentro da zona radicular vinda do lençol freático. S_m é a quantidade de sais deixada na solução pela intemperização dos minerais do solo ou dissolução dos sais precipitados; S_f é a quantidade de sais solúveis adicionados por produtos agroquímicos (fertilizantes e corretivos) e esterco animal; S_p é a quantidade de sais solúveis aplicados (da água de irrigação) que se precipita no solo depois da aplicação; e S_c é a quantidade de sais removida da água do solo na porção colhida da cultura. A diferença líquida entre essas entradas e saídas é igual a mudança resultante na salinidade da água do solo (ΔS_{as}). Sob condições de equilíbrio ($\Delta S_{as}=0$), assumindo: (i) contribuição desprezível de sais pela dissolução de minerais do solo ou sais precipitados, ou perdas de sais solúveis por processos de precipitação e remoção da cultura (ou alternativamente que o efeito líquido dessas reações opostas sejam aproximadamente compensáveis); (ii) aplicação uniforme da água no campo; e (iii) a profundidade do lençol freático seja suficiente para evitar a introdução de sais na zona radicular por processos de ascensão capilar, a eq. (3) se reduz a seguinte relação:

$$\frac{R}{I} = \frac{CE_a}{CE_r} = FL \quad (4)$$

onde o I e R (respectivamente, lâmina de irrigação e de drenagem) substitui os correspondentes volumes, e a condutividade elétrica (CE) substitui a concentração de sais. Esta equação permite obter a fração de lixiviação (FL) para as condições dadas.

Conforme Van Hoorn & Van Alphen (1994), para condições de equilíbrio, se toda a água de irrigação se mistura plenamente com a água do solo, a concentração de sais da água à capacidade de campo será igual a concentração de sais que percola da zona radicular, podendo as lâminas de percolação (R^*) e de irrigação (I) serem calculadas como função da FL:

$$I = (E - P) \cdot \frac{C_{cc}}{C_{cc} - C_a} = (E - P) \cdot \frac{1}{1 - FL} \quad (5)$$

$$R^* = (E - P) \cdot \frac{C_a}{C_{cc} - C_a} = (E - P) \cdot \frac{FL}{1 - FL} \quad (6)$$

sendo,

E - evapotranspiração, em mm;

P - precipitação pluviométrica efetiva, em mm, que para cultivo em estufas pode ser negligenciada;

C_a e C_{cc} - concentração de sais na água de irrigação e no solo à capacidade de campo, que pode ser expressa também em termos de condutividade elétrica (CE) à 25 °C.

O termo $(E - P)$ representa a influência do clima sobre a quantidade de água de irrigação necessária; C_a , a influência da qualidade da água de irrigação; e C_{cc} , o critério agrônômico, que leva em conta a influência da salinidade sobre o rendimento da cultura, isto é, a tolerância da cultura a ser explorada. Neste caso, a literatura apresenta tabelas que mostram a C_{cc} expressa em condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) a partir da qual determinada cultura começa a ser afetada pela salinidade, denominada de salinidade limiar (Ayers & Westcot, 1991).

Na realidade, a zona radicular é uma região na qual a água absorvida pela planta diminui com a profundidade. Assim a quantidade de água percolada através do perfil do solo diminui com a profundidade, enquanto a sua salinidade aumenta.

Conseqüentemente, quando o sistema encontra-se em equilíbrio, a salinidade do solo cresce com a profundidade (Rhoades et al., 1992).

Entretanto, conforme Ayers & Westcot (1991), a salinidade que as plantas irão ficar expostas não será aquela da água de drenagem. Visto que a absorção de água pela cultura e a quantidade de água percolante variam com a profundidade, tem-se um perfil de salinidade crescente com a profundidade, sendo a salinidade na parte inferior da zona radicular igual a salinidade da água de drenagem.

Assim a salinidade sob a qual as plantas ficam expostas é a média dos valores de salinidade de cada camada, obtendo-se uma fração de lixiviação menor do que aquela que se calcula para uma zona radicular de salinidade considerada homogênea.

Em experimento conduzido em lisímetro por Bower *et al.* (1969), utilizando diferentes salinidades da água de irrigação e frações de lixiviação, foi verificado como estes fatores afetam a distribuição e acumulação de sais solúveis no perfil do solo irrigado em condições de equilíbrio. Segundo Rhoades & Loveday (1990), dados semelhantes a esta e outras experiências de campo com manejo convencional da irrigação mostram que em terrenos irrigados, sob condições de equilíbrio, têm-se o seguinte:

- i) o teor de sais da solução do solo aumenta no perfil com a profundidade da zona radicular, exceto quando se irriga com águas de baixa salinidade ($CE < 0,2 \text{ dS.m}^{-1}$) e frações de lixiviação altas ($FL > 0,5$);
- ii) a salinidade da solução do solo aproxima-se à da água de irrigação próximo à superfície do solo, independente da fração de lixiviação, mas aumenta com a profundidade quando FL é diminuída;
- iii) para uma mesma relação de CE_a/FL , a salinidade da solução do solo é proporcional a CE_a próximo da superfície, mas é aproximadamente independente da CE_a no fundo da zona radicular;
- iv) a salinidade média da solução do solo na zona radicular aumenta e o rendimento da cultura decresce, à medida em que aumenta a CE_a e há decréscimo da FL ;
- v) os primeiros incrementos da lixiviação são os mais efetivos para se prevenir a acumulação de sais na zona radicular.

Por outro lado, quando se considera períodos curtos de irrigação, é comum haver variações na salinidade do solo. Isso acontece devido variações sazonais no clima, culturas e quantidades e qualidade de água. Segundo Van Hoorn & Van Alphen (1994), sendo conhecido o teor de sais no início, na zona radicular, pode-se calcular a variação de armazenamento de sais (ΔZ) no intervalo de tempo considerado, como:

$$\Delta Z = \frac{I \cdot C_a - \frac{R^* \cdot Z_1}{W_{cc}}}{1 + \frac{R^*}{2 \cdot W_{cc}}} \quad (7)$$

sendo,

Z_1 - quantidade de sais na zona radicular ($Z = CE_{cc} \cdot W_{cc}$), no início da irrigação ou período considerado, expresso como CE_{mm} , em $dS \cdot m^{-1} \cdot mm$.

W_{cc} - lâmina de água que o solo retém à capacidade de campo (θ_{cc}) na profundidade da zona radicular, em mm.

A variação de CE da água do solo à capacidade de campo, num período de tempo, pode ser obtida, dividindo-se a variação de armazenamento de sais (ΔZ) pela lâmina de água que o solo retém à capacidade de campo (W_{cc}).

Caso a água de irrigação seja rica em sais de baixa solubilidade (carbonato de cálcio e magnésio e sulfato de cálcio), para se aplicar as equações de balanço de sais no solo, de forma simplificada, estas são utilizadas para a concentração dos sais altamente solúveis e posteriormente corrigidas para os sais de baixa solubilidade. Os sais de baixa solubilidade considerados são o $CaCO_3$ e $CaSO_4$, os quais podem contribuir para a salinidade do solo em até 0,8 e 2,5 $dS \cdot m^{-1}$, respectivamente (Van Hoorn & Van Alphen, 1994). Assim, quando uma água de irrigação rica em carbonato e sulfato de cálcio é concentrada na solução do solo, a salinidade resultante pode ser estimada pela seguinte aproximação: $CE_{es} = 3,3 + 0,5 \cdot CE_{cc(SAIS SOLÚVEIS)}$. A CE_{cc} é obtida de forma convencional, ou seja, a CE correspondente aos sais mais solúveis da água de irrigação vezes o fator de concentração da solução do solo (1/FL).

Uma modificação na concentração de sais na água de percolação (C_r) proveniente da modificação no conteúdo de água retido no solo (C_{as}), permite que se introduza um coeficiente de eficiência de lixiviação (Van Hoorn, 1981).

Segundo Van Hoorn & Van Alphen (1994), o grau com que a água infiltrada se mistura com a solução do solo, pode ser expressa pelo coeficiente de eficiência de lixiviação, que pode ser definido de duas maneiras: (i) com respeito a água de percolação na parte inferior da zona radicular - coeficiente de eficiência de lixiviação “fr” - definido como a fração de água percolante da solução do solo, e foi originalmente introduzida para recuperação de solos salinos; e (ii) com respeito à água de irrigação - coeficiente de eficiência de lixiviação “fi” - definido como a fração da água de irrigação misturada com a solução do solo. Enquanto “fr” depende de “fi” e I, P e E, “fi” apenas depende da textura e estrutura do solo e método de irrigação. Em estudos realizados na Tunísia, os valores de “fi” variaram entre 0,6 e 0,95, sendo os menores valores para solos argilosos e irrigação por inundação.

Se apenas parte da água infiltrada é eficiente para lixiviar, a fração de lixiviação não é igual a relação entre a lâmina de água percolada e de irrigação, R^*/I , mas igual a relação entre a lâmina de água percolante da solução do solo, $(fi \cdot I - E + P)$, e a lâmina da água de irrigação que se mistura com a solução do solo, $fi \cdot I$ (Van Hoorn & Van Alphen, 1994). Então, as equações de balanço de sais (4), (5) e (6) passam a apresentar a seguinte configuração:

$$FL_b = \frac{fi \cdot I - (E - P)}{fi \cdot I} = \frac{C_a}{C_r} \quad (8)$$

$$I = (E - P) \frac{1}{fi \cdot (1 - FL_b)} \quad (9)$$

$$R^* = I[1 - fi \cdot (1 - FL_b)] \quad (10)$$

sendo FL_b a fração de lixiviação efetiva.

Para se estimar a fração de lixiviação requerida para satisfazer a FL_b , utiliza-se a seguinte expressão:

$$FL = 1 - f_i \cdot (1 - FL_b) \quad (11)$$

Conforme Van Hoorn, (1981) e Van Hoorn & Van Alphen (1994), aplicando-se o conceito de eficiência de lixiviação no balanço de sais para o perfil de quatro camadas, para valores de “ f_i ” em torno de 0,8, a salinidade média do perfil equipara-se a salinidade estimada para a zona radicular considerada como uma só camada e $f_i=1,0$.

2.5. Fatores que afetam a salinidade do solo e resposta das culturas à salinidade

Como foi mostrado pelo estudo de modelagem conceitual de Rhoades & Merrill (1976), a salinidade dos solos e resposta das plantas à salinidade são afetadas pelas características de retenção de água do solo, frequência de irrigação, fração de lixiviação e salinidade da água de irrigação. Baseado nesse estudo para as condições de equilíbrio, Rhoades *et al.* (1992) retirou as seguintes conclusões:

- i) A salinidade da água de irrigação e a FL são combinadas para se estabelecer o nível de distribuição de estresse osmótico na zona radicular e o valor do potencial osmótico médio; também afetando o potencial total médio;
- ii) a fração de lixiviação tem pouco efeito no potencial mátrico médio, mas a frequência de irrigação afeta significativamente, devido a depleção de água entre irrigações e características de retenção de água do solo;
- iii) a duração do estresse, tais como “dias de estresse”, é afetado pela salinidade da água de irrigação, fração de lixiviação, frequência de irrigação e características de retenção de água do solo;
- iv) embora a importância desses índices de “status” de água na resposta das culturas possa variar com a tolerância das plantas, a composição da água, propriedades do solo e condições de estresse climático, parece interessante concluir que: onde águas salinas são usadas para irrigação, a FL deveria ser aumentada para elevar o potencial osmótico e, todos outros fatores sendo mantidos constantes, a frequência de irrigação deveria ser

aumentada para elevar o potencial mátrico, que combinados maximizam o potencial total e minimizam a duração de “dias de estresse”;

v) a salinidade média no espaço (profundidade) deveria ser um índice razoavelmente bom de resposta das plantas à salinidade da água do solo nos casos onde o estresse mátrico é significativo, como nas condições de irrigação pouco freqüente, devido a dependência acentuada da duração de “dias de estresse” à FL. Isto é assim porque a FL primeiramente afeta o nível de salinidade no fundo da zona radicular; entretanto, um parâmetro de salinidade que está relacionado à distribuição da salinidade, especialmente da salinidade da parte inferior da zona radicular, deveria ser usado como um índice aproximado para estimar a resposta das culturas para o caso de irrigação pouco freqüente.

vi) quando o intervalo entre as irrigações é prolongado, a duração do estresse aumenta e menores condições são dadas para que o desenvolvimento da cultura venha equiparar-se ao desenvolvimento de culturas submetidas a irrigações freqüentes. A diminuição do potencial osmótico associada a frações de lixiviação pequenas e ao uso de águas de irrigação salinas, torna-se especialmente perigosa, porque o nível de “estresse crítico” do potencial total será alcançado mais rapidamente (para uma dada quantidade de uso de água), quanto menor for o potencial osmótico no começo da depleção de água;

vii) sob condições de irrigações mais freqüentes, a resposta das plantas à salinidade deveria tornar-se relativamente mais relacionada à CE_a e ao potencial osmótico médio do que à FL e salinidade média com a profundidade. Alguns resultados experimentais confirmam esta hipótese (Bresler & Hoffman, 1986; Bresler, 1987; Meiri, 1984).

Miller & Aarstad³, citado por Meiri et al. (1977), mostraram que, em termos dinâmicos, a água disponível no solo é aumentada pelo efeito da absorção de água pelas plantas durante o processo de infiltração e redistribuição, e então a quantidade de água drenada é diminuída, com o aumento da taxa de evapotranspiração. Por outro lado, caso

³ MILLER, D.E. & AARSTAD, J.S. Effective available water and its relation to evapotranspiration rates and deep drainage. *Soil Science Society of America Proceedings*. v.37, p.763-766, 1973.

a salinidade do solo afete a absorção de água da planta, a salinidade do solo e da água pode também ter um efeito na eficiência de lixiviação.

Meiri et al. (1977), com o objetivo de verificar o efeito da absorção de água pelas plantas durante o processo de lixiviação sobre a lâmina de lixiviação atual ou real, concluíram que a lâmina de lixiviação não deveria ser calculada com base no déficit de umidade do solo, mas sim baseando-se na evapotranspiração atual da cultura; sendo isto particularmente verdadeiro para irrigações de alta frequência e taxas de transpiração elevadas.

2.5.1. *Salinidade integrada no tempo e no espaço*

No campo, a distribuição dos sais não é uniforme no espaço e no tempo. A aplicação de resultados experimentais dos estudos de tolerância à salinidade das culturas para as condições de campo, requer conhecimentos à respeito da resposta das plantas à salinidade variando com o tempo e profundidade. Até o momento, muitos experimentos de campo têm sido conduzidos considerando a hipótese de que as plantas respondem à salinidade média da zona radicular durante a estação de crescimento (Hoffman et al., 1992).

Rhoades (1972) introduziu o conceito de salinidade média integrada da solução do solo, ao longo do ciclo de irrigação, para considerar as variações de salinidade entre irrigações. Segundo Rhoades & Merrill (1976), a salinidade média da água do solo, em determinado intervalo de tempo, é maior em solos que são irrigados com menor frequência, quando se mantêm outros fatores constantes.

Ingvalson *et al.* (1976) correlacionaram o rendimento de alfafa, obtido sob condições de salinidade na zona radicular não uniforme para vários índices de salinidade, e verificaram que o rendimento foi melhor correlacionado à salinidade da água de drenagem do que à da água de irrigação, como também, correlacionou-se melhor à salinidade média integrada no tempo e no espaço (profundidade), do que com a salinidade média da zona radicular e ponderada com a absorção de água, embora estes índices tenham mostrado correlações relativamente altas. Vale salientar que o método de

irrigação adotado era inundação intermitente e a frequência das aplicações de água correspondia a de irrigações convencionais.

Em experimento de campo conduzidos para se estabelecer a tolerância à salinidade do milho, Hoffman *et al.* (1983) utilizando dois métodos de irrigação (microaspersão e subirrigação), obtiveram perfis de salinidade do solo diferentes para cada método de irrigação. No entanto, as curvas de resposta de tolerância à salinidade para os métodos de irrigação, usando a salinidade média linear do perfil para todos os níveis de salinidade testados durante os três anos de experimento não diferiram estatisticamente. Este fato sugere que as plantas respondem a média aritmética dos valores de salinidade da zona radicular. Os resultados dos estudos de salinidade em solos orgânicos com milho concordam com resultados de experimentos de campo realizados em Israel em um solo mineral cultivado com amendoim (Shalhevet *et al.*, 1969) e tomate (Shalhevet & Yaron, 1973), e com resultados da Califórnia para alfafa (Ingvalson *et al.*, 1976).

Para avaliação, a salinidade do solo é tipicamente monitorada no começo e fim do ciclo da cultura e os valores são usados para determinar a salinidade média do solo. Em experimentos, a salinidade do solo é normalmente monitorada com maior frequência. Relacionar a resposta das culturas à salinidade do solo integrada no tempo é difícil porque, para algumas culturas, a sensibilidade varia com o estágio de desenvolvimento.

Bernstein & Pearson (1954), comparando a influência de um nível constante de salinidade com níveis crescentes e decrescentes, em vários ciclos, porém mantendo o valor médio do potencial osmótico idêntico ao produzido pelo nível constante, concluíram que o pimentão respondeu a salinidade média do período, independente do fato de se variar ou não a salinidade durante o desenvolvimento da cultura, enquanto o tomate foi mais afetado por períodos de alta salinidade. Meiri & Polijakoff-Mayber (1970) observaram que a área foliar relativa do feijão dos diferentes experimentos de salinidade foi afetada linearmente com a salinidade. Então, a resposta à salinidade média do período é provavelmente uma estimativa razoável, a não ser que valores de salinidade durante o ciclo incluam valores que sejam menores e maiores do que a salinidade limiar

da cultura ou, como foi provavelmente o caso para tomate, existiam alguns valores de salinidade que excediam a faixa de resposta linear na curva de tolerância à salinidade (Hoffman et al., 1992).

2.5.2. *Frequência de irrigação*

A frequência das irrigações é uma das práticas em potencial de manejo de água disponível para enfrentar problemas de solos e águas salinos. Poucas evidências experimentais existentes, entretanto, sustentam como recomendação comum, de que o intervalo de irrigação deveria ser diminuído quando se utiliza água salina na irrigação (Hoffman et al., 1992; Rhoades *et al.*, 1992).

Quando o solo seca devido a evapotranspiração, depois de uma irrigação, os potenciais mátrico e osmótico diminuem. A taxa de decréscimo depende da taxa de evapotranspiração e da relação entre o potencial mátrico e o conteúdo de água do solo. A taxa de secamento do solo decresce quando o potencial osmótico diminui, produzindo, assim, um maior valor do potencial mátrico antes da próxima irrigação. Contrapondo a esse processo, o intervalo de irrigação influencia na forma da distribuição de sais no perfil e no nível total de salinidade do solo (Hoffman et al., 1992).

Como mostrado por Van Schilfhaarde *et al.* (1974) através dos cálculos de um modelo, e experimentalmente por Bernstein & Francois (1973b), aumentando a frequência de irrigação, sob condições de equilíbrio, resulta em uma mudança para cima do pico de salinidade no perfil de distribuição de sais, fazendo com que aumente a concentração média de sais na porção superior da zona radicular. Além disso, irrigando mais frequentemente, cresce a evaporação na superfície do solo, levando a aplicações adicionais de água e um acréscimo na quantidade de sais aplicados. Conseqüentemente, a diminuição do intervalo entre as irrigações visando superar o efeito da concentração de sais por ocasião do secamento do solo, pode resultar em um aumento global na salinidade do solo. Segundo Hoffman et al. (1992), o efeito líquido desse processo contraditório no rendimento da cultura é difícil de se prever.

Ayers *et al.* (1943) e Wadleigh & Ayers (1945) determinaram o efeito do teor de água do solo, exatamente antes da irrigação, na resposta do feijão à salinidade. O intervalo de irrigação foi baseado no potencial mátrico do solo antes da próxima irrigação, portanto, quanto maior foi a salinidade do solo, maior foi o intervalo de irrigação subsequente. Os autores concluíram que o efeito da salinidade nas reduções de rendimento foi maior naqueles tratamentos onde o potencial mátrico do solo foi menor (mais seco) no momento da irrigação. Entretanto, se os dados de rendimentos de Ayers *et al.* (1943) são colocados em termos relativos, o efeito relativo da salinidade crescente na redução de rendimento é independente do intervalo de irrigação. Segundo Hoffman *et al.* (1992), um resultado similar é obtido quando também se converte os dados de Wadleigh & Ayers (1945). A frequência de irrigação não teve influência no desenvolvimento do feijão, a nível de campo (Bernstein & Francois, 1975).

Em experimentos de campo com berinjela (Shalhevet *et al.*, 1983) e milho (Shalhevet *et al.*, 1986), foram testados vários intervalos de irrigação e salinidade da água. Os cultivos foram conduzidos em três diferentes tipos de solos e em duas regiões ecológicas de Israel. Uma função única de rendimento relativo, como função da salinidade média da zona radicular, pôde ser usada para ambas culturas para todos os intervalos de irrigação.

De Pascale & Barbieri (1995) verificaram que irrigações mais frequentes (2 dias em relação a 10) causaram maior salinidade média durante o cultivo na camada 0-30 cm.

Um efeito benéfico do intervalo de irrigação mais curto na resposta do guaiúle à salinidade foi reportado por Wadleigh *et al.* (1946). Efeitos prejudiciais da alta frequência de irrigação, entretanto, tem sido relatados mais frequentemente pelos pesquisadores. Bernstein & Francois (1975) atribuíram a redução de rendimento, provocada pela maior frequência de irrigação, a lavagem de sais acumulados próximo a superfície do solo para a zona radicular, causando “choque osmótico”, e a danos foliares que ocorreram com irrigações por aspersão mais frequentes. Wagenet *et al.* (1980), cultivando cevada em pequenas parcelas numa casa de vegetação, irrigando a cada 2 ou 4 dias, concluíram que a tolerância da cultura à salinidade foi maior para a menor frequência de irrigação.

Hoffman *et al.* (1992) concluíram que a maior parte dos resultados experimentais evidenciam que não é válida a suposição de que o intervalo de irrigação deveria ser diminuído sob condições salinas. A maioria dos estudos mostram efeito não interativo entre salinidade e intervalo de irrigação. Sob algumas circunstâncias, irrigações mais freqüentes podem ser prejudiciais.

De acordo com Ayers & Westcot (1991) e Rhoades & Loveday (1990), para irrigação convencional, a cultura responde a salinidade média do perfil da zona radicular, enquanto para irrigações de alta freqüência, os últimos autores recomendam a média ponderada com a absorção de água em cada camada da zona radicular. Essa última recomendação é também sustentada por Smith & Hancock (1986), como também, por Hoffman (1981), o qual define que a salinidade média na zona radicular a qual a cultura fica exposta é dada pela eq. (13), apresentada por Bernstein & Francois (1973b). Neste caso, para valores de FL normalmente adotados, têm-se menores salinidade média do solo na região da zona radicular para irrigação de alta freqüência.

2.5.3 *Necessidade de lixiviação*

A lixiviação é fundamental para a irrigação bem sucedida onde a salinidade é excessiva. É o único meio pelo qual a salinidade do solo pode ser mantida em níveis aceitáveis sem riscos para as culturas. Quanto mais salina é a água de irrigação ou mais sensível é a cultura à salinidade, mais lixiviação deve existir para manter o rendimento da cultura elevado.

A necessidade (requerimento) de lixiviação (NL) é a fração mínima da quantidade total de água aplicada que deve passar através da zona radicular, para prevenir a redução no rendimento da cultura.

Vários modelos tem sido propostos para relacionar a condutividade elétrica da água de drenagem requerida com algum valor prontamente disponível de salinidade do solo, que é indicativo das necessidades de lixiviação das culturas. Dentre eles, pode-se destacar o modelo de Hoffman & Van Genuchten (1983), que determina a salinidade média da zona radicular (média aritmética com a profundidade) pela solução da equação

da continuidade para o fluxo de água na vertical, assumindo uma função de absorção de água do solo do tipo exponencial (Raats, 1974). A conservação de massa para as condições de equilíbrio foi assumida para introduzir a concentração de sais no desenvolvimento matemático. A concentração média de sais da zona radicular (\bar{C}) com relação da concentração de sais da água de irrigação (C_a) é:

$$\frac{\bar{C}}{C_a} = \frac{1}{FL} + \frac{\delta}{D \cdot FL} + \ln[FL + (1 + FL) \cdot e^{-D/\delta}] \quad (12)$$

em que D é a profundidade da zona radicular e δ é uma constante empírica aproximadamente igual a 0,2D.

Para Rhoades *et al.* (1992), a necessidade de lixiviação é outro aspecto do manejo da irrigação, além da frequência de irrigação, que influencia na resposta das culturas à salinidade da água de irrigação e que também não é suficientemente entendido, especialmente quando suas interações com a frequência de irrigação são consideradas juntamente. Com o solo em condições de equilíbrio com a salinidade da água de irrigação, a interação entre concentração de sais da água de irrigação e a FL é quem primeiramente determina a concentração e distribuição de sais na zona radicular, assim como o valor médio do potencial osmótico da água do solo, como evidencia os dados de Bower *et al.* (1969). A fração de lixiviação é também o principal fator de manejo que afeta a salinidade ponderada com a absorção de água. Isso pode ser verificado na eq. (13), desenvolvida por Bernstein & Francois (1973b) para descrever a concentração média de sais considerando a absorção de água pela planta, \tilde{C} , que é independente do padrão de absorção de água pelas raízes (Hoffman & Van Genuchten, 1983; Smith & Hancock, 1986).

$$\tilde{C} = \frac{-1}{V_a - V_r} \int_{V_r}^{V_a} C_{ad} = \frac{C_a}{1 - FL} \cdot \ln\left(\frac{1}{FL}\right) \quad (13)$$

sendo,

V_a e V_r - volume de água de irrigação infiltrado e drenado, respectivamente;

C_a e C_r - concentrações das águas de irrigação e drenada, respectivamente;

FL - fração de lixiviação, que é a relação entre a lâmina drenada e a de irrigação.

A equação acima aplica-se somente para a condição em que ocorre conservação de massa, ou seja, $C_a \cdot V_a = C_r \cdot V_r$. Entretanto, segundo Ingvalson *et al.* (1976), pode ser modificada para considerar efeitos de precipitação ou dissolução de sais como segue:

$$\hat{C} = a - \frac{b}{(1 - FL)} \cdot \ln(FL) + \frac{c}{FL} \quad (14)$$

onde, a, b, c são constantes empíricas da equação polinomial de 2ª ordem, que descreve a concentração da solução do solo para uma dada água de irrigação como função de (1/FL) derivada do modelo “Watsuit” (Rhoades *et al.*, 1992).

Segundo Raats (1974), \hat{C} não é corretamente descrito pelas equações acima, quando a dispersão hidrodinâmica e difusão afetam apreciavelmente a distribuição de sais na zona radicular.

Pelo fato de \hat{C} está mais intensivamente relacionado com C_a do que com a FL, Bernstein & Francois (1973b) concluíram que o crescimento das culturas é mais sensível a C_a do que a salinidade média da zona radicular e que os níveis de salinidade nas camadas mais profundas da zona radicular têm menores efeitos sobre o rendimento. Isto contempla os efeitos que a FL e a frequência de irrigação podem ter sobre as distribuições dos potenciais mátrico e osmótico na zona radicular e, então, sobre a resposta das culturas à salinidade, quando há secamento significativo entre as irrigações. No caso do potencial mátrico desprezível, como ocorrem em irrigação de alta frequência, \hat{C} é provavelmente o melhor índice de salinidade para avaliar a resposta da cultura, ao invés do valor médio da zona radicular (média aritmética com a profundidade), que é, provavelmente, o melhor índice para irrigações pouco frequentes (Rhoades *et al.*, 1992).

Para culturas específicas e aproximações mais exatas de NL, pode-se utilizar a seguinte equação (Rhoades, 1974):

$$NL = \frac{CE_a}{5.CE_{es}^* - CE_a} \quad (15)$$

em que NL é necessidade de lixiviação mínima que se necessita para controlar os sais dentro do limite de tolerância da cultura, empregando-se métodos de irrigação convencional; CE_a é a salinidade da água de irrigação, em $dS.m^{-1}$; e CE_{es}^* é a salinidade média do extrato de saturação do solo, em $dS.m^{-1}$, que representa a salinidade tolerada pela cultura considerada.

A necessidade de lixiviação (NL) para o controle da salinidade, também pode ser determinada usando as relações apresentadas por Rhoades (1977, 1982), quando se conhece a tolerância da cultura à salinidade, a salinidade da água de irrigação e o tipo de manejo da irrigação. Nesse caso, a relação para “irrigação convencional” é usada onde o solo pode ser deixado secar entre as irrigações, isto é, onde o estresse matricial significativo ocorre junto com o estresse osmótico induzido pela salinidade; a relação para “irrigação com alta frequência” é usada onde o solo não seca significativamente entre irrigações. Inerente a essas duas relações, está a mudança no índice de salinidade usado para relacionar a resposta da cultura à salinidade. A salinidade média na zona radicular (média aritmética) é usada para “irrigação convencional”, enquanto a salinidade da zona radicular ponderada com a absorção de água da cultura é usada para irrigações de alta frequência.

Smith & Hancock (1986) apresentaram a mesma relação e aproximação como a de Bernstein & Francois (1973b), Hoffman & Van Genuchten (1983) e Rhoades (1982) para calcular NL. Eles sugeriram que a relação ponderada com a extração de água do solo é o único método aceitável para calcular NL. Os resultados da avaliação recente feita por Bresler (1987), quanto a resposta da cultura à salinidade e manejo da irrigação, pode ser interpretada como suporte do conceito de “NL dual” de Rhoades (1982). O conceito de “NL dual” é um caminho indireto de ajustamento da NL para os efeitos do estresse mátrico sobre a resposta da cultura à salinidade e é recomendado para isto, até que um método mais convincente seja desenvolvido (Rhoades & Loveday, 1990). Então, torna-se necessário desenvolver um modelo simplificado que integre mais

adequadamente a resposta das plantas à variação da salinidade, ao estresse hídrico e ao manejo da irrigação no tempo e no espaço, bem como a tolerância mais apropriada da cultura a dada salinidade do que as informações hoje disponíveis (Bresler, 1987; Bresler & Hoffman, 1986).

2.5.4 *Frequência de lixiviação*

Altas concentrações de sais na porção inferior da zona radicular das culturas podem ser toleradas com efeitos mínimos no rendimento, quando a porção superior é mantida com teor de sais relativamente baixo (Bernstein & Francois, 1973b). As plantas compensam reduzindo a absorção de água da zona mais salina e aumentando a absorção da zona menos salina (Shalhevet & Bernstein, 1968, entre outros). Embora essa compensação possa ocorrer sem redução de rendimento, questões freqüentemente levantadas são: (i) quanto de sais pode ser armazenado na zona radicular antes que a lixiviação seja necessária e (ii) quantas vezes água em excesso deve ser aplicada para proporcionar lixiviação.

A maioria das águas de irrigação apresenta salinidade que, mesmo sem lixiviação, muitas irrigações podem ser aplicadas antes que a salinidade atinja níveis prejudiciais às culturas. Esse atraso na lixiviação é, claro, depende da tolerância da cultura; quanto mais tolerante a cultura, maior o atraso. Um exemplo de atraso da lixiviação foi apresentado Francois (1981) que conduziu experimento em lisímetros, em casa de vegetação, com alfafa usando água de irrigação de 1 dS.m^{-1} , em perfis de solo franco arenoso de 0,6, 1,2 e 1,8 m de profundidade, durante 9, 14 e 20 meses, respectivamente. O rendimento foi reduzido em menos de 25%, embora mais de 14, 30 e 45 Mg.ha^{-1} de sais fossem armazenados na metade inferior dos três perfis sem lixiviação. Assim, quanto mais profundo foi o solo, maior foi a capacidade de armazenar sais, com redução mínima de rendimento. Reduções drásticas de rendimento somente ocorreram quando os sais começaram a se acumular na porção superior da zona radicular.

Considerando a salinidade do solo, Meiri & Shalhevet (1973) concluíram que lixiviações mais freqüentes proporcionaram maiores salinidades na zona radicular no final do experimento, o que levaram a menores rendimentos de pimentão.

2.6. Salinidade e crescimento das plantas

A produção das culturas onde a salinidade está presente, pode somente ser completamente avaliada no contexto das características estabelecidas para as condições específicas de campo.

Geralmente, concentrações de sais acumuladas no tecido das plantas acima daquele requerido para as suas funções normais e acima de um dado valor limite resultará em algum prejuízo para o desenvolvimento e rendimento da planta. Acumulação excessiva de sais na planta pode ser oriunda de altas concentrações de sais na zona radicular e/ou da absorção dos sais diretamente pelas folhas, quando a água de irrigação é aplicada por aspersão.

Acreditava-se que a redução do desenvolvimento da planta provocado pela salinidade era devido a diminuição da absorção de água pela planta em resposta a uma diminuição no gradiente entre a concentração de solutos nas células da raiz ou das folhas e a salinidade da zona radicular. Ultimamente, os resultados experimentais e outras evidências indicam que a teoria da disponibilidade de água é inválida ou, pelo menos, simplifica para a situação verdadeira. Numa situação de campo, a absorção e acumulação de sais fornece uma melhor base para explicar os fenômenos de desenvolvimento negativo e positivo conhecidos que ocorrem sob condições de salinidade excessiva (Tayer, 1987).

Então, injúrias visíveis na planta, redução no desenvolvimento e mudanças internas na planta são mais diretamente relacionadas à concentração iônica (sais) interna aumentada e à composição iônica (Kramer, 1983).

A salinidade exerce uma variedade de efeitos no desenvolvimento da planta e qualidade da produção, dependendo dos fatores tais como a natureza e quantidade de sais

solúveis; a espécie e cultivar e sua tolerância à salinidade, e os vários estágios de desenvolvimento; as condições atmosféricas por causa dos seus efeitos na taxa de evapotranspiração; e o manejo da irrigação (Ingvalson et al., 1976 e Korkor & Hillal, 1976).

Os efeitos da salinidade sobre as plantas atuam em três categorias: supressão geral no crescimento, e supressão no crescimento causada pelo desbalanceamento nutricional dos íons essenciais, e causado por íons de natureza tóxica (Tayer, 1987).

Os mecanismos da supressão geral no desenvolvimento das plantas causados pela salinidade são devidos ao seu efeito direto na síntese do DNA e na redução da divisão celular e/ou alongamento das células, à diminuição da água disponível para a planta e aos efeitos específicos, como o desbalanceamento nutricional de íons essenciais e absorção de íons de natureza tóxica (Tayer, 1987).

Neiman (1965) reportou que a síntese de DNA em folhas de feijão foi mais reduzida que a síntese de RNA, o que resultou numa divisão celular reduzida porém com maior crescimento celular, com pouca variação na síntese de proteínas.

Outro estudo foi conduzido por Hencker & Strogonov (1961) elucidando o efeito do NaCl e Na₂SO₄ na anatomia e relações hídricas do algodão. O sal de cloreto aparentemente reduziu a divisão celular mais do que o sal de sulfato, resultando em folhas mais delgadas, um menor número de estômatos, menor transpiração e um maior teor de água total.

Com respeito a teoria da disponibilidade de água, a mesma pode ser sustentada pelas evidências descritas em seguida.

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, verificou que a absorção foi quase o dobro na solução mais diluída (-30 kPa).

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

Outras evidências sobre a teoria da disponibilidade foram obtidas em estudos de efeitos da salinidade variável na vertical no desenvolvimento e absorção de água pela planta. Experimentos foram conduzidos em colunas de solo com câmaras diferentemente salinizadas que permitiam penetração das raízes mas não a transferência de sais. Dados obtidos com tomate e milho mostram que onde a concentração salina era maior o desenvolvimento radicular era menor (Lunin & Gallatin, 1965). Com respeito a absorção de água, Shalhevet & Bernstein (1968) verificaram que a absorção de cada câmara diminuía quando a salinidade da câmara aumentava. A redução da absorção de água, numa câmara salinizada foi parcialmente compensada pelo aumento da absorção da câmara complementar com menor salinidade. O nível de salinidade de cada câmara foi igualmente significativo em causar redução de rendimento, mostrando que a salinidade média da zona radicular parece ser um bom estimador da salinidade efetiva. Seus dados também demonstraram que a taxa de transpiração absoluta diminuiu com um aumento na salinidade média, enquanto a eficiência de transpiração (ml.g^{-1} de matéria seca) permaneceu a mesma para a faixa de salinidade estudada.

Além do efeito osmótico da salinidade sobre as plantas, efeitos específicos, que podem ser de natureza tóxica ou de desbalanceamento dos nutrientes essenciais, podem atuar separado ou conjuntamente. Segundo Allison (1964), Kafkafi (1984) e Marschner (1986), a presença de certos íons em excesso pode impedir a absorção de outros elementos essenciais para o crescimento da planta, levando ao desbalanceamento nutricional. Por outro lado, um efeito tóxico ocorre quando a absorção excessiva de um íon provoca danos à planta, normalmente através de injúrias, como a queima das folhas produzidas pela acumulação elevada de sódio, cloreto e boro (Ayers & Westcot, 1991).

Hayward & Wadleigh (1949) reportam que altas concentrações de sulfato geralmente diminuem a absorção de cálcio enquanto promovem a absorção de sódio.

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.

Epstein (1956) descreve que a estabilidade na absorção de um nutriente aniônico pode ser relacionado aos sítios de absorção específica para estes íons, mas a conversão rápida de ânions em composto orgânico pode também ser um fator para manter uma taxa elevada de absorção. Isso explica o fato da absorção dos nutrientes aniônicos apresentar maior estabilidade na presença de outro ânion do que cátions serem absorvidos na presença de outro cátion em excesso (Bernstein & Hayward, 1958).

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, proporcionando aumento na absorção de cloreto, quando o mesmo encontra-se em concentração elevada no meio.

Geralmente, os efeitos da salinidade (osmótico) são visualmente similares aos provocados por déficit hídrico. O meio mais viável para determinar a diferença entre os efeitos da salinidade e do déficit de umidade no desenvolvimento das plantas é analisando o tecido vegetal com respeito ao teor de sais. A falta de água normalmente reduz a absorção mineral total. Transpiração por unidade de matéria seca ou por unidade de área foliar é usualmente muito similar nos estresses causados pela salinidade ou por falta de água. A redução no desenvolvimento da planta devido a salinidade quase sempre envolve uma menor absorção total de água (mas nem sempre) pela planta. Isso necessariamente não significa que a absorção de água reduzida seja a causa do estresse devido à salinidade. O menor desenvolvimento da planta, causado pela redução do DNA e crescimento celular, com folhas menores e pouca área foliar tendo menos estômatos (resultando em menor transpiração) poderia ser a causa direta da menor absorção de água. Menor desenvolvimento do sistema radicular e do xilema poderia provocar uma menor absorção de água, também. O teor de água na planta por unidade de matéria seca é freqüentemente maior sob condições de estresse salino do que sob estresse hídrico (Tayer, 1987).

Segundo Lauchi & Epstein (1984), as plantas podem ser classificadas como tolerantes e como sensíveis à salinidade. As plantas tolerantes, também podendo ser denominadas de halófitas, são capazes de absorver sais em altas taxas e acumular em suas folhas para estabelecer um equilíbrio osmótico com o baixo potencial da água presente no solo. Este 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 que não haja interferência com os mecanismos enzimáticos e metabólicos e com a hidratação de proteínas das células.

Para esse ajuste osmótico na membrana que separa o citoplasma e o vacúolo, não há fluxo de um compartimento para outro, mesmo que haja elevado gradiente de concentração. O ajuste osmótico é obtido por substâncias compatíveis com as enzimas e os metabólitos ali presentes. Esses solutos são na maioria orgânicos como compostos nitrogenados e, em algumas plantas, açúcares como o sorbitol (Lauchi & Epstein, 1984).

As plantas sensíveis à salinidade tendem, em geral, a excluir os sais na absorção da solução do solo, mas não são capazes de realizar o ajuste osmótico como descrito anteriormente e sofrem com decréscimo de turgidez, levando as plantas ao estresse hídrico por osmose. Embora o crescimento da parte aérea das plantas se reduza com o acentuado potencial osmótico do substrato onde vivem, a diminuição da absorção de água não é necessariamente a causa principal do reduzido crescimento das plantas em ambientes salinos. De fato, Kramer (1969) afirma que plantas que crescem em substratos salinos mantêm sua turgidez e chama atenção para o motivo de que a suculência é uma característica comum entre as halófitas. Este fato sugere que estas plantas não perdem água por salinidade como se estivessem em solos secos e também não se recuperam, como fazem as plantas estressadas por falta de água, ao receberem água novamente. Assim, parece que o efeito no crescimento, de níveis similares de potencial osmótico e mátrico, seja diferente.

De acordo com Kramer (1983), a redução no desenvolvimento das plantas causada pela salinidade é muito mais relacionado à acumulação de sais na planta do que à redução da disponibilidade de água no substrato. Então se há seca fisiológica, ela ocorre

nas células da planta, ao invés de ocorrer na zona radicular. Embora vários ensaios tenham demonstrado que as plantas apresentam respostas similares aos potenciais mátrico e osmótico, os mecanismos fisiológicos dos mesmos podem ser bem diferentes. Kramer (1983) conclui que o aumento na concentração de sais primeiro reduz a força motriz (o gradiente para absorção), mas a maioria das plantas submete-se ao ajustamento osmótico restaurando este gradiente de potencial de água entre o substrato e as raízes. No entanto, o que viria a prejudicar a planta seria redução no crescimento radicular e na sua permeabilidade, produzida pelas concentrações altas de sais no meio, e a inibição dos processos metabólicos, devida a acumulação de sais no tecido vegetal.

Poljakoff-Mayber & Lerner (1993) concluíram, a partir de uma vasta revisão de literatura, que o decréscimo de potencial de água do meio resulta na diminuição da turgidez que é necessária para o crescimento celular. Então, para crescer sob condições salinas, a planta deve acumular solutos, tanto inorgânico (como o próprio NaCl) como orgânico. A toxicidade do NaCl é o principal fator de inibição do crescimento celular. A compartimentação de Na e Cl no vacúolo e acumulação de solutos compatíveis no citoplasma previne os riscos da toxicidade. Plantas regeneradas de células adaptadas aos sais podem produzir variedades mais resistentes.

Ainda, segundo esses mesmos autores, a maioria dos mecanismos envolvidos tem um papel importante na resposta das plantas à salinidade, mas parece que o balanço hormonal alterado é um dos fatores mais afetado pela salinidade, sendo, portanto, o grande responsável pela inibição do crescimento das plantas.

Jacoby (1993) considera que plantas resistentes à salinidade devem manter o crescimento na presença de um estresse osmótico e concomitantemente evitar uma alta concentração de sais no citoplasma. O crescimento é primeiramente mantido por um aumento na quantidade de solutos nas células e conseqüente ajustamento da turgidez. Este mecanismo pode ser suplementado pelo aumento da plasticidade da parede celular e diminuição da turgidez limite. Enquanto a toxicidade iônica é evitada pela utilização de solutos compatíveis para o ajustamento osmótico do citoplasma e por confinar os íons, em particular Na, nos vacúolos.

Segundo Ayers & Westcot (1991), Rhoades & Loveday (1990), Rhoades et al. (1992), Richards (1954), entre outros, a salinidade do solo pode afetar o desenvolvimento e a produção das plantas, através dos efeitos osmótico e tóxico e, indiretamente, por alterações físicas e químicas do solo. Todavia, nem todas as plantas respondem de maneira semelhante à salinidade, onde algumas são capazes de produzirem satisfatoriamente em níveis de salinidade do solo elevados, enquanto outras não conseguem nem germinar

Maas (1984, 1986) e Maas & Hoffman (1976, 1977) apresentam a tolerância à salinidade, expressa em salinidade máxima limite até a qual a cultura não é afetada e o decréscimo relativo do rendimento por incremento de uma unidade de salinidade acima do nível crítico, para uma grande quantidade de culturas, baseada em uma revisão bastante extensa. Verifica-se, nesses trabalhos, que a maioria das plantas olerícolas são sensíveis ou moderadamente sensíveis à salinidade. Por exemplo, para irrigação convencional, a salinidade do solo (condutividade elétrica do extrato de saturação - CEes) a partir da qual começa a haver redução nos rendimentos do feijão-vagem, alface, pimentão, pepino, tomate e abobrinha é, respectivamente, 1,0; 1,3; 1,5; 2,5; 2,5 e 3,2 dS/m, e os decréscimos relativos são de 19%, 13%, 14%, 13%, 9,9% e 16%.

Segundo Maas & Hoffman (1976, 1977), além de haver diferenças de tolerância entre as espécies e entre cultivares, dentro de uma mesma espécie pode também existir diferenças entre as fases fenológicas.

Bernstein & Francois (1973a) estudando o efeito do método de irrigação (sulco, gotejamento e aspersão) com água salina ($3,8$ ou $4,2$ dS.m⁻¹ com os fertilizantes) ou não, verificaram que usando uma maior frequência de irrigação para sulco e aspersão, tanto o rendimento do pimentão praticamente equiparou-se ao obtido com gotejamento quando usou água não salina, como as diferenças de rendimento em relação a água não salina foram bastante reduzidas para estes dois métodos. Quando se irrigou com gotejamento, a salinidade da água praticamente não afetou o rendimento do pimentão, enquanto com a aspersão, houve maiores perdas de rendimento. Este resultado pode estar relacionado ao efeito tóxico do Cl e Na, uma vez que houve uma maior absorção foliar destes

elementos, embora os autores justifiquem o fato pelo aumento da salinidade na zona radicular devido à lavagem dos sais que se concentravam na superfície do solo entre as irrigações e o acúmulo na região ativa das raízes, quando se irrigava com aspersão.

Segundo Doorenbos & Kassam (1994) o pimentão é moderadamente sensível à salinidade, e é mais sensível na fase de plântula.

2.7. Recuperação de solos salinos

Algumas vezes os níveis de salinidade do solo não podem ser reduzidos ao longo do tempo, através da irrigação e práticas de manejo da cultura. Então, quando a salinidade do solo supera o limite de tolerância das culturas, deve-se parar o cultivo temporariamente e acelerar o processo de remoção por uso de práticas de recuperação. Para seleção da prática de recuperação apropriada, é necessário fazer o 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. Tendo-se a drenagem, a salinidade pode ser reduzida para um nível aceitável através da lixiviação, que neste caso denomina-se de lavagem; para solos sódicos, a aplicação de corretivos apropriados pode ser requerida, em adição a lixiviação para reduzir o teor de Na trocável (Ayers & Westcot, 1991; Pizarro, 1978; Rhoades & Loveday, 1990).

A quantidade de água necessária para realizar a lavagem de 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 recuperar (que depende da cultura que será explorada), de certas propriedades do solo e da área, e do método de aplicação de água e seu nível de salinidade (Rhoades & Loveday, 1990).

Num sistema poroso ideal, isto é, sem poros que permitam passagem preferencial de água, sem dissolução e precipitação de sais, difusão de sais restrita, ou dispersão hidrodinâmica, a concentração de sais da água do solo passando numa dada posição do perfil do solo deveria diminuir para a concentração da água aplicada quando o

volume de água igualasse ao espaço poroso do volume de solo a ser lavado. Entretanto, segundo Van Hoorn (1981), raramente ocorrem as condições ideais. Geralmente a quantidade de água que atravessa o perfil de solo sem se misturar com a solução do solo é maior à medida que cresce o teor de argila, a lâmina de lavagem requerida, o teor de água do solo mantido durante o processo de lavagem e a concentração de sais precipitados no perfil. Várias estimativas de fatores apropriados têm sido estabelecidos para levar em conta as ineficiências das lavagens a nível de campo (Van der Molen, 1956; Van Hoorn, 1981).

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).

Jury et al. (1979) estabeleceram a seguinte relação:

$$\frac{C}{C_o} \cdot \frac{D_1}{D_s \theta} = 0,8 \quad (16)$$

em que C é a concentração de sais do efluente, C_o é a concentração inicial da água do solo, D_1 e D_s são a lâmina de água aplicada e a profundidade de solo a recuperar, respectivamente, e θ é o teor volumétrico da água do solo. O termo $(D_1/D_s\theta)$ corresponde aos volumes de poros da água de lixiviação aplicada. Neste caso, aproximadamente 60 e 80% dos sais totais removidos ocorrem com aplicações equivalentes de 2 e 4 volumes de poros de água de lixiviação, respectivamente.

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

$$\frac{C}{C_o} \cdot \frac{D_1}{D_s} = k \quad (17)$$

em que C/C_o é a fração da concentração inicial de sais que permanecem no perfil de solo após aplicação da lâmina de lixiviação por unidade de profundidade de solo a recuperar (D_1/D_s) . Considerando a concentração da água aplicada (C_a), (C/C_o) pode ser substituído por $(C-C_a)/(C_o-C_i)$. Este procedimento aperfeiçoa o cálculo de D_1 quando C_a aumenta ou

quando se aproxima da recuperação completa (isto é, $C = C_a$) (Rhoades & Loveday, 1990). O valor da constante k varia com o tipo de solo e método de aplicação de água. Segundo Hoffman (1980), os valores representativos de k para 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.

Miller et al. (1965), comparando a irrigação por inundação contínua com intermitente para recuperação de solo salino, verificaram que houve uma redução para um terço da água requerida pela inundação contínua para conseguir o mesmo grau de remoção de sais por inundação intermitente. A lixiviação de sais ainda pode ser mais eficiente quando se utiliza irrigação por aspersão (Nielsen et al., 1966). Também, Hoffman (1980) mostra que k praticamente não depende do tipo de solo, quando a lavagem é feita por inundação intermitente ou aspersão, podendo assumir o valor de 0,1 para lavagem de recuperação usando estes métodos de irrigação.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e características da área experimental

O experimento foi conduzido no decorrer do ano de 1996, na Área Experimental de Irrigação do Departamento de Engenharia Rural, na Fazenda Areão, pertencente a Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz - USP, no município de Piracicaba, SP, situado nas coordenadas geográficas de 22°42’ de latitude Sul e 47°38’ de longitude Oeste e altitude de 540 m. O clima da região, na classificação climática de Köppen, é do tipo CWa, isto é, subtropical úmido, com três meses mais secos (junho, julho e agosto), chuvas de verão, seca de inverno, temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C e a do mês mais frio inferior a 18 °C (Bezerra, 1995).

O solo da área é classificado como Terra Roxa Estruturada. No Apêndice 1 é apresentada a descrição de um perfil representativo da área.

3.2. Cultura

Utilizou-se um híbrido de pimentão (*Capsicum annuum*, L.), denominado comercialmente de ‘Luis’, procedente da Asgrow e desenvolvido originalmente pela Bruinsma, Holanda. Os frutos tem formato retangular e tamanho médio, apresentam alta percentagem de quatro lóculos bem definidos. Os frutos verdes têm espessura de polpa média, coloração verde-brilhante muito atraente e boa conservação pós-colheita. Quando maduros, os frutos são vermelhos e apresentam espessura de polpa grossa (7 a 8 mm). As plantas atingem a primeira colheita por volta dos 95 dias após a semeadura, são altas com folhagem muito vigorosa, e se adaptam muito bem ao cultivo protegido. Este híbrido é resistente ao PMMV1,2 (vírus do mosqueado do pimentão e PVY).

3.3. Descrição das estruturas experimentais

A pesquisa correspondeu a dois experimentos conduzidos numa estufa de plástico, com duas coberturas em arco, apresentando 10 m de largura, 20 m de comprimento e 1,6 m de pé-direito, sendo que os arcos na sua parte mais alta atingiam a altura de 3,1 m. As paredes laterais e frontais foram confeccionadas de sombrite, tendo um rodapé de polietileno transparente com 0,50 m de altura. Também foi colocado um plástico enterrado ao redor da estufa e cortinas laterais, que eram baixadas por ocasião das chuvas, para evitar que água de chuva atingisse o interior da estufa. Foi utilizada uma cobertura de manta de polietileno de baixa densidade transparente de 0,10 mm, tratada contra a ação de raios ultravioletas, com um ano de uso. A Figura 1 ilustra a estufa e sua localização na área.



Figura 1. Estufa utilizada no experimento e sua localização na área.

No primeiro ensaio, em cada parte da estufa, foram levantados 2 canteiros no sentido longitudinal de 1,0 m de largura de leito, separados de 1,0 m, onde foram transplantadas duas fileiras de mudas de pimentão em cada, espaçadas de 0,70 m. Entre os dois canteiros levantados em cada parte da estufa e cortando-os transversalmente a cada 2,0 m, foram abertas valetas de 0,9 m de profundidade e instalado um plástico (lâmina de polietileno preto de 0,2 mm em duas vias), de modo que cada porção de área de canteiro isolada constituiu-se numa parcela experimental. O plástico teve o objetivo de evitar o deslocamento lateral de água e sais entre as parcelas adjacentes. Em cada parcela foram plantadas 10 mudas de pimentão espaçadas de 0,40 m na fileira. A planta baixa do experimento é apresentada na Figura 2.

O segundo ensaio (Experimento II) consistiu na recuperação do solo das parcelas salinizadas no Experimento I (das 24 parcelas irrigadas com as duas águas mais salinas - S2 e S3) através da técnica de lavagem. Então, após a última colheita, retirada das plantas e a última amostragem de solo, as parcelas foram mantidas cobertas com lâminas de polietileno preto até a realização da recuperação para evitar o secamento do solo.

Em seguida serão apresentadas as metodologias adotadas para cada um dos experimentos.

3.4. Experimento I

3.4.1. *Características químicas e físico-hídricas do solo*

A Tabela 1 apresenta características físicas médias do solo da área experimental, como também, os resultados da análise de fertilidade feito para uma amostra composta obtida na camada de 0 a 20 cm dos canteiros. Os parâmetros da equação de Van Genuchten (1980), que descrevem as curvas de retenção de água do solo, obtidos de acordo com Dourado Neto et al. (1995), encontram-se na Tabela 2. Foram determinadas 16 curvas representando as camadas 0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm de 4 perfis, ou seja, dos 4 blocos da área experimental. As medidas foram feitas no Laboratório de Física de Solo do Departamento de Engenharia Rural/ESALQ/USP, utilizando mesa de tensão

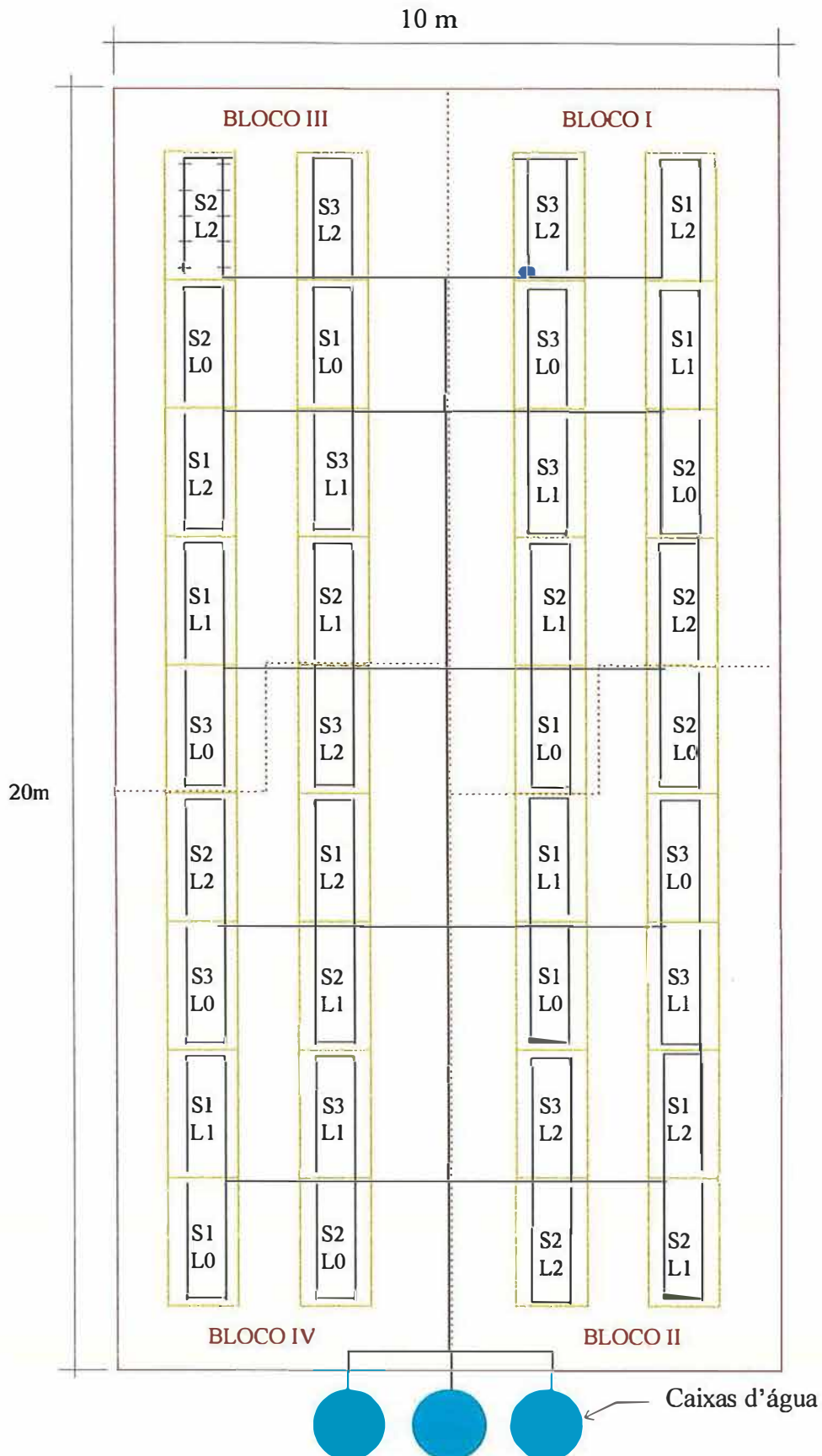


Figura 2. Croqui da área experimental e esquema do sistema de irrigação.

para as tensões de 1, 2 e 4 kPa, e panela e membrana de pressão para as tensões de 10, 30, 50, 100, 300, e 1500 kPa. As amostras indeformadas foram coletadas em anéis de 5 cm de diâmetro e 3 cm de altura, servindo também para determinar a densidade global do solo.

Tabela 1. Granulometria média e classe textural do solo da área experimental, densidade global e resultados da análise de fertilidade do solo da estufa.

Prof.	Granulometria (g.kg ⁻¹)			Classe Textural	Densidade (g.cm ⁻³)
	Areia	Silte	Argila		
0-20	240	210	550	Argiloso	1,44±0,13*
20-40	250	200	550	Argiloso	1,43±0,16
40-60	240	230	530	Argiloso	1,28±0,17
60-80	220	170	610	Argiloso	1,29±0,14
pH (CaCl ₂)	6,0	K (cmol _c .kg ⁻¹)	0,32	H (cmol _c .kg ⁻¹)	2,16
P (mg.kg ⁻¹)	53	Ca (cmol _c .kg ⁻¹)	5,90	Al (cmol _c .kg ⁻¹)	0,04
M.O. (g.kg ⁻¹)	14	Mg (cmol _c .kg ⁻¹)	2,30	V (%)	79

* Desvio padrão, determinado a partir de 4 valores.

Após o cultivo foram estimadas as equações de condutividade hidráulica em função do módulo do potencial mátrico ($K(h)$), a partir de ensaios de campo, usando o método do perfil instantâneo, realizados em 8 parcelas de 2,0 x 1,5 m, ou seja, no próprio canteiro, sendo duas em cada bloco da área experimental. Utilizaram-se baterias de tensiômetros de mercúrio que já estavam instalados nas parcelas, nas profundidade de 10, 30, 50 e 70 cm, desde o período de cultivo. O ensaio foi conduzido por um período de 20 dias e repetido uma semana após de encerrado a primeira repetição. A equação de $K(h)$ foi obtida por uma simplificação do procedimento de Hillel et al. (1972), sugerida por Libardi (1995), que utiliza a variação de armazenamento de água com o tempo de redistribuição. A umidade do solo foi estimada pelas curvas de retenção obtidas para cada profundidade e local dos testes. Os parâmetros da equação de condutividade obtidos para as profundidades de 20, 40 e 60 cm e para os oito locais estão apresentados na Tabela 3, e os gráficos, no Apêndice 2, mostram um exemplo da obtenção das equações para duas parcelas.

Tabela 2. Parâmetros da equação retenção de água do solo para os blocos da área experimental em diferentes profundidades.

Bloco	Prof.	Parâmetros da equação de Van Genuchten (1980)*					r^2_{aj}
		α	m	n	θ_r	θ_s	
1	10	0,2934	0,0603	3,9608	0,246	0,537	0,993
1	30	0,1743	0,0174	3,8360	-0,012	0,517	0,988
1	50	0,0976	0,1024	2,4257	0,228	0,523	0,989
1	70	0,0794	0,0299	5,1139	0,151	0,547	0,987
2	10	0,0580	0,0860	0,9334	-0,014	0,511	0,995
2	30	0,0309	0,0335	1,0197	-0,026	0,444	0,985
2	50	0,2650	0,0261	2,4517	-0,022	0,515	0,993
2	70	0,0792	0,0161	2,6020	-0,022	0,481	0,992
3	10	0,1249	0,0267	7,4586	0,216	0,519	0,989
3	30	0,1473	0,0565	2,2724	0,126	0,548	0,985
3	50	0,1238	0,0703	3,3991	0,160	0,612	0,987
3	70	0,0722	0,1712	2,7014	0,255	0,564	0,999
4	10	0,4609	0,0127	2,8537	-0,014	0,479	0,991
4	30	0,1710	0,0156	4,3031	-0,012	0,487	0,992
4	50	0,1380	0,0719	2,5644	0,252	0,513	0,994
4	70	0,1126	0,1003	2,4631	0,257	0,522	0,991

* Modelo: $\theta(h) = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha h)^n]^m}$, em que h é o módulo do potencial mátrico, em cm de água; θ_s

é a umidade de saturação do solo; θ_r é a umidade residual, a qual corresponde a um valor extrapolado pelo ajuste; e α , m e n são parâmetros ajustados pelo modelo.

Tabela 3. Parâmetros da equação* de condutividade hidráulica em função do módulo do potencial mátrico da água do solo para as profundidades de 20, 40, e 60 cm.

Bloco	Parcela	Prof.=20		Prof.=40		Prof.=60	
		a	b	a	b	a	b
I	1	22000000	-3,80	147000000	-3,86	93300000	-3,68
I	14	15300	-2,43	17400	-2,23	682000	-3,44
II	15	139000	-3,11	85200	-2,71	6950000	-3,81
II	8	19300	-2,60	23200	-2,65	3930000	-3,94
III	20	236000000	-4,16	314000000	-3,96	127000000	-3,66
III	31	215000	-3,12	1310000	-3,36	90100000	-4,28
IV	24	215000	-3,12	1310000	-3,36	90100000	-4,28
IV	36	11500	-2,38	12600	-2,27	324000	-3,28

* $K(h) = ah^b$. Sendo a condutividade hidráulica expressa em $mm.dia^{-1}$.

A opção pelo uso das equações $K(h)$, em vez de $K(\theta)$, foi em virtude do parâmetro do solo medido ter sido o potencial mátrico. No caso da umidade do solo, a mesma foi estimada a partir do potencial mátrico, utilizando-se a equação de retenção, sendo assim, um parâmetro que apresenta erro de estimativa. Utilizou-se o modelo do tipo potencial, porque foi aquele que melhor relacionou essas grandezas (Apêndice 2).

3.4.2. *Sistema de irrigação e equipamentos para medidas climáticas*

O sistema de irrigação utilizado foi o de gotejamento, com um emissor por planta, dando, portanto, 10 gotejadores por parcela, o que permitiu produzir uma vazão média de $43 \ell \cdot h^{-1}$. O coeficiente de variação da vazão de 30 gotejadores selecionados ao acaso na área experimental foi inferior a 5%. Cada parcela representava uma sub-unidade de irrigação, onde havia um registro para controlar o tempo ou volume de água aplicado em cada parcela. Foi utilizado um único sistema de irrigação para aplicar as três diferentes águas de irrigação, uma de cada vez, haja visto o volume de água que as tubulações acumulavam (18ℓ) representavam menos de 5% do volume aplicado por irrigação. Portanto, produzindo contaminações desprezíveis. A Figura 2 mostra o esquema do sistema de irrigação na área.

Foram instalados dentro da estufa um tanque classe A, um minitanque de evaporação de 0,60 m de diâmetro e uma estação meteorológica automática com sensores para medir temperatura e umidade relativa do ar, radiação global e líquida, temperatura do solo a 10 e 30 cm de profundidade e fluxo de calor no solo à 20 cm. Esses dados medidos dentro da estufa encontram-se no Apêndice 3.

3.4.3. *Tratamentos e delineamento estatístico*

Os tratamentos foram compostos da combinação de dois fatores: salinidade média da água de irrigação com 3 níveis ($S_0 = 1,29$; $S_1 = 2,54$; $S_2 = 4,45$ dS/m) e lâminas de irrigação em relação ao uso consuntivo médio para cada nível de salinidade, nas proporções $L_0=ET_a$, $L_1=1,15ET_a$, $L_2=1,30ET_a$, onde ET_a era uma estimativa aproximada da evapotranspiração atual da cultura nos tratamentos de cada nível de

salinidade para a menor lâmina de irrigação. Teoricamente, as lâminas de irrigação correspondiam as frações de lixiviação de 0, 0,13 e 0,23. As lâminas totais de irrigação, aplicadas entre o 20^o e 165^o dia após o transplântio, em relação a evaporação do tanque classe A (ECA) no período, para os tratamentos S1L0, S2L0 e S3L0 foram respectivamente 0,96, 0,94 e 0,90ECA, como podem ser obtidas a partir do Apêndice 4, que mostra as lâminas de irrigação adotadas para cada tratamentos L0, durante o ciclo da cultura, além da evaporação do tanque classe A.

Utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso com 4 repetições, e os fatores estudados foram arranjados no esquema fatorial 3x3.

3.4.4. *Preparação das águas e controle das irrigações*

A salinidade de S1 foi produzida apenas pelos adubos, enquanto para as águas S2 e S3 ainda foram acrescentados os sais NaCl, CaCl₂ e MgSO₄, de modo que a proporção equivalente de (Na+K):Ca:(Mg+NH₄) fosse 50:30:20 e a de (Cl+NO₃):SO₄ fosse 80:20, e as concentrações totais dos sais adicionados, incluindo os adubos, correspondessem aproximadamente a 22,5 e 45 mmol_c.ℓ⁻¹, respectivamente, para as águas S2 e S3. Então, na preparação destas águas, a quantidade dos adubos KCl, Ca(NO₃)₂ e (NH₄)₂SO₄ adicionados às águas para suprir as necessidades de nutrientes da cultura substituíram, respectivamente, partes dos sais de NaCl, CaCl₂ e MgSO₄. No Apêndice 5 são listadas as concentrações iônicas adicionadas em cada irrigação à água do sistema de abastecimento, a qual tinha CE = 0,26 dS.m⁻¹, pH = 7,5 e a seguinte composição química: Na = 1,15; Ca = 1,76; Mg = 0,20; K = 0,14; Cl = 2,00; SO₄ = 0,57 e HCO₃ = 0,68 mmol_c.ℓ⁻¹, produzindo as concentrações totais expressas em condutividade elétrica que são mostradas na Figura 3.

Os sais adicionados às águas S1 e S2, são os sais mais comuns nas águas naturalmente salinas. Quanto aos adubos escolhidos, o objetivo foi fornecer íons similares aos sais utilizados, como o Ca, Mg e SO₄, não permitindo que houvessem qualquer tipo de deficiência de nutrientes devido às águas de irrigação.

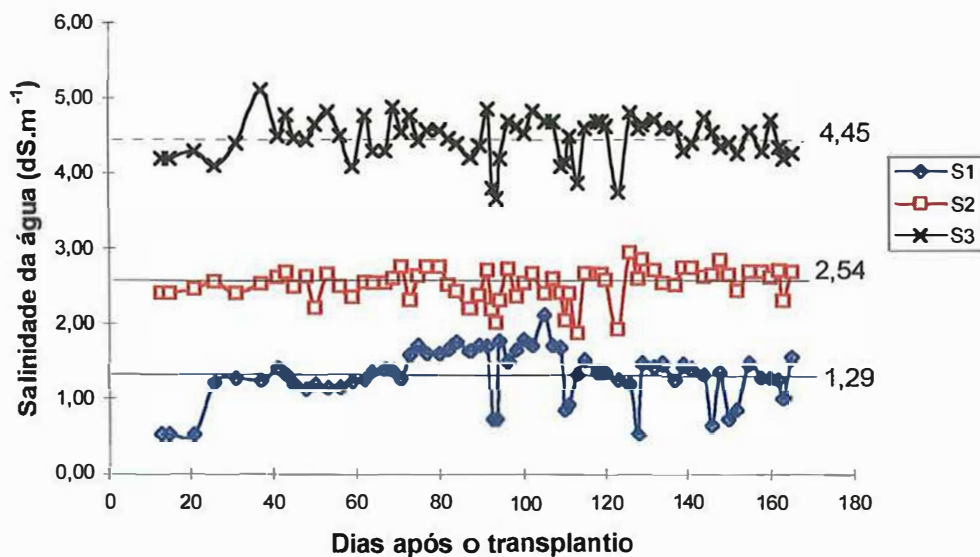


Figura 3. Salinidade das águas em cada irrigação ao longo do ciclo da cultura e média ponderada com o volume aplicado.

A evapotranspiração da cultura (ET_c) foi estimada para cada fase de desenvolvimento da planta, adotando-se o método do tanque classe A, com os coeficientes de tanque (K_p) assumidos como 1,0, conforme sugere Martinez-Raya & Castilla (1989) e coeficientes de cultivo (K_c) semelhantes aos recomendados para cada fase por Doorenbos & Kassam (1994) até 100 dias após o transplante, com ajustes para cada irrigação. Para os demais dias do ciclo adotou-se coeficientes maiores. Então, em cada irrigação, a lâmina era ajustada também para as condições de umidade atual do solo, ou seja, para a variação de armazenamento médio dos tratamentos que recebiam lâminas L_0 , como também, em função da resposta dos tensiômetros instalados a 70 cm de profundidade nas parcelas de tratamento L_0 um dia após a irrigação, em relação a situação antes da irrigação (havendo resposta, na irrigação seguinte reduzia-se a lâmina previamente calculada) e, ainda, em função da previsão da demanda evaporativa no dia da irrigação, ou seja, para dias com céu limpo e temperatura do ar às 9:00 horas acima de 25 °C acrescentava-se 10 a 30% ao volume de irrigação estimado a partir da ECA. Para as lâminas L_1 e L_2 sempre era acrescentado 15 e 30% às lâminas L_0 .

As irrigações foram realizadas sempre que os potenciais mátricos médios nas profundidades 10 e 30 cm de profundidade no tratamento S1L0 aproximava-se à 20 kPa, dando um turno de rega médio mais frequente de dois dias.

3.4.5. *Condução do trabalho*

3.4.5.1. *Preparo do solo e dos canteiros*

Antes de limitar as parcelas, foi passada a enxada rotativa duas vezes até a profundidade de aproximadamente 15 cm. Anteriormente, a estufa tinha sido cultivada com pepino, onde foi feita calagem com 4,0 Mg.ha⁻¹ e aplicação de esterco de curral e adubo químico nas covas.

Depois que o plástico foi enterrado para separar as parcelas, os canteiros foram confeccionados manualmente com 10 cm de altura.

3.4.5.2. *Plantio*

Foram transplantadas em 09/08/1996 mudas de 50 dias do híbrido 'Luis', pimentão vermelho, adquiridas em empresa produtora de mudas, obtidas em bandejas de poliestireno expandido com substrato comercial.

3.4.5.3. *Adubação*

Pelo fato da análise de solo ter revelado níveis altos de fósforo e potássio, adotou-se adubação estimada pela quantidade de N, P e K extraída pela planta ao longo do seu ciclo. Neste caso, utilizou-se a recomendação de adubação para a cultura do pimentão para cada intervalo de 10 dias sugerida por Bar-Yosef (1991), até 120 dias após o transplântio e, para os demais dias, procurou-se manter mais ou menos as concentrações adotadas entre o 100 e 120º dia, como se pode averiguar no Apêndice 5. Também foi aplicado magnésio nas parcelas que foram irrigadas com a água S1, conforme recomendação de Dominguez Vivancos (1993), como também, receberam cálcio.

As adubações foram ajustadas para cada período de 10 dias, sendo que em cada irrigação era aplicada uma fração. As quantidades de adubo realmente aplicadas para os tratamentos L0, para cada intervalos de 10 dias, estão apresentadas no Apêndice 6,

correspondendo a um total de 10,95 g de N, 1,91 g de P_2O_5 e 23,31 g de K_2O por planta de pimentão, e para o tratamento S1, incluiu ainda 0,51 g de MgO.

Os adubos nitrogenados foram na forma de $CaNO_3$ e $(NH_4)_2SO_4$, de modo que a proporção entre N- NO_3 e N- NH_4 fosse aproximadamente 3:1; o potássico foi KCl, e ácido fosfórico (H_3PO_4), além de ser a fonte de fósforo, também serviu para deixar o pH das águas ao redor de 6,5.

3.4.5.4 Condução das plantas

As plantas foram conduzidas com quatro hastes, ou seja, deixou-se dois ramos na primeira bifurcação, quatro ramos na segunda bifurcação e a partir daí foi feita a desbrota semanalmente de maneira a desenvolver apenas estes quatro ramos.

As plantas foram tutoradas entre fitilhos, que foram fixados em mourões colocados nas extremidades dos canteiros e estacas de bambu a cada 2,0 m. A medida em que as plantas cresciam, esticavam-se mais dois fitilhos paralelos por fileira de planta.

O controle de ervas daninhas foi realizado manualmente, à medida que surgiam.

Os tratos fitossanitários consistiram de tratamentos preventivos para as doenças mais comuns da região, através da aplicação dos fungicidas a base de cobre e mancozeb. O controle de pragas, como trips, mosca minadora e ácaro branco, foi realizado por ocasião do seu surgimento, através de pulverizações com inseticidas específicos.

A colheita foi realizada em intervalos de 8 a 15 dias, quando os frutos verdes estavam no ponto de colheita, realizando nove colheitas durante o ciclo da cultura, que foi de 165 dias.

3.4.6. Parâmetros avaliados

3.4.6.1. Da planta

A área útil da parcela foi representada pelas 6 plantas centrais, eliminadas, portanto, as das cabeceiras, e foram avaliados os seguintes parâmetros:

a) Número de dias para o florescimento - tempo que metade das plantas da parcela levaram para ter a primeira antese.

b) Altura da planta, durante o ciclo da cultura, tomadas quinzenalmente, medindo-se as 6 plantas úteis de cada parcela.

c) Concentração de macronutrientes, Na e Cl determinada em folhas recém-formadas no período de frutificação (115 dias) e final do ciclo. As análises foram realizadas no Laboratório de Fertilidade e Nutrição de Plantas, Departamento de Solos, ESALQ, utilizando a metodologia de rotina, conforme descreve Malavolta et al. (1997). A extração dos íons foi realizada com ácido nítrico-perclórico, exceto para cloreto, que foi apenas com água, e para N, que foi com ácido sulfúrico. As medidas foram feitas de acordo com o elemento. Assim, o Na, K, Ca e Mg foi medido através de espectrofotometria de absorção atômica, para o N utilizou-se o método clássico de Kjeldahl, o P foi determinado por colorimetria, o S através do método de turbidimetria do sulfato de bário e, o cloreto, por titulometria do nitrato de prata.

d) Produção de frutos por colheita e acumulados para 5 colheitas (115 dias) e para todas (165 dias). A produção de frutos foi classificada em total e comercial. A produção comercial foi a total menos os refugos por tamanho, queimados, com podridão estilar e defeituosos.

e) Componentes da produção - Número total de frutos e peso médio para cada colheita e para dois ciclos culturais (115 dias - 5 colheitas e 165 dias - 9 colheitas).

f) Índice de qualidade dos frutos (IQ) determinado para as 5 primeiras colheitas, segundo Zanini⁴ et al. (1995), pela fórmula:

$$IQ = \frac{3.T_1 + 2.T_2 + T_3}{6.T_1} \quad (18)$$

sendo,

T₁, T₂ e T₃ - número de frutos dos tipos 1, 2 e 3. As classes foram separadas pelo comprimento, conforme Zanini et al. (1995): tipo 1 - fruto > 130 mm; tipo

⁴ ZANINI, J.R.; SOUZA, E.C.A. de; PAVANI, L.C.; PANCRÁCIO, A.P. Efeitos da frequência de aplicação da fertirrigação nitrogenada e potássica via irrigação por gotejamento na cultura do pimentão (*Capsicum annuum* L. CV. Magda). Trabalho apresentado ao 24. Congresso brasileiro de Engenharia Agrícola, Viçosa, MG, 1995.

2 - 130 > fruto > 106 mm; tipo 3 - 106 > fruto > 90 mm, e tipo 4 (refugo)
- fruto < 90 mm

T_t - número total de frutos.

g) Porcentagem de umidade dos frutos e espessura de polpa tomadas em duas colheitas (3^a e 6^a). A espessura da polpa foi medida na quarta parte superior do fruto e a porcentagem de matéria seca foi medida 30 e 8 horas após a colheita e armazenado em saco plástico, à sombra, respectivamente, para frutos da 3^a e 6^a colheita. As medidas foram realizadas em 4 frutos comerciais de cada parcela experimental, pegos ao acaso.

h) Outros caracteres dos frutos - Comprimento, largura, relação comprimento/largura, porcentagem de frutos refugos ($C < 9,0$ cm) e extras ($C > 13,5$ cm) e de frutos largos ($L > 7,0$ cm) medidos até a 6^a colheita.

i) Evapotranspiração real da cultura - conforme descrita no item 3.4.6.2.c

3.4.6.2. Do solo

a) Salinidade do solo na zona radicular (0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm) foi medida aos 20, 60, 100, 140 e 165 dias (final) do transplântio, sempre um a dois dias após as irrigações, quando a tensão da água no solo se apresentava entre 10 e 15 kPa. Ainda na primeira e última medição-se a salinidade na camada 60-80 cm. Para análises dos dados, a salinidade nas camadas 0-10 e 10-20 foram agrupadas, fazendo a média para obter a salinidade da camada 0-20.

A primeira e última amostragem foram coletadas em 4 pontos pré-estabelecidos em cada parcela, sendo dois à 5 cm do gotejador, entre as fileiras, e outros dois à 10 cm do colo da planta, na linha de planta. Nas outras coletas, a amostra composta foi feita apenas a partir de um ponto de cada posição relativa. As posições de amostragem encontram-se ilustradas na Figura 4.

A salinidade do solo (condutividade elétrica do extrato de saturação - CEes) foi estimada a partir da $CE_{1:2}$, que é medida no sobrenadante obtido numa mistura de uma parte de solo para duas de água. Para estimar a CEes a partir da $CE_{1:2}$ estabeleceu-se uma equação de regressão determinada a partir de medidas destas CE's em parte das

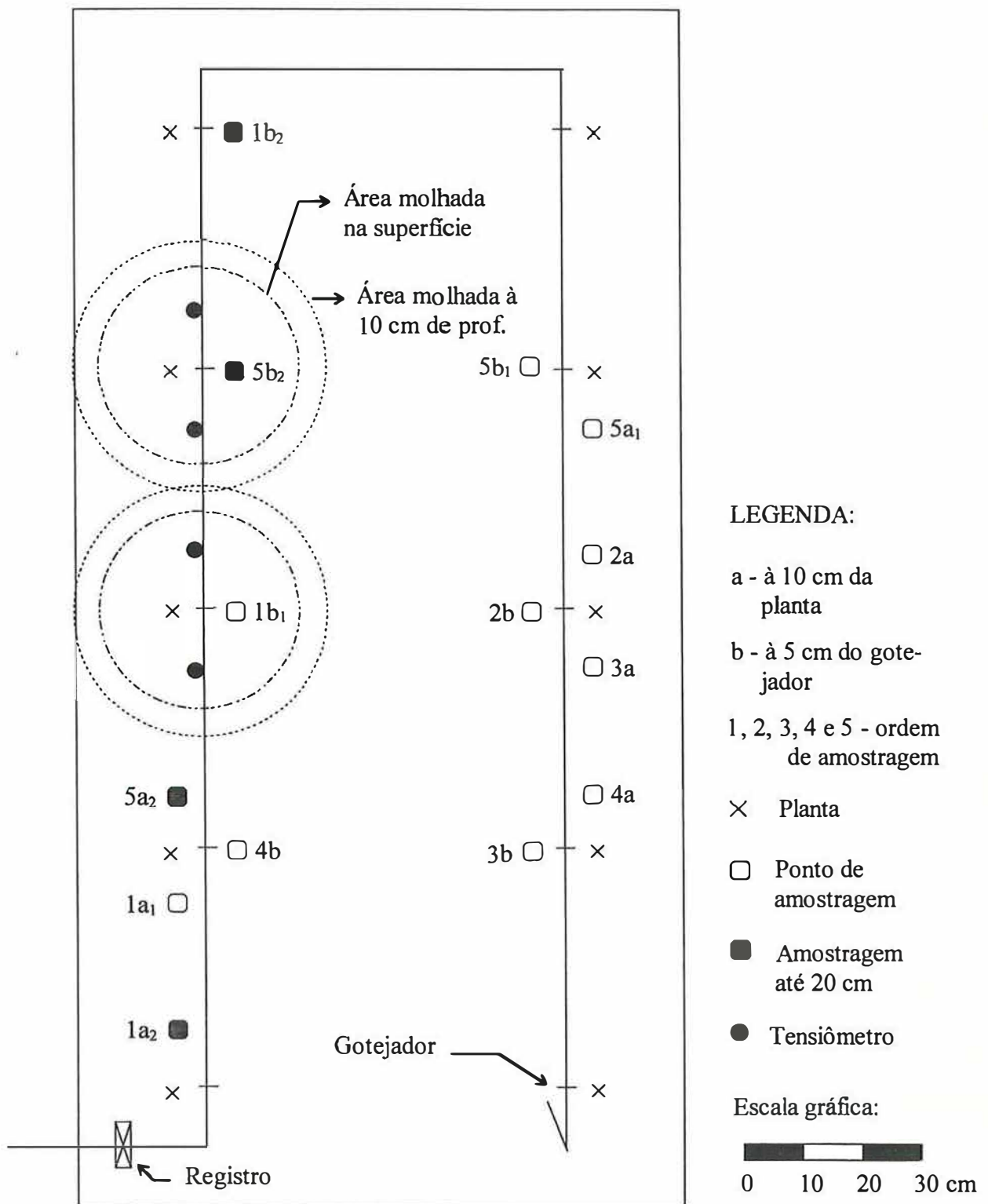


Figura 4. Planta baixa de uma parcela experimental, indicando as posições de uma linha lateral, das plantas, tensiômetros, pontos de amostragem e área molhada.

amostras (Medeiros et al., 1993; Medeiros⁵ et al., 1995; Rhoades & Miyamoto, 1990; Richards, 1954). Esta relação encontra-se no Apêndice 7. Considerando a umidade média das pastas de solo saturado, que foi de 0,55, a equação ajustada equiparou-se a equação geral obtida por Medeiros⁶ et al. (1996) para transformar $CE_{1,2}$ em CEes.

b) Análise de fertilidade do solo (cátions e fósforo extraíveis) e íons solúveis no extrato de saturação de amostras de solo coletadas no final do ciclo da cultura na camada 0-20 cm. Para determinação dos cátions trocáveis, utilizou-se a metodologia recomendada por Richards (1954) e Rhoades & Miyamoto (1990), ou seja, cátions extraíveis menos os solúveis. Para determinação dos cátions e fósforo extraíveis, foram utilizados os extratores aplicados nas análises de rotina do Laboratório de Fertilidade e Nutrição de Plantas, Departamento de Solos, ESALQ, para fertilidade do solo, ou seja, resina extratora para K, Ca, Mg e P, solução Melich para Na, e S.M.P. para Al + H, conforme Van Raij (1991).

c) Estimativa da evapotranspiração real (ETa) e da drenagem profunda (R)

Entre os métodos diretos para estimar a evapotranspiração das culturas, o balanço hídrico tem sido muito utilizado (Reichardt et al., 1979), entre outros, o qual é fundamentado na lei da conservação das massas, apresentada pela equação:

$$\int_{t_0}^{t_1} (p + i - e \pm q_e \pm q_z) dt = \int_0^z \int_{t_0}^{t_1} \left(\frac{\partial \theta}{\partial t} \right) \quad (19)$$

O primeiro termo da equação representa o somatório de todas as entradas e saídas de água em um elemento de volume de solo de base unitária e altura z , durante o intervalo de tempo Δt ($t_1 - t_0$). O segundo termo representa as variações da quantidade de água, no mesmo intervalo de tempo (Δt) em uma camada de profundidade de 0 a z .

⁵ MEDEIROS, J.F. de; MEDEIROS, D.S. de; PORTO FILHO, F.Q. & NOGUEIRA, I.C.C. Efeitos da qualidade e quantidade da água de irrigação na produção de coentro (*Coriandrum sativum*, L.). Trabalho apresentado ao 24. Congresso brasileiro de Engenharia Agrícola, Viçosa, MG, 1995

⁶ MEDEIROS, J.F. de; SCATOLINI, M.E.; FERNANDES, A.L.T. & CRUCIANI, D.E. Método alternativo de campo para avaliar a salinidade do solo em estufa. Trabalho apresentado ao 25. Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Bauru, 1996.

A integração da equação, com relação ao tempo e à profundidade, resulta na equação simplificada do balanço (Reichardt, 1996) que é:

$$P + I - ET \pm R_z \pm ES = \pm \Delta A \quad (20)$$

sendo,

P - precipitação natural, em mm;

I - irrigação, em mm;

ET - evapotranspiração da cultura, em mm;

R_z - fluxo de água na profundidade z, chamado de percolação quando é negativo ou ascensão capilar quando positivo, em mm;

ES - escoamento superficial, sendo positivo quando entra, e negativo quando sai, em mm.

ΔA - variação do armazenamento de água do solo na camada de profundidade de 0 a z para o intervalo de tempo considerado no balanço.

No presente trabalho, considerou-se um volume de solo de profundidade $z = 60$ cm, para as determinações dos componentes do balanço hídrico da cultura do pimentão. Foram usados em cada parcela, uma bateria de tensiômetros com manômetro de mercúrio nas profundidades de 10, 30, 50 e 70 cm para determinação do potencial mátrico e estimativa da umidade do solo. A posição dos tensiômetros nas parcelas está indicada na Figura 4. As leituras foram efetuadas diariamente às 8 horas da manhã.

Nas condições em que se conduziu o trabalho, os componentes do balanço P e ES da eq. (20) foram negligenciados.

A evapotranspiração da cultura, em cada parcela, foi estimada usando o método do balanço hídrico modificado para os intervalos 21-30, 31-40, 41-55; 56-75; 76-95, 95-115, 116-130, 131-145, 146-165 dias após o transplante, os quais contemplam as diferentes fases fenológicas. Esta modificação no balanço hídrico deveu-se a peculiaridade da irrigação por gotejamento, que molha apenas uma fração de solo, cuja área varia com o volume de água aplicado por irrigação (Schwartzman & Zur, 1986),

conteúdo de água no solo antes da irrigação, entre outros. Além disso, devido o monitoramento da umidade do solo ter sido feito com tensiômetros, o que representa medidas pontuais, é necessário se estabelecer a área média do bulbo que pode ser representada pelos conteúdos de umidade estimados nos pontos de medida (Vinten et al., 1986). Então, para os dias com irrigação estimou-se a área média molhada por parcela, onde ocorre a variação de armazenamento e percolação profunda. Para isso, utilizou-se uma estimativa da evapotranspiração da cultura para o dia em questão, possibilitando calcular a área pela fórmula seguinte:

$$A_i = \frac{V_i - 4 \cdot \hat{E}Ta_i}{\Delta S_i + \hat{R}_{i+1}} \quad (21)$$

onde,

V_i - volume de água aplicado por irrigação em cada parcela no i -ésimo dia, em ℓ ;

A_i - área média molhada do bulbo até a 60 cm de profundidade no i -ésimo dia após o transplântio que teve irrigação, em m^2 ;

$\hat{E}Ta_i$ - evapotranspiração estimada para o tratamento controle (S1L0), utilizando a evaporação do tanque classe A e o coeficiente de cultivo ajustado a partir dos valores adotados em cada irrigação (Figura 5), em mm. Para as águas S2 e S3, diminuiu-se aproximadamente 3 e 8% dos valores para água S1, a partir dos 80 dias do transplântio;

ΔS_i - módulo da variação da lâmina de água armazenada na zona radicular da cultura entre antes da irrigação e no outro dia após a irrigação, em mm.

\hat{R}_{i+1} - Fluxo médio ajustado obtido para o dia posterior à irrigação. Assumiu-se que o fluxo médio no dia da irrigação foi similar ao fluxo do dia seguinte, o que representa uma boa aproximação, haja vista que a maior frequência do turno de rega foi de dois dias.

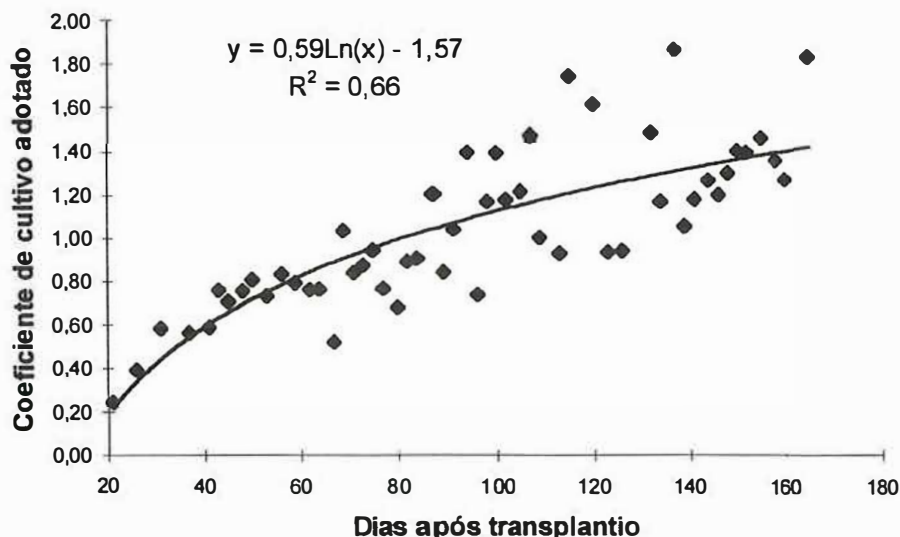


Figura 5. Coeficientes de cultivo adotados para estimar a lâmina de irrigação para as parcelas do tratamento controle (S1L0).

Para os dias após a irrigação adotou-se a mesma área calculada para o dia da irrigação. Para cada período considerado, para realização do balanço, calculou-se a área média no período.

Em seguida, serão descritos cada componente do balanço.

c.1. Lâmina de irrigação (I)

A lâmina de cada irrigação, em mm, foi obtida dividindo-se o volume de água aplicado à parcela pela área ocupada pelas plantas na parcela (adotada como 4 m^2);

c.2. Variação de armazenamento (ΔS)

A variação de armazenamento, obtida pela diferença entre a lâmina de água armazenada até a profundidade z entre o dia presente e o seguinte, foi calculada pela expressão:

$$\Delta S_{i(0-z)} = (\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_{i+1})z \quad i=1, 2, 3, \dots, n \text{ dias} \quad (22)$$

em que $\bar{\theta}$ representa a umidade média do solo até a profundidade z na área molhada.

Para o balanço realizado num período, a variação de armazenamento foi calculada entre dias pós-irrigação, como também, foi ajustado para a área ocupada pela cultura. Para isso, multiplicou-se pela área molhada para o período e dividiu-se por 4.

c.3. Drenagem profunda (R)

O fluxo de água instantâneo para a profundidade z (q_z) foi calculado para cada parcela experimental através da equação de Darcy-Buckingham escrita de maneira simplificada como:

$$q_z = K(h)_z \cdot \left. \frac{\Delta\phi_t}{\Delta z} \right|_z \quad (23)$$

onde,

$K(h)_z$ - condutividade hidráulica do solo em função do módulo do potencial mátrico do solo, em cm, na profundidade z . O valor de h corresponde à média dos módulos dos potenciais mátricos calculados a partir dos tensiômetros adjacentes à posição z . Utilizaram-se as profundidades z de 20, 40 e 60 cm.

$\left. \frac{\Delta\phi_t}{\Delta z} \right|_z$ - gradiente de potencial total (mátrico + gravitacional) da água do solo na profundidade z , obtido pela razão entre a diferença dos potenciais determinados $\Delta z/2$ acima e abaixo da profundidade z e a distância entre os pontos onde mediu-se os potenciais.

O fluxo médio durante o dia (R_i) foi obtido pela média dos fluxos instantâneos calculados para a manhã daquele dia e do dia seguinte.

Devido ao fato do fluxo médio estimado para uma profundidade z ter sido maior do que a variação de armazenamento nesta profundidade, em alguns dias sem irrigação para algumas parcelas, o que pode ter sido provocado por erros das leituras tensiométricas associado a má estimativa da equação $K(h)$ para aquele valor de potencial, adotou-se um ajustamento, da seguinte forma:

1ª) Para $z=20$ cm \rightarrow Se $(\Delta S_{i(0-20)} > R_{i(20)})$, $ET_{i(20)} = \Delta S_{i(0-20)} - R_{i(20)}$, senão $ET_{i(20)} = 0$;

2ª) Para $z=40$ cm \rightarrow Se $(\Delta S_{i(0-40)} > R_{i(40)})$ e $(\Delta S_{i(0-40)} - R_{i(40)}) > ET_{i(20)}$, $ET_{i(40)} = \Delta S_{i(0-40)} - R_{i(40)}$, senão $ET_{i(40)} = ET_{i(20)}$;

3ª) Para $z=60$ cm \rightarrow Se $(\Delta S_{i(0-60)} > R_{i(60)})$ e $(\Delta S_{i(0-60)} - R_{i(60)}) > ET_{i(40)}$, $ET_{i(60)} = \Delta S_{i(0-60)} - R_{i(60)}$, senão $ET_{i(60)} = ET_{i(40)}$.

Assim, o fluxo médio de água abaixo da zona radicular ($z=60$ cm) foi ajustado para os dias sem irrigação, da seguinte forma:

$$R_{i(60)} = \Delta S_{i(60)} - ET_{i(60)} \quad (24)$$

Para o dia de irrigação, assumiu-se o fluxo médio ajustado do dia posterior.

O fluxo também foi transformado para a área de cultura em cada parcela ($4,0 \text{ m}^2$), multiplicando-se pela área média do bulbo molhado estimada para o dia da irrigação e dividindo-se por 4, denominando-se agora de drenagem profunda ajustada.

Com os dados de drenagem profunda diária foram calculadas as médias, que multiplicadas pelo comprimento dos períodos considerados, geraram estimativas das drenagens profundas parciais. A partir destes valores parciais e as ET estimadas pelo balanço hídrico para cada período, calcularam-se as FL médias nos diferentes intervalos de dias. Além disso, a drenagem profunda para todo o ciclo cultural, foi determinada pela soma dos valores parciais.

c.4. Evapotranspiração (ET)

A componente ET é a incógnita da equação do balanço hídrico. Explicitando-a na eq. (20), tem-se:

$$ET_z = I - R_z + \Delta S_{0-z} \quad (25)$$

em que todos os componentes são lâminas ajustadas para área ocupada pela cultura na parcela.

Para as condições em que foi desenvolvido o trabalho este componente ET pode ser conceituado como evapotranspiração máxima (ETm) e real (ETa).

A partir da evapotranspiração da cultura determinada para cada período nas parcelas irrigadas com a água de menor salinidade (S1) e a evaporação do tanque classe A, estabeleceu-se os coeficientes de cultivo ao longo do ciclo para as condições sem estresse salino.

d) Fração de água absorvida por camada

A fração de água absorvida por camada foi estabelecida através do balanço hídrico para os dias sem irrigação, assumindo a zona radicular com 20, 40 e 60 cm de

profundidade. Então, o incremento de água consumida pela cultura devido ao incremento na profundidade da zona radicular, em relação ao uso consuntivo total, representou a fração de água absorvida nas camadas.

Para o período compreendido entre 20 e 40 dias após o transplântio, assumiu-se que não houve absorção de água na camada 40-60 cm. Assim, quando numa dada parcela os cálculos realizados pelo balanço hídrico acusou alguma fração de água absorvida para esta camada, o referido valor foi adicionado à camada 20-40 cm. Nos períodos seguintes, para essas mesmas parcelas, as lâminas absorvidas calculadas na camada mais profunda foram subtraídas daquelas lâminas calculadas no primeiro período, sendo estas somadas a lâmina absorvida na camada 20-40 cm. Assim, assumiu-se que este erro continuaria se repetir nestas parcelas até o final do experimento.

e) Salinidade média da zona radicular no tempo e ponderada no espaço (profundidade), conforme sugerem Hoffman et al. (1992), Meire & Shalhevet (1973), entre outros, considerando-a com 20, 40 ou 60 cm de profundidade, e ponderada com fração de água absorvida em cada camada, como é recomendado por Smith & Hancock (1986), Rhoades & Loveday (1990) e Rhoades et al. (1992) para irrigação de alta frequência.

f) O módulo do potencial mátrico, considerando os valores médios para as profundidades de 20, 40 e 60 cm, e ponderados com a fração de absorção de água nas camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm, e assumindo o período entre 20 e 115 dias ou entre 20 e 165 dias do transplântio. No Apêndice 8 são mostrados os valores absolutos médios dos potenciais mátricos medidos ao longo do tempo nos diferentes tratamentos estudados.

g) Simulação da evolução da salinidade do solo

Com os dados para cada período de 20 dias da lâmina de irrigação aplicada, da fração de água absorvida por camada, da fração de lixiviação estimada para a profundidade $z=60$ e dos valores de salinidade do solo medidos aos 20 dias após o transplântio, determinou-se a variação de armazenamento de sais no solo usando a eq. (10) para cada incremento de tempo e de profundidade.

h) Potencial osmótico da solução do solo

Utilizaram-se os valores médios, de cada intervalo de 20 dias, de salinidade do extrato de saturação (CEes) e de umidade do solo (U_a), e adotou-se a umidade de saturação média do solo, que foi de $0,55 \text{ g.g}^{-1}$. Deste modo, calculou-se o potencial osmótico, em kPa, utilizando a eq. (26), sugerida por Jurinak & Suarez (1990) e Meiri & Shalhevet (1973).

$$\phi_o = 40 \cdot \text{CEes} \frac{0,55}{U_a} \quad (26)$$

A soma do potencial osmótico mais o potencial mátrico, originou o potencial total da água no solo para a planta.

3.5. Experimento II

A recuperação foi realizada logo após o encerramento do ciclo cultural nas 24 parcelas que foram irrigadas com as águas S_2 e S_3 , aplicando lâminas de irrigação ($\text{CEa} = 0,26 \text{ dS.m}^{-1}$) conforme os tratamentos. As parcelas foram mantidas cobertas com plástico, após a retirada da cultura, para o solo permanecer com a umidade próxima à capacidade de campo. As irrigações foram realizadas de uma só vez para inundação, ou em dias consecutivos de uma, duas ou três vezes para gotejamento, dependendo da extensão da lâmina.

Os tratamentos testados foram dois métodos de aplicação (inundação e gotejamento) e três lâminas de lavagem (67%, 100% e 133% da lâmina estimada pela eq. (17) para diminuir a salinidade do solo na camada 0-60 cm de profundidade para $1,5 \text{ dS.m}^{-1}$, adotando-se valores de $k = 0,1$ para gotejamento e $k = 0,2$ para inundação, e assumindo-se a área das parcelas como sendo de $2,0 \text{ m}^2$).

Os tratamentos compostos da combinação dos fatores método de irrigação e lâmina relativa de lavagem foram delineados em blocos ao acaso e arranjados no esquema fatorial 2×3 , com 4 repetições. Os blocos foram separados em função do solo onde estava situada a parcela e da água de irrigação que tinha sido usada naquela parcela

(S2 ou S3), ou seja, as parcelas dos blocos I e III do primeiro experimento que foram irrigadas com águas S2, correspondeu agora ao bloco I, e irrigadas com S3, ao bloco II, enquanto as parcelas antes localizadas nos blocos II e IV que foram irrigadas com a água S2 passou a ser o bloco III, e as irrigadas com S3, o bloco IV.

As parcelas foram mantidas cobertas com plástico durante a lavagem usando irrigação por gotejamento e, em todas, até o solo ficar aproximadamente à capacidade campo ($\psi_m \cong -10$ kPa), o que se deu após uma semana, quando coletou-se as amostras de solo nas profundidades 0-20, 20-40 e 40-60 cm em dois pontos de cada parcela, nas posições próximas as usadas nas coletas realizadas antes da recuperação. As amostras de mesma profundidade foram misturadas obtendo-se amostras compostas. Também, em duas parcelas que foram recuperadas por inundação e em duas recuperadas por gotejamento, foram tomadas amostras transversais à linha de gotejadores, visando verificar o perfil de salinidade após recuperação. As amostras foram coletadas com trado holandês de 1,5" à 10, 20 e 30 cm da linha, para cada lado, e nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm. Para desenhar os perfis, estimou-se a salinidade para 20 e 40 cm de profundidade pela média das salinidade determinadas para as camadas vizinhas e para 0 e 60 cm, extrapolar-se a partir dos valores obtidos para 10 e 30 cm e para 30 e 50 cm, respectivamente.

Os seguintes parâmetros foram avaliados:

- a) Salinidade final - salinidade média na camada 0-60 cm após a recuperação;
- b) Redução da salinidade - diferença entre a salinidade média no perfil antes e após recuperação;
- c) Relação entre salinidade depois e antes da recuperação
- d) Constante k - estimada pela equação recomendada por Hoffman (1980) para os dados medidos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Experimento I

4.1.1. *Desenvolvimento vegetativo da planta de pimentão*

Fisiologicamente, o crescimento da planta é medido em termos de matéria seca acumulada ao longo do tempo, representando a fotossíntese líquida. Entretanto, devido à existência de correlação entre altura e peso da planta, é comum se avaliar o crescimento de uma planta através de sua altura. Segundo Popova & Mihailov (1976), dentre os caracteres da planta de pimentão que contribui para a produção, além do número e peso médio de fruto, têm-se a altura da planta, número de ramificações (hastes), porcentagem de matéria seca, volume do sistema radicular, número de folhas e área foliar.

A Figura 6 ilustra o crescimento das plantas ao longo do ciclo, expresso em altura, para cada salinidade da água e lâmina de irrigação adotada. Observa-se que o crescimento foi contínuo, embora a taxas variáveis ao longo do ciclo, independente do tratamento a que as plantas foram submetidas. Pode observar-se ainda que a partir dos 115 dias do transplântio, as curvas de crescimento para cada lâmina de irrigação permaneceram quase paralelas e guardando suas posições relativas, enquanto as curvas de crescimento para cada nível de salinidade da água de irrigação foram coincidentes para todo o ciclo.

A Tabela 4 apresenta a altura das plantas para diferentes dias após o transplântio. Verifica-se que a altura não foi afetada pela salinidade da água de irrigação em nenhum momento; no entanto, a partir dos 80 dias do transplântio, a altura foi afetada significativamente pela lâmina de irrigação de forma quadrática. Neste caso, o aumento da lâmina proporcionou inicialmente um aumento na altura das plantas, seguido de uma redução, de modo que a altura das plantas não diferiu significativamente entre a menor e

maior lâmina de irrigação aplicada. Embora exista diferença significativa ao nível de 0,05 de probabilidade para a altura das plantas a partir dos 80 dias do transplântio, entre as lâminas de irrigação L1 e L2, a diferença no final do cultivo correspondeu apenas a 6,5% em relação a L1, que atingiu a altura de 168 cm. Bernstein & Francois (1973a) verificaram redução na altura de plantas de pimentão irrigadas por gotejamento na mesma proporção da perda de peso da parte aérea da planta e do rendimento de frutos, para plantas com condução livre, atingindo 14% para água de $4,2 \text{ dS.m}^{-1}$. Por outro lado, Frizzone et al. (1997) não constataram efeito do déficit hídrico na altura do híbrido de pimentão Morengo Hy, embora o rendimento tenha sido fortemente afetado.

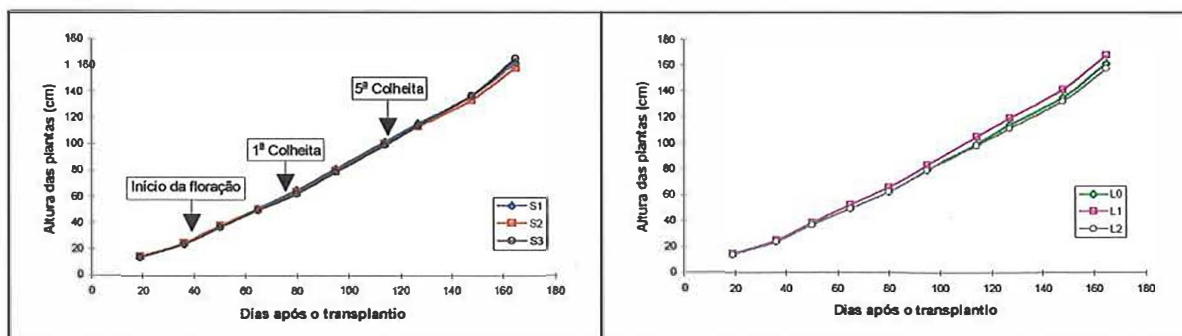


Figura 6. Crescimento das plantas de pimentão para cada nível de salinidade da água e lâmina relativa de irrigação.

A Tabela 5 apresenta o tempo que as plantas de pimentão levaram para iniciar a floração. Verifica-se que nem a salinidade nem a lâmina relativa de irrigação afetaram de forma significativa o início do florescimento, ocorrido por volta dos 39 dias após o transplântio. A partir dos dados contidos na Figura 13 (seção 4.1.3), pode-se obter uma salinidade média na camada 0-20 cm, para o período compreendido entre o 20 e 40º dias após o transplântio de $1,04$, $1,91$ e $2,94 \text{ dS.m}^{-1}$, respectivamente, para as águas S1, S2 e S3. Os valores para S2 e S3 estão acima da salinidade limiar sugerida pela literatura para todo o ciclo da cultura, que é de $1,5 \text{ dS.m}^{-1}$ (Maas & Hoffman, 1977). Entretanto, neste trabalho, a salinidade resultante da aplicação de águas com concentrações variadas não foram suficientes para afetar o início da floração, fato que também não ocorreu com a

altura das plantas (Tabela 4), embora Doorenbos & Kassam (1994) ainda salientem que a cultura do pimentão seja mais sensível na fase inicial de crescimento. Essa maior tolerância à salinidade na fase inicial de crescimento da planta, pode ser devido ao transplântio ter sido feito com mudas de 50 dias, associado ao tempo relativamente curto de exposição das plantas às condições salinas até chegar ao florescimento.

Tabela 4. Resumo da ANAVA e médias da altura (cm) das plantas de pimentão em quatro épocas distintas, para cada salinidade da água e lâmina relativa de irrigação.

Fator	Dias após o transplântio			
	50	80	114	165
	Estatística F			
Salinidade	0,57 ^{ns}	1,13 ^{ns}	0,62 ^{ns}	2,12 ^{ns}
Linear	0,19 ^{ns}	2,19 ^{ns}	1,19 ^{ns}	1,22 ^{ns}
Quadr.	0,96 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,04 ^{ns}	3,02 ^{ns}
Lâmina	0,94 ^{ns}	3,17 ^{ns}	6,02**	4,91*
Linear	0,08 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,47 ^{ns}	1,37 ^{ns}
Quadr.	1,81 ^{ns}	6,32*	11,56**	8,44**
S x L	1,91 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,24 ^{ns}
QMRes.	7,954	15,80	23,88	73,40
	Médias			
Salinidade				
S1	37,4	65,1	101,5	162,2
S2	38,2	63,1	100,3	158,2
S3	37,0	62,2	99,3	165,4
Lâmina				
L0	37,3	62,4	99,1	161,0
L1	38,4	65,8	104,3	167,8
L2	36,9	62,2	97,8	156,9
Média	37,5	63,5	100,4	161,9

^{ns} Não significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

* Significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

** Significativo ao nível de 0,01 de probabilidade pelo teste F.

Considerando a fase reprodutiva, as colheitas de frutos verdes foram realizadas aos 74, 85, 96, 109, 116, 127, 143, 158 e 165 dias após o transplântio. Verifica-se, portanto, que durante 90 dias de produção, houve 9 colheitas, isto é, um intervalo médio de tempo de 11 dias entre colheitas.

Tabela 5. Início da floração* em função da salinidade da água e da lâmina relativa de irrigação.

Salinidade da água	Dias após transpl.	Lâmina de irrigação	Dias após transpl.
S1	40 ^{ns}	L0	40 ^{ns}
S2	39	L1	38
S3	38	L2	39
Média	39	Média	39

* Ocasão em que 50% das plantas da parcela apresentou a primeira antese.

^{ns} Regressão não significativa ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

No final do cultivo, a biomassa da parte aérea das plantas, tanto em peso fresco como seco, foi significativamente afetada pela salinidade da água de irrigação, tendo uma redução linear com o aumento da salinidade da água de irrigação (Tabela 6). Os pesos fresco e seco das plantas foram diminuídos para água S3 em relação a S1, respectivamente, em 18,2 e 18,6%, representando decréscimos de 5,8 e 5,9% por incremento de uma unidade de salinidade da água de irrigação. Entretanto, a biomassa da parte aérea das plantas não foi afetada pela lâmina de irrigação. Com respeito a porcentagem de matéria seca das plantas, nota-se na Tabela 6, que a salinidade da água de irrigação não produziu nenhum efeito significativo, apresentando um valor médio de 13,6%, mas houve efeito quadrático da lâmina de irrigação, ou seja, a porcentagem de matéria seca caiu entre L0 e L1, tendo depois havido um acréscimo, embora a maior diferença da porcentagem de matéria seca obtida entre as lâminas de irrigação não tenha chegado a 3%. Normalmente a porcentagem de matéria seca das plantas aumenta com a salinidade (Kramer, 1983). Embora o potencial mátrico do solo tenha crescido com a salinidade da água e lâmina de irrigação, como pode ser verificado na Tabela 10, na seção 4.1.2, os valores ficaram acima dos níveis que são considerados críticos para o pimentão (Frizzone et al., 1997; Wierenga & Saddiq, 1985).

Analisando os efeitos da salinidade da água de irrigação sobre a altura e peso da parte aérea das plantas, pode-se inferir que o componente da parte aérea da planta mais afetado deve ter sido a área foliar. Esta pressuposição se baseia no fato de não ter havido diferença significativa na altura das plantas, produzindo conseqüentemente caule e hastes de comprimentos similares. Portanto pode-se deduzir que o peso dos caules deve ter

apresentado diferenças mínimas, sendo as maiores diferenças no peso das plantas oriundas do peso das folhas. A cultura do pimentão, que tem crescimento indeterminado, tem área foliar crescente com o tempo de cultivo. No entanto, em termos absolutos, os valores podem variar consideravelmente, dependendo do sistema de condução das plantas e, em termos de índice de área foliar, o arranjo e densidade das plantas são outros fatores importantes (Hartz, 1996). O índice de área foliar define o coeficiente de cultivo (Kc) em cada estágio de desenvolvimento, ou dependendo do método de estimativa da evapotranspiração, até o substitui (Pereira et al., 1997; Smith, 1991), como também, define até o rendimento da cultura, haja visto o rendimento ser uma função da evapotranspiração (De Wit, 1958; Doorenbos & Kassam, 1994).

Tabela 6. Resumo da ANAVA e médias do peso de biomassa fresco e seco das plantas de pimentão aos 165 dias após o transplântio e da porcentagem de matéria seca, para cada salinidade da água e lâmina relativa de irrigação.

Fator	Peso fresco		Peso seco		M.S. (%)
	g/planta	%	g/planta	%	
Estatística F					
Salinidade	9,96**		11,1**		0,19 ^{ns}
Linear	19,9**		22,2**		0,04 ^{ns}
Quadr.	0,01 ^{ns}		0,04 ^{ns}		0,34 ^{ns}
Lâmina	0,34 ^{ns}		0,08 ^{ns}		3,37 ^{ns}
Linear	0,16 ^{ns}		0,16 ^{ns}		0,07 ^{ns}
Quadr.	0,52 ^{ns}		0,01 ^{ns}		6,69*
S x L	0,57 ^{ns}		0,77 ^{ns}		0,70 ^{ns}
QMRes.	13624		227,9		0,1411
Médias					
Salinidade					
S1	1156	100	156	100	13,5
S2	1075	93,0	146	93,6	13,6
S3	946	81,8	127	81,4	13,6
Lâmina					
L0	1059	100	144	100	13,6
L1	1079	101,9	143	99,3	13,3
L2	1040	98,2	141	97,9	13,6
Média	1059	-	143	-	13,5

^{ns} Não significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

* Significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

** Significativo ao nível de 0,01 de probabilidade pelo teste F.

4.1.2. *Balanço hídrico da cultura*

A evapotranspiração da cultura do pimentão foi estimada para cada parcela pelo balanço hídrico. Devido ao armazenamento de água no solo ser estimado a partir de leituras tensiométricas e dada a peculiaridade da irrigação localizada, cujos bulbos molhados apresentam áreas variáveis com o volume de água aplicado (Schwartzman & Zur, 1986) e com a umidade antecedente, foi necessário estimar a área molhada para transformar o volume de água aplicado nas irrigações em lâmina.

A Tabela 7 apresenta a área média ao longo do tempo estimada para cada salinidade da água e lâmina relativa de irrigação. Observa-se que a área molhada cresceu quadraticamente com a salinidade, ou seja, a área aumentou entre a água S₁ e S₂, ficando aproximadamente a mesma para a água S₃. Quanto ao efeito da lâmina de irrigação, a área molhada aumentou linearmente. Segundo Schwartzman & Zur (1986), a área molhada do bulbo cresce com o volume de água aplicada. Além disso, a menor área molhada para água S₁ e para a lâmina relativa L₀, provavelmente está relacionada aos menores potenciais mátricos alcançados antes das irrigações para as parcelas submetidas a estes tratamentos (Apêndice 8), pois quanto menor o conteúdo de água no solo, maior será o gradiente vertical e, portanto, maior será a predominância do fluxo vertical, reduzindo portanto, a área do bulbo molhado para um dado volume de água aplicado. Vinten et al. (1986) observaram que durante o período de alta evapotranspiração a área da zona radicular, onde acontecia depleção de água, era menor.

Tabela 7. Média, ao longo do ciclo cultural, da área molhada (m²) pela irrigação por parcela, para cada salinidade da água e lâmina relativa de irrigação.

Salinidade	Área média	Lâmina	Área média
S1	1,76*	L0	1,62**
S2	2,06	L1	1,88
S3	2,00	L2	2,32

** Regressão quadrática significativa ao nível de 0,01.

** Regressão linear significativa ao nível de 0,01.

A área molhada média próxima de 2 m^2 (Tabela 7) corresponde a área do canteiro explorada pelo sistema radicular da cultura. Em 4 trincheiras abertas transversalmente às linhas de gotejadores até 30 cm de profundidade verificou-se largura média de um bulbo variando de 40 a 50 cm, o que vai representar entre 1,6 a $2,0 \text{ m}^2$ de área molhada por canteiro, como também, observando perfis de raízes de algumas plantas constatou-se que as mesmas eram distribuídas em grande parte do canteiro (Figura 7).

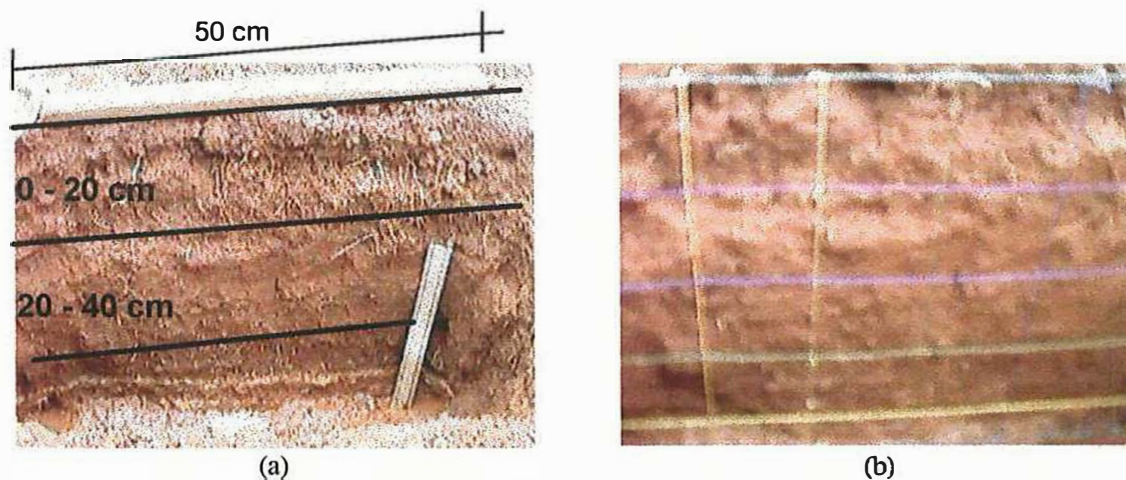


Figura 7. Fotos mostrando a distribuição de raízes no perfil transversal aos canteiros. (a) Parcela do bloco III e tratamento S2L0. (b) Parcela do bloco IV e tratamento S2L1, e a quadrícula mostrada é de 10 cm.

Com o balanço foi possível estimar a fração de água absorvida nas camadas 0-20, 20-40, 40-60 cm em cada período de desenvolvimento da cultura (Figura 8) e o valores médios ao longo do ciclo (Tabela 8). Independente do tratamento estudado, houve uma maior absorção na camada mais superficial no início (86%), tendendo a se estabilizar no final, com uma média geral para todos os tratamentos cerca de 51%. A contribuição da camada intermediária cresceu inicialmente, estabilizando-se por volta dos 70 dias com 31%, e para a camada mais profunda, a porcentagem de água absorvida pela cultura aumentou ao longo do ciclo cultural, atingindo 18% ao final. Este tipo de informação será necessário para determinar a salinidade do solo que a planta fica exposta (Bernstein & Francois, 1973b; Smith & Hancock, 1986), como também, possibilita fazer a simulação do balanço de sais na zona radicular (Van Hoorn & Van Alphen, 1994).

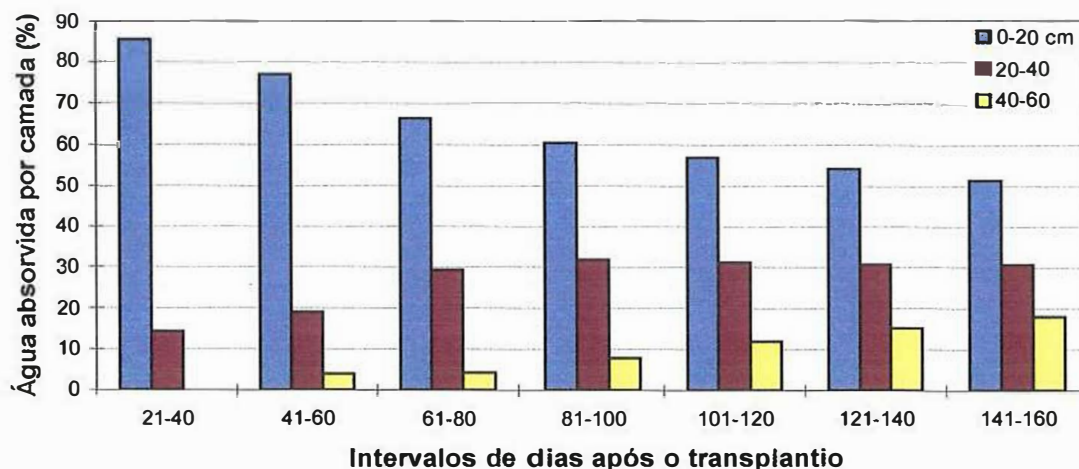


Figura 8. Porcentagem de água absorvida por camada pela cultura do pimentão, estimada pelo balanço hídrico, em função do tempo.

Considerando a porcentagem de água absorvida por camada durante todo o ciclo cultural, verifica-se na Tabela 8, que salinidade e lâmina relativa de irrigação afetaram diferentemente a absorção de água dependendo da camada. Na camada 0-20 cm, a porcentagem de água absorvida, que ficou em torno de 61%, em média, cresceu linearmente com a lâmina de irrigação e diminuiu com a salinidade; na camada 20-40, ficou por volta de 29%, mas sem efeito dos tratamentos; enquanto para a camada mais profunda da zona radicular, que apresentou uma porcentagem de absorção média de 10%, as lâminas de irrigação e salinidade da água tiveram efeito contrário daquele observado na camada mais superficial. Portanto, a maior lâmina de irrigação permitiu maior absorção de água na camada superficial, enquanto que a maior salinidade estimulou a absorção na camada mais profunda. O primeiro efeito se justifica pelo maior potencial mátrico de água na camada 0-20 cm com o aumento da lâmina relativa de irrigação (Tabela 9), enquanto no segundo, pelo fato da salinidade diminuir com a profundidade (ver Figura 12), aliado a valores bem acima do limite crítico da cultura para a camada 0-20 cm. Este fato reforça a tese sustentada por Ayers & Westcot (1991) e Rhoades et al. (1992), segundo a qual a planta absorve água da camada onde a água encontra-se mais disponível (potenciais maiores).

Tabela 8. Resumo da ANAVA e médias da porcentagem de água absorvida por camada durante o ciclo cultural pela planta de pimentão, estimada pelo balanço hídrico, para cada salinidade da água e lâmina relativa de irrigação.

Fator	Profundidade da camada (cm)		
	0-20	20-40	40-60
	Estatística F		
Salinidade	1,86 ^{ns}	0,47 ^{ns}	1,76 ^{ns}
Linear	3,26 ^{ns}	0,02 ^{ns}	3,47 ^{ns}
Quadr.	0,45 ^{ns}	0,92 ^{ns}	0,04 ^{ns}
Lâmina	4,61*	0,72 ^{ns}	2,57 ^{ns}
Linear	8,40**	1,45 ^{ns}	4,21*
Quadr.	0,82 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,98 ^{ns}
S X L	0,10 ^{ns}	1,47 ^{ns}	0,86 ^{ns}
QMRes.	54,67	42,18	44,29
Salinidade	Médias		
S1	62,7	29,7	7,7
S2	62,4	29,6	10,2
S3	57,5	27,4	12,8
Lâmina			
L0	57,3	30,5	12,2
L1	59,3	28,9	11,8
L2	66,0	27,3	6,7
Média	60,9	28,9	10,2

^{ns} Não significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

* Significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

** Significativo ao nível de 0,01 de probabilidade pelo teste F.

Um importante fator no controle da salinidade em culturas irrigadas é o conhecimento da evapotranspiração da cultura em cada fase de seu desenvolvimento, para poder se estabelecer a lâmina de lixiviação. O balanço hídrico permitiu estimar esta evapotranspiração, inclusive para as parcelas que foram irrigadas com água de menor salinidade (Tabela 10), como também, estabelecer a relação entre esta evapotranspiração e a evaporação do tanque classe A (ECA) instalado dentro da estufa. Esta relação corresponde de forma aproximada ao coeficiente de cultivo (Kc), pois para o tanque instalado no interior de estufa, assume-se o coeficiente de tanque como 1,0 (Castilla, 1985; Dalsasso et al., 1997; Martinez-Raya & Castilla, 1989). Os valores da ECA variaram pouco entre os períodos considerados (2,0 a 3,0 mm.dia⁻¹), enquanto a cultura

apresentou inicialmente uma evapotranspiração de $0,86 \text{ mm.dia}^{-1}$ entre 21 e 30 dias após o transplântio e cresceu ao longo do ciclo atingindo $3,77 \text{ mm.dia}^{-1}$ no período 131-145 dias, tendo uma redução para $2,85 \text{ mm.dia}^{-1}$ no período compreendido entre 146 e 165 dias, promovida pela diminuição da demanda evaporativa do ar, como pode ser observado na Tabela 10. Como resultado desses dois parâmetros, a Tabela 10 mostra que Kc apresentou um valor de 0,32 entre 21 e 30 dias após o transplântio e cresceu ao longo do ciclo, chegando próximo de 1,5 no final, podendo ser expresso por uma função quadrática (Figura 9).

Tabela 9. Resumo da ANAVA e médias dos valores absolutos do potencial mátrico médio (kPa) do solo ao longo do tempo, assumindo as profundidades de 20, 40 e 60 cm, e comprimento do ciclo da cultura de 115 e 165 dias

Fator	Prof.=20 cm		Prof.=40 cm		Prof.=60 cm	
	C=115	C=165	C=115	C=165	C=115	C=165
Estatística F						
Salinidade	7,83**	12,1**	6,45*	11,9**	3,66*	8,08*
Linear	13,9**	21,9**	10,1**	19,0*	4,20 ^{ns}	11,2**
Quadr.	1,75 ^{ns}	2,43 ^{ns}	2,83 ^{ns}	4,82*	3,12 ^{ns}	4,97*
Lâmina	1,76 ^{ns}	1,52 ^{ns}	2,08 ^{ns}	2,34 ^{ns}	2,52 ^{ns}	4,07*
Linear	3,50 ^{ns}	3,03 ^{ns}	4,16 ^{ns}	4,60*	5,04*	7,98**
Quadr.	0,01 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,16 ^{ns}
S x L	0,39 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,64 ^{ns}	1,05 ^{ns}	0,87 ^{ns}	1,46 ^{ns}
QMRes.	12,09	11,32	8,20	6,802	5,976	5,177
Médias						
Salinidade						
S1	17,8	18,5	15,2	15,8	13,5	14,4
S2	14,0	14,0	11,9	11,8	11,3	11,3
S3	12,4	11,9	11,3	10,9	11,1	11,0
Lâmina						
L0	16,1	16,1	14,0	14,1	13,1	13,6
L1	14,7	14,7	12,8	12,6	12,0	12,0
L2	13,5	13,7	11,6	11,8	10,8	11,0
Média	14,8	14,8	12,8	12,8	11,9	12,2

^{ns} Não significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

* Significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

** Significativo ao nível de 0,01 de probabilidade pelo teste F.

Tabela 10. Evaporação do tanque classe A (ECA) medida dentro da estufa, e evapotranspiração da cultura (ETc) e coeficiente de cultivo (Kc) para o pimentão irrigado com água S1 para diferentes períodos de cultivo.

Período após o transplântio	ECA (mm.dia ⁻¹)	ETc (mm.dia ⁻¹)	Kc -
21-30	2,68	0,86	0,32
31-40	2,33	1,19	0,51
41-55	3,04	1,87	0,61
56-75	2,76	2,34	0,85
76-95	2,80	3,00	1,07
96-115	2,48	2,96	1,19
116-130	2,56	3,25	1,27
131-145	2,58	3,77	1,46
146-165	1,95	2,85	1,46
Total (mm)	375	376	-

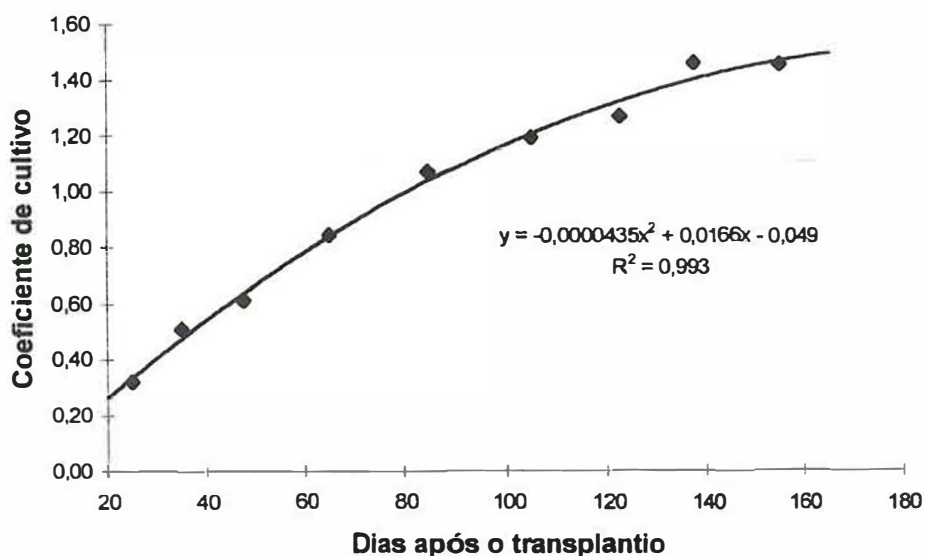


Figura 9. Coeficiente de cultivo do pimentão medido, sob estufa, em função do tempo.

Considerando o ciclo da cultura até a primeira colheita, o valor de Kc se aproxima do recomendado por Doorenbos & Kassam (1994), como também aos obtidos por Castilla (1985) e Martinez-Raya & Castilla (1989) para cultivo em estufa. Vale salientar que os valores de Kc recomendados pela FAO (Doorenbos & Kassam, 1994), são para cultivo de campo, usando método de irrigação convencional e condução da

planta livre. Estes valores de K_c são obtidos com relação à evapotranspiração de referência (ETo) estimada a partir da ECA medida numa área gramada, multiplicada pelo coeficiente de tanque, o qual depende da umidade relativa do ar, velocidade do vento e tamanho da área gramada ao redor do tanque de evaporação.

Analisando os efeitos da salinidade da água de irrigação na evapotranspiração da cultura do pimentão ao longo do ciclo, verifica-se na Figura 10, que até aos 55 dias não existiu diferença significativa entre os tratamentos, havendo a partir desta data uma redução na evapotranspiração acumulada para a água mais salina, aumentando com o tempo a diferença em relação as águas S1 e S2. No caso da água S2, a diminuição da evapotranspiração acumulada em relação à a água menos salina ocorreu apenas após os 140 dias.

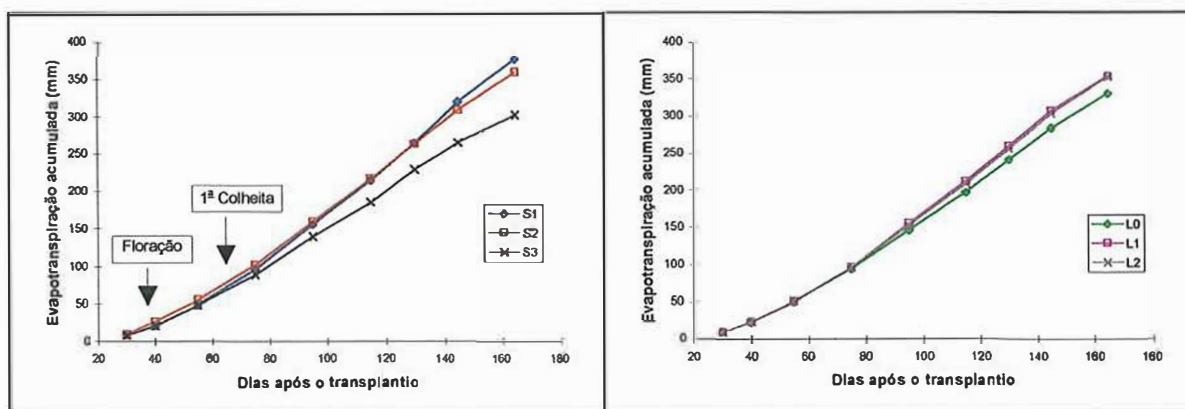


Figura 10. Lâmina acumulada de evapotranspiração da cultura do pimentão, sob estufa, para cada salinidade da água e lâmina relativa de irrigação.

Considerando o efeito da lâmina de irrigação na evapotranspiração acumulada ao longo do ciclo da cultura, observa-se na Figura 10, que a partir da primeira colheita as maiores lâminas apresentaram uma tendência de aumento na evapotranspiração acumulada. No entanto, mesmo no final do cultivo, estas diferenças não foram significativas ao nível de 5% de probabilidade, como mostra a Tabela 11. Este pequeno acréscimo provocado pelo aumento da lâmina de irrigação poderia até ser significativo, pelo fato das lâminas L1 e L2 terem proporcionado maiores valores médios de potenciais

mátricos (ou umidade) do solo (Tabela 9), o que poderia ter contribuído para o aumento da evaporação do solo e transpiração da planta. No entanto, os potenciais médios para cada tratamento estão acima do valor considerado crítico para a cultura (Frizzone et al., 1997; Wierenga & Saddiq, 1985), como também, as diferenças são relativamente pequenas. Além disso, o erro experimental associado ao acaso também é maior para estimativas obtidas através do balanço, pois existem erros associados às estimativas do fluxo e da área molhada, como também, aos conteúdos de umidade do solo, que foram estimados a partir de leituras tensiométricas, que são quase pontuais, ou seja, representam um pequeno volume de solo e são extrapolados para toda parcela.

Tabela 11. Resumo da ANAVA e médias das lâminas de irrigação, de evapotranspiração (ETc) e de drenagem profunda ajustada (R) e da fração de lixiviação (FL), estimados pelo balanço hídrico para a cultura do pimentão, sob estufa. (Período entre o 20^o e 165^o dia após o transplantio).

Salinidade da água de irrigação	Irrigação (mm)	ETc (mm)	Dr ¹ (mm)	FL	
				Adotada ³	Medida ²
Estatística F					
Salinidade		10,2**	3,64*		4,75*
Linear		19,7**	5,25*		7,77*
Quadr.		0,63 ^{ns}	2,04 ^{ns}		1,74 ^{ns}
Lâmina		1,23 ^{ns}	30,2**		20,0**
Linear		1,79 ^{ns}	59,2**		39,1**
Quadr.		0,67 ^{ns}	1,22 ^{ns}		0,92 ^{ns}
S x L		0,04 ^{ns}	0,96 ^{ns}		0,97 ^{ns}
QMRes.		1796	0,3018		0,3338
Salinidade		Médias			
S1	412	376	5,9 (53)	0,12	2,12 (0,12)
S2	402	358	5,8 (44)	0,12	2,09 (0,11)
S3	391	301	6,4 (72)	0,12	2,74 (0,19)
Lâmina					
L0	357	330	5,1 (21)	0,00	1,51 (0,06)
L1	408	354	6,2 (51)	0,13	2,45 (0,13)
L2	462	353	6,8 (97)	0,23	2,99 (0,22)
Média	402	346	6,0 (56)	0,12	2,31 (0,14)

¹ Valor transformado por $\ln(10Dr)$, sendo o número entre parênteses o valor original.

² Valor transformado por $\ln(100FL)$, sendo o número entre parênteses o valor original.

³ Conforme as lâminas relativas de irrigação adotadas nos tratamentos.

É interessante mencionar que tanto a altura como peso de planta apresentaram essa tendência para as lâminas relativas de irrigação.

A Tabela 11 revela que para todo o ciclo da cultura, a evapotranspiração caiu linearmente com a salinidade, variando de 376 a 301 mm entre as águas S1 e S3, correspondendo numa diminuição de 23,7 mm por incremento unitário da salinidade da água, representando 6,3% da evapotranspiração obtida com a água menos salina. Esta redução relativa na evapotranspiração produzida pela salinidade da água de irrigação equipara-se a diminuição de biomassa da parte aérea da planta medida no final do cultivo. Resultados semelhantes são apresentados por Hoffman (1985) e Shalhevet (1984) para plantas submetidas ao estresse salino. Também é interessante frisar que este tipo de relação é utilizado como parâmetro básico em vários modelos determinísticos para simular o efeito da água salina e do manejo da irrigação na redução do rendimento das culturas (Bresler, 1987; Bresler & Hoffman, 1986; Letey et al., 1985; Solomon, 1985).

Também verifica-se na Tabela 11 que a percolação abaixo do sistema radicular e a fração de lixiviação cresceram linearmente com a salinidade da água e a lâmina de irrigação. Portanto, como a lâmina de irrigação não proporcionou aumento significativo na evapotranspiração da cultura, a drenagem profunda foi maior à medida em que se aumentou a lâmina aplicada. Com respeito ao efeito positivo da salinidade da água no aumento da percolação, isto é atribuído a menor evapotranspiração das plantas irrigadas com as águas mais salinas, associado a sobrestimava das lâminas de irrigação aplicadas nestes tratamentos, sobretudo para a água S3. Embora fosse feito um ajuste da lâmina de irrigação em função da umidade presente no solo para parcelas irrigadas com cada tipo de água, o maior conteúdo de água antes das irrigações, e do seu valor médio (Tabela 9), para água mais salina, associado à menor evapotranspiração durante o processo de redistribuição de água no perfil, permite manter maior condutividade hidráulica e maior gradiente hidráulico favorecendo a ocorrência de uma maior percolação profunda, quando comparada com um perfil de solo que esteja secando mais rapidamente. Baseado neste fato, Meiri et al. (1977) recomendam que a lâmina de lixiviação deva ser estimada a partir da evapotranspiração provável, em vez de se basear na depleção da umidade antes

da irrigação, pois a absorção de água pela cultura durante o processo de redistribuição pode acarretar erros consideráveis no valor previsto.

A fração de lixiviação, que teve mesmo comportamento da percolação, pois é função da própria lâmina de percolação, sendo apenas adimensionalizada pela lâmina total de irrigação, apresentou valores semelhantes aos adotados por ocasião das irrigações para as lâminas relativas de irrigação L1 e L2, ficando acima do previsto apenas para a lâmina L0, que foi de 0,06 para todo o ciclo, embora tenha sido variável ao longo do ciclo da cultura. Como se pode ver nas Figura 11, até os 55 dias após o transplântio, as frações de lixiviação foram superiores às planejadas. Este fato deve ao solo ter apresentado conteúdos de água elevados no início, proporcionado tanto pelo conteúdo elevado de água no solo antes do plantio, como pelas irrigações acima da demanda evapotranspirativa na fase inicial de desenvolvimento visando produzir um certo nível de salinidade no solo proporcional a salinidade da água de irrigação que seria aplicada; como também, devido a grande capacidade de armazenamento de água do solo. Então, como a planta não absorvia esta água que estava armazenada, mas como ainda não estava em equilíbrio, a mesma continuava percolando abaixo da zona radicular. O aumento da FL, no final do ciclo cultural, possivelmente foi motivado pelo fato de se ter mantido a estimativa das lâminas de irrigação utilizando K_c crescente ao longo do ciclo, sem levar em conta a infestação de doenças fúngicas no final do cultivo, o que provoca diminuição na taxa evapotranspirativa.

4.1.3. *Balanço de sais na zona radicular*

Uma das principais conseqüências negativas da irrigação é o possível aparecimento dos problemas da salinidade, sobretudo, quando os teores de sais na água são elevados. Os problemas da salinidade se manifestam quando o acúmulo de sais solúveis no solo ultrapassa níveis acima dos tolerados pelas plantas, quando há aumento relativo na concentração de sódio, ou quando concentrações de íons específicos provocam fitotoxicidade ou desbalanceamento nutricional.

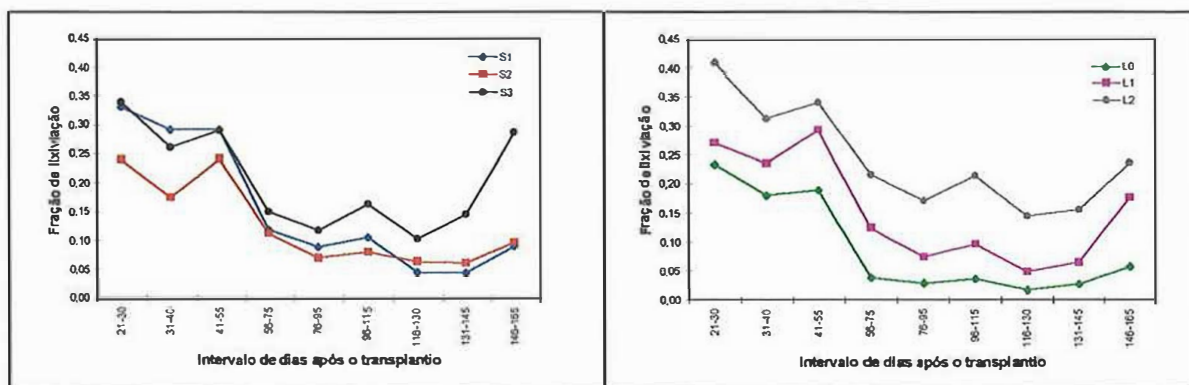


Figura 11. Fração de lixiviação estimada a partir do balanço hídrico para diferentes épocas de desenvolvimento da cultura, para cada salinidade da água e lâmina relativa de irrigação.

A Figura 12 mostra a evolução dos perfis de salinidade entre 20 e 165 dias após o transplantio, em função da salinidade e da lâmina relativa de irrigação. Observa-se que aos 20 dias do transplantio a salinidade era bem mais pronunciada na superfície do solo do que na camada mais profunda, embora os valores de salinidade ainda fossem baixos, inclusive inferiores aos da água de irrigação. Aos 165 dias houve aumento da salinidade ao longo de todo perfil, em relação ao verificado aos 20 dias, embora os valores de salinidade nas camadas mais profundas não atingiram a salinidade da camada superficial. Comparando o efeito da salinidade da água na evolução dos perfis de salinidade, pode-se concluir que o aumento foi diretamente relacionado à concentração de sais da água, atingindo valores de salinidade na superfície do solo acima dos valores da água de irrigação, exceto para a água S3, que se equiparou; no entanto, os perfis finais foram aproximadamente paralelos. Quanto ao efeito da lâmina de irrigação, verifica-se que os perfis de salinidade são semelhantes para L0 e L1, mas para a maior lâmina (L3) o perfil deixou de ser paralelo aos outros, apresentando valor de salinidade relativamente maior para a camada mais profunda (60-80 cm). Espera-se para as condições transientes, que no processo de salinização de um solo inicialmente normal, até atingir as condições de equilíbrio, quanto maior seja a lâmina de irrigação aplicada, mais rapidamente cresça a salinidade do solo e mais se acumule sais abaixo da zona radicular, o que permite reduzir o tempo para a salinidade do solo atingir o referido equilíbrio. Esta afirmação é

corroborada em parte por Vinten et al. (1986), que verificaram maior uniformidade de distribuição de sais no perfil, quanto maior foi a lâmina de irrigação ($> FL$).

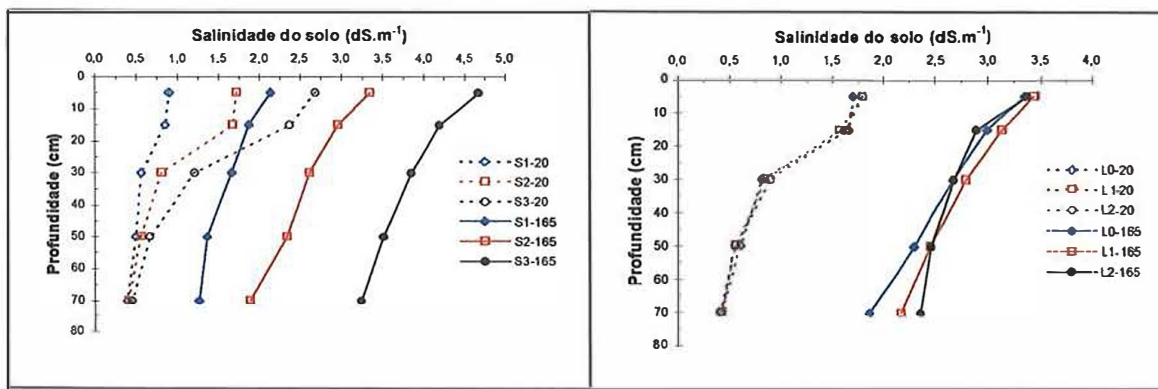


Figura 12. Perfis de salinidade do solo aos 20 e 165 dias após o transplante, para cada salinidade da água e lâmina relativa de irrigação, em estufa cultivada com pimentão.

Os valores de salinidade decrescentes com a profundidade estão de acordo com os obtidos por Cruciani et al. (1996), Jury et al. (1978), Shalhevet & Yaron (1973), Yadav & Girdhar (1980), que observaram para o primeiro ciclo de culturas anuais acúmulo de sais em maior proporção na camada superficial do solo. Estes autores verificaram também que este acúmulo era diretamente proporcional à concentração salina da água de irrigação. Hills et al. (1988) observaram que quanto maior a frequência de irrigação mais sais se acumulavam na camada mais superficial. O maior acúmulo de sais nesta camada, possivelmente, está relacionado ao período de irrigação (< 6 meses), associado à maior concentração das raízes, onde a perda de água pela evapotranspiração da cultura é maior, forçando a água de irrigação aplicada ficar retida nessa região. Considerações sobre esta última afirmação foram feitas por diversos pesquisadores, entre eles, Bajwa et al. (1986), Dahiya et al. (1980), Oliveira (1983) e Rhoades (1972).

Eliades (1988) verificou diferentes perfis de salinidade criados por irrigação por gotejamento, dependendo da posição (sob o gotejador ou entre as linhas) e da lâmina de irrigação. Para lâminas de irrigação que permitiam lixiviação, a concentração aumentou com a profundidade para a posição abaixo do gotejador, e diminuiu entre as linhas.

A Figura 13 apresenta a evolução da salinidade do solo no ponto de amostragem, durante o período de cultivo, para cada camada de solo, tanto para as diferentes salinidades da água como para as lâminas de irrigação. No geral, os tratamentos proporcionaram curvas de salinização aproximadamente paralelas entre as camadas de solo, com a salinidade se estabilizando a partir dos 100 a 140 dias. Analisando-se os efeitos das lâminas relativas de irrigação sobre as curvas de salinidade medida em cada camada, fica evidente a existência de uma menor diferença entre as camadas 0-20 e 40-60 cm, após os 60 dias do transplântio, para a maior lâmina de irrigação. Com respeito ao efeito da salinidade da água de irrigação, sua principal influência foi ter produzido valores de salinidade do solo maiores desde o início do cultivo, quanto mais salina foi a água. Logicamente, quanto maior a salinidade da água, para um mesmo volume, mais sais são adicionados ao solo.

O equilíbrio na salinidade do solo em cada camada após 100-140 dias independente da lâmina de irrigação, pode ser atribuído primeiro à posição do bulbo molhado onde foi monitorada, que foi aproximadamente a 10 cm do seu centro, região esta que sofre lixiviação tanto na vertical como horizontalmente. Além disto, devido a frações de lixiviação relativamente altas até os 55 dias, com a menor lâmina de irrigação já apresentando valor médio ao redor de 0,20 (Figura 11), reduzindo o tempo para se atingir o equilíbrio nesta região. Deve-se acrescentar ainda que os incrementos nas frações de lixiviação acima 0,20 tem efeitos relativamente pequenos no aumento do controle da salinidade do solo (Ayers & Westcot, 1991; Rhoades & Loveday, 1990), isto é, promovem o equilíbrio dinâmico da salinidade do solo mais rapidamente, e a diferença entre elas sobre o acúmulo de sais é pequena. Shalhevet & Yaron (1973) não encontraram, para uma dada água de irrigação, correlação entre salinidade média do solo ao longo do tempo e fração de lixiviação para a camada 0-90 cm, e atribuíram este fato ao período curto de irrigação que foi apenas um ciclo de uma cultura. Contrariamente, Hoffman & Jobes (1983) e Hoffman (1985) verificaram correlação entre rendimento e fração de lixiviação para irrigação de alta frequência, mas para vários ciclos culturais, em

rotação numa mesma área e usando irrigação com várias aplicações por dia, e em solo franco arenoso.

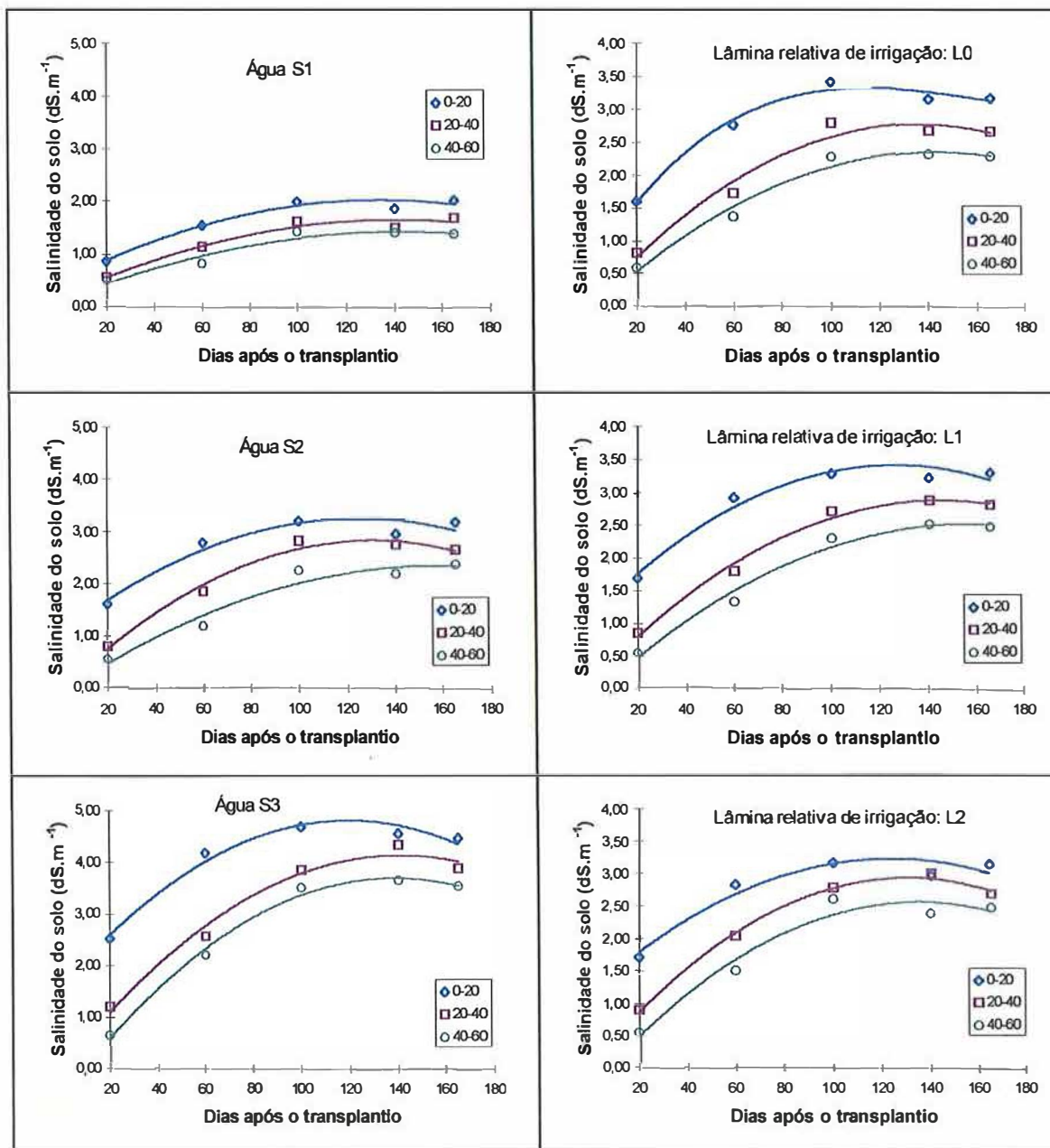


Figura 13. Evolução da salinidade do solo ao longo do ciclo da cultura para cada camada do solo, e para cada salinidade da água e lâmina relativa de irrigação.

Deve-se salientar, também, que a salinidade foi medida dentro do bulbo molhado produzido pela irrigação por gotejamento, região esta onde ocorre movimento de água e sais tanto vertical como lateralmente, o que pode produzir equilíbrios variados, dependendo da distância horizontal do ponto da fonte de água. A partir de dados apresentados por Hoffman (1985) pode-se chegar a esta mesma conclusão. Mesmo existindo este equilíbrio, ainda não corresponde ao equilíbrio dinâmico, pois a salinidade do solo ainda não aumenta com a profundidade, nem os valores médios de salinidade do perfil atingiram os valores esperados para as respectivas frações de lixiviação e salinidades da água (Ayers & Westcot, 1985; Bower et al., 1969; Rhoades & Loveday, 1990; Van Hoorn & Van Alphen, 1994). Ademais, houve um incremento significativo de sais na região periférica do bulbo molhado (Figura 14), sobretudo próximo a superfície do solo, embora não se conheça como foi sua evolução no tempo. Esse acúmulo periférico acontece devido à ascensão capilar e ao movimento lateral da água com sais, depois que há infiltração da água de irrigação na área central do bulbo, seguida da evaporação na superfície do solo e extração de água pela planta na camada superficial. Segundo Yaron et al. (1973), quanto maior a lâmina de água aplicada, mais sais tendem a se acumular na superfície, na periferia do bulbo. Bernstein & Francois (1973a), Oster et al. (1984), entre outros, mostram essa tendência de aumento da salinidade do solo na superfície e periferia do bulbo molhado pela irrigação localizada.

Comparando as curvas de evolução da salinidade medidas com as simuladas (Figura 13 e 15), observa-se que apenas as curvas relativas à profundidade 0-20 cm apresentaram comportamento semelhante. Para as outras camadas, a tendência geral foi a obtenção de valores simulados maiores que os medidos para 20-40, maior incremento no acúmulo sais simulados entre 60 e 100 dias e, principalmente para a camada 40-60 cm, cuja salinidade estimada apresentou uma tendência de crescimento no final do ciclo. Além disso, verifica-se que as maiores lâminas tenderam a reduzir a salinidade em cada camada, e no geral, os valores de salinidade simulados para as camadas 20-40 e 40-60 cm, ao final, ficaram acima dos medidos, chegando a atingir até o dobro dos valores observados. É interessante ressaltar, que a simulação é feita considerando uma distribuição uniforme

dos sais na área molhada, e que o movimento de sais se dá apenas na vertical, apresentando uma eficiência de lixiviação igual a 1,0. Na prática, a eficiência é menor do que 1,0, o que leva a retardar o tempo para os sais alcançarem as camadas mais profundas do perfil (Van Hoorn, 1981).

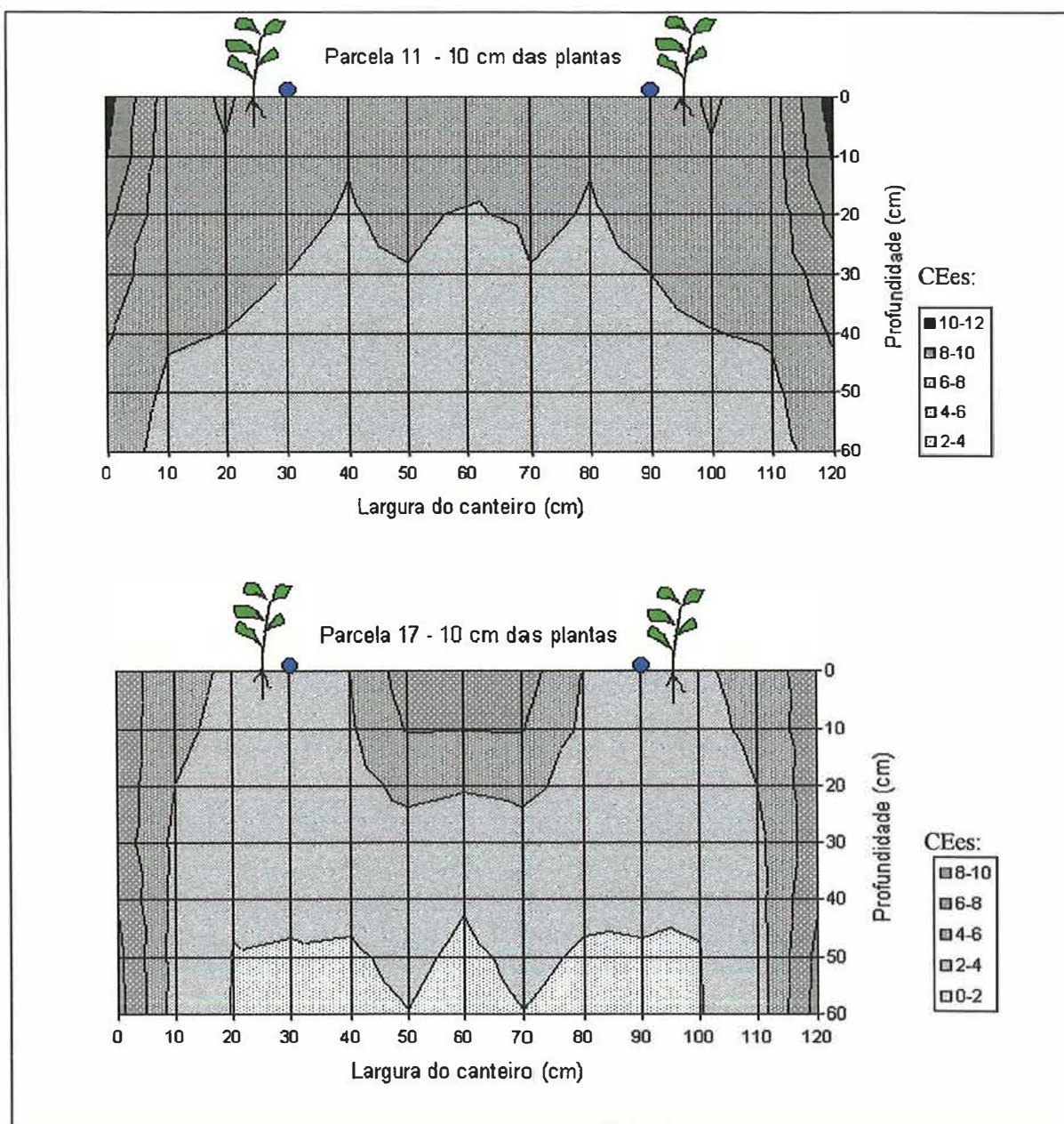


Figura 14. Perfis de salinidade medido transversalmente ao canteiro, a 10 cm das plantas, em parcelas que foram submetidas aos tratamentos S3L0 e S3L2.

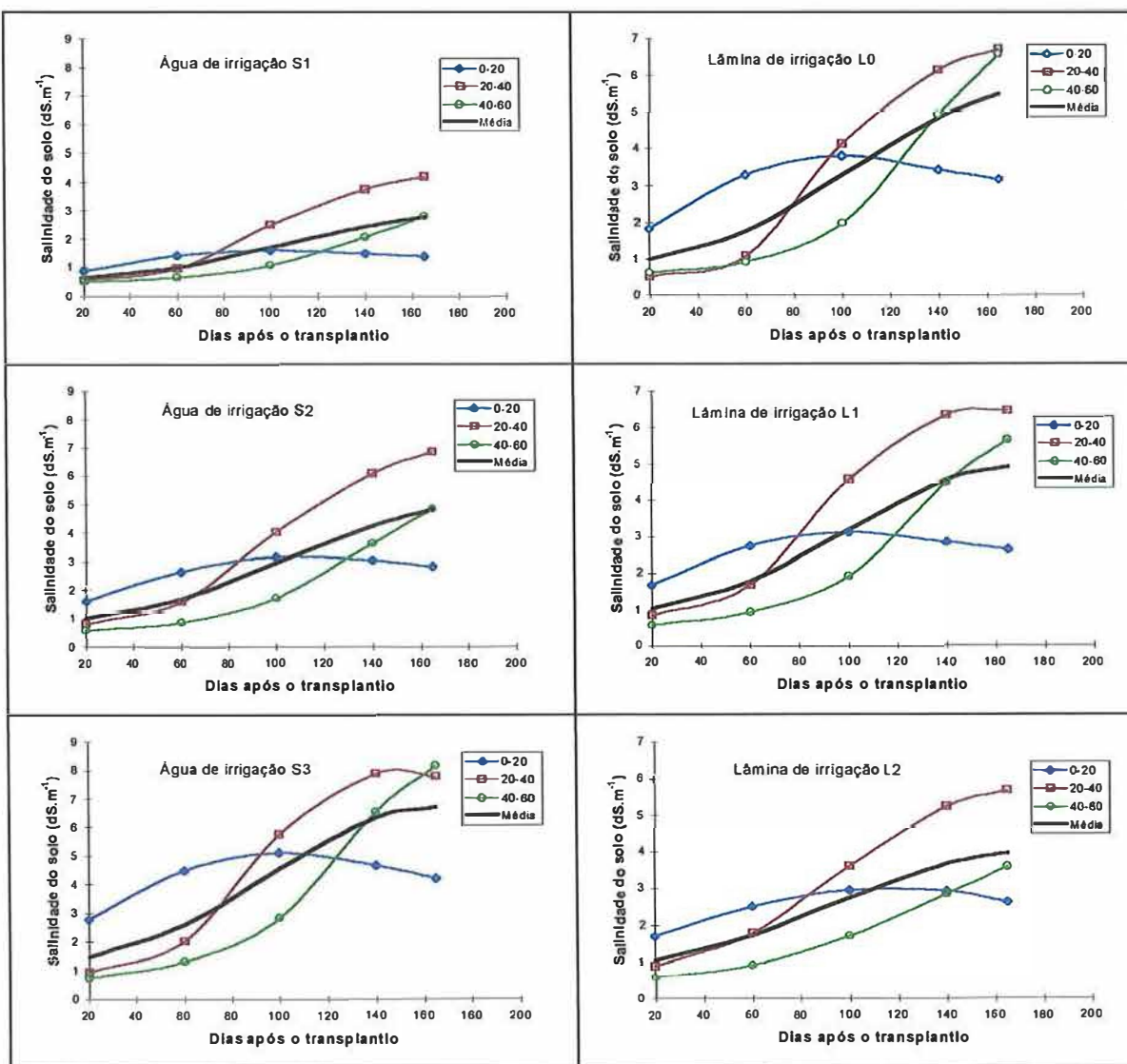


Figura 15. Curvas de salinização do solo por camada para cada água e lâmina relativa de irrigação, estimados pela equação de armazenamento de sais.

No caso da simulação, tem-se equilíbrio dinâmico apenas para a camada mais superficial do solo, embora já mostre tendência de aumento da salinidade com a profundidade. Com respeito a evolução da salinidade média em todo o perfil (0 a 60 cm), observa-se na Figura 15, que a salinidade ainda não atingiu o equilíbrio.

Verifica-se na Tabela 12 que a salinidade média com a profundidade medida é menor quanto mais profunda é considerada a zona radicular, logicamente devido a salinidade diminuir com a profundidade. Também pode-se verificar que no final do

cultivo a salinidade média até 60 cm de profundidade era de 1,68, 2,71 e 3,94 dS.m^{-1} , com média ao longo do tempo de 1,37, 2,25 e 3,41 dS.m^{-1} , respectivamente, para as águas, cujas salinidades foram de 1,29, 2,54 e 4,45 dS.m^{-1} , sendo então inferiores em 16 a 19% dos simulados, que foram de 1,63, 2,80 e 4,19 dS.m^{-1} (Tabela 13). Com respeito as médias obtidas para as lâminas relativas de irrigação, nota-se maiores discrepâncias entre as simuladas e medidas, quanto menor foi a lâmina relativa de irrigação.

Tabela 12. Resumo da ANAVA e médias da salinidade média do solo ao longo do tempo, assumindo as profundidades de 20, 40 e 60 cm, e comprimento do ciclo da cultura de 115 e 165 dias, como também, da salinidade média na profundidade de 60 cm, no final do cultivo.

Fator	Prof.=20		Prof.=40		Prof.=60		Final
	C=115	C=165	C=115	C=165	C=115	C=165	
Estatística F							
Salinidade	108**	133**	208**	250**	160**	199**	221**
Linear	214**	265**	411**	497**	320**	398**	440**
Quadr.	1,28 ^{ns}	1,06 ^{ns}	4,27*	3,34 ^{ns}	1,17 ^{ns}	0,96 ^{ns}	2,48 ^{ns}
Lâmina	0,14 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,84 ^{ns}
Linear	0,10 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,18 ^{ns}
Quadr.	0,18 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,06 ^{ns}	1,49 ^{ns}
S x L	0,31 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,07 ^{ns}	1,30 ^{ns}
QMRes.	0,1665	0,1424	0,0586	0,0594	0,0611	0,0628	0,0695
Médias							
S1	1,57	1,68	1,38	1,50	1,25	1,37	1,68
S2	2,69	2,80	2,34	2,52	2,05	2,25	2,71
S3	4,02	4,19	3,39	3,72	3,05	3,41	3,94
Lâmina							
L0	2,76	2,91	2,35	2,55	2,08	2,30	2,72
L1	2,80	2,95	2,37	2,60	2,10	2,35	2,86
L2	2,71	2,81	2,39	2,59	2,17	2,38	2,76
Média	2,76	2,89	2,37	2,58	2,11	2,34	2,78

^{ns} Não significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

* Significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

** Significativo ao nível de 0,01 de probabilidade pelo teste F.

Vinten et al. (1986) observaram que a salinidade do solo medida ao longo da fileira de plantas de tomate, a 25 cm dos gotejadores, foi inferior em 20% da média ponderada para todo volume de solo explorado pelas raízes.

Tabela 13. Média ao longo do tempo da salinidade simulada, assumindo a média aritmética para diferentes profundidades da zona radicular e média ponderada com a porcentagem de água absorvida por camada em cada fase do ciclo cultural.

Fator	Média aritmética			Média ponderada
	Prof.=20 cm	Prof.=40 cm	Prof.=60 cm	
Salinidade				
S1	1,41	1,82	1,63	1,72
S2	2,75	3,19	2,80	3,06
S3	4,45	4,58	4,19	4,59
Lâmina				
L0	3,26	3,36	3,10	3,40
L1	2,72	3,27	2,97	3,15
L2	2,63	2,95	2,56	2,82

Os valores médios de salinidade medidos aumentaram linearmente com a salinidade da água de irrigação, porém não foram afetados significativamente ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F pela lâmina relativa de irrigação, comportamento também encontrado para o rendimento da cultura, como pode ser visto no item 4.1.5, e para diversos outros parâmetros avaliados.

A ausência de diferença da salinidade do solo entre as lâminas de irrigação, ou seja, da fração de lixiviação, pode estar relacionada ao período de cultivo, como já mencionado, que foi menor do que 6 meses, com uma evapotranspiração inferior a 400 mm (cerca de 800 mm na área molhada). Além disto, o solo argiloso, que tem uma alta capacidade de armazenamento de água, propicia aumento do tempo necessário para se atingir o equilíbrio dinâmico dos sais no solo, e ao mesmo tempo, tende a retardar o deslocamento de sais para as camadas mais profundas. Segundo Van Hoorn (1981) e Van Hoorn & Van Alphen (1994), o solo argiloso apresenta menor eficiência de lixiviação de sais, porque provoca maior dispersão hidrodinâmica e difusão. Deve-se considerar ainda o possível efeito da frequência de lixiviação, pois de acordo com Meiri & Plaut (1985) e Meire & Shalhevet (1973), para uma dada fração, lixiviações em todas irrigações são menos efetivas no controle da salinidade do solo do que aquelas realizadas com baixa frequência.

Ferreira e Martinez (1997) mostram, que para uma coluna de solo inicialmente saturado com água, com efeito simultâneo de dispersão e difusão, seria necessário percolar cerca de dois volumes de poros (620 mm, considerando o solo da estufa) para a concentração do efluente corresponder a concentração da solução percolante.

4.1.4. *Concentração mineral das folhas de pimentão e fertilidade do solo*

As plantas requerem uma concentração mínima dos nutrientes essenciais na solução do solo, além de um determinado equilíbrio entre os mesmos, para absorvê-los em quantidades adequadas e de forma balanceada, e assim conseguir produzir rendimentos potenciais. No caso do solo, existe um limite mínimo de concentração para cada nutriente (Van Raij, 1991), enquanto na planta, o teor dos nutrientes deve apresentar uma faixa de concentração, onde existe um limite mínimo e um máximo (Smith, 1962). Segundo Malavolta et al. (1997), por ocasião da absorção dos nutrientes, pode existir efeitos de antagonismo, de sinergismo, ou de inibição de um sobre outro. Então, na presença de salinidade, os problemas de fertilidade do solo e de nutrição da planta geralmente são acentuados, devido o aumento na concentração de alguns íons específicos que provocam fitotoxicidez e/ou desequilíbrio nutricional.

Considerando os níveis adequados dos nutrientes nas folhas da planta de pimentão como sendo os seguintes: N = 3,5, P = 0,25, K = 2,5, Ca = 2,5, Mg = 0,75 e S = 0,40% (Malavolta et al., 1997), observa-se nas Tabelas 14 e 15, que o N, P, K e S apresentaram teores mais elevados, enquanto os de Ca e Mg ficaram abaixo, independente dos tratamentos aos quais as plantas foram submetidas. No caso do N, P e K, como as análises foram realizadas em folhas recém-formadas, espera-se que seus valores sejam reduzidos quando envelhcerem. Segundo Malavolta et al. (1997), esses valores padrões de comparação são obtidos de folhas recém-maduras, que tendem a ter menores teores de N, P e K e maiores teores de Ca do que as folhas mais novas.

Tabela 14. Concentração mineral nas folhas de pimentão aos 115 dias do transplântio para cada salinidade da água e lâmina relativa de irrigação.

Fator	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	S (%)	Cl (%)	Na (mg.kg ⁻¹)
Salinidade da água								
S1	5,57	0,44	6,29	1,79	0,55	0,42	1,40	48
S2	5,61	0,44	5,41	1,80	0,64	0,44	1,50	73
S3	5,61	0,46	4,93	1,73	0,63	0,43	2,03	77
Lâmina								
L0	5,37	0,44	5,07	1,75	0,60	0,42	1,59	64
L1	5,89	0,45	5,39	1,82	0,62	0,43	1,79	73
L2	5,46	0,45	5,17	1,76	0,61	0,44	1,54	60

Tabela 15. Resumo da ANAVA e médias da concentração mineral das folhas de pimentão aos 165 dias do transplântio para cada salinidade da água e lâmina relativa de irrigação.

Fator	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	S (%)	Cl (%)	Na (mg.kg ⁻¹)
Estatística F								
Salin.	3,53*	11,3**	3,46*	0,44 ^{ns}	52,4**	1,44 ^{ns}	46,1**	0,85 ^{ns}
Lin.	2,27 ^{ns}	22,5**	6,53*	0,70 ^{ns}	96,3**	1,49 ^{ns}	84,2**	0,09 ^{ns}
Quad.	4,78*	0,16 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,17 ^{ns}	8,54**	1,39 ^{ns}	8,01**	1,62 ^{ns}
Lâm.	1,15 ^{ns}	1,99 ^{ns}	2,98 ^{ns}	1,37 ^{ns}	0,71 ^{ns}	2,28 ^{ns}	0,76 ^{ns}	0,69 ^{ns}
Lin.	2,19 ^{ns}	2,01 ^{ns}	5,94*	0,42 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,81 ^{ns}	0,41 ^{ns}
Quad.	0,11 ^{ns}	1,97 ^{ns}	0,01 ^{ns}	2,33 ^{ns}	1,16 ^{ns}	4,20 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,97 ^{ns}
S x L	0,34 ^{ns}	3,02*	1,34 ^{ns}	1,74 ^{ns}	0,46 ^{ns}	2,18 ^{ns}	0,97 ^{ns}	0,32 ^{ns}
QMRes.	0,0898	0,00041	0,1993	0,0193	0,00107	0,00093	0,0767	4,68
Médias								
Salinidade								
S1	5,04	0,37	6,18	2,14	0,48	0,46	1,85	52
S2	5,36	0,39	6,10	2,18	0,56	0,46	2,55	49
S3	5,26	0,41	5,73	2,19	0,61	0,48	2,92	51
Lâmina								
L0	5,14	0,39	5,79	2,17	0,55	0,45	2,46	51
L1	5,20	0,38	5,99	2,12	0,54	0,48	2,49	49
L2	5,32	0,40	6,23	2,21	0,56	0,46	2,36	53
Média	5,22	0,39	6,00	2,17	0,55	0,46	2,44	51

^{ns} Não significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

* Significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

** Significativo ao nível de 0,01 de probabilidade pelo teste F.

Fernandes & Haag (s.d.) encontraram para a variedade Avelar, irrigada com solução nutritiva, as seguintes concentrações: N = 4,65; P = 0,26; K = 4,72; Ca = 1,77; Mg = 0,58 e S = 0,60, sendo que nas folhas dos 2/3 inferior da planta houve redução nos teores de N e P e aumento em K, Ca e Mg. Então, os teores foliares obtidos para o híbrido 'Luis' para a água de menor salinidade (Tabelas 14 e 15), com exceção do S, que foi inferior, e do Mg, que se equiparou, apresentaram-se em maior concentração para N, P, K e Ca

Comparando-se com os teores médios obtidos por Rincon et al. (1995) ao longo do ciclo para todas as folhas, verifica-se que os de N e P foram superiores, o de K equiparou-se, e os de Ca e Mg foram inferiores.

Confrontando-se os efeitos dos tratamentos nos teores dos elementos medidos nas plantas aos 115 e 165 dias, observa-se nas Tabelas 14 e 15, que os mesmos apresentaram comportamentos semelhantes em ambas ocasiões, exceto para o Na aos 115 dias, onde as águas S2 e S3 proporcionaram um aumento substancial em seus teores. Isto, em parte, pode ser explicado pelo fato das folhas da última amostragem serem 10 a 15 dias mais novas do que aquelas da primeira, pois conforme Ayers & Westcot (1991), o Na acumula-se gradativamente nas folhas, atingindo concentração máxima quando a folha amadurece. Também pode-se constatar nas tabelas que os teores médios entre 115 e 165 dias do transplântio cresceram para S, K, Ca e Cl nas proporções de 8, 15, 22 e 48%, e diminuíram para N, P, Mg e Na, em 6, 13, 18 e 30%, respectivamente.

Analisando-se o efeito dos tratamentos nos teores foliares medidos no final do ciclo, verifica-se na Tabela 15, que a salinidade da água de irrigação aumentou linearmente a concentração de P e diminuiu a de K, enquanto produziu efeito quadrático para o N, Mg e Cl. Neste caso, houve aumento nos teores entre S1 e S2, seguido de uma redução no valor para N, ou na taxa de crescimento para Mg e Cl. Para S, Na e Ca, a salinidade da água não afetou de forma significativa os seus teores, comportamento este verificado para as lâminas de irrigação sobre todos os elementos estudados. Meire & Shalhevet (1973) verificaram que o Cl foi o elemento que mais aumentou na planta de pimentão devido à salinidade da água de irrigação, resposta também obtida por Bernstein

& Francois (1973a, 1975), e que o Na e Ca solúveis no extrato da folha cresceram proporcional as suas concentrações na água, enquanto os teores de K e Mg não foram afetados. Santos et al. (1990) obtiveram aumento no teor de Ca de 2,09 para 3,06%, quando se aumentou a concentração de Ca na solução nutritiva de 100 para 200 mg.kg⁻¹, enquanto os teores de Mg permaneceram constantes. Redução no teor de K com aumento da salinidade da água, foi encontrada por Pasternak & De Malach (1995) para o tomate, e por Bernstein & Francois (1975) para o pimentão, embora os teores foliares de sódio tenham crescido com a salinidade.

Bernstein & Pearson (1954) concluíram que a redução no rendimento de tomate e pimentão ocasionada pela salinidade é produzida pelo estresse osmótico e não pela toxidez específica do Na e Cl. Bernstein & Francois (1973a, 1975) verificaram sintomas de toxidez no pimentão, manifestada na forma de folhas com bordas queimadas, apenas quando plantas foram irrigadas com água de 2,5 dS.m⁻¹ por aspersão com alta frequência, ou com água de 4,2 dS.m⁻¹, independente da frequência da aspersão, sendo que a concentração nas folhas atingiu cerca de 3,5% de Cl. Por outro lado, Teixeira et al. (1979) observaram injúrias em plantas de pimentão a partir de doses acima de 15 mmol.c.ℓ⁻¹ na solução nutritiva. Os sintomas foram plantas enfezadas e limbos ligeiramente crestados, cloróticos e com aspecto mosqueados.

A Tabela 16 mostra as concentrações totais dos principais nutrientes do solo. Observa-se que os valores de K, Ca, Mg, e P podem ser considerados muito altos em relação as níveis considerados críticos no solo para as culturas, e que os teores de P e K apresentam um aumento substancial em comparação aos teores existentes antes do plantio (Tabela 1). Verifica-se também, que a salinidade da água de irrigação aumentou as concentrações de Na e Mg, não afetou a de Ca, e reduziu a do K e P. Este resultado pode ser explicado pela composição das águas de irrigação (Apêndice 5), As águas mais salinas apresentaram concentrações relativas de Na e Mg maiores, no entanto, para K e P as concentrações foram constantes em todas as águas, apresentando apenas uma redução de 2,3 e 5,4%, pois aplicou esta quantidade de água a menos, respectivamente, para as águas S2 e S3.

Tabela 16. Resumo da ANAVA e médias da concentração dos cátions e do fósforo extraíveis e PST na camada 0-20 cm no final do cultivo, para cada salinidade da água e lâmina relativa de irrigação.

Fator	Na ($\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$)	K ($\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$)	Ca ($\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$)	Mg ($\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$)	P ($\text{mg}.\text{kg}^{-1}$)	PST (%)
Estatística F						
Salinidade	78,4**	4,61*	0,01 ^{ns}	28,8**	1,03 ^{ns}	51,5**
Linear	155**	8,94**	0,01 ^{ns}	45,4**	1,50 ^{ns}	101**
Quadr.	2,01 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,02 ^{ns}	12,1**	0,55 ^{ns}	2,38 ^{ns}
Lâmina	1,48 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,39 ^{ns}	2,22 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,81 ^{ns}
Linear	0,43 ^{ns}	0,91 ^{ns}	0,02 ^{ns}	2,54 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,08 ^{ns}
Quadr.	2,52 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,76 ^{ns}	1,91 ^{ns}	0,23 ^{ns}	1,54 ^{ns}
S x L	1,94 ^{ns}	3,04*	2,56 ^{ns}	0,34 ^{ns}	1,64 ^{ns}	1,69 ^{ns}
QMRes.	0,03020	0,007703	0,5154	0,09444	2846	0,6954
Médias						
Salinidade						
S1	0,38	0,54	5,42	1,28	156	3,00
S2	0,82	0,51	5,46	2,02	160	4,82
S3	1,26	0,43	5,42	2,18	131	6,45
Lâmina						
L0	0,81	0,48	5,49	1,98	143	4,68
L1	0,88	0,49	5,29	1,72	143	5,00
L2	0,76	0,51	5,53	1,78	161	4,59
Média	0,82	0,49	5,44	1,83	149	4,76

^{ns} Não significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

* Significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

** Significativo ao nível de 0,01 de probabilidade pelo teste F.

O aumento na concentração dos nutrientes no solo, como do P e K, apresentando teores muito altos, indicam que as quantidades aplicadas excederam a necessidade da cultura. Assim, poderia ter-se reduzido as suas concentrações na água de irrigação, o que iria produzir menor salinidade na água S1, implicando, conseqüentemente, num menor acúmulo de sais na zona radicular.

Com respeito ao Na, o mais importante é verificar sua concentração relativa no complexo sortivo, a qual é dada pela PST. Observa-se na Tabela 16 que seus valores cresceram linearmente com a salinidade da água de irrigação, que tinha valores de RAS crescentes, embora o nível mais elevado (6,45%) esteja bem abaixo do valor crítico para a cultura e o solo (Ayers & Westcot, 1991; Richards, 1954).

4.1.5. *Rendimento e os componentes de produção da cultura do pimentão*

O rendimento acumulado, tanto da produção total como da produção comercial, está apresentado na Figura 16. Observa-se que a produção de pimentão acumulada com o tempo cresceu de forma mais lenta até a terceira colheita, seguindo mais rapidamente até a sétima, voltando a reduzir até chegar a nona colheita, independente dos tratamentos aos quais as plantas foram submetidas. No entanto, a salinidade da água de irrigação proporcionou uma redução na produção ao longo das colheitas, sendo a maior diferença para a produção comercial, sobretudo nas últimas colheitas. Por outro lado, as lâminas de irrigação não afetaram significativamente a produção acumulada ao longo do ciclo, embora a produção para lâmina L1 tenha se mantido um pouco acima da obtida pelas outras lâminas de irrigação. Esta tendência também foi observada para altura de planta (Figura 6), peso final da parte aérea das plantas (Tabela 6) e evapotranspiração da cultura (Tabela 11).

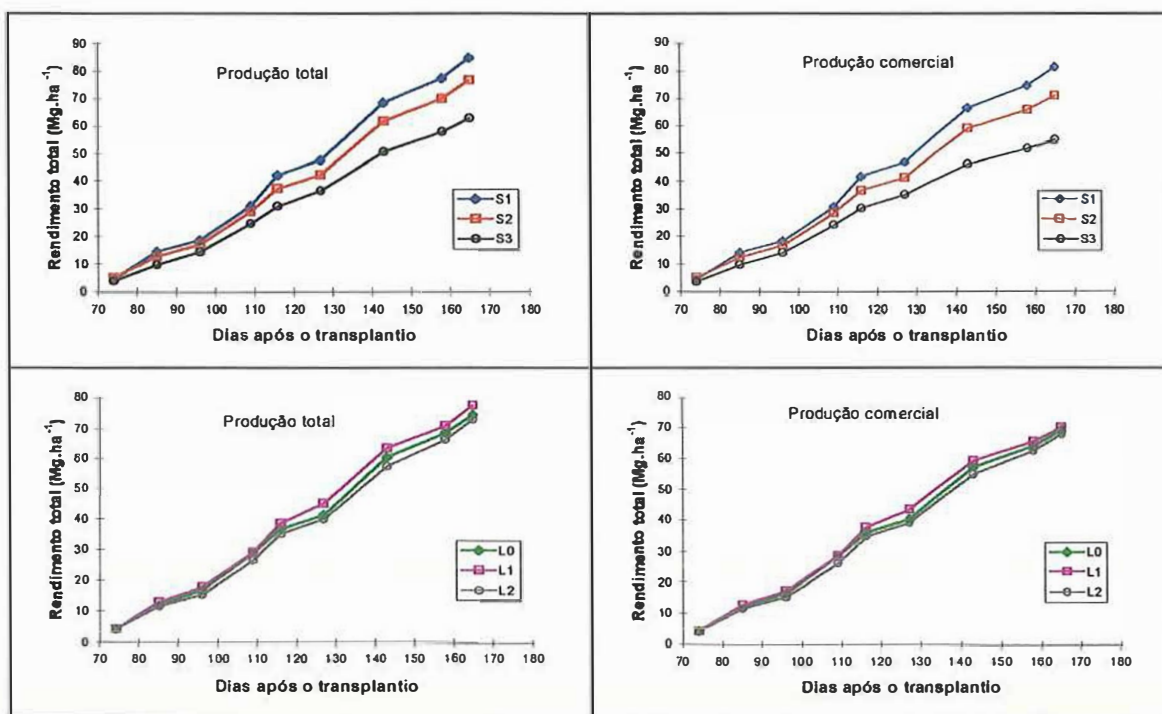


Figura 16. Produção de pimentão verde acumulada ao longo de nove colheitas para cada nível de salinidade da água e lâmina de irrigação.

A desaceleração na produção acumulada nas últimas colheitas, provavelmente foi provocada também pela infestação de fungos, que produziram sintomas semelhantes aos produzidos pelo oídio, nos últimos 20 dias de cultivo. Segundo Melo (1997), um fungo que causa doença em condições de estufa desde 1995 no Estado de São Paulo, com este sintoma, é o *Leveillula* sp. (*Oidiopsis* sp., na fase imperfeita), sendo um dos fatores que reduz o peso médio dos frutos. Com respeito à maior diferença para a produção comercial nas últimas colheitas, motivada pelo aumento da salinidade da água de irrigação, verifica-se que a mesma deveu-se principalmente à redução do número de frutos comerciais (Figura 17), em consequência do aumento do número frutos refugos com podridão estilar nas últimas colheitas (ver Tabela 21).

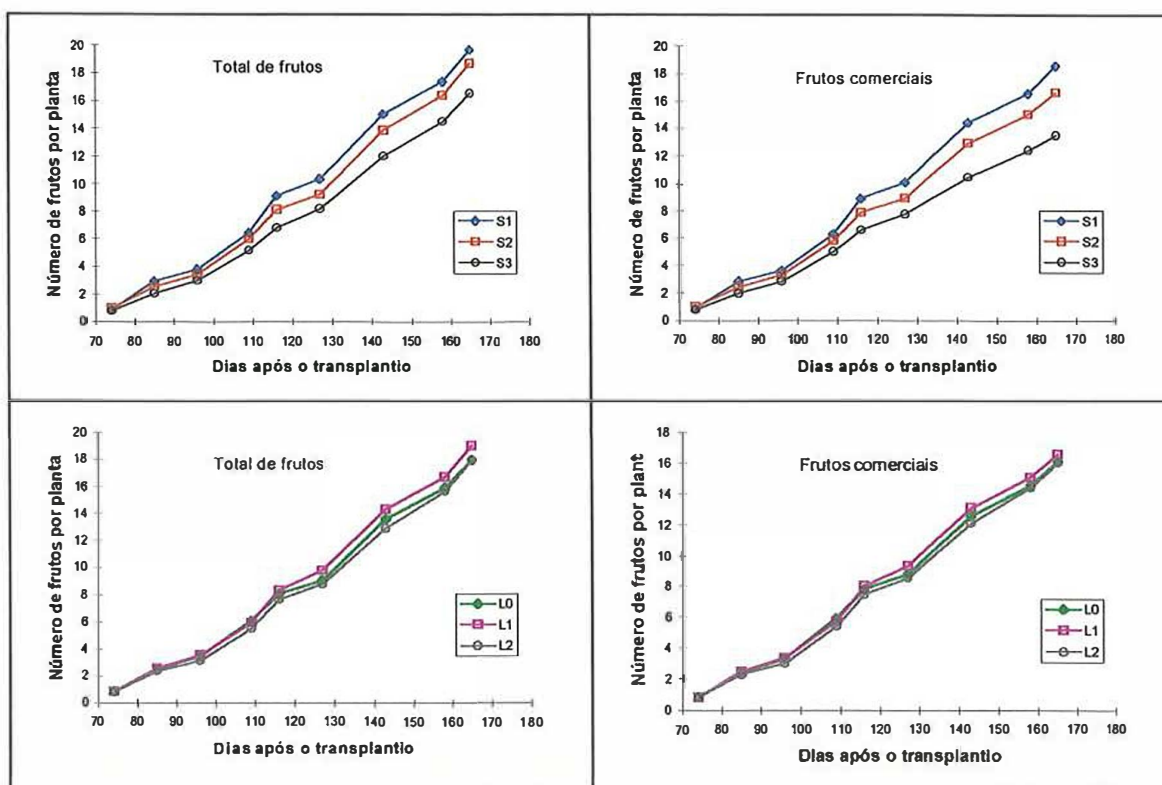


Figura 17. Número de frutos de pimentão verde acumulado ao longo de nove colheitas para cada nível de salinidade da água e lâmina de irrigação.

Analisado-se os componentes de produção, verifica-se na Figura 17, que o número de frutos acumulados no tempo diferiram das curvas de rendimento, pelo fato de não ter havido diminuição na taxa de produção de frutos nas últimas colheitas, comportamento este similar ao crescimento das plantas, e também, devido a uma menor diferença entre o número de frutos totais acumulados a partir da sétima colheita, provocada pela salinidade da água de irrigação. No caso do peso médio dos frutos por colheita, de uma maneira geral, observa-se na Figura 18, que até a quarta colheita o peso ficou aproximadamente constante, reduzindo para outro patamar entre a quinta e sétima colheita, seguindo uma queda mais acentuada nas últimas duas colheitas. Considerando a influência dos tratamentos, verifica-se que apenas a salinidade da água a partir da quinta colheita induziu uma redução sistemática e significativa até o final do cultivo, o que justifica o menor incremento no rendimento nas últimas colheitas e a maior diferença entre os rendimentos produzida pela salinidade da água de irrigação em comparação com a ocorrida entre o número de frutos.

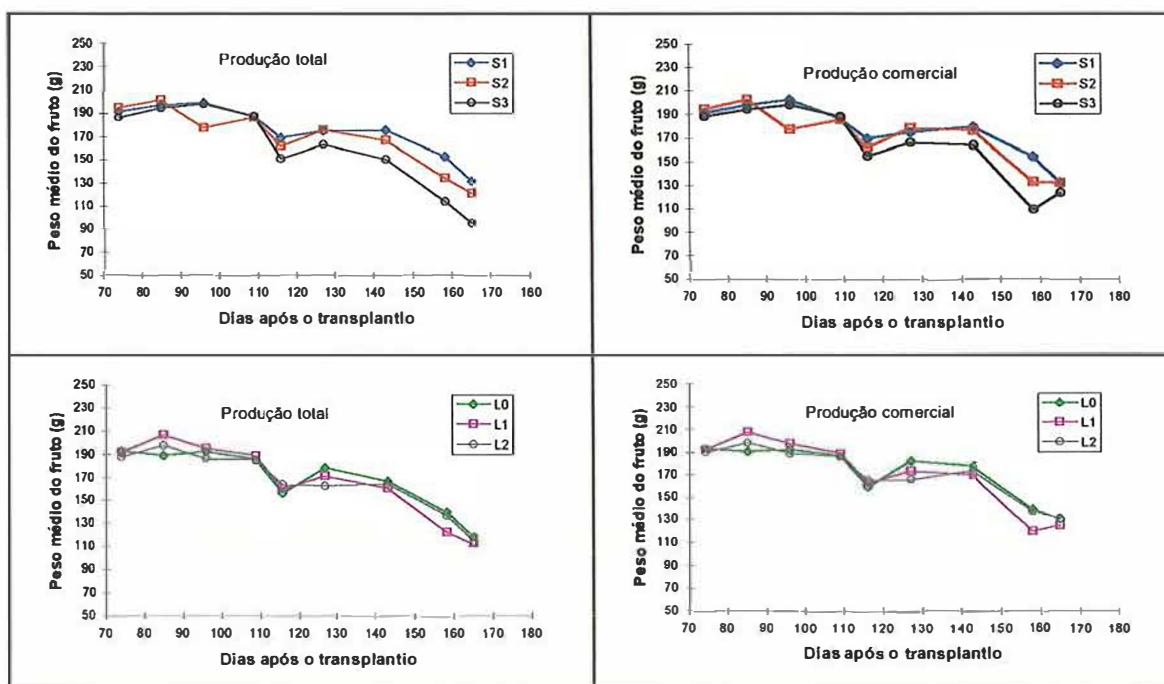


Figura 18. Evolução do peso médio de frutos verdes de pimentão, ao longo de nove colheitas, para cada nível de salinidade da água e lâmina de irrigação.

A duração do ciclo de cultivo é um fator que afeta o número e o tamanho dos frutos de pimentão. Segundo Melo (1997), com o avanço do ciclo, o tamanho e a taxa do número de frutos tendem a diminuir por causa do declínio natural e/ou pela incidência de patógenos e pragas. Atualmente, existe o conceito de que se deve reduzir o ciclo por duas razões principais: (a) obter frutos de melhor qualidade, quanto a tamanho e peso, obtendo-se conseqüentemente maior valor agregado ao produto; e (b) minimizar a probabilidade de incidência de doenças e pragas (Melo, 1997). No sistema de ambiente protegido, essa é uma tendência que se aplica às demais hortaliças de colheitas múltiplas, como tomate e beringela. Não se deve desconsiderar, no entanto, o conceito de alongamento máximo do ciclo de cultivo como um recurso para abater o alto custo do investimento. Este procedimento se justifica quando o manejo da casa-de-vegetação for adequado, de tal forma que as plantas se mantenham sadias e produtivas, e quando os preços forem estimulantes.

Considerando o ciclo da cultura de 115 dias, ou seja, 5 colheitas, os rendimentos total e comercial obtidos com a água de menor salinidade ($S1=1,29 \text{ dS.m}^{-1}$) foram, respectivamente, de $42,3 \text{ Mg.ha}^{-1}$ e $41,6 \text{ Mg.ha}^{-1}$ (Tabela 17) e estes rendimentos foram reduzidos em 27,0 e 27,4% para a água mais salina ($S3=4,45 \text{ dS.m}^{-1}$). Por outro lado, assumindo o ciclo de 165 dias (9 colheitas), verifica-se que o incrementado no rendimento total foi semelhante para os diferentes tratamentos girando em torno de 102%, enquanto o da produção comercial variou com a salinidade da água de irrigação, ou seja, os incrementos foram de 95, 94 e 82%, respectivamente, para as águas S1, S2 e S3. Com respeito a influência da salinidade nos rendimentos para o ciclo de 165 dias, observa-se que a produção total apresentou uma diminuição de 25,9%, próxima da que ocorreu para as primeiras 5 colheitas, no entanto, para a produção comercial, a queda no rendimento foi mais pronunciada, atingindo uma redução de 32,4% para a água S3, em comparação a água S1, contra a diminuição de 27,4% para o rendimento comercial obtido até a quinta colheita. A Tabela 17 revela ainda que as lâminas de irrigação não afetaram a produção de forma significativa, nem nas primeiras 5 colheitas, nem durante todo o cultivo.

Tabela 17. Resumo da ANAVA e médias dos rendimentos total e comercial de pimentão, assumindo os comprimentos do ciclo da cultura de 115 e 165 dias, para cada salinidade da água e da lâmina relativa de irrigação.

Fator	Rendimento total (Mg.ha ⁻¹)		Rendimento comercial (Mg.ha ⁻¹)	
	C=115	C=165	C=115	C=165
	Estatística F			
Salinidade	15,2**	45,1**	16,7**	91,1**
Linear	30,3**	90,2**	33,4**	182**
Quadr.	0,04 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,01 ^{ns}
Lâmina	1,34 ^{ns}	2,08 ^{ns}	1,10 ^{ns}	0,65 ^{ns}
Linear	0,52 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,38 ^{ns}
Quadr.	2,18 ^{ns}	3,65 ^{ns}	1,84 ^{ns}	0,93 ^{ns}
S X L	0,16 ^{ns}	1,02 ^{ns}	0,15 ^{ns}	1,35 ^{ns}
QMRes.	25,91	32,82	23,38	23,27
Salinidade	Médias			
S1	42,3	84,8	41,6	81,2
S2	37,4	76,6	36,5	70,8
S3	30,9	62,8	30,2	54,9
Lâmina				
L0	36,8	74,2	35,9	69,0
L1	38,7	77,3	37,6	70,1
L2	35,3	72,6	34,7	67,8
Média	36,9	74,7	36,1	69,0

^{ns} Não significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

** Significativo ao nível de 0,01 de probabilidade pelo teste F.

Melo (1997) encontrou para os 4 híbridos triplos mais rentáveis, sob condições de estufa, produções variando de 4,00 a 4,66 kg/planta, o que aconteceu durante 10 colheitas feitas durante 140 dias. Assumindo a densidade de 25.000 plantas/ha, e fazendo uma proporção para 90 dias de colheitas, o rendimento passaria para 64,28 a 74,89 Mg.ha⁻¹, contra os 85 Mg.ha⁻¹ obtidos no tratamento com menor salinidade com o híbrido 'Luis'.

Também constata-se que a perda de rendimento é mais pronunciada do que a de peso da parte aérea da planta, concordando com dados de Bernstein & Pearson (1954).

Bernstein & Francois (1973a, 1975) obtiveram uma menor redução no rendimento, que foi de 14% para água de irrigação com salinidade de aproximadamente $4,2 \text{ dS.m}^{-1}$, diminuição também obtida para o peso da parte aérea da planta.

A Figura 19 apresenta as curvas de regressão para o rendimento total e comercial obtidos até 115 e 165 dias após o transplante, em função da salinidade da água de irrigação. Para os 115 e 165 dias, as reduções médias no rendimento das produções total e comercial foram, respectivamente, $3,59$ e $3,58 \text{ Mg.ha}^{-1}$ e de $6,98$ e $8,32 \text{ Mg.ha}^{-1}$ por incremento de uma unidade de salinidade da água de irrigação, representando $8,5$ e $8,6\%$ e $8,2\%$ e $10,2\%$ dos rendimentos alcançados pela água de menor salinidade. Assim, pode-se concluir que para os ciclos da cultura de 115 e 165 dias, a salinidade da água de irrigação afetou de forma semelhante o rendimento total de pimentão, entretanto, o rendimento comercial foi influenciado de forma mais negativa pela salinidade da água de irrigação considerando todo período de cultivo.

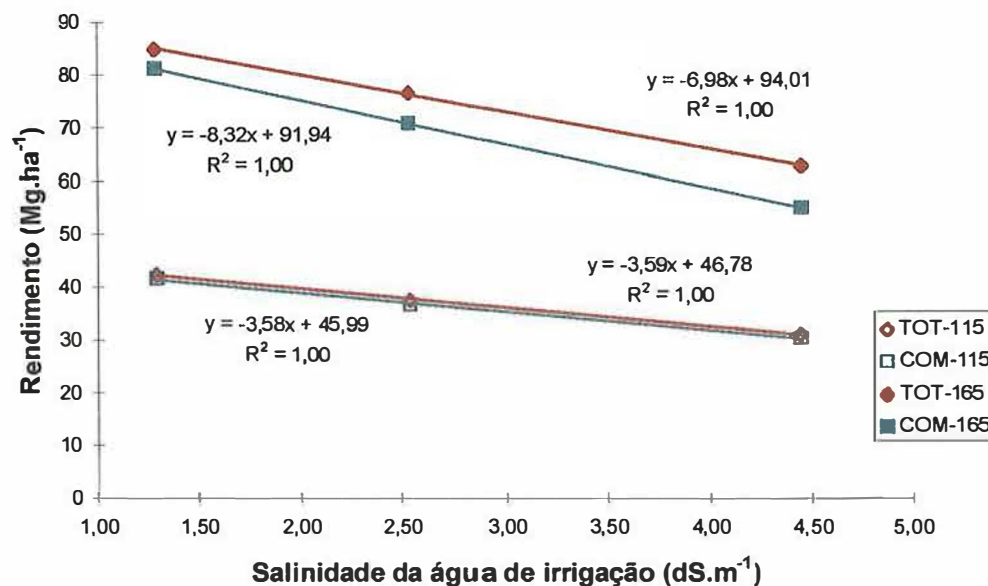


Figura 19. Rendimento total (TOT) e comercial (COM) de pimentão, híbrido 'Luis', sob estufa, até a 115 e 165 dias após o transplante, em função da salinidade da água de irrigação.

Nas Tabelas 18 e 19 estão apresentados os componentes de produção para ciclos culturais de 115 e 165 dias. Verifica-se que a lâmina relativa de irrigação não afetou nem o número de frutos nem o seu peso médio, enquanto a salinidade da água de irrigação causou diminuição do número de frutos de forma linear para as produções medidas nos dois ciclos e o peso médio de frutos apenas quando se considerou todas as colheitas. O número de frutos total e comercial por planta obtido no ciclo de 115 dias para a água S1 girou em torno de 9, reduzindo-se aproximadamente 25% para a água S3, o que se aproxima da perda de rendimento observada nestas 5 colheitas (27%). Por sua vez, considerando as 9 colheitas, enquanto o número de frutos comerciais, que foi diminuído com a salinidade da água de irrigação numa proporção semelhante do que ocorreu para o ciclo de 115 dias, cresceu 108% em relação ao produzido nas primeiras cinco colheitas; o de frutos totais foi aumentado diferentemente pela salinidade da água de irrigação. Neste caso, os aumentos no número de frutos totais nas últimas 4 colheitas em relação a produção das cinco primeiras foram 116, 131 e 144%, respectivamente, para as águas S1, S2 e S3, correspondendo a aproximadamente a um incremento de 10 frutos/planta, independente da salinidade da água de irrigação. Assim, pode-se dizer que embora tenha havido um aumento relativo no número de frutos totais para as últimas 4 colheitas, em relação ao obtido nas 5 primeiras, com o aumento da salinidade, isto não implicou num aumento relativo da produção comercial, pois houve um crescimento no número de frutos refugos nas últimas colheitas (ver Tabela 21), à proporção que aumentava a salinidade da água de irrigação, associado a maior redução no peso médio dos frutos totais em relação aos comerciais, quanto maior era a salinidade da água de irrigação (Tabela 19).

O número de frutos totais durante todo o cultivo para a água de menor salinidade foi de 19,7/planta, com peso médio de 172 g. Considerando os dados obtidos por Melo (1997) para os híbridos triplos que produziram as 3 maiores quantidades de frutos, e corrigidos para um período de colheita de 90 dias, a quantidade de frutos foi de 20,8 a 21,7/planta e os 3 maiores pesos médios de frutos para o período de 140 dias foi de 132 a 133 g, contra 158 a 163 g para os 10 primeiros frutos de cada planta. Portanto,

o número de frutos obtidos para o híbrido 'Luis' foi similar, mas o peso médio dos frutos foi superior.

Tabela 18. Resumo da ANAVA e médias do número de frutos total e comercial de pimentão, assumindo comprimentos do ciclo cultural de 115 e 165 dias, para cada salinidade da água e lâmina relativa de irrigação.

Fator	Nº de frutos total por planta		Nº de frutos comerc. por planta	
	C=115	C=165	C=115	C=165
Estatística F				
Salinidade	12,8**	11,4**	14,4**	47,3**
Linear	25,4**	22,7**	28,6**	94,7**
Quadr.	0,10 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,01 ^{ns}
Lâmina	0,97 ^{ns}	1,69 ^{ns}	0,74 ^{ns}	0,62 ^{ns}
Linear	0,78 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,01 ^{ns}
Quadr.	1,17 ^{ns}	3,38 ^{ns}	0,82 ^{ns}	1,24 ^{ns}
S x L	0,01 ^{ns}	1,06 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,21 ^{ns}
QMRes.	1,238	2,691	1,091	1,643
Salinidade	Médias			
S1	9,1	19,7	8,9	18,6
S2	8,1	18,7	7,9	16,6
S3	6,8	16,6	6,6	13,5
Lâmina				
L0	8,1	18,0	7,8	16,6
L1	8,3	19,0	8,0	16,6
L2	7,7	17,9	7,5	16,1
Média	8,0	18,0	7,8	16,4

^{ns} Não significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

** Significativo ao nível de 0,01 de probabilidade pelo teste F.

As equações de regressão presentes na Figura 20 indicam uma queda de 7,9 e 5,0% por unidade da salinidade da água de irrigação para o número de frutos totais medidos até a quinta colheita e em todo cultivo, enquanto para a produção comercial a redução foi de 8,1 e 8,7%, respectivamente. No caso do peso médio dos frutos da produção total e comercial obtida ao longo de todo cultivo, sofreu uma redução de 3,7 e 2,4% por incremento de uma unidade da salinidade da água de irrigação dos pesos médios alcançados pela água de menor salinidade. Assim, pode-se dizer que o número de frutos contribuiu para a diminuição da produção total e comercial obtida em todo ciclo,

respectivamente, em 58 e 78%, ou seja, a redução nos rendimentos se deveu mais a redução do número de frutos do que do seu peso médio, que influenciou no rendimento apenas quando se assumiu as 9 colheitas, pois como foi mostrado na Figura 15, apenas houve efeito da salinidade no peso médio por colheita a partir da quinta.

Tabela 19. Resumo da ANAVA e médias do peso médio dos frutos totais e comerciais de pimentão, assumindo comprimentos do ciclo cultural de 115 e 165 dias, para cada salinidade da água e lâmina relativa de irrigação.

Fator	Peso médio dos frutos totais (g.fruto ⁻¹)		Peso médio dos frutos comerciais (g.fruto ⁻¹)	
	C=115	C=165	C=115	C=165
Estatística F				
Salinidade	0,95 ^{ns}	27,9**	0,53 ^{ns}	9,50**
Linear	1,77 ^{ns}	55,7**	1,07 ^{ns}	18,9**
Quadr.	0,12 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,07 ^{ns}
Lâmina	0,69 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,52 ^{ns}
Linear	0,04 ^{ns}	1,36 ^{ns}	0,11	0,86
Quadr.	1,34 ^{ns}	0,24 ^{ns}	1,21	0,17
S x L	1,31 ^{ns}	2,02 ^{ns}	1,02 ^{ns}	1,63 ^{ns}
QMRes.	79,42	45,21	101,5	52,08
Salinidade	Médias			
S1	186	172	187	175
S2	185	164	186	171
S3	181	152	183	162
Lâmina				
L0	182	165	183	171
L1	186	162	188	169
L2	183	161	185	168
Média	184	163	185	169

^{ns} Não significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

** Significativo ao nível de 0,01 de probabilidade pelo teste F.

Vinten et al. (1986) verificaram resultados similares para tomate. Contrariamente, Bernstein (1959) verificou uma diminuição considerável no tamanho dos frutos de pimentão e tomate com o aumento da salinidade, sendo este o componente que mais afetou o rendimento destas culturas. Por outro lado, Meire & Shalhevet (1973)

observaram que a redução no rendimento de pimentão deveu-se às diminuições aproximadamente equivalentes do número e peso médio dos frutos.

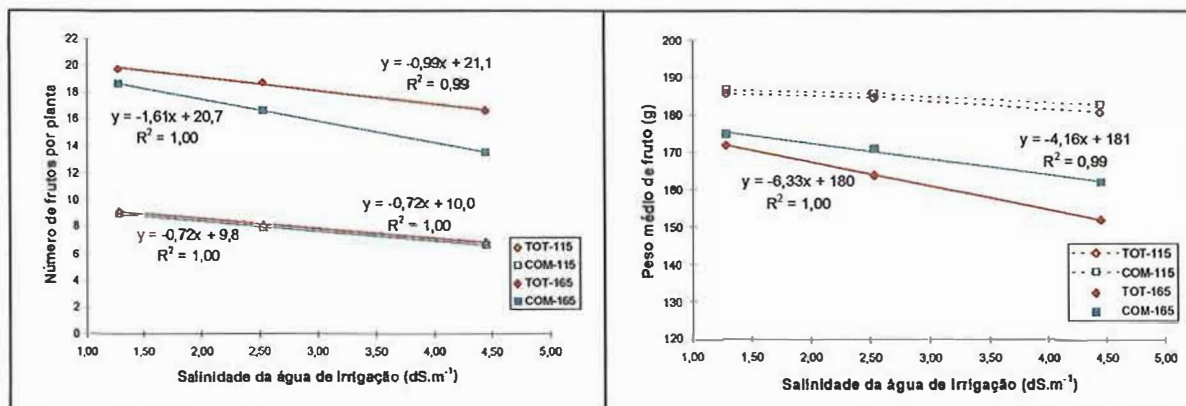


Figura 20. Número de frutos por planta e peso médio dos frutos total (TOT) e comercial (COM) de pimentão, híbrido 'Luis', sob estufa, até a 115 e 165 dias após o transplante, em função da salinidade da água de irrigação.

Para o tomate, a redução no rendimento foi devido somente a diminuição do tamanho dos frutos (Shalhevet & Yaron, 1973). Navarro-Pedreño et al. (1993) encontraram para água de salinidades variando entre 0,75 e 4,5 dS.m⁻¹, que embora a salinidade não reduzisse o rendimento de tomate, a mesma promoveu aumento do número de frutos, enquanto diminuiu o seu peso médio.

4.1.6. Caracteres dos frutos

Foram realizadas medidas de tamanho nas 6 primeiras colheitas e espessura de polpa e porcentagem de matéria seca na terceira e sexta colheita. Os dados referentes a comprimento, largura e relação entre comprimento e largura dos frutos estão ilustrados na Figura 21. De uma maneira geral, verifica-se que o comprimento e largura dos frutos tendem a diminuir na quinta e sexta colheita, enquanto a relação entre comprimento e largura não apresentou esta tendência, ou seja, apresentou um comportamento instável ao longo das colheitas. A análise de variância para cada colheita detectou que o comprimento foi afetado apenas pela lâmina de irrigação na segunda e sexta colheita.

Quanto a largura dos frutos, apenas a salinidade da água apresentou efeito significativo, o que aconteceu na primeira e quinta colheita. Neste caso, houve uma redução linear com a salinidade da água. Com respeito à relação entre o comprimento e largura do fruto, a análise de variância mostrou que a salinidade aumentou linearmente a relação somente para a primeira colheita, enquanto a lâmina relativa de irrigação afetou significativamente a sexta colheita, quando esta relação diminuiu linearmente à medida em que a lâmina relativa de irrigação cresceu. Vale ressaltar que, embora o comprimento e largura dos frutos tenha respondido aos tratamentos de forma significativa, em algumas das colheitas, as maiores diferenças não atingiram 7%.

Considerando os valores médios obtidos para as 5 primeiras colheitas, observa-se na Tabela 20 que a salinidade da água de irrigação aumentou linearmente o comprimento e a relação entre comprimento e largura dos frutos, e diminuiu significativamente o índice de qualidade dos frutos. Por outro lado, a lâmina de irrigação produziu efeito significativo apenas na porcentagem de frutos com comprimento superior a 13,5 cm, que diminuiu linearmente com o aumento da lâmina relativa de irrigação. Em termos médios, o número de frutos extras ($C > 13,5$ cm) foi de 15,4% nas primeiras 5 colheitas. Vale salientar que nas 5 primeiras colheitas o peso médio dos frutos não foram afetados nem pela salinidade da água nem pela lâmina relativa de irrigação (Tabela 19).

Embora a análise de variância tenha mostrado efeito da salinidade da água no comprimento, relação C/L dos frutos e índice de qualidade, as maiores diferenças não chegaram a 3, 4 e 7%, respectivamente, sendo seus valores médios 12,1 cm, 1,69 e 0,351. Melo (1997) encontrou para o híbrido Magali e híbridos triplos, comprimentos médios de frutos oscilando entre 11,5 e 14,5 cm e para a relação C/L, valores entre 1,8 e 2,6. O fruto é considerado retangular quando a relação C/L é maior do que 2,0, e são pimentões mais aceitos por nosso consumidor. Os menores valores para a relação C/L em comparação aos obtidos por Melo (1997), além de estarem relacionados ao menor comprimento dos frutos, também se devem a sua maior largura, que foi de 7,2 cm.

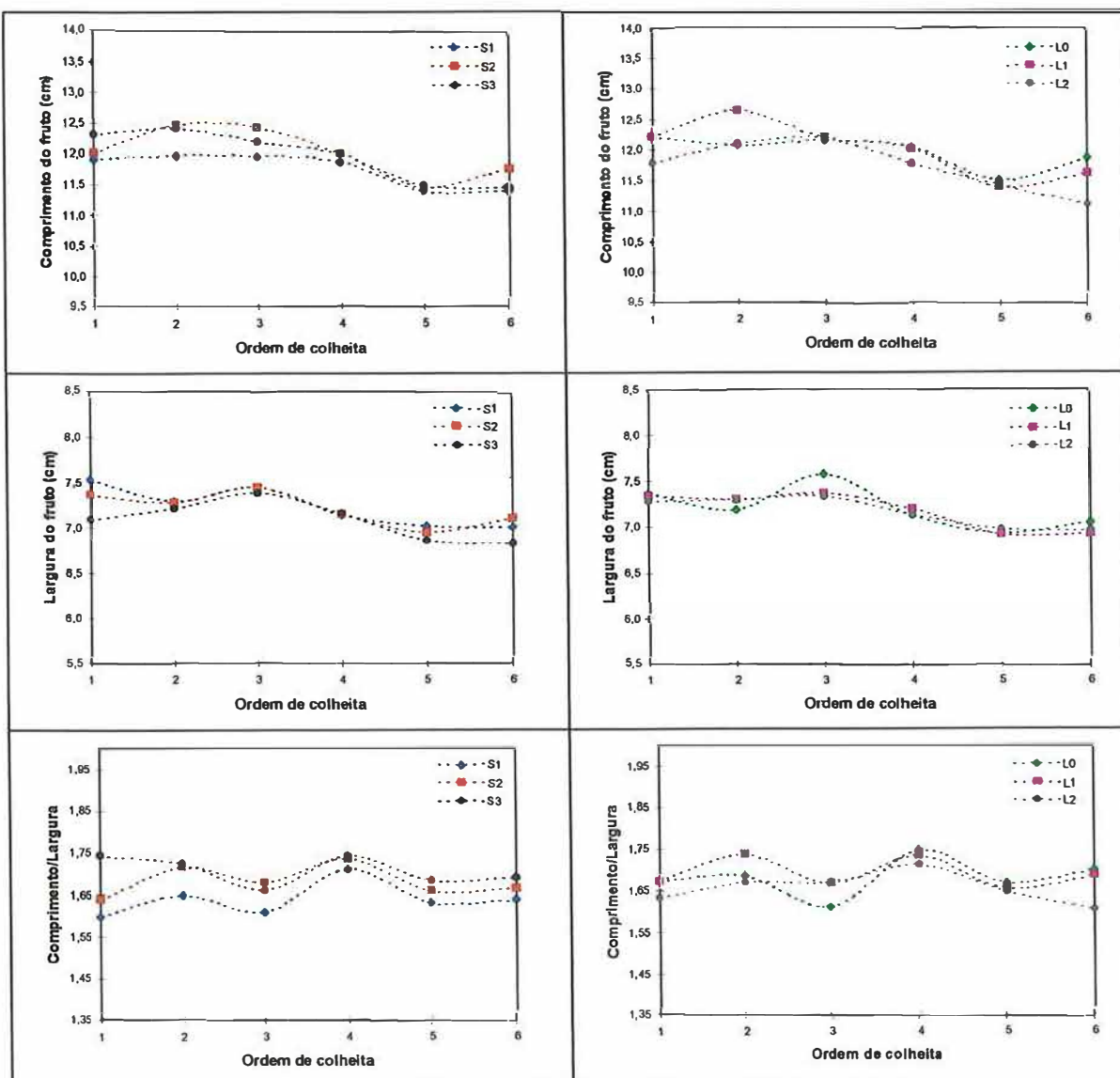


Figura 21. Comprimento, largura e relação entre comprimento e largura dos frutos de pimentão nas primeiras 6 colheitas para cada salinidade da água e lâmina relativa de irrigação.

Melo et al. (1997) obtiveram para frutos maduros do híbrido ‘Luis’ comprimento de 14,6 cm e largura média de 8,1 cm.

Verifica-se ainda na Tabela 20, que os frutos com largura superior a 7,0 cm, representando 65,5% dos frutos, e com comprimento inferior a 9,0 cm (refugo), representando 2,04%, não foram afetados pelos tratamentos. Melo (1997) encontrou 12 a 14% para os 4 híbridos de pimentão que apresentam menor número de frutos refugos.

Tabela 20. Resumo da ANAVA e médias do comprimento (C), da largura (L), da relação entre comprimento e largura do fruto, índice de qualidade (IQ), das porcentagens de frutos com comprimento superior a 13,5 cm (PC135) e inferior a 9,0 cm (PC90) e com largura maior do que 7,0 cm (PL70) para a produção obtida até a quinta colheita.

Fator	Característica						
	C (cm)	L (cm)	C/L	IQ	PC135	PL70	PC90
Estatística F							
Salinidade	3,42*	1,29 ^{ns}	6,14**	4,01*	0,92 ^{ns}	1,21 ^{ns}	1,05 ^{ns}
Linear	6,00*	2,52 ^{ns}	11,5**	7,14*	1,81 ^{ns}	2,41 ^{ns}	1,79 ^{ns}
Quadr.	0,84 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,87 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,31 ^{ns}
Lâmina	2,15 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,78 ^{ns}	1,48 ^{ns}	3,19 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,66 ^{ns}
Linear	1,15 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,91 ^{ns}	4,56*	0,59	1,32
Quadr.	3,16 ^{ns}	0,05 ^{ns}	1,39 ^{ns}	2,05 ^{ns}	1,82 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,01
S x L	0,08 ^{ns}	1,29 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,48 ^{ns}	1,09 ^{ns}	0,54 ^{ns}
QMRes.	0,0931	0,02518	0,0031	0,00046	47,48	1,006	5,53
Médias							
Salinidade							
S1	11,9	7,2	1,65	0,362	13,8	68,6	2,82
S2	12,1	7,2	1,69	0,354	14,8	65,5	1,82
S3	12,2	7,1	1,72	0,338	17,5	62,2	1,48
Lâmina							
L0	12,0	7,2	1,69	0,352	17,3	66,5	2,62
L1	12,2	7,2	1,70	0,358	17,6	66,7	1,97
L2	11,9	7,1	1,67	0,343	11,3	63,3	1,52
Médias	12,1	7,2	1,69	0,351	15,4	65,5	2,04

^{ns} Não significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

* Significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

** Significativo ao nível de 0,01 de probabilidade pelo teste F.

Os frutos refugos devido a podridão estilar foram bastante significativos, sobretudo quando se considerou as últimas 4 colheitas (Tabela 21). Embora a salinidade da água de irrigação já tenha aumentado linearmente a quantidade de frutos podres nas primeiras 5 colheitas, os valores, em termos absolutos, podem ser considerados desprezíveis em relação aos obtidos nas últimas 4 colheitas. Nas primeiras 5 colheitas, a redução no rendimento para a água S3, devido a frutos com podridão estilar, foi de 525 kg.ha⁻¹, correspondendo a apenas 1,7% de sua produção total, enquanto nas últimas 4 colheitas, esta redução foi de 7198 kg.ha⁻¹, representando 22,6% da produção total

conseguida nestas colheitas com a água S3. Com respeito ao número de frutos por planta, a podridão estilar representou para água S3, diminuições de 2,4 e 31,1% dos frutos colhidos nos dois períodos, respectivamente. Considerando todo o ciclo cultural, os frutos com podridão estilar proporcionaram reduções no rendimento total de 2,66, 5,81 e 12,3%, respectivamente, para as águas S1, S2 e S3.

Tabela 21. Resumo da ANAVA e médias de frutos com podridão estilar para as 5 primeiras colheitas e para as 4 últimas, expressas em rendimento e em número de frutos.

Fator	Nº de frutos com podridão por planta			Frutos com podridão (kg.ha ⁻¹)		
	1-5	6-9	Total	1-5	6-9	Total
Estatística F						
Salinidade	4,28*	12,4**	12,8**	4,05*	12,8**	13,3**
Linear	8,47**	24,7**	25,5**	8,03**	25,5**	26,7**
Quadr.	0,08 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}
Lâmina	0,56 ^{ns}	1,06 ^{ns}	1,06 ^{ns}	0,84 ^{ns}	1,23 ^{ns}	1,33 ^{ns}
Linear	0,40 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}
Quadr.	0,71 ^{ns}	1,92 ^{ns}	1,99 ^{ns}	1,00 ^{ns}	2,46 ^{ns}	2,64 ^{ns}
S x L	0,23 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,27 ^{ns}
QMRes.	0,0152	1,222	1,343	179705	5908212	6805746
Salinidade	Médias					
S1	0,01	0,80	0,81	32	2224	2256
S2	0,08	1,80	1,88	268	4186	4454
S3	0,16	3,05	3,21	525	7198	7723
Lâmina						
L0	0,09	1,60	1,69	296	4071	4367
L1	0,11	2,25	2,36	375	5438	5813
L2	0,06	1,80	1,86	155	4100	4255
Média	0,09	1,88	1,97	275	4536	4811

^{ns} Não significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

* Significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

** Significativo ao nível de 0,01 de probabilidade pelo teste F.

Entretanto, a podridão apical na maioria das vezes está relacionada a deficiência de Ca, mas como foi visto na seção 4.1.4, não houve diferenças nos seus teores entre os tratamentos, como também estão acima do limite crítico inferior (Fernandes, 1981, Fernandes & Haag, s.d.), como também, o Na, que poderia provocar problemas de

toxidez ou de desequilíbrio nutricional, não foi acumulado na planta em grandes proporções, nem no solo, em termos de PST, tendo apenas o cloreto se concentrado nas folhas numa proporção mais elevada, quanto maior foi a salinidade da água, mas não sendo o seu sintoma, a podridão apical, como relata a literatura (Ayers & Westcot, 1991; Bernstein & Francois, 1975). Cornillon & Auge (1995) observaram para o pimentão que a salinidade produzida por NaCl e CaCl₂ reduziram mais o rendimento do que aquela oriunda do NaNO₃ e Na₂SO₄, e que a podridão estilar foi maior, quando a salinidade foi proveniente de MgCl₂ e NaHCO₃, em comparação com Na₂SO₄ e CaCl₂. Neste caso, o excesso de Mg concorre com o Ca, inibindo a absorção deste, e o HCO₃ precipita o Ca, reduzindo sua disponibilidade para a planta, ou seja, a podridão ficou relacionada, provavelmente, ao cálcio.

Sendo assim, um explicação mais provável para o aumento da incidência de podridão apical nas últimas colheitas foi a incidência das doenças que ocorreu neste período, associada a própria senescência da planta, pois esteve presente em todos os tratamentos. Por outro lado, a maior podridão nos tratamentos salinos, pode ser justificada pelo maior efeito da doença, pois encontravam-se estressadas pela salinidade.

Uma das características mais importante do pimentão é a espessura da polpa, pois concede maior peso ao fruto, resistência à deformação e maior conservação pós-colheita (Melo, 1997). A Tabela 22 apresenta a espessura média da polpa dos frutos e sua porcentagem de matéria seca para duas colheitas distintas (terceira e sexta). Verifica-se que a espessura da polpa não foi afetada pela salinidade da água nem pela lâmina relativa de irrigação, como também foi similar para as duas colheitas, com média geral de 4,6 mm, caracterizando-se como frutos de polpa grossa. Quanto à porcentagem de matéria seca, observou-se um aumento desta com a salinidade da água de irrigação. Caixeta et al. (1981) e Pellitero et al. (1993) obtiveram maior porcentagem de matéria seca de frutos de pimentão, à medida que as plantas sofreram maior estresse hídrico, enquanto Shalhevet & Yaron (1973) e Vinten et al. (1986) encontraram maiores teores de sólidos solúveis totais em frutos de tomate com o aumento do estresse salino, fato também observado por Meiri

et al. (1995) para o melão, que ainda apresentou teores de matéria seca maiores para a água mais salina.

Tabela 22. Resumo da ANOVA e médias da espessura da polpa e da porcentagem de matéria seca dos frutos da terceira e sexta colheita.

Fator	ESP3 (mm)	ESP6 (mm)	MS3 (%)	MS6 (%)
Estatística F				
Salinidade	0,32 ^{ns}	0,89 ^{ns}	4,56*	11,9**
Linear	0,53 ^{ns}	0,94 ^{ns}	8,92**	22,7**
Quadr.	0,11 ^{ns}	0,84 ^{ns}	0,20 ^{ns}	1,00 ^{ns}
Lâmina	0,62 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,23 ^{ns}	3,20 ^{ns}
Linear	0,99 ^{ns}	0,01 ^{ns}	2,14 ^{ns}	1,70 ^{ns}
Quadr.	0,24 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,32 ^{ns}	4,70*
S x L	1,09 ^{ns}	2,62 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,83 ^{ns}
QMResíduo	0,07718	0,05085	0,2942	0,1492
Médias				
Salinidade				
S1	4,49	4,55	5,38	4,49
S2	4,56	4,51	5,55	4,64
S3	4,58	4,63	6,03	5,22
Lâmina				
L0	4,58	4,56	5,45	4,58
L1	4,58	4,56	5,73	4,98
L2	4,47	4,56	5,78	4,78
Média	4,54	4,56	5,65	4,78

^{ns} Não significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

* Significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

** Significativo ao nível de 0,01 de probabilidade pelo teste F.

Entre 30 híbridos triplos estudados por Melo (1997), a espessura da polpa variou entre 4,2 e 5,1 mm, contra 3,9 mm do híbrido simples Magali. Melo et al. (1997) obteve para os 5 primeiros frutos maduros do híbrido 'Luis' espessura de polpa de 5,3 mm, sendo 5,7 mm a maior espessura encontrada para híbridos de frutos vermelhos.

4.1.7. *Tolerância do pimentão à salinidade*

A tolerância de uma cultura à salinidade é quantificada baseando-se na sua resposta à salinidade do solo, resultante da salinidade da água e do manejo da irrigação

Segundo Bernstein & Pearson (1954) e Hoffman et al. (1992), a salinidade média ao longo do tempo é o melhor parâmetro ao qual a cultura responde. Hoffman et al. (1983) e Shalhevet & Yaron (1973) encontraram para milho e tomate, que a resposta da cultura depende da salinidade média da zona radicular, independentemente da distribuição de sais na zona radicular, embora Bernstein & Francois (1973b), Smith & Hancock (1986), Rhoades & Loveday (1990) recomendem para irrigação de alta frequência a média ponderada com o padrão de absorção de água do sistema radicular.

Vários autores têm recomendado relacionar o rendimento da cultura com o potencial osmótico ou total da solução do solo (mátrico e osmótico), pois desta maneira corrige-se as variações de umidade e CE da solução do solo que ocorrem entre as irrigações (Ingvalson et al., 1976; Meiri & Shalhevet, 1973; Rhoades, 1982; Rhoades et al., 1992; Wadleigh & Ayers, 1945). A Tabela 23 mostra as médias ao longo do ciclo da cultura e ponderados com a porcentagem de água absorvida em cada camada de solo em cada período dos valores absolutos dos potenciais e da salinidade do solo. Observa-se que todos estes parâmetros aumentaram linearmente com a salinidade da água de irrigação, exceto o mátrico que foi diminuído, enquanto a lâmina relativa de irrigação provocou redução linear apenas nos valores absolutos do potencial mátrico médio durante todo o ciclo cultural. Devido ao fato dos potenciais mátricos representarem apenas uma pequena fração do potencial total, suas diferenças não foram suficientes para sobrepor as pequenas diferenças do potencial osmótico.

Considerando a salinidade média ponderada com a absorção de água em cada camada, observa-se na Tabela 23, que os valores foram de 1,55, 2,57 e 3,83 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, para as águas S1, S2 e S3 contra 1,72, 3,06 e 4,59 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, que foram simulados, sendo portanto de 11 a 20% inferiores. A Figura 22 ilustra o efeito da salinidade da água na salinidade média do solo ponderada com a absorção de água.

Tabela 23. Resumo da ANAVA e valores médios, durante o ciclo, dos módulos dos potenciais (kPa) e da salinidade (dS.m⁻¹) do solo ponderados com a porcentagem de água absorvida pelo sistema radicular do pimentão em cada camada.

Fator	CICLO = 115 dias				CICLO = 165 dias			
	Mátr.	Osmót.	Total	CEes	Mátr.	Osmót.	Total	CEes
Estatística F								
SAL	5,56**	124**	112**	135**	9,12**	147**	131**	161**
Linear	9,07**	247**	223**	269**	15,3**	292**	261**	321**
Quadr.	2,04 ^{ns}	1,62 ^{ns}	1,13 ^{ns}	1,53 ^{ns}	2,91 ^{ns}	1,16 ^{ns}	0,72 ^{ns}	1,16 ^{ns}
LAM	2,00 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,03 ^{ns}	2,74 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,06 ^{ns}
Linear	4,01 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,05 ^{ns}	5,45*	0,04 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,11 ^{ns}
Quadr.	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}
S x L	0,49 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,81 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,20 ^{ns}
QMRes.	10,05	662,38	699,19	0,1072	8,896	602,21	636,65	0,0972
Salinidade	Médias							
S1	16,4	118	134	1,48	17,0	123	140	1,55
S2	13,1	195	208	2,49	13,2	200	213	2,57
S3	12,3	283	295	3,67	12,0	294	306	3,83
Lâmina								
L1	15,2	198	213	2,53	15,5	204	220	2,63
L2	13,9	199	213	2,55	13,9	206	220	2,66
L3	12,6	199	212	2,56	12,7	207	219	2,67
Média	13,9	199	212	2,55	13,7	206	220	2,65

^{ns} Não significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

* Significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

** Significativo ao nível de 0,01 de probabilidade pelo teste F.

A Tabela 24 apresenta os coeficientes de correlação entre diferentes parâmetros de salinidade e potenciais e o rendimento da cultura. Observa-se correlações mais elevadas para os rendimentos comerciais, e quando se considera todo o ciclo. Quanto ao tipo de índice de salinidade, o rendimento da cultura respondeu igualmente, discordando dos dados obtidos por Ingvalson et al. (1976), obtidos com alfafa irrigada por irrigação de baixa frequência (convencional).

Portanto, sendo a salinidade média do solo o índice que mais é usado para se estabelecer a tolerância de uma cultura à salinidade e devido ao fato das irrigações não terem permitido déficit de umidade entre as regas, o índice que considera a média

ponderada com a fração de absorção de água por camada, deve ser o mais representativo para se determinar a tolerância da cultura do pimentão à salinidade. Assim, a Figura 23 ilustra a relação entre a salinidade do solo e o rendimento da cultura, considerando dois períodos de produção. Observa-se que para as 5 primeiras colheitas, o rendimento total e comercial de frutos foram reduzidos igualmente pela salinidade média do solo, numa proporção de $5,21 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para cada incremento de uma unidade de salinidade, representando uma perda relativa no rendimento da ordem de 12,4 % do rendimento máximo obtido (para $\text{CEes}_{\text{média}}=1,48 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$). Considerando o ciclo de 165 dias, ou 9 colheitas, as reduções no rendimento total e comercial foram de 9,69 e $11,57 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ por incremento de um unidade de salinidade do solo, correspondendo, respectivamente, a perdas relativas no rendimento de 11,4 e 14,2%, em relação ao rendimento médio obtido para a água S1 ($\text{CEes}_{\text{média}}=1,55 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$), ou seja, enquanto houve maior diminuição relativa no rendimento para a produção comercial, quando considerou-se todo o ciclo cultural, para a produção total, a perdas relativas no rendimento se aproximaram.

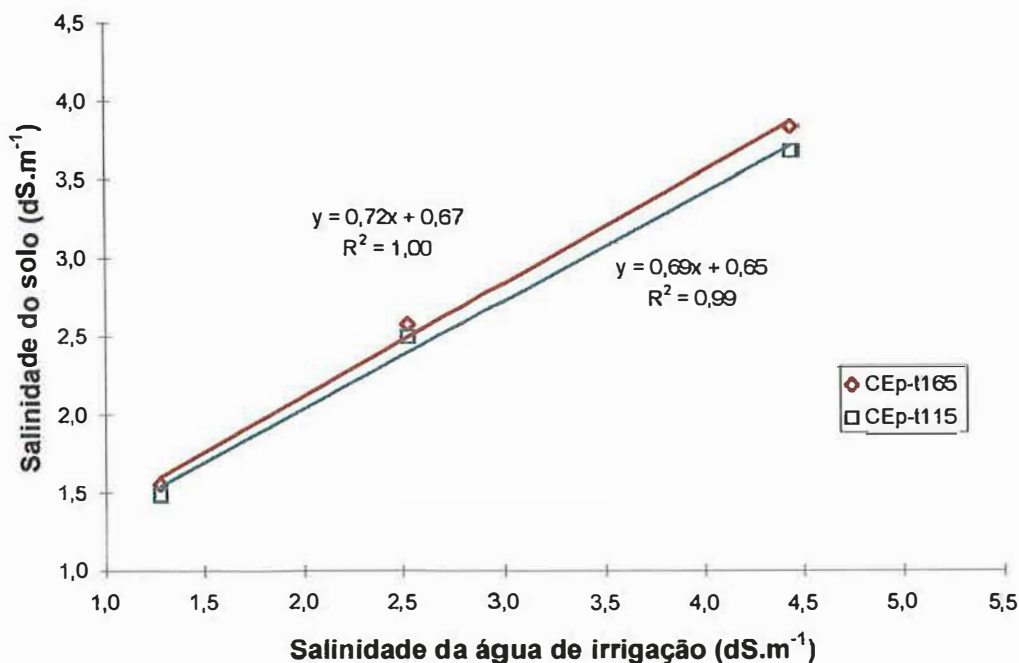


Figura 22. Salinidade média do solo ao longo do tempo e ponderada com a quantidade de água absorvida pela cultura nas camadas 0-20, 20-40 e 40-60, considerando ciclos de 115 e 165 dias, em função da salinidade da água de irrigação.

Tabela 24. Coeficientes de correlação** entre os dados de rendimento obtidos até 115 ou 165 dias de cultivo e parâmetros do solo, expressos como média durante os ciclos culturais.

Parâmetro do solo*	Produção total		Produção comercial	
	T = 115 dias	T = 165 dias	T = 115 dias	T = 165 dias
PO40	-0,701	-0,813	-0,723	-0,899
PO60	-0,683	-0,815	-0,705	-0,901
PT40	-0,708	-0,816	-0,730	-0,897
PT60	-0,688	-0,815	-0,710	-0,895
CE40	-0,694	-0,827	-0,714	-0,901
CE60	-0,673	-0,820	-0,693	-0,894
POP	-0,672	-0,812	-0,693	-0,889
PTP	-0,676	-0,812	-0,696	-0,884
CEP	-0,670	-0,815	-0,685	-0,886

* Em ordem, valores absolutos dos potenciais osmótico e total médios para as profundidades 40 e 60 cm e salinidade média, além dos potenciais osmótico e total e salinidade do solo ponderados com o padrão de absorção de água.

** Significativos ao nível de 0,01 de probabilidade.

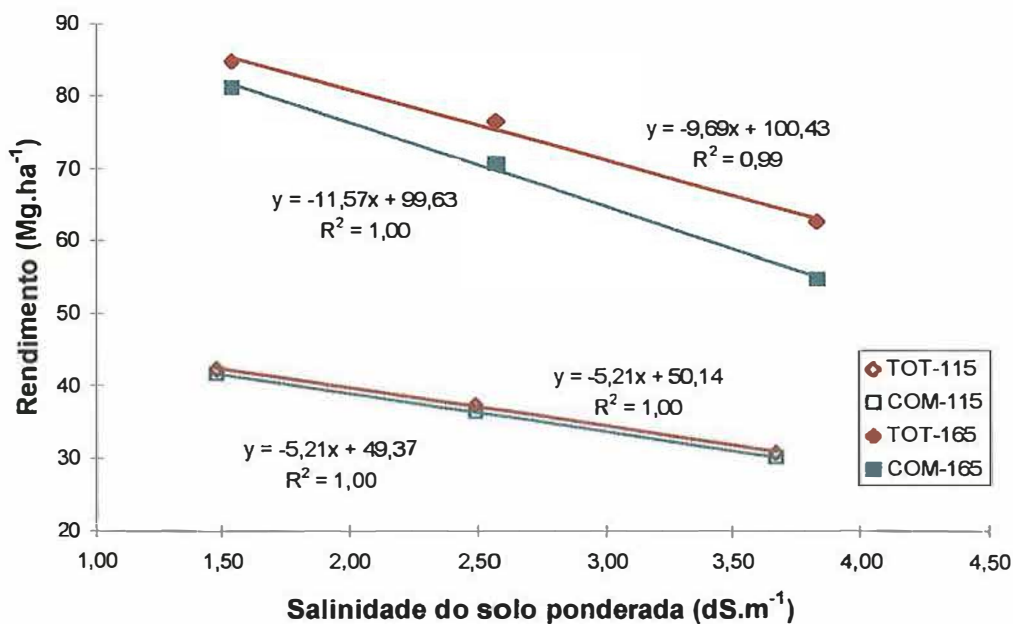


Figura 23. Rendimento total e comercial da cultura do pimentão, considerando os ciclos de 115 e 165 dias, em função da salinidade do solo ponderada com a fração de água absorvida em cada camada.

Meire & Shalhevet (1973) obtiveram relações semelhantes entre rendimento e potencial total de água do solo, independente do comprimento do ciclo de produção, embora usando a média aritmética dos potenciais estimados nas camadas 0-30 e 30-60 cm, para cada momento. Tudo isso ratifica a teoria de que a salinidade integrada no tempo é um bom índice para relacionar rendimento e salinidade do solo (Lunin et al., 1963; Meiri & Poljakoff-Mayber, 1970).

Considerando os parâmetros de tolerância da cultura do pimentão como sendo $1,5 \text{ dS.m}^{-1}$ e $14\%/(\text{dS.m}^{-1})$ (Maas & Hoffman, 1977; Maas, 1986), pode-se concluir que o híbrido 'Luis' apresentou valores muito aproximados destes, pois para a menor salinidade do solo ($1,48$ ou $1,55 \text{ dS.m}^{-1}$) houve uma produção satisfatória em comparação a outros cultivos sob condições normais, e a perda relativa de rendimento variou entre 11,4 e 14,2%, dependendo do comprimento do ciclo considerado e se é produção total ou apenas a comercial.

4.2. Experimento II - Recuperação do solo salinizado

Dependendo da salinidade da água de irrigação, as frações de lixiviação normalmente adotadas nas irrigações (0,10 a 0,20) não são suficientes para reduzir ou evitar que a salinidade do solo atinja determinados patamares que são prejudiciais para um conjunto de culturas selecionadas. Quando isso acontece, deve reduzir-se a salinidade do solo, sobretudo, antes de se iniciar o próximo cultivo, através de lavagem de recuperação, e dependendo da salinidade da água disponível para irrigação, muitas vezes necessita selecionar-se uma cultura que seja tolerante aos níveis de salinidade previstos (Rhoades et al., 1992), pois neste caso, apenas o manejo da irrigação não será suficiente para controlar a salinidade do solo para aquela cultura.

Sendo assim, foi realizada a recuperação do solo naquelas parcelas que apresentavam salinidade acima da tolerada pela cultura que se estava explorando. A Tabela 25 apresenta os valores médios de salinidade do solo das parcelas que foram submetidas ao processo de lavagem antes da recuperação, como também as lâminas

médias de lavagem aplicadas. Observa-se que os valores médios de salinidade entre os tratamentos ficavam ao redor de $3,3 \text{ dS.m}^{-1}$, e as lâminas de lavagem variaram entre 89 e 170 mm para a irrigação por gotejamento e entre 183 e 348 mm para inundação.

Tabela 25. Valores médios da lâmina de lavagem e salinidade do solo na profundidade 0-60 cm antes da recuperação para as parcelas que iriam ser recuperadas com irrigação por gotejamento e inundação e sob três lâminas relativas de lavagem.

Lâmina relativa de lavagem	Lâmina de lavagem (mm)		Salinidade antes da recuperação	
	Gotejamento	Inundação	Gotejamento	Inundação
D1	89	183	3,33	3,44
D2	126	281	3,16	3,52
D3	170	348	3,20	3,27
Média	-	-	3,23	3,41

Tabela 26. Resumo da ANAVA e médias da salinidade do solo após recuperação (CE_F), da redução de salinidade ($CE_F - CE_I$), da relação entre a salinidade após e antes da recuperação (CE_F/CE_I) e do coeficiente (k) da equação de recuperação, obtidos nas parcelas recuperadas por gotejamento e inundação e usando três lâminas relativas de lavagem.

Fator	CE_F		$CE_I - CE_F$		CE_F/CE_I		k	
	GOT	INUN	GOT	INUN	GOT	INUN	GOT	INUN
Estatística F								
Lâm Lav.	13,6**	1,88 ^{ns}	5,35**	1,32 ^{ns}	9,31**	1,46 ^{ns}	1,26 ^{ns}	14,4*
Linear	24,2**	1,40 ^{ns}	10,9**	0,07 ^{ns}	16,4**	0,47 ^{ns}	0,02 ^{ns}	26,5**
Quadr.	3,00 ^{ns}	2,38 ^{ns}	1,35 ^{ns}	2,72 ^{ns}	2,28 ^{ns}	2,44 ^{ns}	2,51 ^{ns}	2,38 ^{ns}
QMRes.	0,09105		0,2027		0,01278		0,0001132	
Médias								
Lâm. Lav.								
D1	2,03 a [#]	1,89 a	1,29 a	1,54 a	0,63 a	0,56 a	0,090 b	0,168 a
D2	1,82 a	1,48 a	1,34 b	2,03 a	0,58 a	0,43 a	0,122 b	0,198 a
D3	0,98 b	1,64 a	2,22 a	1,63 a	0,31 b	0,51 a	0,087 b	0,291 a
Média	-	1,67	-	2,50	-	0,55	0,10	-

^{ns} Não significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

* Significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

** Significativo ao nível de 0,01 de probabilidade pelo teste F.

[#] Médias seguidas por letras minúsculas diferentes nas linhas apresentam diferença significativa ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste de Tukey, entre irrigação por gotejamento e inundação, para cada variável presente.

A Tabela 26 mostra que a salinidade do solo após a recuperação foi reduzida significativamente de forma linear à medida em que se aumentou a lâmina de lavagem, quando se irrigou por gotejamento, enquanto que por inundação, embora a salinidade final tenha se equiparado aos valores obtidos pelo gotejamento, o acréscimo na lâmina de lavagem não proporcionou redução na salinidade do solo, comportamento também observado para a relação entre a salinidade após e antes a recuperação. A Figura 24 ilustra o efeito das lâminas de lavagem aplicadas pelos métodos de irrigação localizada e por superfície (inundação) na salinidade final do solo, onde se verifica o efeito positivo do acréscimo da lâmina na diminuição da salinidade do solo quando a irrigação foi realizada por gotejamento. Observa-se também, que para a lâmina relativa igual a 1,0, a salinidade do solo foi de 1,67 e 1,61 dS.m⁻¹, respectivamente, para inundação e gotejamento, valores estes muito próximos dos previstos pela equação de Hoffman (1980), que foram de 1,5 dS.m⁻¹.

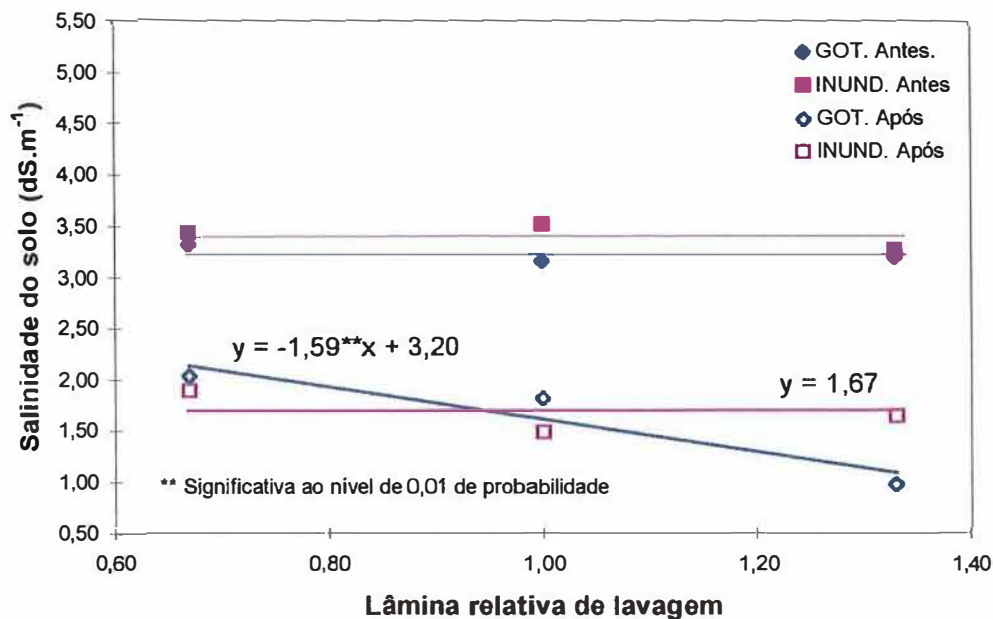


Figura 24. Salinidade do solo, antes e após a recuperação, aplicando água por gotejamento e por inundação, e em função da lâmina relativa de lavagem (LL).

Observação: $LL = k \cdot P_s \frac{CEs_{Antes}}{CEs_{Apos}}$, onde k depende do método de irrigação (0,1 a 0,3) e P_s é a profundidade da zona radicular recuperada (60 cm).

A ausência de redução da salinidade após a recuperação com o acréscimo da lâmina de lavagem, seja em valor absoluto, seja em valor relativo, quando se fez a recuperação por inundação, deve estar relacionada a diminuição da eficiência de lixiviação à medida em que as maiores lâminas de irrigação fizeram a inundação se aproximar mais da inundação contínua, que segundo Hoffman (1980) e Van Hoorn (1981), isto leva a uma redução significativa na eficiência de lavagem, devido a fluxo preferencial que ocorre nesta situação. Verifica-se na Tabela 26, que a constante k , que foi adotada inicialmente como sendo 0,10 e 0,20, respectivamente, para a lavagem por irrigação localizada e por inundação, seus valores estimados depois do ensaio mostram que no primeiro caso equiparou-se ao previsto, independente da lâmina de irrigação, entretanto, para irrigação por inundação, houve um aumento desta constante k , à medida que a lâmina relativa de recuperação cresceu, atingindo um valor próximo de 0,3, que seria o valor k recomendado por Hoffman (1980) e Rhoades & Loveday (1990) para inundação contínua, em solo argiloso.

A Figura 25 apresenta os valores da constante k em função da lâmina de lavagem. Verifica-se que para a faixa de lâmina de lavagem entre 89 e 170 mm aplicada por gotejamento, k foi de 0,10, enquanto para a faixa de 183 e 348 mm aplicada por inundação, o k variou de 0,16 a 0,27, segundo a função $y = 0,71x + 0,027$, com x representando a lâmina de lavagem, em m. Isto pode ser justificado pela magnitude da lâmina de lavagem aplicada, pois sua aplicação foi contínua, durando entre 3 e 7 horas, caracterizando uma irrigação por inundação próxima de contínua. Assim, a equação recomendada por Hoffman (1980) e Rhoades & Loveday (1990) para estimar a lâmina de lavagem, pode ser empregada utilizando-se a constante k de 0,10 para gotejamento e um valor variável com a lâmina que irá ser aplicada de cada vez, quando a lavagem for por inundação, a qual também vai depender do tipo de solo. Além disso, deve-se ressaltar que esta constante nunca deve ser inferior a 0,10.

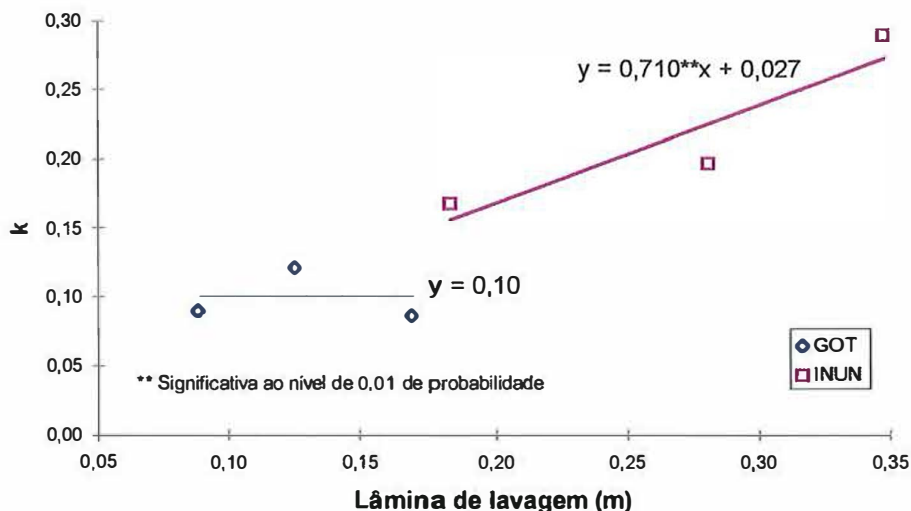


Figura 25. Valores da constante k para o método de irrigação por gotejamento e inundação e em função da lâmina de lavagem aplicada.

Nesta etapa do trabalho, o objetivo foi o de dessalinizar os canteiros. Entretanto, como apenas a região próxima a planta foi monitorada, como aconteceu antes da recuperação, foram medidos alguns perfis de salinidade, que estão apresentados na Figura 26. Verifica-se que a área de menor salinidade dos perfis foi aumentada, à medida em que a lâmina de recuperação cresceu, sendo ainda maior quando a irrigação foi por inundação. Então, embora os valores de salinidade na região próxima ao centro do bulbo tenham sido reduzidas para os valores previstos, a recuperação realizada por inundação produziu melhor oportunidade para se realizar um próximo cultivo, por possibilitar o preparo do solo dos canteiros, o que não seria possível onde a lavagem foi realizada por gotejamento, porque neste caso seria necessário se fazer o novo plantio no local onde a salinidade foi reduzida, não sendo aconselhável revolver o solo.

Portanto, para realizar lavagem do solo quando se deseja preparar o solo antes do próximo plantio, quando a salinidade é produzida por irrigação por gotejamento, recomenda-se primeiro revolver o solo, tentando uniformizar a salinidade na área do canteiro, medir essa salinidade, e em seguida estabelecer a lâmina de lavagem, aplicando-se de preferência por inundação.

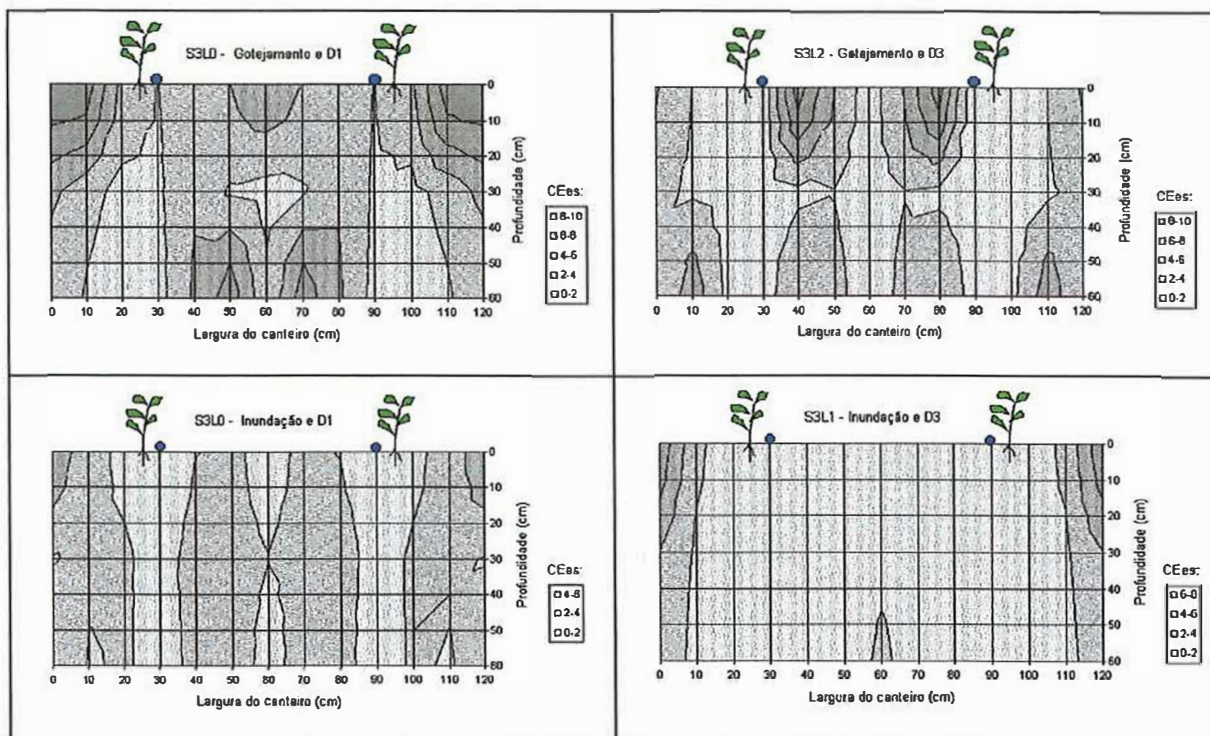


Figura 26. Perfis de salinidade após dessalinização do solo usando irrigação por gotejamento e inundação e aplicando lâminas de lavagem 33% menor (D1) e 33% maior (D3) do que a calculada por Hoffman (1980).

No cultivo em estufa, onde a salinidade da água é oriunda em maior parte dos fertilizantes, as concentrações da água de irrigação ficam por volta de 400 a 500 mg.l^{-1} (Pizarro, 1990), o que possibilita retardar bastante o processo de salinização, dependendo do manejo da irrigação e da sensibilidade da cultura aos sais. Assim sendo, a lavagem pode ser realizada a cada 2 a 3 anos, quando é necessário substituir a cobertura plástica, aproveitando o período mais chuvoso.

4.3. Considerações finais e recomendações

As lâminas excedentes de irrigação, que proporcionaram diferentes frações de lixiviação, não foram suficientes para mostrar o seu efeito positivo no controle da salinidade e, conseqüentemente, no comportamento do desenvolvimento e rendimento do

pimentão. Isto pode ser justificado pelo fato de que o período de cultivo e portanto de irrigação não ter sido suficientemente longo para atingir as condições de equilíbrio dinâmico entre o fluxo de entrada e de saída de sais na região do sistema radicular da cultura.

No entanto, o rendimento da cultura de pimentão foi afetado significativamente pela salinidade da água irrigação, tendo sofrido uma redução de rendimento cerca de 8% por unidade de salinidade excedente à água de menor concentração de sais utilizada ($CE = 1,3 \text{ dS.m}^{-1}$), água esta que proporcionou nenhuma restrição no rendimento da cultura.

Por outro lado, de acordo com a literatura, pode adotar-se como critério para escolha de uma cultura, quando se leva em conta problemas de salinidade, uma perda de rendimento de até 10%, isto é, a salinidade máxima aceitável na prática para uma determinada cultura é aquela que permite produzir pelo menos 90% do seu potencial de rendimento. Assim, neste trabalho foi observado que a água de irrigação de $2,5 \text{ dS.m}^{-1}$ causou quebra de rendimento de 10% no pimentão. Portanto não seria recomendável utilizar água de irrigação a partir deste valor, mesmo que fossem aplicados frações de lixiviação de até 0,20, e ainda, mesmo que o solo tenha inicialmente uma salinidade insignificante.

Considerando-se agora as condições do solo, foi observado ao final do experimento I, que nos tratamentos onde a salinidade do solo atingiu valores de até $2,0 \text{ dS.m}^{-1}$, a produção da cultura do pimentão não foi afetada.

Caso o solo apresente no final do cultivo valores de salinidade elevados, acima de $2,0 \text{ dS.m}^{-1}$ para o pimentão, recomenda-se aplicar uma lâmina de lavagem, preferencialmente usando água de baixa salinidade ($0,2$ a $0,5 \text{ dS.m}^{-1}$), para reduzir os teores de sais na região do sistema radicular para valores tolerados pela cultura (pimentão - $CEs=1,5 \text{ dS.m}^{-1}$). Para isto, o uso de irrigação por inundação intermitente exigirá menor quantidade de água em relação à inundação contínua, e produzirá uma diminuição mais uniforme da salinidade no perfil.

Para se estabelecer a lâmina de lavagem, utilizar a eq. (17), e adotar o valor para constante k conforme a lâmina que será aplicada por lavagem de recuperação (Figura 25).

No processo de lavagem deve considerar-se duas condições básicas. A primeira é que o solo seja profundo e não tenha camada de impedimento no perfil, e segunda, é que na existência desta camada de impedimento, deve instalar-se um sistema de drenagem artificial, de modo a remover as águas de lixiviação.

Em condições de cultivo de estufa, a salinidade oriunda dos adubos aplicados via água de irrigação, tem que ser considerada na avaliação da adequabilidade daquela água para irrigação de dada cultura. Então, quando a salinidade da água de irrigação, em sua maior parte, provém dos fertilizantes, deve-se utilizar adubos que apresentem menor CE por unidade de nutriente a aplicar, e que forneçam apenas os nutrientes essenciais e na quantidade que a planta realmente necessita para seu desenvolvimento. Isto permite que se aplique o mínimo de lâmina de lixiviação e, ao mesmo tempo, retarde o processo de salinização, podendo levar anos para ser necessário a aplicação de lâminas de lavagem.

5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos e discutidos no presente trabalho, pode-se estabelecer as seguintes conclusões:

- a) A redução de rendimento do híbrido de pimentão “Luiz” foi da ordem de 8,2 e 10,2%, respectivamente, dos rendimentos total e comercial obtidos pela água de $CE = 1,29 \text{ dS.m}^{-1}$, por unidade de salinidade da água de irrigação que a excedeu. Da mesma forma, o peso de biomassa da parte aérea e a evapotranspiração sofreram uma redução cerca de 6%, enquanto a altura das plantas não foi afetada.
- b) O número de frutos foi o componente de produção mais prejudicado pela salinidade, tendo contribuído para a diminuição da produção total e comercial obtida durante todo ciclo cultural, respectivamente, em 57 e 78%. O peso médio de frutos foi afetado apenas nas últimas quatro colheitas, período este que aumentou a incidência da podridão estilar, principalmente nos tratamentos que receberam água mais salina.
- c) A salinidade do solo cresceu proporcionalmente à concentração salina da água de irrigação, independente das lâminas de irrigação aplicadas de 1,0 a 1,3ETa da cultura, que proporcionaram frações de lixiviação entre 0,06 e 0,23.
- d) A quantidade de água, que representou diferentes frações de lixiviação, não afetou a salinidade final do solo nem seu valor médio ao longo do ciclo da cultura. Conseqüentemente, o uso consuntivo da planta, seu peso e rendimento também não foram afetados pela lâmina relativa de irrigação.
- e) Os parâmetros de tolerância do híbrido de pimentão ‘Luis’ equiparou-se ao sugerido na literatura para a cultura: Salinidade limiar (SL) = $1,5 \text{ dS.m}^{-1}$ e perda relativa do rendimento potencial (b) = $14\%/(\text{dS.m}^{-1})$.

- f) A concentração foliar de macronutrientes e Na ficaram na faixa considerada adequada para o bom desenvolvimento da cultura, embora alguns elementos tenham sido afetados de forma significativa pelos tratamentos estudados.
- g) Para reduzir a salinidade do solo a um valor inferior ao limite de tolerância da cultura, a eq. (17), proposta por Hoffman (1980), apresentou resultados satisfatórios para se estabelecer a lâmina de lavagem para ser aplicada pela irrigação por gotejamento e inundação. No caso da irrigação por inundação, a constante k variou com a lâmina de lavagem aplicada segundo a equação: $k = 0,71x + 0,027$, em que x corresponde a quantidade de água aplicada, em m.
- h) Considerando como aceitável que a perda máxima no rendimento proveniente da salinidade seja de 10%, o limite de salinidade da água de irrigação para cultura do pimentão, incluindo os fertilizantes, deve ser de $2,5 \text{ dS.m}^{-1}$.
- i) Sob condições ótimas de manejo da irrigação na cultura do pimentão cultivado em estufa, a salinidade do solo na região do sistema radicular não deve exceder a $2,0 \text{ dS.m}^{-1}$, senão a cultura pode apresentar redução no rendimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G. New approaches to estimating crop evapotranspiration. *Acta Horticulturae*, v.335, p.287-293, Apr. 1993
- ALLISON, L.E. Salinity in relation to irrigation. *Advances in Agronomy*, v.16, p.139-180, 1964.
- AYERS, A.D.; WADLEIGH, C.H.; MAGISTAD, D.C. The interrelationship of salt concentration and soil moisture content with growth of beans. *Agronomy Journal*, v.35, p.796-810, 1943.
- AYERS, R.S. Quality of irrigation water. *Journal of Irrigation Drainage*, v.103, p.135-154, 1977.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Trad. de H.R. Gheyi, J.F. de Medeiros e F.A.V. Damasceno. Campina Grande: UFPB, 1991. 218p. (FAO. Estudos de Irrigação e Drenagem, 29).
- BAILLE, A. Water status monitoring in greenhouse crops. *Acta Horticulturae*, v.304, p.15-27, 1992.
- BARBIERI, V. Medidas e estimativas de consumo hídrico em cana-de-açúcar (*Saccharum sp.*). Piracicaba, 1981. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- BAR-YOSEF, B. Fertilization under drip irrigation. In: PALGRAVE, D.A. (Ed.) **Fluid fertilizer: science and technology**. New York: Marcel Dekker, 1991. cap.14, p.285-329. (Fertilizer Science and Technology Series, 7).
- BERNSTEIN, L. Salt tolerance of vegetables crops in the West. *USDA Information Bulletin*, n. 205, p.0-5, 1959.

- BERNSTEIN, L.; FRANCOIS, L.E. Comparisons of drip, furrow, and sprinkler irrigation. **Soil Science**, v.115, n.1, p.73-86, 1973a.
- BERNSTEIN, L.; FRANCOIS, L.E. Leaching requirement studies: sensitivity of alfalfa to salinity of irrigation and drainage waters. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.37, p.931-943, 1973b.
- BERNSTEIN, L.; FRANCOIS, L.E. Effect of frequency of sprinkling with saline waters compared with daily drip irrigation. **Agronomy Journal**, v.67, p.185-190, 1975.
- BERNSTEIN, L.; HAYWARD, H.E. Physiology of salt tolerance. **Annual Review of Plant Physiology**, v.9, p.25-46, 1958.
- BERNSTEIN, L.; PEARSON, G.A. Influence of integrated moisture stress achieved by varying the osmotic pressure of culture solutions on growth of tomato and pepper plants. **Soil Science**, v.77, p.355-368, 1954.
- BEZERRA, F.M.L. Coeficientes de cultura e efeitos de déficits hídricos nos diferentes estádios fenológicos sobre a produção da batata (*Solanum tuberosum*, L.). Peracicaba, 1995. 131 p. Tese (Doutorado.) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- BRESLER, E. Application of a conceptual model to irrigation water requirement and salt tolerance of crops. **Soil Science Society of America Journal**, 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**, v.50, p.1552-1560, 1986.
- BOT, G.P.A. Greenhouse growing: outlook 2000. **Acta Horticulturae**, v.304, p.43-47, 1992.
- BOULARD, T.; JEMAA, R. Greenhouse tomato crop transpiration model application to irrigation control. **Acta Horticulturae**, v.335, p.335-387, Apr. 1993.
- BOWER, C.A.; OGATA, G.; TUCKER, J.M. Rootzone salt profiles and alfalfa growth as influenced by irrigation water salinity and leaching fraction. **Agronomy Journal**, v.61, p.783-785, Sep./Oct. 1969.

- CAIXETA, T.J.; BERNARDO, S.; CASALI, V.W.D.; OLIVEIRA, L.M. de. Efeito da lâmina de água e da frequência de irrigação por gotejamento na cultura de pimentão. I. Produção de frutos maduros. **Revista Ceres**, v.28, n.155, p.40-51, 1981.
- CASTILLA, N. Contribución al estudio de los cultivos enarenados en Almería: Necesidades hídricas y extracción de nutrientes del cultivo de tomate de crecimiento indeterminado em abrigo de polietileno. Madrid, 1985. 196p. Tesis (Doctoral) - Universidad Politécnica de Madrid.
- CASTILLA, N.; ELIAS, F.; FERERES, E. Evapotranspiracion de cultivos horticolas en invernadero en Almeria. **Investigacion Agraria: Produccion y Proteccion Vegetales**, v.5, n.1, p.117-125, 1990.
- CONTRERAS, A.M.; ELIZONDO, M.S. **Relaciones água-suelo-planta-atmosfera**. 2.ed. México: Depto. de Enseñanza, Investigación y Servicio en Irrigación, Universidad Autonoma de Chapingo, 1980. 321p.
- CORNILLON, P.; AUGE, M. Salinité: adaptation du piment. **PHM Revue Horticole**, v.363, p.39-43, 1995.
- COSTA, R.G.; CARVALLO, H.O.; GHEYI, H.R. Qualidade da água de irrigação da microrregião homogênea de Catolé do Rocha-PB. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, v.6, p.242-244, 1982.
- CRUCIANI, D.E.; MEDEIROS, J.F.; VILLA, S.T. Salinização de solo cultivado com feijão sob irrigação e lixiviação. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM. 11., Campinas, 1996. **Anais**. Campinas: FEC/FEAGRI/ABID, 1996. p.641-652
- DAHIYA, I. S; SINGH, M.; SINGH, M.; HAJRASULIHA, S. Simultaneous transport of surface-applied salts and water through unsaturated soils as affected by infiltration, redistribution, and evaporation. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, n.2, p.223-228, Mar./Apr. 1980
- DALSASSO, L.C.M.; HELDWEIN, A.B.; BURIOL, G.A.; SCHNEIDER, F.M.; STRECK, N.A.; DALMAGO, G.A. Consumo d'água do tomateiro tipo salada em estufa plástica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, n.1, p.61-67, 1997.

- DE PASCALE, S.; BARBIERI, F. Effects of soil salinity from long-term irrigation with saline-sodic water on yield and quality of water vegetable crops. **Scientia Horticulturae**, v.64, p.145-157, 1995.
- DE WIT, C.T. Transpiration and crops yields. **Versl. Landbkundig Onderz.**, v.64, n.6, 1958
- DOMINGUEZ VIVANCOS, A. **Fertirrigacion**. Madrid: Mundi-Prensa, 1993. 217p.
- 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 Sousa, F.A.V. Damasceno e J.F. de Medeiros. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. (FAO. Estudos de Irrigação e Drenagem, 33)
- DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D.R.; HOPMANS, J.W.; PARLANGE, M.B. **Programa SWRC** (Version 1.00): Soil-Water Retention curve (Software). Piracicaba: ESALQ; Davis: University of California, 1995. 2 disquetes.
- EATON F.M. Water uptake and growth as influenced by inequalities in the concentration of the substrate. **Plant Physiology**, v.16, p.545-564, 1941.
- ELIADES, G. Irrigation of greenhouse: grown cucumbers. **Journal of Horticultural Science**, v.63, n.2, p.235-239, 1988.
- EPSTEIN, E. Dual pattern of ion absorption by plant cells and by plants. **Nature**, v.212, p.1324-1327, 1956.
- FAO . **Irrigation, drainage and salinity: an international sourcebook**. Paris: UNESCO, Hutchinson, 1973. 510p.
- FAO. **World agriculture toward 2000: an FAO study**. London: Belhaven Press, 1988. 338p.
- FARIAS, J.R.F.; BERGAMASCHI, H.; MARTINS, S.R. Evapotranspiração no interior de estufas plásticas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.2, p.17-22, 1994.
- FERNANDES, P.D. Estudo de nutrição mineral do pimentão (*Capsicum annum*, L.) variedades Avelar e Ikeda: absorção e deficiências de macronutrientes. Piracicaba,

1981. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- FERNANDES, P.D.; HAAG, H.P. Efeito da omissão dos macronutrientes no crescimento e na composição química do pimentão (*Capsicum annuum*, L. var. Avelar). In: HAAG, H.P. **Nutrição mineral de hortaliças**. Piracicaba, ESALQ, s.d. p.513-531.
- FERNANDES, P.D.; OLIVEIRA, G.D.; HAAG, H.P. Estudos de nutrição mineral de duas variedades de pimentão cultivadas em condições de campo. In: HAAG, H.P. **Nutrição mineral de hortaliças**. Piracicaba, ESALQ, s.d. p.503-512.
- 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**. Campinas: UFPB, SBEA, 1997. cap.6, p.171-207.
- FRANCOIS, L.E. Alfalfa management under saline conditions with zero leaching. **Agronomy Journal**, v.73, p.1042-1046, Nov./Dec. 1981.
- FRIZZONE, J.A.; PAZ, V.P.S.; PEREIRA, E.C.; SAAD, J.C.C. Produtividade de pimentão amarelo (*Capsicum annuum*, L) sob diferentes potenciais matriciais de água no solo. (Compact disc) In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. 26., Campina Grande, 1997. **Resumos**. Campina Grande: UFPB, SBEA, 1997. EAS044.
- HARTZ, T.K. Water management in drip-irrigated vegetable production. **HortTechnology**, v.6, n.3, p.165-167, July/Sep. 1996.
- HAYWARD, H.E.; WADLEIGH, C.H. Plant growth on saline and alkali soils. **Advance Agronomy**, v.1. p.1-38, 1949.
- HENCKER, D.; STROGONOV, B.P. Physiology of plants consuming saline water. In: CONFERENCE OF SALINITY PROBLEMS OF ARID ZONE, Teheran, 1961. **Proceendings**. Teheran: UNESCO, 1961.

- HILLEL, D.A.; KRENTOS, V.K.; STILIANOV, Y. Procedure and test of an internal drainage method for measuring soil hydraulic characteristics *in situ*. **Soil Science**, v.114, p.395-400, 1972.
- HILLS, D.J.; MANSOUBI, A.; GU, Y.; RUMSEY, J.W. Microirrigation interval on squash yield under saline conditions. **Transactions of the ASAE**, v.31, n.5, p.1476-1480, Sep./Oct. 1988.
- HOFFMAN, G.J. Guidelines for reclamation of salt-affected soils. In: INTER-AMERICAN SALINITY WATER MANAGEMENT TECHICAL CONFERENCE, Juarez, 1980. **Proceedings**. Juarez, 1980. p.49-64.
- HOFFMAN, G.J. Alleviating salinity stress. In: ARKIN, G.F.; TAYLOR, H.M. (Ed.) **Modifying the root environment to reduce crop stress**. St. Joseph: ASAE, 1981. cap.9, p.305-343. (ASAE Monograph, 4).
- HOFFMAN, G.J. Evapotranspiration in saline soils. In: NATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN EVAPOTRANSPIRATION, Chicago, 1985. **Proceedings**. St. Joseph: ASAE, 1985. p.35-42.
- HOFFMAN, G.J.; JOBES, J.A. Leaching requirement for salinity control. III. Barley, cowpea, and celery. **Agricultural and Water Management**, v.6, p.1-14, 1983.
- HOFFMAN, G.J.; VAN GENUCHTEN, M.Th. Soil properties and efficient water use: water management for salinity control In: TAYLOR, H.M.; JORDAN, W.R.; SINCLAIR, T.R. (Ed.) **Limitations to efficient water use in crop production**. Madison: ASA, CSSA, SSSA, 1983. p.73-85.
- HOFFMAN, G.J.; JOBES, J.A.; ALVES, W.J. Response of tall fescue to irrigation water salinity, leaching fraction and irrigation frequency. **Agricultural and Water Management**, v.7, p.439-456, 1983.
- HOFFMAN, G.J.; MAAS, E.V.; PRICHARD, T.L.; MEYER, J.L. Salt tolerance of corn in the Sacramento-San Joaquin Delta of California, **Irrigation Science**, v.4, p.31-44, 1983.
- HOFFMAN, G.J.; RHOADES, J.D.; LETEY, J.; SHENG, F. Salinity management. In: HOFFMAN, G.J.; HOWELL, T.A.; SOLOMON, K.H. (Ed.) **Management of farm**

- irrigation systems.** St. Joseph: ASAE, Pamela De-Vore-Hansen, 1992. cap.18, p.667-715. (ASAE Monograph, 9)
- INGVALSON, R.D.; RHOADES, J.D.; PAGE, A.L. Correlation of alfalfa yield with various index of salinity. **Soil Science**, v.122, n.3, p.145-153, 1976.
- JACOBY, B. Mechanisms involved in salt tolerance by plants. In: PASSARAKLI, M. **Handbook of plant and crop stress.** New York: Marcel Dekker, 1993. cap.5, p.97-124.
- JENSEN, M.E.; BURMAN, R.D.; ALLEN, R.G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements.** New York: American Society of Civil Engineers, 1989. 332p. (ASCE. Manuals and Reports on Engineering Practice, 70)
- JURINAK, J.J.; SUAREZ, D.L. The chemistry of salt-affected soils and waters. In: TANJI, K.K. (Ed.). **Agricultural salinity assessment and management manual.** New York: ASCE, 1990. cap. 3, p.42-63.
- JURY, W.A.; JARRELL, W.M.; DEVITT, D. Reclamation of saline sodic soils by leaching. **Soil Science Society of America Journal**, v. 43 p.1100-1106, 1979.
- JURY, W. A.; FRENKEL, H.; DIVITT, D.; STOLZY, L. H. Transient changes in the soil-water system from irrigation with saline water. II. Analysis of experimental data. **Soil Science Society of America Journal**, v.42, p.585-590, 1978.
- 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).
- KORKOR, S.A.; HILLAL, M.H. Use of saline water for irrigating wheat crop. **Agrochemical**, v.20, n.1/2, Mar./May 1976.
- KRAMER, P.J. **Plant and soil water relationships: a modern synthesis.** New York: Academic Press, 1969. cap. 6, p.207-213.
- KRAMER, P.J. **Water relations of plants.** Orlando: Academic Press, 1983. 489p.
- LAUCHI, A.; EPSTEIN, E. Mechanisms of salt tolerance in plants **California Agriculture**, v.38, n.10, p.18-21, Oct.1984.

- LEITE, R.M. Caracterização da qualidade da água superficial na Bacia Capiá-AL para fins da irrigação. Campina Grande, 1991. 96p. Dissertação (M.Sc.) - Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba.
- LEPRUN, J.C. **Primeira avaliação das águas superficiais do Nordeste: relatório de fim do convênio de manejo e conservação do solo do Nordeste brasileiro.** Recife: SUDENE, 1983. p.91-141.
- 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.; DINAR, A.; KNAPP, K.C. Crop-water production function model for saline irrigation waters. **Soil Science Society of America Journal**, v.49, p.1005-1009, 1985.
- LETEY, J.; KNAPP, K.C.; SOLOMON, K. Crop production functions. In: TANJI, K.K. (Ed.) **Agricultural salinity assessment and management manual.** New York: ASCE, 1990. cap. 14, p.305-326.
- LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo.** Piracicaba, 1995. 497p.
- LIBARDI, P.L.; REICHARDT, K.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Simplified field methods for estimating the unsaturated hydraulic conductivity. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, n.1, p.2-6, 1980.
- LUNIN, H.; GALLATIN, M.H. Zonal salinization of root system in relation to plant growth. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 29, p.608-612, 1965.
- LUNIN, H; GALLATIN, M.H.; BATCHELDER, A.R. Saline irrigation of several vegetable crops at various growth stages. I. Effect on yields. **Agronomy Journal**, v.55, p.107-114, 1963
- MAAS, E.V. Crop tolerance. **California Agriculture**, v.38, n.10, p.21-21, 1984.
- MAAS, E.V. Salt tolerance in plants. Applied agricultural research. **Applied Agricultural Research**, v.1, p.12-26, 1986.
- 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. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, v.103, n.1R2, p.115-134, June 1977.
- 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**, v.18, p.151-166, 1943.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 201p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1986. 674p.
- MARTALERZ, J.W. **The greenhouse environment**. New York: John Wiley, 1977. 629p.
- MARTINS, G. Uso de casa-de-vegetação com cobertura plástica na tomaticultura de verão. Jaboticabal, 1992. 65p. Tese. (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, UNESP.
- MARTINS, L.H. Avaliação da qualidade da água nos mananciais superficiais disponíveis para irrigação na zona Oeste Potiguar. Mossoró, 1993. Monografia. (Graduação) -. Escola Superior de Agricultura de Mossoró.
- MARTÍNEZ-RAYA, A.; CASTILA, N. Evapotranspiracion del pimiento en invernadero en Almeria. **ITEA: Produccion Vegetal**, n.85, p.57-62, 1989.
- MEDEIROS, J.F. de. Qualidade da água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo "GAT" nos Estados do RN, PB e CE. Campina Grande, 1992. 173p. Dissertação. (Mestrado) - Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba.
- MEDEIROS, J.F. de; GHEYI, H.R. & BATISTA, M.A.F. **Procedimentos de análise de solo e água para diagnóstico de salinidade**. Mossoró: ENA, ESAM, 1993. 25p. (Coleção Mossoroense, Série E, 1256).
- MEDEIROS, J.F. de; MEDEIROS, D.S. de; PORTO FILHO, F.Q.; NOGUEIRA, I.C.C. Efeitos da qualidade e quantidade da água de irrigação na produção de coentro

- (*Coriandrum sativum*, L.). /Apresentado ao 24. Congresso brasileiro de Engenharia Agrícola, Viçosa, MG, 1995/.
- MEDEIROS, J.F. de; SCATOLINI, M.E.; FERNANDES, A.L.T., CRUCIANI, D.E. Método alternativo de campo para avaliar a salinidade do solo em estufa. /Apresentado ao 25. Congresso brasileiro de Engenharia Agrícola, Bauru, 1996/.
- MEIRI, A. Plant response to salinity: experimental methodology and application to the field. In: SHAINBERG, I.; SHALHEVET, K (Ed.). **Soil salinity under irrigation**. Berlin: Springer-Verlag, 1984. p.284-297. (Ecological Studies, 51).
- MEIRI, A.; PLAUT Z. Crop production and management under saline conditions. **Plant and Soil**, v.89, n.1/3, p.253-271, 1985.
- MEIRI, A.; POLJAKOFF-MAYBER, A. Effect of various salinity regimes on growth, leaf expansion, and transpiration rate of bean plants. **Soil Science**, v.109, p.26-34, 1970.
- MEIRI, A.; SHALHEVET, J. Pepper plant response to irrigation water quality and timing of leaching. In: HADA, A.; SWARTZENDRUBER, D.; RIJTEMA, P.E.; FUCHS, M.; YARON, B. **Physical aspects of soil water and salts in ecosystems**. Berlin: Springer-Verlag, 1973. p.284-297. (Ecological Studies, 4).
- MEIRI, A; KAMBUROV, J.; SHALHEVET, J. Transpiration effects on leaching fractions. **Agronomy Journal**, v.69, p.779-782, Sep./Oct. 1977.
- MEIRI, A.; LAUTER, D.J.; SHARABANI, N. Shoot growth and fruit development of muskmelon under saline and non-saline soil water deficit. **Irrigation Science**, v.16, p.15-21, 1995.
- MELO, A.M.T. de. Análise genética de caracteres de fruto em híbridos de pimentão. Piracicaba, 1997. p.112. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- MELO, A.M.T. de; SCIVITTARO, W.B.; RAMOS, M.T.B.; CARVALHO, C.R.L. Avaliação de cultivares de pimentão em cultivo protegido. /Apresentado ao 37. Congresso brasileiro de Olericultura, Manaus, 1997/.

- MILLER, R.J.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Chloride displacement in Panoche clay loam in relation to water movement and distribution. **Journal of Water Resource Research**, v.1, p.63-73, 1965.
- MONTERO, J.I.; CASTILLA, N.; GUTIERREZ de RAVÉ, E., BRETONES, F. Climate under plastic in the Almeria. **Acta Horticulturae**, v.170, p.227-234, 1985.
- MOURA, A.O.B. Avaliação do pH e da CE da água de irrigação submetida a diferentes doses e tipos de adubos. Mossoró, 1994. 92p. Monografia. (Graduação) - Escola Superior de Agronomia de Mossoró.
- NAVARRO-PEDREÑO, J.; GÓMEZ, I.; MATAIX, J. Growth, yield and quality of tomato cv. Muchamiel under saline irrigation. **Acta Horticulturae**, v.335, p.131-135, 1993.
- NEIMAN, H. Expansion of bean leaves and its suppression by salinity. **Plant Physiology**, v.40, p.156-161, 1965.
- NELSON, P.V. **Greenhouse: operation and management**. 4.ed. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1991. 612p.
- NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W.; LUTHIN, J.N. Desalination of soils under controlled unsaturated flow conditions. In: CONGRESS OF INTERNATIONAL COMMISSION OF IRRIGATION AND DRAINAGE, 6., New Delhi, 1966. **Proceedings**. New Delhi: ICID, 1966. p.15-24.
- OLIVEIRA, A.S. de; SALATI, E. Um estudo sobre as águas subterrâneas da região de Piracicaba. **Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz"**, v.38, p.885-907, 1981.
- OLIVEIRA, F.A. de. Efeito da salinidade da água de irrigação sobre algumas características do solo e da cultura do arroz (*Oryza sativa*, L.). Piracicaba, 1983. 139p. Tese. (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, Universidade de São Paulo..
- OLIVEIRA, M.R.V. O emprego de casas de vegetação no Brasil: vantagens e desvantagens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, n.8, p.1049-1060, 1995.
- OSTER, D.; HOFFMAN, G.J.; ROBINSON, F.E. Management alternatives: crop, water, and soil. **California Agriculture**, v.38, n.10, p.29-32, Oct. 1984.

- 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.; DE MALACH, Y. Irrigation with brackish water under desert conditions. X. Irrigation management of tomatoes (*Lycopersicon esculentum*, Mills) on desert sand. **Agricultural and Water Management**, v.28, p.121-132, 1995.
- PELLITERO, M.; PARDO, A.; SIMÓN, A.; SUSO, M.L.; CERROLAZA, A. Effect of irrigation regimes on yield and fruit composition of processing pepper (*Capsicum annum*, L.). **Acta Horticulturae**, v.335, p.257-263, 1993.
- PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapotranspiração.** Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.
- PERES, J.G.; SCÁRDUA, R.; VILLA NOVA, N.A. Coeficiente de cultura (Kc) para cana-de-açúcar: ciclo de cana soca. **Álcool e Açúcar**, v.62, p.34-42, 1992.
- PIZARRO, F.C. **Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos.** Madrid: Agrícola Espanola, 1978. 521p.
- PIZARRO, F.C. **Riegos localizados de alta frecuencia: goteo, microaspersion, exudacion.** 2.ed. Madrid: Mundi Prensa, 1990. 459p.
- 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.
- POPOVA, D.; MIHAILOV, L. Inheritance of some quantitative characters on heterotic combination of pepper (*Capsicum annum*, L.). **Genetica Agraria**, v.40, n.3/4, p.399-406, 1976.
- RAATS, P.A.C. Steady flows of water and salt in uniform soil profiles with plant roots. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.38, p.717-722, 1974.
- REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas.** 2.ed. Piracicaba: ESALQ, Depto. Física e Meteorologia, 1996. 505p.

- REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L.; SAUNDERS, L.C.U.; CADIMA, A.Z. Dinâmica da água em solo cultivado com milho. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, v.3, n.1, p. 1-5, jan./abr. 1979.
- RHOADES, J.D. Quality of water for irrigation. **Soil Science**, v.113, n.4, p.277-284, Apr. 1972.
- RHOADES, J.D. Drainage for salinity control. In: VAN SCHILFGAARDE, J. (Ed.). **Drainage for Agriculture**. Madison: ASA, 1974. cap.15, p.433-461. (ASA. Agronomy, 17)
- RHOADES, J.D. Potential for using saline agricultural drainage waters for irrigation. In: WATER MANAGEMENT FOR IRRIGATION AND DRAINAGE, Reno, 1977. **Proceedings**. Reno: ASCE, 1977. p.95-116.
- RHOADES, J.D. Reclamation and management of salt-affected soils after drainage. In: ANNUAL WESTERN PROVINCIAL CONFERENCE RATIONALIZATION OF WATER AND SOIL RESOURCES AND MANAGEMENT, 1., Lethbridge, 1982. **Proceedings**. Lethbridge, 1982. p.123-197.
- 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).
- RHOADES, J. D.; MERRILL, S. D. Assessing the suitability of water for irrigation: theoretical and empirical approaches. In: PROGNOSIS OF SALINITY AND ALKALINITY. Rome: FAO, 1976. p.69-110. (FAO. Soils Bulletin, 31).
- RHOADES, J. D.; MIYAMOTO, S. Testing soils for salinity and sodicity. In: WESTERMAN, R.L. (Ed.) **Soil testing and plant analysis**. 3.ed. Madison, WI: SSSA, 1990. cap. 12, p.299-336. (SSSA. Book Series, 3).
- RHOADES, J.D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A.M. **The use of saline waters for crop production**. Rome: FAO, 1992. 133p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 48).
- RICHARDS, L.A. (Ed.) **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: United States Salinity Laboratory, 1954. 160p. (USDA. Agriculture Handbook, 60).

- RINCON, L.; SAEZ, J.; BALSALOBRE, E.; PELLICER, C. Crescimiento y absorcion de nutrientes del pimiento grueso en cultivo bajo invernadero. **Investigacion Agraria: Produccion y Proteccion Vegetales**, v.10, n.1, p.47-59, 1995.
- SANTOS, I.S.; BARBEDO, C.J.; PIZIGATTI, R.; FERREIRA, J.M.; NAKAGAWA, J. Estudos da relação Ca x B na cultura de pimentão. **Horticultura brasileira**, v.8, n.2, p.19-23, nov. 1990.
- SCALOPPI, E.D.; BRITO, R.A.L. Qualidade da água e do solo para irrigação. **Informe Agropecuário**, v.139, n.12, p.80-94, dez.1986.
- SCHWARTZMAN, M.; ZUR, B. Emitter spacing and geometry of wetted soil volume. **Journal of Irrigation Drainage Engineering**, v.112, n.3, p.242-253, Aug. 1986.
- SHALNEBERG, J.; OSTER, J. D. **Quality of irrigation water**. Bet. Dagan: International Irrigation Center, 1978. 65p.
- SHALHEVET, J. Management of irrigation with brackish water. In: SHALNEBERG, I.; SHALHEVET, J. (Ed.) **Soil salinity under irrigation**. Berlin: Springer-Verlag, 1984. p.298-318. (Ecological Studies, 51).
- SHALHEVET, J.; BERNSTEIN, L. Effects of vertically heterogeneous soil salinity on plant growth and water uptake. **Soil Science**, 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.
- SHALHEVET, J.; YARON, B. Effect of soil and water salinity on tomato growth. **Plant and Soil**, v.39, p.285-292, 1973.
- SHALHEVET, J.; HEUER, B.; MEIRI, A. Irrigation interval as a factor in the salt tolerance of eggplant. **Irrigation Science**, v.4, p.83-93, 1983.
- SHALHEVET, J.; RENIGER, P. & SHIMSHI, D. Peanut response to uniforme and non-uniform soil salinity. **Agronomy Journal**, v.61, p.384-387, 1969.
- SHALHEVET, J., VINTEN, A.; MEIRI, A. Irrigation interval as a factor in sweet corn response to salinity. **Agronomy Journal**, v.78, p.539-545, 1986.
- SHANNON, M.C. Adaptation of plants to salinity. **Advances in Agronomy**, v.60, p.75-120, 1997.

- SMITH, M. **Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements.** Rome: FAO, 1991. 45p.
- SMITH, P.F. Mineral analysis of plant tissues. **Annual Review of Plant Physiology**, v.13, p.81-108, 1962.
- SMITH, R.J.; HANCOCK, N.H. Leaching requirement of irrigated soil. **Agricultural and Water Management**, v.11, p. 13-22, 1986.
- SOLOMON, K.H. Water-salinity-production functions. **Transactions of the ASAE**, v.28, n.6, p.1975-1980, Nov./Dec. 1985.
- STANGHELLINI, C. The role of internal and external resistances in scheduling irrigation of a greenhouse crop. **Acta Horticulturae**, v.228, p.261-268, 1988.
- STANGHELLINI, C. Evapotranspiration in greenhouse with special reference to mediterranean conditions. **Acta Horticultural**, v.335, p.296-304, 1993.
- 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 Centre for Advanced Mediterranean Agronomics Studies.
- TEIXEIRA, N.T.; BADIA, J.S.; PAPA, P.E.; MEIRELLES, W. Efeito de doses crescentes de cloro na cultura do pimentão. **Ecossistema**, v.4, p.127-128, 1979.
- UNIVERSITY OF CALIFORNIA COMMITTEE OF CONSULTANTS. **Guidelines for interpretation of water quality for agriculture.** Davis: University of California, 1974. 13p.
- VAN DER MOLEN, W.H. Desalination of saline soils as a column process. **Soil Science**, v.81, p.19-27, 1956.
- VAN GENUCHTEN, M.Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.892-898, 1980.
- VAN HOORN, J.W. Salt movement, leaching efficiency, and leaching requirement. **Agricultural and Water Management**, v.4, p.409-428, 1981.

- VAN HOORN, J.W.; VAN ALPHEN, J.G. Salinity control. In: RITZEMA, H.P. (Ed.) **Drainage Principles and Applications**. 2.ed. Wageningen: ILRI, 1994. cap. 15, p.533-600. (ILRI Publication, 16).
- VAN RAIJ, B. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Ceres; Piracicaba: POTAFOS, 1991. 343p.
- VAN SCHILFGAARDE, J.; BERNSTEIN, L.; RHOADES, J.D.; RAWLINS, S.L. Irrigation management for salt control. **Journal of Irrigation and Drainage Division**, v.100, n.IR3, p.321-335, Sep. 1974.
- VINTEN, A.; SHALHEVET, J.; MEIRI, A.; PERETZ, J. Water and leaching requirements of industrial tomatoes irrigated with brackish water. **Irrigation Science**, v.7, p.13-25, 1986.
- WADLEIGH, C.H.; AYERS, A.D. Growth and biochemical composition of bean plants as conditioned by soil moisture tension and salt concentration. **Plant Physiology**, v.20, p.106-132, 1945.
- WADLEIGH, C.H.; GAUCH, H.G.; MAGISTARD, O.C. **Growth and rubber accumulation in guayule**. Washington: USDA, 1946. (Technical Bulletin, 1946).
- WAGENET, R.J.; CAMPBELL, W.F.; BAMATRAFF, A.M.; TURNER, D.L. Salinity, irrigation frequency, and fertilization effect on barley growth. **Agronomy Journal**, v.72, p.969-974, Nov./Dec. 1980.
- WIERENGA, P.J.; SADDIQ, M.H. Optimum soil water tension for trickle irrigated chile peppers. In: INTERNATIONAL DRIP/TRICKLE IRRIGATION CONGRESS, 3., Fresno, 1985. **Proceedings**. Fresno: ASAE, 1985. p.193-197.
- YADAV, J. S. P.; GIRDHAR, I. K. Effect of varying Mg/Ca ratio and electrolyte concentration in the irrigation water on the soil properties and growth of wheat. **Plant and Soil**, v.56, n.3, p.413-427, 1980
- YARON, B. Water suitability for irrigation. In: YARON, E.; DANFORS, E.; VAADID, Y. (Ed.) **Arid zone irrigation**. Berlin: Springer-Verlag, 1973. p.71-88. (Ecological Studies, 5).

- YARON, B.; SHALHEVET, J.; SHIMSHI, D. Patterns of salt distribution under trickle irrigation In: HADA, A.; SWARTZENDRUBER, D.; RIJTEMA, P.E.; FUCHS, M.; YARON, B. (Ed.) **Physical aspects of soil water and salts in ecosystems**. Berlin: Springer-Verlag, 1973. p.389-394. (Ecological Studies, 4).
- ZANINI, J.R.; SOUZA, E.C.A. de; PAVANI, L.C.; PANCRÁCIO, A.P. Efeitos da frequência de aplicação da fertirrigação nitrogenada e potássica via irrigação por gotejamento na cultura do pimentão (*Capsicum annuum* L. CV. Magda). /Apresentado ao 24. Congresso brasileiro de Engenharia Agrícola, Viçosa, MG, 1995/.
- ZHANG, L.; LEMEUR, R. Effect of aerodynamic resistance on energy balance and Penman-Monteith estimates of evapotranspiration in greenhouse conditions. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.58, p.209-228, 1992.

APÊNDICES

APÊNDICE 1

Descrição de um perfil característico do solo da área onde se realizou o experimento.

PERFIL - 01 DATA:06/05/97

CLASSIFICAÇÃO: Terra Roxa Estruturada eutrófica A moderado textura argilosa.

LOCALIZAÇÃO: Estado de São Paulo, município de Piracicaba, Fazenda Areão, Área Experimental de Irrigação do Departamento de Engenharia Rural, à 50 m à leste das estufas.

SITUAÇÃO E DECLIVE: Perfil descrito em uma trincheira, sob condições de vegetação artificial de mangueira, em declive suave ondulado.

ALTITUDE: 550 m aproximadamente.

LITOLOGIA E FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Diabásio.

MATERIAL ORIGINÁRIO: saprólito do Diabásio.

PEDREGOSIDADE E ROCHOSIDADE: Ausente.

RELEVO: LOCAL - suave ondulado.

REGIONAL - suave ondulado a suave ondulado.

EROSÃO: laminar severa.

DRENAGEM: bem drenado.

USO ATUAL: cultivado com mangueira, limão e outras culturas anuais.

DESCRIÇÃO DO PERFIL

Ap - 0 a 10 cm; bruno avermelhado escuro (2,5YR 3/4, úmido), bruno avermelhado escuro (2,5YR 3/4, seco); franco argiloso; composta de grãos individuais e fraca grande granular; muitos poros grandes e médios; ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

BA - 10 a 20 cm; bruno avermelhado escuro (2,5YR 3/4, úmido), bruno avermelhado escuro (2,5YR 3/4, seco); argila; forte média em blocos angulares; poros comuns pequenos e médios; muito duro, friável, plástico pegajoso; transição difusa e plana.

Bt1 - 20 a 56 cm; bruno avermelhado escuro (2,5YR 3/4, úmido), vermelho escuro (2,5YR 3/6, seco); forte média em blocos angulares; poros comuns pequenos e médios; cerosidade moderada e comum; muito duro, friável, plástico e pegajoso; transição difusa e plana.

Bt2 - 56 a 97 cm; bruno avermelhado escuro (2,5YR 3/4, úmido), vermelho escuro (2,5YR 3/6, seco); argila; moderada média e grande em blocos angulares; muitos poros pequenos; cerosidade moderada e comum; muito duro, friável, plástico e pegajoso; transição difusa e plana.

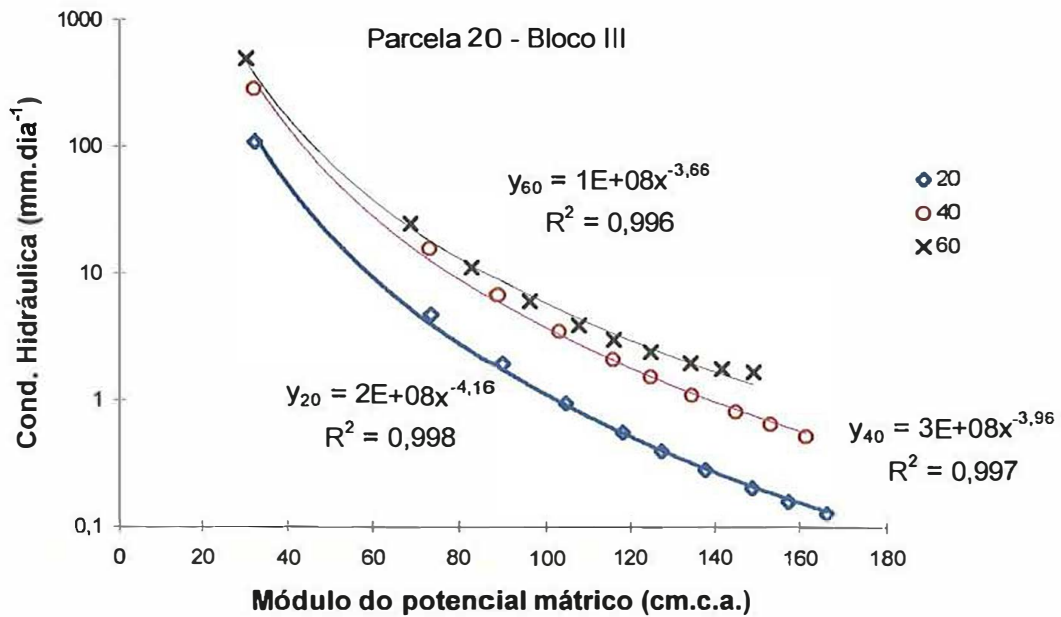
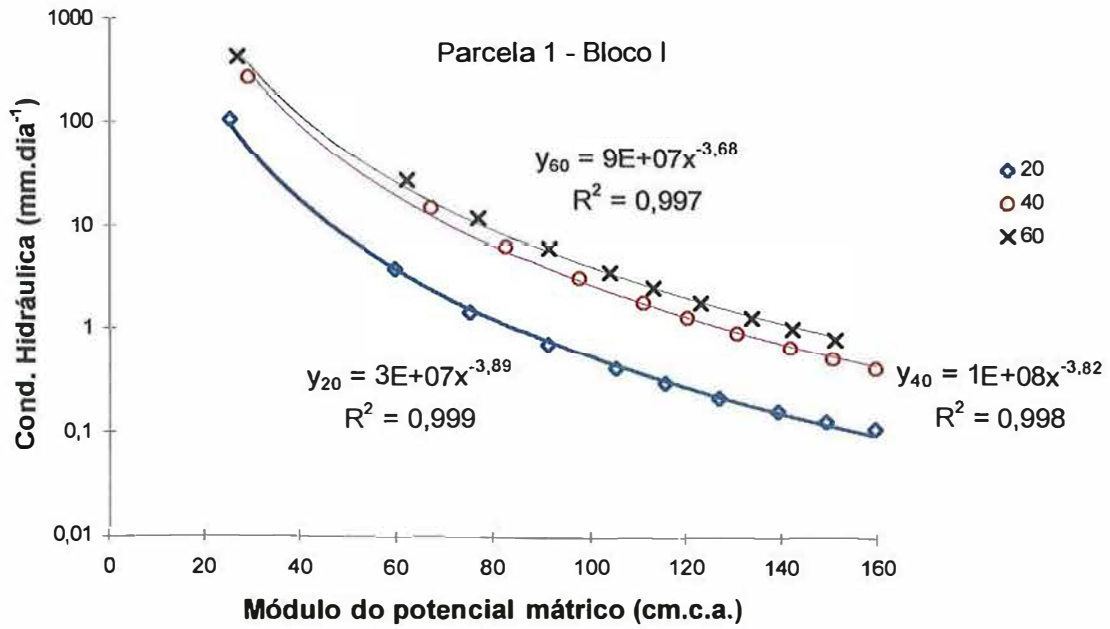
Bt3 - 97 a 127 cm; vermelho escuro (2,5YR 3/6, úmido), vermelho escuro (2,5YR 3/6, seco); argila; moderada a forte média e grande em blocos angulares, muitos poros pequenos; duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.

BC - 127 a 170+ cm; vermelho escuro (2,5YR 3/6, úmido), vermelho (2,5YR4/6, seco); argila; fraca pequena e média em blocos angulares; muitos poros pequenos; ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.

RAIZES: Muitas fasciculadas e pivotantes, médias e finas em Ap e AB; poucas pivotantes e finas e médias em Bt1 e Bt2; raras pivotantes e finas e médias em Bt3 e BC.

EXAMINADORES: Francisco Ocian B. Mota e José Francismar de Medeiros.

APÊNDICE 2. Exemplos ilustrando a obtenção das equações $K(h)$.



APÊNDICE 3. Valores médios e erro padrão por períodos para diferentes parâmetros climáticos e do solo, medidos no interior da estufa.

Fator*	Período após o transplantio													
	0-20	21-30	31-40	41-55	55-75	76-95	96-115	116-130	131-145	146-165				
Taméd.	20,06±0,59	20,95±0,88	20,02±0,93	22,39±0,71	23,15±0,52	24,54±0,41	23,57±0,46	25,04±0,27	25,50±0,47	25,32±0,29				
Tamáx	30,97±0,76	28,97±1,26	27,74±1,68	32,54±1,23	33,13±0,62	34,00±0,73	31,85±0,84	32,96±0,58	33,67±0,56	33,07±0,47				
UR	64,14±2,24	71,68±4,31	75,83±2,62	66,15±2,49	75,05±1,54	71,28±2,47	74,02±2,28	77,71±1,74	82,47±1,77	79,36±1,52				
Rg	8775±515	7728±863	8762±1316	11267±940	10723±571	12436±842	10836±996	11289±616	11722±988	11627±631				
Rn	6774±378	5394±719	6436±1067	7588±691	8767±528	10354±713	9515±871	10685±585	10195±888	9280±578				
Ts10	21,18±0,27	22,82±0,37	22,09±0,61	24,13±0,44	24,83±0,22	25,35±0,19	24,47±0,28	24,99±0,17	25,74±0,20	25,39±0,12				
Ts30	20,87±0,19	22,76±0,17	21,80±0,30	23,70±0,31	24,51±0,13	25,05±0,11	24,73±0,22	24,94±0,14	25,70±0,11	25,54±0,07				
Fluxo	193±70	4±120	123±204	197±123	159±82	177±66	-158±79	20±40	22±80	-93±53				
Emini**	3,22±0,24	3,22±0,59	2,61±0,39	3,64±0,31	3,20±0,17	3,32±0,28	2,78±0,36	2,89±0,23	2,68±0,29	2,62±0,19				

* Taméd - temperatura média diária do ar, em °C; Tamáx - temperatura máxima diária do ar; UR - umidade relativa média diária, %; Rg - radiação solar global, em kJ.m⁻².dia⁻¹; Rn - radiação solar líquida, em kJ.m⁻².dia⁻¹; Ts10 - temperatura média diária do solo à 10 cm de profundidade; Ts30 - temperatura média diária do solo à 30 cm de profundidade; Fluxo - fluxo de calor do solo, em kJ.m⁻².dia⁻¹ e Emini - evaporação de água de um mini-tanque, que tem 60 cm de diâmetro, em mm.dia⁻¹.

** A relação entre a evoração do tanque classe A e a do mini-tanque é dada por: ECA = 0,88Emini - 0,03

APÊNDICE 4. Lâminas de irrigação aplicadas acumuladas para menor lâmina relativa de irrigação (L0), para cada tipo de água de irrigação, e evaporação do tanque classe A acumulada dentro da estufa.

Dias após o transplântio	Lâmina de irrigação acumulada (mm)			ECA (mm)
	S1L0	S2L0	S3L0	
21*	24	24	25	59
43	56	56	56	118
62	98	97	97	173
82	140	139	139	225
105	206	204	200	285
126	269	265	259	344
148	333	328	318	399
165	385	376	364	434

* Considerou-se somente as lâminas de irrigação com as águas dos respectivos tratamentos, que foram iniciadas 13 dias após o transplântio.

APÊNDICE 5. Concentrações de adubos e sais adicionados às águas de irrigação ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$) ao longo do ciclo cultural.

Dias após transpl.	Água S1					Água S2*			Água S3*		
	KCl	CaNO ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄	H ₃ PO ₄	MgSO ₄	NaCl	CaCl ₂	MgSO ₄	NaCl	CaCl ₂	MgSO ₄
13	0,98	2,00	0,00	0,25	0,00	10,02	4,60	4,40	20,02	10,60	8,40
15	0,98	2,00	0,00	0,25	0,00	10,02	4,60	4,40	20,02	10,60	8,40
21	1,37	1,58	0,00	0,36	0,00	9,88	5,17	4,50	20,13	11,32	8,60
26	2,36	6,70	0,00	0,36	0,00	9,39	0,35	4,70	18,14	5,60	8,20
31	1,95	5,53	1,76	0,69	0,00	9,05	1,07	2,64	20,05	7,67	7,04
37	1,97	5,38	1,72	0,69	0,00	9,68	1,61	2,94	23,53	9,92	8,48
41	3,26	5,76	1,83	0,61	0,00	8,79	1,47	2,99	19,24	7,74	7,17
43	2,97	5,28	1,69	0,59	0,00	9,38	2,13	3,25	20,88	9,03	7,85
45	2,68	4,76	1,52	0,44	0,00	8,72	2,08	3,04	19,67	8,65	7,42
48	3,55	3,35	1,09	0,64	0,00	8,55	3,91	3,75	18,65	9,97	7,79
50	3,77	3,56	1,16	0,68	0,00	6,23	2,44	2,84	19,48	10,39	8,14
53	3,59	3,38	1,10	0,64	0,00	8,66	3,97	3,80	20,46	11,05	8,52
56	3,68	3,47	1,13	0,53	0,00	7,77	3,40	3,45	18,87	10,06	7,89
59	4,06	3,64	1,17	0,65	0,10	6,65	2,79	3,12	16,40	8,64	7,01
62	4,09	3,66	1,18	0,77	0,23	7,65	3,38	3,52	19,71	10,62	8,34
64	4,22	3,78	1,21	1,31	0,44	7,44	3,22	3,45	17,28	9,12	7,38
67	4,70	4,21	1,35	0,93	0,00	6,96	2,78	3,31	16,79	8,69	7,24
69	4,30	3,85	1,23	1,03	1,05	7,67	3,33	3,55	20,07	10,77	8,51
71	4,31	3,86	1,24	0,78	0,00	8,44	3,79	3,86	18,45	9,79	7,87
73	5,65	5,07	1,62	0,78	0,00	4,85	1,23	2,58	18,14	9,21	7,89
75	5,18	4,64	1,49	0,93	2,09	6,95	2,64	3,36	17,01	8,67	7,39
77	4,96	4,95	2,43	0,78	0,00	7,79	2,70	2,68	17,91	8,78	6,72
80	4,64	4,63	2,27	1,46	0,00	8,11	3,02	2,83	18,23	9,09	6,88
82	3,07	6,48	2,08	0,81	1,57	8,33	0,36	2,48	19,23	6,90	6,84
84	3,39	7,14	2,29	0,59	1,50	7,63	-0,53	2,11	18,57	6,03	6,49
87	3,03	6,38	2,05	0,87	1,57	6,82	-0,48	1,89	18,01	6,24	6,36
89	3,36	7,10	2,28	1,09	0,63	7,42	-0,63	2,03	18,48	6,01	6,46
91	5,04	6,70	1,97	0,58	0,00	7,48	0,82	3,04	19,21	7,86	7,74
92	1,63	2,16	0,64	0,78	0,00	8,27	3,78	3,32	17,37	9,24	6,96
93	1,73	2,30	0,67	0,00	0,00	7,27	3,10	2,93	16,57	8,68	6,65
94	5,29	7,02	2,06	0,67	0,00	5,21	-0,72	2,14	15,71	5,58	6,34
96	4,27	5,67	1,66	0,93	0,00	8,33	1,89	3,38	19,18	8,40	7,72
98	4,65	6,17	1,81	1,24	0,00	6,15	0,31	2,51	18,46	7,69	7,43
100	4,76	6,32	1,86	0,80	1,50	6,90	0,67	2,81	17,88	7,27	7,20
102	4,80	5,78	1,86	0,70	1,18	7,48	1,59	3,05	19,34	8,70	7,79
105	6,40	7,70	2,49	0,87	1,05	4,27	-1,29	1,78	17,05	6,37	6,89
107	4,94	5,95	1,92	0,61	0,90	7,03	1,24	2,87	18,51	8,12	7,46
109	4,63	5,57	1,79	0,77	1,31	6,40	1,04	2,62	15,83	6,70	6,39
110	2,31	2,79	0,90	0,00	0,00	6,78	2,67	2,74	18,44	9,66	7,40
111	2,59	3,11	1,00	0,00	0,00	8,29	3,41	3,35	19,91	10,39	8,00
113	3,52	4,24	1,37	0,80	1,50	4,78	0,74	1,95	15,83	7,37	6,37
115	4,64	5,58	1,80	0,66	0,00	7,65	1,80	3,11	18,36	8,22	7,40

Apêndice 5. Continuação

Dias após transpl.	Água S1					Água S2*			Água S3*		
	KCl	CaNO ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄	H ₃ PO ₄	MgSO ₄	NaCl	CaCl ₂	MgSO ₄	NaCl	CaCl ₂	MgSO ₄
118	3,59	4,77	1,50	1,17	0,00	8,66	2,58	3,40	19,86	9,30	7,88
119	3,60	4,79	1,51	1,12	0,00	8,65	2,56	3,39	19,85	9,28	7,87
120	3,62	4,81	1,51	1,03	0,00	8,28	2,33	3,24	19,49	9,06	7,73
123	3,45	4,58	1,44	0,61	0,00	5,15	0,57	2,00	15,29	6,66	6,05
126	2,91	3,87	1,22	0,91	0,78	10,78	4,35	4,26	21,11	10,54	8,39
128	0,99	1,31	0,41	0,00	0,00	10,85	5,79	4,32	22,00	12,48	8,78
129	4,35	5,11	1,64	0,87	0,00	8,88	2,83	3,65	18,87	8,82	7,65
132	4,02	4,11	1,52	0,62	1,22	8,50	3,40	3,49	19,53	10,02	7,90
134	4,43	4,53	1,67	0,47	0,78	7,23	2,47	2,99	18,57	9,27	7,53
137	3,57	3,65	1,35	0,53	1,05	7,93	3,25	3,25	19,42	10,15	7,85
139	4,63	4,73	1,74	0,70	0,00	8,05	2,88	3,33	16,87	8,17	6,85
141	4,16	4,25	1,57	0,46	0,88	8,54	3,37	3,51	17,84	8,95	7,23
144	3,74	3,82	1,41	0,67	1,14	8,36	3,44	3,43	19,96	10,40	8,07
146	1,43	1,46	0,54	0,32	0,38	10,78	5,86	4,34	21,33	12,20	8,57
148	4,18	4,27	1,58	0,93	0,00	9,02	3,65	3,70	17,57	8,78	7,12
150	1,86	1,90	0,70	0,58	0,00	10,35	5,42	4,18	20,19	11,33	8,12
152	2,35	2,41	0,89	0,55	0,00	8,80	4,28	3,57	18,95	10,37	7,63
155	4,79	4,90	1,81	0,54	0,00	7,66	2,57	3,17	18,01	8,78	7,31
158	4,13	4,22	1,56	0,54	0,00	8,27	3,22	3,40	17,37	8,68	7,04
160	4,04	4,12	1,52	0,65	0,00	8,01	3,11	3,30	19,46	9,98	7,88
162	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,55	7,53	5,02	21,75	13,05	8,70
163	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,50	6,30	4,20	21,00	12,60	8,40
165	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,45	7,47	4,98	21,35	12,81	8,54
Média	3,42	4,26	1,34	0,63	0,37	8,17	2,70	3,30	18,87	9,11	7,58

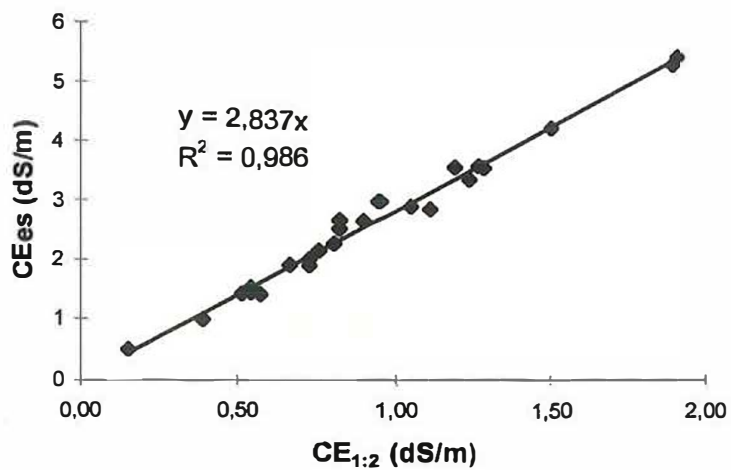
* Nas águas S2 e S3 ainda foram acrescentados os sais (adubos) adicionados à água S1.

** As quantidades de N, P₂O₅ e K₂O durante todo o ciclo corresponderam, respectivamente à 10,95; 1,91 e 23,31 g/planta, ou à 273, 48 e 583 kg/ha.

APÊNDICE 6. Quantidades de nutrientes aplicados por parcela no tratamento S1L0, via água de irrigação, para cada período.

Período	K ₂ O (g/parc)	N-NO ₃ (g/parc)	N-NH ₄ (g/parc)	P ₂ O ₅ (g/parc)	MgO (g/parc)
0-20	3,1	1,8	0,0	0,36	0,00
21-30	4,2	2,6	0,0	0,36	0,00
31-40	4,4	3,5	1,2	0,69	0,00
41-50	13,6	5,9	2,0	1,11	0,00
51-60	16,5	4,3	1,5	1,21	0,02
61-70	14,4	3,7	1,2	1,47	0,31
71-80	19,3	5,1	1,9	1,40	0,41
81-90	15,3	8,4	2,9	1,81	1,07
91-100	20,7	7,8	2,4	1,60	0,00
101-110	29,1	10,1	3,3	1,92	1,39
111-120	17,6	6,2	2,1	1,38	0,34
121-130	17,2	6,3	2,1	1,73	0,20
131-140	19,5	5,7	2,2	1,20	0,68
141-150	16,2	4,7	1,8	1,23	0,62
151-160	21,9	6,4	2,4	1,63	0,00
Total (kg/ha)	583	206	67	48	13

APÊNDICE 7. Relação entre a condutividade elétrica do extrato de saturação (salinidade do solo) e condutividade elétrica obtida no sobrenadante da mistura de uma parte de solo para duas partes de água, em peso.



APÊNDICE 8

Módulo do potencial mátrico ao longo do tempo, nos diferentes tratamentos estudados,
nas profundidades de 10, 30, 50 e 70 cm

