

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**IRRIGAÇÃO DA CULTURA DA ALFACE COM ÁGUA RESIDUÁRIA  
TRATADA COM LEITOS CULTIVADOS COM MACRÓFITA**

**DELVIO SANDRI**

CAMPINAS - SP  
MAIO DE 2003

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**IRRIGAÇÃO DA CULTURA DA ALFACE COM ÁGUA RESIDUÁRIA  
TRATADA COM LEITOS CULTIVADOS COM MACRÓFITA**

Tese submetida à banca examinadora  
para obtenção do título de Doutor em  
Engenharia Agrícola na área de  
concentração em Água e Solo.

**DELVIO SANDRI**

**Orientador: Prof. Dr. EDSON EIJI MATSURA**

CAMPINAS - SP  
MAIO DE 2003

A minha mãe, de quem lembro com carinho e saudade, à meu pai e meus irmãos pelo apoio, estímulo e compreensão, dedico.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, o grande criador, por permitir mais esta conquista em minha vida.

Ao Prof. Dr. Edson Eiji Matsura, pela orientação, apoio e amizade no decorrer deste trabalho.

À FAPESP, pelo financiamento integral desta pesquisa e ao CNPq pela bolsa de doutorado concedida.

À Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP, pela oportunidade oferecida.

Ao Prof. Dr. Roberto Testezlaf pelas inúmeras vezes em que nos auxiliou no desenvolvimento criterioso deste trabalho.

Aos colegas do Laboratório de Hidráulica e Irrigação, Eder, Claudinei, Sérgio, Marcelus, Christiane, Renata, Cláudia, Lúcia, Rogério, Rojane, Aristóteles e Cabelo, pelo convívio, amizade e ajuda mútua.

Aos técnicos do Laboratório de Hidráulica e Irrigação, Túlio e Gelson, pela colaboração no desenvolvimento do trabalho.

Aos técnicos do Laboratório de Solos, Júnior e Célia e também a Angélica, técnica do Laboratório de Saneamento, pela colaboração na realização das análises.

À Prof. Marlene do Instituto de Biologia (Departamento de Fisiologia Vegetal) pela colaboração na realização das análises dos parâmetros de crescimento da alfaca.

Aos funcionários do campo experimental, pela constante colaboração na montagem e realização do trabalho de campo.

À minha noiva Madalena, pelo convívio, incentivo e presença constante nesta caminhada.

A minha família pelo constante incentivo para que este trabalho fosse concluído.

A todos, que direta ou indiretamente, contribuíram para que este trabalho fosse possível de ser realizado.

Agradeço.

## SUMÁRIO

<b>SUMÁRIO</b> .....	<b>iv</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b> .....	<b>vii</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>ix</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>xv</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>xvii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xix</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>4</b>
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>5</b>
3.1. A ESCASSEZ E O USO DE ÁGUA RESIDUÁRIA NA AGRICULTURA .....	5
3.1.1. Tratamento de água residuária para irrigação.....	10
3.1.2. Característica físico-química da água residuária e efeitos sobre as plantas .....	12
3.1.3. Características biológicas e aspectos sanitários de efluentes .....	16
3.1.4. Alterações físicas e químicas no solo .....	23
3.1.5. Métodos de aplicação de água residuária via irrigação .....	26
3.2. UNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO DE ÁGUA E ENTUPIMENTO DE GOTEJADORES .....	28
3.2.1. Coeficiente de uniformidade de irrigação .....	34
3.2.2. Uniformidade da umidade do solo dos canteiros irrigados .....	38
3.3. CULTURA DA ALFACE .....	41
3.3.1. Parâmetros de crescimento .....	42
3.3.2. Produtividade da cultura da alface.....	44
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>46</b>
4.1. CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DO EXPERIMENTO.....	46

4.2. DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	47
4.3. MANEJO DA CULTURA E DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO .....	50
4.4. ÁGUA UTILIZADA.....	52
4.4.1. Água residuária.....	52
4.4.2. Água do reservatório superficial.....	53
4.5. COLETA E PROCEDIMENTOS DE ANÁLISES.....	54
4.5.1. Coleta das amostra de água residuária e do depósito superficial .....	54
4.5.2. Análise da água de irrigação.....	54
4.5.3. Análise química da alface.....	58
4.5.4. Uniformidade da distribuição de água dos sistemas de irrigação.....	58
4.5.5. Uniformidade da umidade do solo .....	59
4.5.6. Solo.....	60
4.5.7. Solução do solo.....	61
4.5.8. Avaliação da produtividade da cultura .....	61
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>62</b>
5.1. PRESENÇA DE COLIFORMES TOTAIS, <i>E. COLI</i> E <i>SALMONELLA SPP</i> NA ÁGUA E NA PLANTA	62
5.1.1. Água de irrigação.....	62
5.1.2. Tecido vegetal da alface .....	64
5.1.3. Avaliação da qualidade físico-química da água residuária e do depósito .....	67
5.3. ANÁLISE DO SOLO.....	76
5.3. ANÁLISE DA SOLUÇÃO DO SOLO .....	96
5.4. DADOS CLIMATOLÓGICOS MEDIDOS E ESTIMADOS.....	103
5.4.1. Temperatura ar e umidade relativa do ar .....	103
5.4.2. Precipitação e radiação solar global .....	104
5.4.3. Evapotranspiração da cultura.....	106
5.6. MANEJO DA IRRIGAÇÃO.....	107
5.6. ANÁLISES DE ENTUPIMENTO DOS GOTEJADORES.....	109
5.6.1. Qualidade e quantidade de água utilizada no gotejamento.....	109
5.6.2. Vazão dos gotejadores .....	113
5.6.3. Coeficientes de uniformidade do sistema de irrigação.....	117

5.7. AVALIAÇÃO DA UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DA UMIDADE NA SUPERFÍCIE E NO INTERIOR DO SOLO .....	119
5.8. ANÁLISE DA ALFACE.....	120
5.8.1. Parâmetros de crescimento .....	120
5.8.2. Análise da produtividade e eficiência do uso de água.....	135
5.8.3. Análise da qualidade comercial.....	138
5.8.4. Análise química do tecido vegetal.....	141
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>149</b>
<b>7. RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>151</b>
ANEXO 1. Dados experimentais do solo.....	152
ANEXO 2. Dados experimentais e análise de variância da alface.....	164
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>174</b>

## LISTA DE SÍMBOLOS

$U_s$  = uniformidade estatística de emissão, %;

$V_{qs}$  = coeficiente estatístico de variação de vazão dos emissores, %;

$n$  = número de emissores selecionados;

$i$  = identificação individual dos emissores;

$q_i$  = vazão média dos emissores,  $L.h^{-1}$ ;

$EU$  = uniformidade de emissão, %;

$d_{25}$  = média de 25% menores vazões,  $L.h^{-1}$ ;

$q_{média}$  = média de todas as observações, em  $L.h^{-1}$ ;

$CV_f$  = coeficiente de variação de fabricação das linhas de emissores;

$D_{ra}$  = índice da relação das vazões médias dos gotejadores, %;

$q_f$  = a vazão dos gotejadores medido em campo,  $L.h^{-1}$ ;

$q_c$  = a vazão calculada por meio da equação pressão x vazão determinada em laboratório, na pressão que os gotejadores foram medidos em campo,  $L.h^{-1}$ ;

$K_a$  = constante dielétrica aparente (adimensional);

$t$  = tempo de deslocamento, ns;

$c$  = velocidade da luz,  $30 \text{ cm.ns}^{-1}$ ;

$L$  = comprimento da haste, cm;

$\theta$  = umidade em base de volume;  $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ ;

$ET_o$  = evapotranspiração de referência, por Penman Monteith,  $\text{mm.dia}^{-1}$ ;

$ET_c$  = evapotranspiração da cultura,  $\text{mm.dia}^{-1}$ ;

$K_c$  = coeficiente da cultura;

$FAU$  = unidade de atenuação Formazim;  $\text{mg.L}^{-1}$ ;

$TDS$  = sólidos dissolvidos totais,  $\text{mg.L}^{-1}$ ;

$RAS$  = relação de absorção de sódio;

$DBO_5$  = demanda bioquímica de oxigênio,  $\text{mg.L}^{-1}$ ;

$DQO$  = demanda química de oxigênio,  $\text{mg.L}^{-1}$ ;

$NMP$  = número mais provável;

$OMS$  = Organização Mundial da Saúde;

$AR$  = aspersão utilizando água residuária;

$AD$  = aspersão utilizando água do depósito;

GSbR = gotejamento subterrâneo utilizando água residuária;

GSbD = gotejamento subterrâneo utilizando água do depósito;

GSpR = gotejamento superficial utilizando água residuária;

GSpD = gotejamento superficial utilizando água do depósito;

DAT = dias após o transplante da alface;

Início = na análise do solo e solução do solo, corresponde ao 6 e 7 DAT, respectivamente, para o 1º e 2º ciclo;

Meio = na análise do solo e solução do solo, corresponde ao 26 e 27 DAT, respectivamente, para o 1º e 2º ciclo;

Final = na análise do solo e solução do solo, corresponde ao 46 e 49 DAT, respectivamente, para o 1º e 2º ciclo;

$CE_{es}$  = condutividade elétrica no extrato de saturação,  $dS.m^{-1}$ ;

$CE_{1:2}$  = condutividade elétrica em extrato aquoso solo:água 1:2,  $dS.m^{-1}$ ;

$CE_a$  = condutividade elétrica na água,  $dS.m^{-1}$ ;

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Limites recomendados para elementos-traço em águas residuárias utilizada na irrigação.....	13
Tabela 2. Faixas de valores máximos (níveis críticos) de diferentes parâmetros na água de irrigação de hortaliças. ....	14
Tabela 3. Teores adequados de macronutrientes e micronutrientes em folhas de alface .....	15
Tabela 4. Padrões microbiológicos de qualidade de água residuária aplicada em agricultura. 17	
Tabela 5. Grau de tratamento dos esgotos necessários em função do tipo de cultura e da técnica de irrigação.....	18
Tabela 6. Padrões para coliformes totais e fecais em corpos d'água. ....	19
Tabela 7. Risco potencial de entupimento de emissores pela água de irrigação.....	29
Tabela 8. Classificação de emissores quanto à sensibilidade ao entupimento. ....	30
Tabela 9. Classificação de coeficientes de variação de fabricação (CVf) para emissores. ....	35
Tabela 10. Uniformidade do sistema de microirrigação (Us), classificações para vazões médias dos emissores. ....	37
Tabela 11. Resultados dos parâmetros analisados no efluente na saída do sistema de tratamento com leitos cultivados com macrófitas e antes de ser armazenado no reservatório durante o 1º e 2º ciclos da alface.....	53
Tabela 12. Níveis de contaminação da água residuária e do depósito superficial no 1º ciclo para a aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial na saída do aspersor e após o sistema de filtragem.....	62
Tabela 13. Níveis de contaminação da água residuária e do depósito superficial no 2º ciclo para a aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial na saída do aspersor e após o sistema de filtragem.....	62
Tabela 14. Níveis de contaminação nas folhas de alface irrigada com água residuária e água do depósito superficial no final do 1º e 2º ciclo nos seis tratamentos.....	65
Tabela 15. Análise da água residuária e do depósito superficial utilizada na irrigação por aspersão durante o 1º ciclo aos 06, 26 e 46 DAT.....	67
Tabela 16. Análise da água residuária e do depósito superficial utilizada na irrigação por gotejamento subterrâneo e superficial durante o 1º ciclo aos 06, 26 e 46 DAT.....	68

Tabela 17. Qualidade da água residuária e do depósito superficial utilizada na irrigação por aspersão durante o 2º ciclo aos 10, 25 e 47 DAT.....	69
Tabela 18. Qualidade da água residuária e do depósito superficial utilizada na irrigação por gotejamento subterrâneo e superficial durante o 2º ciclo aos 10, 25 e 47 DAT.....	70
Tabela 19. Resultados da análise da matéria orgânica do solo irrigado por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária e do depósito de fonte superficial durante o 1º e 2º ciclo nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m. ...	76
Tabela 20. Resultados da capacidade de troca de cátions do solo irrigado por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária e do depósito de fonte superficial durante o 1º e 2º ciclo nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m. ...	78
Tabela 21. Resultados da análise do fósforo (Resina) do solo irrigado por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária e do depósito de fonte superficial durante o 1º e 2º ciclo nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m. ...	79
Tabela 22. Resultados da análise do potássio do solo irrigado por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária e do depósito de fonte superficial durante o 1º e 2º ciclo nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.....	81
Tabela 23. Resultados da análise do nitrogênio do solo irrigado por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária e do depósito de fonte superficial durante o 1º e 2º ciclo nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.....	82
Tabela 24. Resultados da análise do manganês do solo irrigado por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária e do depósito de fonte superficial durante o 1º e 2º ciclo nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.....	84
Tabela 25. Resultados da análise do magnésio do solo irrigado por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária e do depósito de fonte superficial durante o 1º e 2º ciclo nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.....	86
Tabela 26. Resultados da análise do cobre do solo irrigado por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária e do depósito de fonte superficial durante o 1º e 2º ciclo nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.....	87
Tabela 27. Resultados da análise do enxofre do solo irrigado por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária e do depósito de fonte superficial durante o 1º e 2º ciclo nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.....	88

Tabela 28. Resultados da análise do sódio do solo irrigado por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária e do depósito de fonte superficial durante o 1º e 2º ciclo nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.....	90
Tabela 29. Resultados da análise do cálcio do solo irrigado por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária e do depósito de fonte superficial durante o 1º e 2º ciclo nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.....	92
Tabela 30. Resultados da análise do boro do solo irrigado por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária e do depósito de fonte superficial durante o 1º e 2º ciclo nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.....	93
Tabela 31. Resultados da análise da condutividade elétrica do solo irrigado por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária e do depósito de fonte superficial durante o 1º e 2º ciclo nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m. ...	94
Tabela 32. Resultados da análise do potássio da solução solo irrigado por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária e do depósito de fonte superficial durante o 1º e 2º ciclo nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m. ...	96
Tabela 33. Resultados da análise do magnésio da solução do solo irrigado por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária e do depósito de fonte superficial durante o 1º e 2º ciclo nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m. ...	98
Tabela 34. Resultados da análise do sódio da solução do solo irrigado por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária e do depósito de fonte superficial durante o 1º e 2º ciclo nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m. ...	99
Tabela 35. Resultados da análise do cálcio da solução do solo irrigado por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária e do depósito de fonte superficial durante o 1º e 2º ciclo nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m. .	100
Tabela 36. Resultados da análise química da condutividade elétrica da solução solo irrigado por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária e do depósito de fonte superficial durante o 1º e 2º ciclo nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.....	102
Tabela 37. Valores médios da qualidade da água residuária e do depósito de fonte hídrica superficial analisadas antes e após a passagem pelo filtro de areia e tela, utilizada na irrigação por gotejamento subterrâneo e superficial no 1º e 2º ciclo da cultura. ....	110
Tabela 38. Volume total (L) de água aplicado durante o 1º e 2º ciclo da alfaca.....	112

Tabela 39. Valores médios das vazões dos emissores no gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária no início do 1º ciclo, no intervalo dos dois ciclos e no final do 2º ciclo e variação total no final em relação ao início do ciclo.	113
Tabela 40. Valores da uniformidade estatística de emissão (Us), uniformidade de emissão (EU), desvio padrão (S), coeficiente de variação (CV), índice da relação das vazões médias dos gotejadores ( $D_{ra}$ ) e redução da vazão das linhas de gotejadores no final em relação ao início do ciclo, no sistema de irrigação subterrâneo e superficial, utilizando água residuária e água do depósito de fonte superficial.....	117
Tabela 41. Valores dos coeficientes de uniformidade de CUC e CUD obtidos na superfície e no perfil do solo para a aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial. ....	119
Tabela 42. Lâmina de irrigação, massa fresca total e eficiência do uso de água para os seis tratamentos no final do 1º e 2º ciclo da cultura. ....	136
Tabela 43. Classificação da alface segundo a massa fresca sugerido pela CEAGESP. ....	139
Tabela 44. Análise da classificação da alface em porcentagem, segundo definição da CEAGESP para os dois ciclos da cultura e para os seis tratamentos. ....	139
Tabela 45. Teores de macro e micronutrientes nas folhas de alface no final do 2º ciclo. ....	141
Tabela 46. Resultados da análise química do solo e variação em porcentagem da medida final em relação a inicial para a irrigação por aspersão utilizando água residuária durante o 1º ciclo da cultura nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.....	152
Tabela 47. Resultados da análise química do solo e variação em porcentagem da medida final em relação a inicial para a irrigação por aspersão utilizando água do depósito de fonte superficial durante o 1º ciclo da cultura nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m. ....	153
Tabela 48. Resultados da análise química do solo e variação em porcentagem da medida final em relação a inicial para a irrigação por gotejamento subterrâneo utilizando água residuária durante o 1º ciclo da cultura nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m. ....	154
Tabela 49. Resultados da análise química do solo e variação em porcentagem da medida final em relação a inicial para a irrigação por gotejamento subterrâneo utilizando água do depósito de fonte superficial durante o 1º ciclo da cultura nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m. ....	155

Tabela 50. Resultados da análise química do solo e variação em porcentagem da medida final em relação a inicial para a irrigação por gotejamento superficial utilizando água residuária durante o 1º ciclo da cultura nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m. ....	156
Tabela 51. Resultados da análise química do solo e variação em porcentagem da medida final em relação a inicial para a irrigação por gotejamento superficial utilizando água do depósito de fonte superficial durante o 1º ciclo da cultura nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m. ....	157
Tabela 52. Resultados da análise química do solo e variação em porcentagem da medida final em relação a inicial para a irrigação por aspersão utilizando água residuária durante o 2º ciclo da cultura nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m. ....	158
Tabela 53. Resultados da análise química do solo e variação em porcentagem da medida final em relação a inicial para a irrigação por aspersão utilizando água do depósito de fonte superficial durante o 2º ciclo da cultura nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m. ....	159
Tabela 54. Resultados da análise química do solo e variação em porcentagem da medida final em relação a inicial para a irrigação por gotejamento subterrâneo utilizando água residuária durante o 2º ciclo da cultura nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m. ....	160
Tabela 55. Resultados da análise química do solo e variação em porcentagem da medida final em relação a inicial para a irrigação por gotejamento subterrâneo utilizando água do depósito de fonte superficial durante o 2º ciclo da cultura nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m. ....	161
Tabela 56. Resultados da análise química do solo e variação em porcentagem da medida final em relação a inicial para a irrigação por gotejamento superficial utilizando água residuária durante o 2º ciclo da cultura nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m. ....	162
Tabela 57. Resultados da análise química do solo e variação em porcentagem da medida final em relação a inicial para a irrigação por gotejamento superficial utilizando água do depósito de fonte superficial durante o 2º ciclo da cultura nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m. ....	163
Tabela 58. Média da altura da planta (cm), para as cinco amostragens ao longo do 1º ciclo.	164

Tabela 59. Análise de variância para a altura da planta (cm) no 1º ciclo para as cinco datas de amostragem após o transplante.....	164
Tabela 60. Média do número de folhas para as cinco amostragens ao longo do 1º ciclo. ....	165
Tabela 61. Análise de variância do número de folhas no 1º ciclo para as cinco datas de amostragem após o transplante.....	165
Tabela 62. Média massa fresca (g.planta <sup>-1</sup> ), para as cinco amostragens ao longo do 1º ciclo.	166
Tabela 63. Análise de variância para a massa fresca (g.planta <sup>-1</sup> ) no 1º ciclo para as cinco datas de amostragem após o transplante.....	166
Tabela 64. Média da massa seca (g.planta <sup>-1</sup> ) para as cinco amostragens ao longo do 1º ciclo.	167
Tabela 65. Análise de variância para a massa seca (g.planta <sup>-1</sup> ) no 1º ciclo para as cinco datas de amostragem após o transplante.....	167
Tabela 66. Média da área foliar (cm <sup>2</sup> .planta <sup>-1</sup> ) para as cinco amostragens ao longo do 1º ciclo da alface.....	168
Tabela 67. Análise de variância para a área foliar (cm <sup>2</sup> .planta <sup>-1</sup> ) no 1º ciclo para as cinco datas de amostragem após o transplante.....	168
Tabela 68. Média da altura (cm) para as cinco amostragens durante o 2º ciclo.....	169
Tabela 69. Análise de variância para a altura da planta (cm) no 2º ciclo para as cinco datas de amostragem após o transplante.....	169
Tabela 70. Média do número de folhas para as cinco amostragens durante o 2º ciclo. ....	170
Tabela 71. Análise de variância do número de folhas no 2º ciclo para as cinco datas de amostragem após o transplante.....	170
Tabela 72. Média da massa fresca (g.planta <sup>-1</sup> ) para as cinco amostragens durante o 2º ciclo.	171
Tabela 73. Análise de variância para a massa fresca (g.planta <sup>-1</sup> ) no 2º ciclo para as cinco datas de amostragem após o transplante.....	171
Tabela 74. Média da massa seca (g.planta <sup>-1</sup> ) para as cinco amostragens durante o 2º ciclo. .	172
Tabela 75. Análise de variância para a massa seca (g.planta <sup>-1</sup> ) no 2º ciclo para as cinco datas de amostragem após o transplante.....	172
Tabela 76. Média da área foliar (cm <sup>2</sup> .planta <sup>-1</sup> ) para as cinco amostragens durante o 2º ciclo da alface.....	173
Tabela 77. Análise de variância para a área foliar (cm <sup>2</sup> .planta <sup>-1</sup> ) no 2º ciclo para as cinco datas de amostragem após o transplante.....	173

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Composição dos esgotos sanitários.....	9
Figura 2. Curva característica da umidade dos canteiros na camada de 0,00 a 0,20 m solo, realizada no Laboratório de solos FEAGRI/UNICAMP, 2000.....	46
Figura 3. Sistema de captação, tratamento e distribuição da água residuária aos sistemas de irrigação por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial.....	48
Figura 4. Sistema de captação e distribuição da água do depósito de fonte hídrica superficial aos sistemas de irrigação por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial. ....	48
Figura 5. Esquema dos locais de determinação de $K_a$ nos canteiros. ....	59
Figura 6. Valores diários da temperatura média do ar e umidade relativa do ar durante o período do 1º ciclo da cultura da alface realizado de junho a julho de 2001, em Campinas, SP.....	103
Figura 7. Valores diários da temperatura média do ar e umidade relativa do ar durante o 2º ciclo da cultura da alface realizado de agosto a setembro de 2001, em Campinas, SP.....	104
Figura 8. Valores diários de precipitação (mm) e radiação solar global ( $\text{kW.m}^{-2}$ ) durante o 1º ciclo da cultura da alface realizado de agosto a setembro de 2001, em Campinas, SP.....	105
Figura 9. Valores diários de precipitação (mm) e radiação solar global ( $\text{kW.m}^{-2}$ ) durante o 2º ciclo da cultura da alface realizado de agosto a setembro de 2001, em Campinas, SP.....	105
Figura 10. Valores diários de evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) e evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) durante o 1º ciclo realizado de junho a julho de 2001, em Campinas, SP.....	106
Figura 11. Valores diários de evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) e evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) durante o 2º ciclo realizado de agosto a setembro de 2001, em Campinas, SP.....	106
Figura 12. Valores diários de tensão de água no solo, em kPa, medido por tensiômetros instalados nas profundidades de 0,10 e 0,20 m para os tratamentos, AR, AD, GSbR, GSbD, GSpR e GSpD durante o 1º (12 A, B e C) e 2º ciclo (12 D, E e F) da cultura.....	108

Figura 13. Vazão média dos gotejadores no sistema de irrigação por gotejamento subterrâneo (13A) e superficial (13B) utilizando água residuária, no início do 1º ciclo, no intervalo dos dois ciclos e final do 2º ciclo. ....	115
Figura 14. Gráfico da vazão média dos gotejadores no sistema de irrigação por gotejamento subterrâneo (14A) e superficial (14B) utilizando água do depósito superficial, no início do 1º ciclo, no intervalo dos dois ciclos e final do 2º ciclo. ....	116
Figura 15. Curva de crescimento da altura da alface no 1º e 2º ciclo para as cinco datas de amostragem e nos seis tratamentos. ....	122
Figura 16. Curva de crescimento do número de folhas por planta de alface ao longo do 1º e 2º ciclo para as cinco datas de amostragem e nos seis tratamentos. ....	124
Figura 17. Curva de crescimento da massa fresca total ao longo do 1º e 2º ciclo para as cinco datas de amostragem e nos seis tratamentos. ....	127
Figura 18. Curva de crescimento da massa seca total da alface ao longo do 1º e 2º ciclo para as cinco datas de amostragem e nos seis tratamentos. ....	130
Figura 19. Curva de desenvolvimento da área foliar da alface ao longo do 1º e 2º ciclo para as cinco datas de amostragem e os seis tratamentos. ....	133
Figura 20. Produtividade e eficiência do uso de água, obtidas nos diferentes tratamentos. ....	137

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade do uso de água residuária tratada com leitos cultivados com macrófitas, comparada com água de um depósito de fonte hídrica superficial, aplicadas na irrigação da cultura da alface (*Lactuca sativa* L.), cultivar “Elisa”, por meio de ensaios de campo, utilizando os sistemas de irrigação por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial. O experimento foi realizado no campo experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, onde as avaliações foram realizadas durante dois ciclos da cultura, sendo o 1º ciclo no período de 08/06 a 23/07/01 e o 2º ciclo de 17/08 a 3/10/2001. Foi analisada a qualidade física, química e biológica da água residuária e do depósito de fonte superficial utilizada na irrigação, aos 06, 26 e 46 dias após o transplântio no 1º ciclo e aos 10, 25 e 47 dias após o transplântio no 2º ciclo da alface e conseqüente contaminação da cultura por coliformes totais e *Escherichia coli*. As alterações nas propriedades químicas do solo e solução do solo, foram medidas no início, meio e final de cada ciclo. Analisou-se também os parâmetros de crescimento, produtividade e composição química da parte aérea da alface, grau de entupimento dos emissores e coeficientes de uniformidade medidos no início do 1º ciclo (gotejadores novos), no intervalo entre 1º e 2º ciclo e ao final do 2º ciclo. Observou-se a partir dos resultados obtidos, que a água residuária apresentou valores de condutividade elétrica e razão de absorção de sódio baixos, indicando não haver problema de salinização do solo e conseqüente danos às culturas. As amostras de água se enquadram como de salinidade média, em relação ao risco de sodificação do solo. Dos macronutrientes essenciais ao crescimento da cultura presentes na água residuária, podemos destacar o nitrogênio amônio com concentração máxima de 38,75 mg.L<sup>-1</sup>, fosfatos com 5,95 mg.L<sup>-1</sup> e o potássio com 12,0 mg.L<sup>-1</sup>. Em relação a presença de coliformes totais e *Escherichia coli*, observou-se que no gotejamento subterrâneo e superficial, não houve risco de contaminação nas folhas da alface, podendo esta técnica ser utilizada para aplicação de água residuária tratada com leitos cultivados de macrófitas. A aspersão ao contrário, mostrou contaminação acima dos limites permissíveis pela legislação vigente (10<sup>2</sup> NMP de coliformes fecais por 100 mL). Dos parâmetros analisados no solo, o sódio foi o que apresentou maior incremento na composição em relação aos índices iniciais. Os elementos químicos, fósforo, manganês, magnésio e enxofre, mostraram elevação de sua concentração no meio do ciclo, diminuindo até o final do ciclo, atribuindo-se a elevação devido a aplicação de água residuária

e a diminuição principalmente ao consumo pelas plantas. O uso de água residuária tratada com leitos de macrófitas, provocou maior entupimento dos gotejadores que a água de fonte hídrica superficial, mostrando haver a necessidade de um melhor tratamento da água residuária, principalmente no que se refere a presença de microrganismos, tanto para a aspersão, como para a irrigação por gotejamento. No gotejamento subterrâneo utilizando água residuária, observou-se redução média de vazão durante os dois ciclos de 8,1%, enquanto que no gotejamento superficial a redução foi de 5,9%. Utilizando água do depósito de fonte hídrica superficial, a redução de vazão média foi de 2,5% no gotejamento subterrâneo e de 1,1% no gotejamento superficial. A uniformidade de emissão, utilizando água residuária e gotejamento subterrâneo, diminuiu de 98,7% no início do 1º ciclo para 90,8% no final do 2º ciclo, já no gotejamento superficial a redução foi de 98,7% para 94,9%, enquanto que utilizando água do depósito, a redução foi de 99,0% para 98,0% no gotejamento subterrâneo e de 98,6% para 98,3% no gotejamento superficial. A produtividade da alface foi mais elevada no 2º ciclo, utilizando água residuária, nos sistemas de irrigação por gotejamento subterrâneo com 4,8 ton.ha<sup>-1</sup> e no superficial com 4,5 ton.ha<sup>-1</sup>, enquanto que utilizando água do depósito, para estes mesmos sistemas de irrigação, a produção foi de 3,0 e 3,3 ton.ha<sup>-1</sup>, respectivamente, mostrando que a produtividade da alface, esteve associada a presença de nutrientes na água. A concentração da maioria dos elementos químicos analisados nas folhas da alface, foi considerada normal e adequado, estando dentro dos padrões normais de plantas bem nutridas, não sendo afetada pela qualidade da água, com exceção ao sódio, que apresentou valores acima de 685,0 mg.kg<sup>-1</sup> nos tratamentos irrigados com água residuária, enquanto que na água do depósito foi cerca de 106,0 mg.kg<sup>-1</sup>, mostrando que a água residuária influenciou significativamente no acúmulo deste íon na planta. Os resultados obtidos demonstram a possibilidade do uso de água residuária, como fonte de nutrientes para as plantas, substituindo ou diminuindo as adubações com fertilizantes químicos comerciais e reduzindo os custos de produção.

## ABSTRACT

The objective of this work was to study the use of wastewater treated with wetlands and compared to ponded water, applied in the irrigation of the lettuce (*Lactuca sativa* L.), c.v. “Elisa”, using sprinkler, drip subsurface and surface irrigation systems. The experiment was carried out in the Experimental Field of the Agricultural Engineering Faculty of the State University of Campinas. The experiment were evaluated during two cycles of the lettuce crop, being the first cycle from 08/06 to 23/07/02 and the second cycle from 17/08 to 03/10/2002. The following parameter were analyzed: contamination of the lettuce by total coliforms and *Escherichia coli*, degree of drippers clogging, alterations in the chemical composition of the soil and its solution. The analysis of the plant growth parameters, productivity and chemical composition of the aerial part of the lettuce were also evaluated. The drip flow evaluations were done before the first crop, after the first cycle and at the end of the second cycle. Chemical analyses of the soil and quality of the water were measured in the beginning, half and end of each cycle. The wastewater showed low values of electric conductivity and sodium absorption ratio, which indicated low risk of soil salinization and the damages to the crop unlikely. The wastewater showed following maximum values for the macroelements: nitrogen ammonia equal to 38,75 mg.L<sup>-1</sup>, phosphates equal to 5,95 mg.L<sup>-1</sup> and potassium equal to 12,0 mg.L<sup>-1</sup>. In relation to crop contamination to total coliforms and *Escherichia coli*, it was observed that the subsurface and surface drip irrigation, did not showed risk of contamination, made it feasible the use these techniques to apply wastewater treated with wetlands. On the other hand, the sprinkler irrigation showed contamination above the allowable legal limits (10<sup>2</sup> fecal coliformes.100 mL<sup>-1</sup>). From the soil parameters analyzed, the sodium presented high increment in the composition related to the initial values. The chemical elements, phosphorus, manganese, magnesium and sulfur, showed concentration elevations in the middle of the cycle, decreasing at the end. The elevation occurred due to the application of wastewater and the decreasing due to the consumption of the plants. The use of wastewater treated with wetlands, caused dripper cloggings higher then the ponded water, which recommended better biological treatment for the wastewater condition. In the subsurface irrigation using wastewater, the average flow reduction was 8,1% during the trial, while in the surface system the reduction was 5,9%. Using the surface deposit water, the average flow reduction was 2,5% for subsurface irrigation and 1,1% for the surface irrigation. The emission uniformity using

wastewater and irrigation subsurface, decreased from 98,7% in the beginning of the first cycle to 90,8% in the end of the second cycle, while in the surface irrigation the reduction varied from 98,7% to 94,9%. A lettuce high yield was verified in the second cycle, using surface drip irrigation (4,5 ton.ha<sup>-1</sup>) and the subsurface drip irrigation (4,8 ton.ha<sup>-1</sup>) using wastewater, showing that the presence of nutrients in that water affected positively in the crop development. The concentration of the chemical elements in the lettuce plant was considered normal and appropriate, being well fitted in the plants nurtured standards, and not being affected by the quality of irrigation water, with exception of the sodium, which presented values above 685,0 mg.kg<sup>-1</sup>, while in the ponded water was around to 106 mg.kg<sup>-1</sup>. The obtained results demonstrated the possibility to use wastewater as a source of nutrients for plants, substituting or reducing the application of commercial fertilizers and reducing the cost production.

## 1. INTRODUÇÃO

O volume e qualidade de água existente na natureza vem diminuindo gradativamente, decorrente principalmente da urbanização, expansão da agricultura, indústria e degradação do meio ambiente. Estas mudanças resultaram na escassez de água em várias regiões do mundo, dificultando o atendimento aos múltiplos usos a que se destina. Uma das alternativas para amenizar este problema em muitas regiões, tem sido considerar o uso de águas de qualidade inferior para os mais variados setores da sociedade, como por exemplo, a aplicação de águas residuárias para a agricultura e indústria.

A irrigação de culturas com água residuária foi introduzida inicialmente em propriedades rurais na Europa, América do Norte e Austrália, tornando-se popular em fins do século XIX e início do século XX. Porém com o desenvolvimento de modernos sistemas de tratamento das águas residuárias e da preocupação com a contaminação por microrganismos, houve significativa redução do uso destas águas para fins de irrigação, tornando-se menos popular e praticamente desaparecendo por completo logo após a Primeira Guerra Mundial (STEIN & SCHWARTZBROD, 1990).

Nas duas últimas décadas, houve um aumento na retomada desta prática, tanto em países industrializados como em desenvolvimento, devido a fatores como a escassez de água, especialmente em zonas áridas, semi-áridas e em regiões subtropicais, onde ocorre elevada concentração populacional e industrial, resultando em maior demanda que oferta de água, reconhecimento da presença de nutrientes no esgoto doméstico, reduzindo as despesas com fertilizantes, custo elevado das estações de tratamentos avançados de efluentes, melhor aceitação socio-cultural e reconhecimento do valor desta prática como responsável pelo planejamento, melhor uso da água e do avanço tecnológico. Novos projetos de disposição e reúso de água residuária são verificados todos os anos em várias regiões do mundo como na China, Oriente Médio e região do Mediterrâneo, América do Sul, Estados Unidos, dentre outros (ANDRADE NETO, 1992 e FRIEDLER *et al.* 1996).

No Brasil, muitas regiões, dentre elas a Região Metropolitana de Campinas (RMC), SP, um dos grandes problemas é a relação do volume de água disponível nos rios e barragens em comparação com o consumo que é cada vez maior, onde os grandes ramos de atividade competem hoje pelos recursos hídricos já escassos. O consumo doméstico desta região com

4,2 milhões de habitantes é de 15 mil L.s<sup>-1</sup> de água, enquanto o uso industrial consome 17 mil L.s<sup>-1</sup> e a irrigação 8 mil L.s<sup>-1</sup>. Em toda a RMC, somente 16% dos esgotos urbanos são tratados, cabendo destacar que no município de Campinas apenas 10% é tratado, sendo o restante despejado nos rios (MARTINS, 2002).

Segundo ANDRADE NETO (1992), com o crescimento populacional e a maior demanda por bens de consumo, necessitou-se produzir mais, superando a capacidade de biodegradação dos elementos poluentes despejados na natureza. Desta forma, os recursos hídricos vem sofrendo interferência em suas propriedades naturais, uma vez que, de uma maneira ou de outra, a área agrícola, em muitas situações acabam por receber os resíduos não reutilizáveis, originados de áreas urbanas, industriais e mesmo agrícolas, tratadas ou não, interferindo de forma acentuada na qualidade da água disponível, podendo contaminar produtos que serão consumidos in natura, principalmente quando irrigados por métodos que provocam o contato direto do produto com a água.

A aplicação de esgotos e efluentes no solo é vista como uma forma efetiva de controle da poluição e uma alternativa viável para aumentar a disponibilidade hídrica, em regiões áridas e semi-áridas, sendo os maiores benefícios desta tecnologia os aspectos econômicos, ambientais e de saúde pública (MADEIRA *et al.* 2002; PAGANINI, 2003).

O uso racional de águas residuárias, considerando uma política definida, é um importante instrumento para evitar a contaminação das águas superficiais, reduzindo significativamente a contaminação ambiental, doenças de veiculação hídrica, que representam 65% das internações no Brasil, como também melhora a qualidade de vida da população (SOUSA *et al.* 1999).

A preocupação com a saúde pública e com o ambiente, cresceu acentuadamente nos últimos anos, requerendo aprimoramento dos sistemas de tratamento de esgotos sanitários, permitindo a reutilização das águas para a irrigação após devido tratamento, como uma forma econômica e produtiva no destino final dos mesmos. Desta forma, o uso de esgotos sanitários e efluentes tratados na irrigação, deve ser prática adotada permanentemente em muitas regiões do Brasil e do mundo. Cuidados especiais devem ser observados, tais como fatores e medidas adequados ao tratamento, culturas e métodos de irrigação empregados.

Os estudos quanto ao uso esgotos aplicado ao solo, no sentido de reaproveitar a matéria orgânica e os nutrientes contidos nela, cresceu acentuadamente no Brasil nos últimos

anos, no entanto, o uso de água residuária tratada ainda é reduzido, necessitando-se definir com clareza os efeitos sobre o solo, água, planta e sistemas de irrigação, analisando aspectos positivos e negativos da utilização destas sobre a saúde humana, animal e ambiente, em função do tratamento e forma de aplicação ao solo.

O uso agrícola de efluentes tratados tem como principais metas promover agricultura sustentável, incentivar a economia das águas superficiais não poluídas e manter a qualidade ambiental. Pode também diminuir os custos de tratamento devido a atuação do solo como uma forma de tratamento, servir para as plantas como fonte de nutriente e reduzir custos com fertilizantes químicos comerciais, sendo esta, uma prática que deve ser adotada permanentemente, principalmente em regiões áridas, semi-áridas e em locais onde a oferta é menor que a demanda, permitindo que águas de melhor qualidade sejam destinadas para usos prioritários como o abastecimento público.

Diante do exposto, fica evidente a necessidade de estudos sobre o uso de água residuária, para entendimento das técnicas de tratamento dos esgotos, manejo adequado, utilização segura e controlada para fins agrícolas, benefícios e maléficis ao sistema solo-água-planta e importância sobre o controle da disponibilidade dos recursos hídricos em termos qualitativos e quantitativos.

## 2. OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo levantar informações técnico-científicas, por meio de ensaio de campo que permitam conhecer os efeitos benéficos e prejudiciais da água residuária tratada com leitos cultivados com macrófitas e água do depósito de fonte hídrica superficial na irrigação da cultura da alface, por meio da utilização dos sistemas de irrigação por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial, considerando-se os seguintes aspectos:

- Qualidade física, química e biológica da água residuária e do depósito utilizada na irrigação;
- Contaminação da alface por coliformes totais, *Escherichia coli* e *Salmonella spp.*
- Alteração na composição química do solo e solução do solo;
- Entupimento dos emissores nos sistemas de irrigação por gotejamento subterrâneo e superficial e coeficientes de uniformidade de distribuição da lâmina de água na superfície e redistribuição no interior do solo;
- Análise dos parâmetros de crescimento, produtividade e composição química das folhas da alface.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. A escassez e o uso de água residuária na agricultura**

O crescimento e entendimento da aplicação de esgotos sanitários ao solo através da irrigação, ocorreu principalmente devido ao avanço tecnológico, evolução das técnicas agrícolas, manejo do solo e métodos de irrigação, conhecimento dos aspectos físicos, químicos e microbiológico dos esgotos tratados ou não tratados, considerando os aspectos de saúde pública e contaminação do sistema solo-água-planta.

Vários fatores vieram contribuir para que nos últimos anos, o interesse pela irrigação com efluentes fosse praticado e incentivado, dentre eles está a escassez de recursos hídricos, avanço do conhecimento técnico-científico em relação ao potencial que representa o reúso de esgotos, as limitações do reúso agrícola e também pelas suas inegáveis vantagens como controle da poluição ambiental, economia de água e fertilizantes, reciclagem de nutrientes e aumento da produção agrícola. Além disso, o interesse pelo reúso planejado, ou seja, seguro do ponto de vista de contaminação e controlado do ponto de vista agrícola, surgiu do próprio reconhecimento da importância do controle da utilização de esgotos na agricultura, com o objetivo de impedir o uso sem critério definido (BASTOS, 1999).

No início do século XX, com o desenvolvimento de modernos sistemas de tratamento de água residuária e da preocupação com a contaminação por microrganismos, houve significativa redução do uso de água residuária para fins de irrigação (AYRES, 1977; STEIN & SCHWARTZBROD, 1990).

Porém, o uso de água residuária para a irrigação, principalmente nas últimas três décadas tem crescido acentuadamente. Em Israel, em 1985, os efluentes de sistemas de tratamento de esgotos já representavam cerca de 7% das águas de irrigação e as previsões para o ano 2000 indicavam que este valor seria de 25% (VARGAS, 1990). Já segundo SHELEF (1991), por volta de 2010, os esgotos sanitários tratados responderão por quase 30% de toda a água disponibilizada para a agricultura naquele país.

Para as próximas quatro décadas, os efluentes de esgotos tratados, podem tornar-se a principal fonte de água para a irrigação em Israel. Da quantidade total de água a ser utilizada na irrigação no ano 2040 em Israel e Palestina, 70% deverá ser de água residuária tratada,

representando cerca de 1 milhão de m<sup>3</sup>, tornando-se uma prática dominante na agricultura sustentável (MAMEDOV *et al.* 2001).

Com base na disponibilidade de 1000 m<sup>3</sup> de água renovável por pessoa/ano, existem projeções que antecipam a escassez de água em diversos países do mundo, entre 1955 a 2025: Países como Malta, Djibuti, Barbados, Cingapura, Kuwait e Jordânia, enfrentam a escassez de água desde 1955. A partir de 1990, outros países se juntaram a lista anterior, entre eles estão Qatar, Arábia Saudita, Emirados Árabes Unidos, Iêmen, Israel, Tunísia, Cabo Verde, Quênia, Burundi, Argélia, Ruanda e Somália. A partir de 2025 a previsão é que outros países serão adicionados aos anteriores sob todas as projeções de crescimento populacional das Nações Unidas, como a Líbia, Omã, Marrocos, Egito, Camarões, África do Sul, Síria, Irã, Etiópia e Haiti (SANTOS & MANCUSO, 2003).

Segundo BASTOS (1999), entre os vários exemplos de tratamento de esgotos por disposição do mesmo ao solo, um dos mais significativos é o da cidade de Melbourne, Austrália, onde um sistema encontra-se em operação desde 1897, onde recebe a contribuição de 510 milhões de litros de água residuária por dia e ocupando uma área de 10.850 ha. Outras experiências como da cidade do México, onde cerca de 45 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> de esgotos sanitários, combinados com 10 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> de água pluviais, são utilizados em uma área de 80.000 ha, organizados em perímetros irrigados e “abastecidos” por um complexo sistema de canais e reservatórios ao longo de 60 km.

No Brasil a agência nacional de água – ANA, criou uma equipe de estudos para desenvolver um programa nacional de reúso da água, como uma das soluções para diminuir a coleta dos mananciais e prolongar a reserva hídrica dos rios. O estudo da ANA, cujo projeto foi aprovado pelo Congresso em junho de 2000, reflete uma mentalidade avançada do país quanto à busca do uso sustentável dos recursos hídricos. Mas o órgão, que entre outras atribuições é também responsável pela promoção do reúso no Brasil, ainda não despertou “energicamente” para o tema. Na prática, a ANA não tem feito muita coisa em relação ao reúso (HESPANHOL, 2003b).

Além da necessidade de desenvolver uma cultura e uma política de conservação de água em todos os setores da sociedade, o reúso consciente e planejado de águas de baixa qualidade, dentre elas as águas de drenagem agrícola, águas salobras, águas de chuva e principalmente esgotos domésticos e industriais, constitui o mais moderno e eficaz

instrumento de gestão, para garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos no Brasil (HESPANHOL, 2003a).

A água residuária muitas vezes tem sido considerada como um problema de poluição (JIMÉNEZ-CISNEROS, 1995). Entretanto, experiências realizadas no México, mostram que ela pode se constituir num caminho para aumento da produtividade das culturas. Este fato foi demonstrado pelo uso de água residuária, constituída de uma mistura de descarga doméstica, industrial e de chuva, para a irrigação de uma área de 8500 ha. Para tanto, a água aplicada sofreu um tratamento primário avançado, empregando-se doses de cloreto férrico ( $50 \text{ mg.L}^{-1}$ ), alumínio ( $110 \text{ mg.L}^{-1}$ ) ou hidróxido de cálcio ( $250 \text{ mg.L}^{-1}$ ). Com este processo, as características necessárias (organismos patogênicos e metais) da água reutilizada não provocaram efeitos negativos e a produtividade das plantas mostrou melhores níveis e diminuindo os riscos de contaminação.

Para ARMON *et al.* (1994), a irrigação de culturas sem controle com efluentes pode se tornar um dos principais problemas de saúde pública. Um estudo feito por estes autores, utilizando a irrigação por aspersão para as culturas de alface, couve, cebola, cenoura, rabanete e tomate, com dois tipos de efluentes, mostrou uma clara correlação entre a qualidade do efluente e o grau de contaminação nos vegetais irrigados com efluentes altamente contaminados por coliformes fecais e *Salmonella spp.*

Em geral, os esgotos sanitários apresentam teores de macro e micronutrientes suficientes para o atendimento da demanda da maioria das culturas. Desta forma, o uso de água de esgoto domiciliar pode apresentar  $200\text{-}400 \text{ mg.L}^{-1}$  de sais (BOUWER, 1992) e  $300 \text{ mg.L}^{-1}$  de sólidos dissolvidos inorgânicos (EVANS *et al.* 1991).

MONTE *et al.* (1992), avaliaram a aplicação do efluente final de água residuária doméstica tratada com lagoa facultativa, comparada com água potável misturada com fertilizante comercial para a irrigação das culturas de milho, sorgo e girassol, utilizando a irrigação por gotejamento e sulcos. Concluíram que houve aumento na produção com uso de efluente, onde economizaram cerca de  $140 \text{ kg.ha}^{-1}$  de nitrogênio e  $110 \text{ kg.ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ . Quanto aos efeitos de contaminação na cultura, verificaram que não houve presença de coliformes fecais, porém, análises mais detalhadas devem ser realizadas.

A utilização de efluente secundário municipal por meio da irrigação por gotejamento no tomate, pimenta, cebola, pepino, feijão e melão, foi estudado por NEILSEN *et al.* (1989),

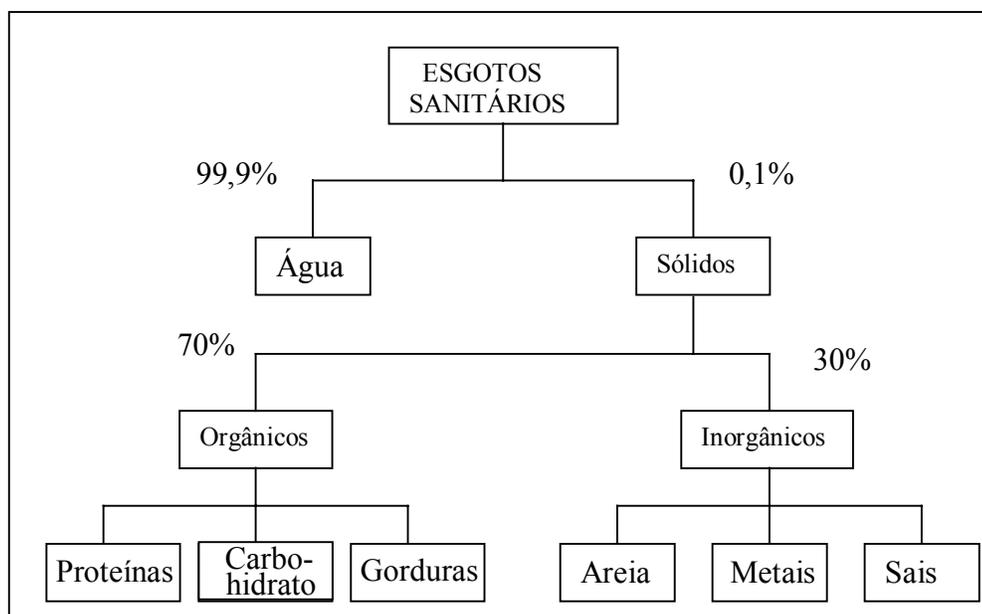
concluindo que a produção foi maior ou semelhante a obtida com água superficial. Quanto aos parâmetros químicos na planta, observaram que a irrigação com efluente, resultou em diminuição de zinco, aumento de fósforo e resultados variáveis para os outros nutrientes estudados. Verificaram ainda, que após 4 anos de irrigação, o conteúdo de sódio nos primeiros 0,30 m de solo, não foi prejudicial para as culturas. As maiores diferenças de produção entre os tratamentos, ocorreram nos dois primeiros anos, mostrando que as diferenças diminuem com o passar do tempo. Na camada de 0,00-0,15 m, após 4 anos de irrigação, o solo apresentou menor valor de cálcio trocável e maior de magnésio não trocável e uma grande mudança na concentração de sódio trocável utilizando efluente, quando comparada ao solo irrigado com água superficial. A condutividade elétrica não foi afetada, entretanto, a longo tempo de uso de efluentes, requererá monitoramento do balanço de cátions no solo, restringindo a solubilidade de muitos micronutrientes, incluindo o zinco. Na camada de 0,15-0,30 m as concentrações de sódio também foram maiores aplicando efluente. O teor de nitrogênio não teve muita regularidade entre as amostras analisadas, não sendo afetado pelo tipo de água, enquanto que o fósforo apresentou aumento da concentração devido a presença de derivados de detergentes nos efluentes utilizados.

Utilizando água residuária para irrigação BUREAU (1987), encontrou teores consideravelmente elevados de nitrogênio, fósforo e potássio, quando presentes na água. O mesmo ocorreu com o sódio e cloro no solo irrigado com água residuária, onde os altos níveis de sódio nos efluentes refletiram geralmente em altos valores de razão de absorção de sódio. Águas que contém altos valores de sódio e baixo em sais totais podem diminuir a permeabilidade do solo devido a dispersão e expansão da argila.

DOTTO (1994), elaborou índices de qualidade de água para irrigação, considerando os parâmetros indicadores como os biológicos, físicos e químicos, aplicando uma análise multicriterial, com a intenção de priorizar aqueles elementos que poderiam representar um fator limitante no planejamento agrícola. Os resultados mostram que a utilização destes índices, provocam elevada degradação da qualidade da água devido às cargas totais urbanas, industriais e agro-industriais sobre a agricultura.

Analisando a FIGURA 1, poderíamos concluir pela insignificância dos impactos ambientais advindos da disposição final de esgotos não tratados, ou pela inexistência de problemas decorrentes da utilização agrícola, por ser representado em maior proporção por

material orgânico. Entretanto, uma análise mais detalhada da composição dos esgotos sanitários revela, simultaneamente, os seus potenciais e limitações para utilização na agricultura.



Fonte: Bastos (1999), p.282

Figura 1. Composição dos esgotos sanitários.

Desta forma, a irrigação com esgotos sanitários é essencialmente fertirrigação, devendo, portanto, serem observados todos os cuidados inerentes a tal prática, o mesmo valendo para os teores de sódio, razão de absorção de sódio e cloretos.

Longo tempo de uso de efluente na irrigação requer monitoramento do balanço de cátions no solo, como o sódio e também do pH, que são geralmente altos, restringindo a solubilidade de muitos nutrientes, incluindo o zinco. Também é necessário verificar a contaminação do lençol freático por nutrientes ao longo do tempo, especialmente os facilmente lixiviáveis como o nitrogênio nitrato ( $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ).

O uso de água residuária de forma irrestrita às culturas é motivo de risco a saúde pública pela grande variedade de patógenos, incluindo bactérias, vírus, cistos de protozoários e ovos de helmintos. Quando utilizada a irrigação, esta pode ocasionar vários problemas para a planta, para o solo e o próprio sistema de irrigação. Assim, é importante conhecer os potenciais problemas e a qualidade da água que se está utilizando, buscando adequá-la às funções que se deseja na propriedade agrícola.

### 3.1.1. Tratamento de água residuária para irrigação

A decisão correta de como tratar as águas residuárias, deve levar em consideração os níveis de purificação desejado à uma determinada aplicação agrícola. Vários aspectos devem ser considerados, incluindo riscos de contaminação do lençol freático pela percolação de nutrientes pelo perfil do solo e riscos a saúde pública, ou mesmo efeitos benéficos do uso de água residuária na irrigação agrícola, como diminuição dos custos com fertilizantes, dos impactos ambientais e recarga de aquíferos (HARUVY, 1996).

O tratamento de esgotos ou de seus efluentes pela disposição no solo compreende processos físicos, químicos e biológicos que precisam ser caracterizados, utilizando estudos técnicos-sanitários que evidenciem as modificações que ocorrem no solo, na água de irrigação e na cultura irrigada (ARAÚJO *et al.* 1999).

Vários métodos de tratamento de água residuária podem ser utilizados, sendo um destes, a associação de tanque séptico modificado com leito cultivado com macrófitas. Estudos mostram que embora a remoção de matéria orgânica tenha se mostrado eficiente com este método, a presença de microrganismos é elevada, necessitando desta forma, estudos mais detalhados quanto ao efeito no sistema solo-água-plantas, antes de serem adotados com plena confiança, sob variadas condições climáticas, desenvolvimento de culturas, qualidade dos efluentes e método de irrigação (SANDRI *et al.* 2000).

ROSTON (1994), avaliou o afluente e o efluente de leitos cultivados e não cultivados durante seis meses, obtendo, para os cultivados, redução da DBO<sub>5</sub> de 165 para 13 mg.L<sup>-1</sup>, ou seja, 92%, NTK de 38 para 10 mg.L<sup>-1</sup>, redução de 74% e dos coliformes fecais de 5x10<sup>5</sup> para 3x10<sup>4</sup> NMP/100 mL, redução de 94%, concluindo que o sistema tanque séptico modificado seguido de leitos cultivados com macrófitas, de vazão subsuperficial, é um conjunto eficiente e barato para o tratamento de esgoto doméstico de áreas rurais e de pequenas comunidades.

Segundo VALENTIM & ROSTON (1998), ainda há falta de estudos científicos, principalmente na área agrícola, onde ocorre com frequência a contaminação do solo, da água de superfície e subterrâneas, decorrentes do não tratamento de águas residuárias domiciliares e água gerada por atividade zootécnica, agravando-se ainda mais a situação pela falta de recurso financeiro, baixa instrução dos agricultores e falta de informações sobre a importância e gravidade da situação. Assim, é necessário tratar as águas residuárias, de forma simples e barata, utilizando materiais de fácil aquisição e construção, mão-de-obra não especializada, procurando após tratada, utilizar esta água para fins de irrigação.

De acordo com PAGANINI (2003), as lagoas de estabilização são os sistemas de tratamento de esgotos sanitários e de efluentes mais eficientes, em termos de remoção de

microrganismos patogênicos e de nutrientes eutrofizantes. Dependendo da disponibilidade de área, a disposição no solo dos efluentes dessas unidades é uma opção adequada à realidade de grande parte do território brasileiro.

De acordo com SOUSA *et al.* (1999), os sistemas de tratamento de esgotos (lodos ativados, lagoas de estabilização e digestão anaeróbia) realizam os processos de tratamento com os mesmos microrganismos presentes na água e no solo. Um trabalho realizado com o tratamento de esgoto decantado, num filtro lento de areia, em escala piloto e sob condições anaeróbias, visando sua utilização para a irrigação de culturas regionais, mostrou resultados animadores, onde durante os 100 primeiros dias de operação do filtro, ocorreram cerca de 65% e 75% de remoção de sólidos voláteis e matéria orgânica, respectivamente, sendo que o efluente tinha 104 coliformes fecais.100 mL<sup>-1</sup>.

A seleção da tecnologia apropriada para tratamento de esgotos municipais não depende unicamente de sua qualidade, mas também da análise dos efeitos que podem ser gerados em função de necessidade agrícola e ambiental (FRIEDLER *et al.* 1996).

A água residuária contém alta concentração de microrganismos, que sempre que possível devem ser eliminados ou pelo menos reduzidos ao máximo, porém, (KIRKHAM, 1986), relata que o cloro usado na desinfecção desta água, pode ser problemático se usado indiscriminadamente e em altas concentrações. Algumas culturas podem apresentar injúrias quando o cloro residual em água residuária é maior que 10 mg.L<sup>-1</sup>

A aplicação de esgoto bruto ou com um mínimo de tratamento na agricultura, sem critério técnico, tem sido a prática utilizada. Porém, com a necessidade de aplicar esta água, visando a racionalidade da mesma, controle dos efeitos poluidores sobre o meio ambiente e sobre a saúde pública, maior atenção tem sido dada a grau de tratamento, de forma que atenda não somente os fatores acima citados, mas se enquadre no sistema de irrigação utilizado para aplicação desta água, sem que ocorra danos ao mesmo e que a aplicação seja feita com a máxima eficiência possível.

A preocupação com a saúde pública e com o meio ambiente cresceu acentuadamente nos últimos anos, requerendo necessariamente aprimoramento dos sistemas de tratamento de esgotos sanitários. Desta forma, permitir a reutilização das águas residuárias para a irrigação depois de devido tratamento, como uma forma econômica e produtiva no destino final dos mesmos, mostrando que a necessidade do uso de esgotos sanitários e efluentes para a irrigação, deverá ser uma constante nas mais variadas regiões do Brasil e do mundo.

### 3.1.2. Característica físico-química da água residuária e efeitos sobre as plantas

A qualidade específica da água é definida para os vários usuários como o industrial, urbano, agrícola, etc. Os requisitos de qualidade de água, estão relacionados às características biológicas, físicas e químicas, que dependendo da composição destes, poderá haver impacto prejudicial ao solo, regime hídrico, desenvolvimento das plantas, desempenho dos equipamentos de irrigação e danos a saúde pública (DOTTO, 1994).

De modo geral, as características que determinam a qualidade da água para irrigação, devem ser analisadas em relação a cinco parâmetros básicos: 1) concentração total de sais (salinidade); 2) proporção relativa de sódio; 3) concentração de elementos tóxicos; 4) concentração de bicarbonatos e 5) aspectos sanitários (BERTONE, 1986).

Os poluentes mais importantes dos esgotos municipais são a matéria orgânica biodegradável, nutrientes, patógenos, sais (cloreto e sódio), metais pesados e xenobióticos. A possibilidade do uso de água residuária tratada para irrigação, tem importância quanto ao requerimento da qualidade sanitária, agrotécnica e ambiental (FRIEDLER *et al.* 1996). Normalmente as características físicas avaliadas são o odor, cor, temperatura e conteúdo de sólidos totais presentes, sendo este último o mais importante para fins de aplicação agrícola. Em geral, estes parâmetros não apresentam contradições à sua utilização na irrigação, onde pode ser viabilizado seu uso por meio de sistemas de tratamento adequados, normalmente físicos, como a utilização de filtração.

Uma das características químicas a ser avaliada é a reação entre os principais cátions do esgoto, como cálcio, magnésio, sódio e potássio. Esta relação é usualmente medida pela razão de absorção de sódio. Quando a relação de sódio com outros cátions, principalmente cálcio e magnésio, é muito elevada (maior que 26), o sódio tende a substituir os íons de cálcio e magnésio nas partículas de solo, diminuindo sua permeabilidade (ANDRADE NETO, 1992).

Um efluente com tratamento secundário tem uma RAS em geral de 2,7, onde somente ocorrem efeitos negativos de sódio na irrigação, para valores maiores de 10 (efeito médio), 18 (efeito negativo alto) e 26 (muito alto) (MELO, 1978). Ainda segundo este autor, para o caso da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) na faixa de 50 a 70 mg de O<sub>2</sub>/L podem ser aplicados ao solo sem causar problemas.

O valor crítico de RAS na solução do solo é aproximadamente 13 e o valor desejável é de 9 (SCALOPPI & BAPTISTELA, 1986)

Segundo BUREAU *et al.* (1987) os metais pesados normalmente não aparecem em águas residuárias, a menos que estas tenham a contribuição de resíduos industriais. Estudos

realizado por estes autores, analisando a concentração de cádmio, zinco, ferro, manganês, cobre, níquel, cobalto, cromo e chumbo, demonstrando que durante todo o período, a concentração média de metais pesados na água residuária, assim como água de depósito superficial, foi inferior ao máximo permitido para aplicação via água na irrigação.

Na TABELA 1, são apresentados alguns limites para elementos-traço em águas residuárias para uso em irrigação.

Tabela 1. Limites recomendados para elementos-traço em águas residuárias utilizada na irrigação.

Parâmetro	Uso a longo prazo*	Uso a curto prazo**
	mg.L <sup>-1</sup>	
Boro	0,75	2,0
Cobalto	0,05	5,0
Cobre	0,2	5,0
Manganês	5,0	10,0
Molibdênio	0,01	0,05
Zinco	2,0	10,0

Fonte: Adaptação de CROOK (1991)

\* Água utilizada continuamente em todo o solo

\*\* Água utilizada por período acima de 20 anos em solos de textura fina, neutros ou alcalinas

Os nutrientes presentes na água de irrigação quando em excesso podem comprometer o rendimento das culturas. De acordo com Lorenz & Maynard *apud* TRANI (2001), para a alface, o limite da condutividade elétrica é de 1,3 dS.m<sup>-1</sup> (832 mg de sais), acima do qual ocorrerão, no mínimo, 13% de perdas na produção por unidade de acréscimo

Para o íon de sódio em excesso, TAVEIRA (1997) ressalta que ocorre efeitos nas plantas mais lentamente que os íons de cloreto, devido à capacidade de restringimento pelas raízes a absorção do íon sódio. Relatou ainda, problemas de excesso de sódio (65 mg.L<sup>-1</sup> de Na<sup>+</sup>) na água de poço semi-artesiano em Rio Claro, SP, afirmando que o limite máximo estaria em 50 mg.L<sup>-1</sup> de Na<sup>+</sup>. Assim, o autor sugere a adição de cálcio e de magnésio na água de irrigação para diminuir a absorção de sódio pela planta. Quanto a salinidade no solo ou substrato, a faixa de 1,80 a 2,23 dS.m<sup>-1</sup> é ligeiramente alta para a maioria das plantas, somente aceitável para espécies muito vigorosas. Esses níveis são determinados em uma relação solo/substrato:água destilada de 1:2.

A alta concentração de boro é encontrados em efluente doméstico, normalmente entre 0,5 a 1,0 mg.L<sup>-1</sup>, podendo ser atribuído ao uso de componentes a base de boro em produtos de

limpeza (KIRKHAM, 1986). Este autor analisando água residuária com tratamento secundário em Phoenix nos Estados Unidos, encontrou concentração de  $\text{NH}_4^+$  entre 10 e 35  $\text{mg.L}^{-1}$  (100 a 350  $\text{kg.ha}^{-1}$ ) de nitrogênio, quantidade esta suficiente para a maioria das culturas.

Na TABELA 2, são apresentados alguns parâmetros para a avaliação da qualidade da água de irrigação para hortaliças. Estes parâmetros referem-se aos níveis críticos acima dos quais poderão ocorrer danos ao desenvolvimento das plantas, possibilitando a formação de resíduos, causando problemas nos sistemas de irrigação utilizados, ou ainda possibilidade de reações químicas, afetando a disponibilidade de elementos minerais, dentre outras consequências. Para a alface, Lorenz & Maynard *apud* TRANI (2001), consideram que a mesma apresenta tolerância de 2 a 4  $\text{mg.L}^{-1}$  de boro na água de irrigação.

Tabela 2. Faixas de valores máximos (níveis críticos) de diferentes parâmetros na água de irrigação de hortaliças.

Parâmetro <sup>1</sup>	Valores máximos	Parâmetro <sup>1</sup>	Valores máximos	Parâmetro <sup>1</sup>	Valores máximos
pH	7,0 - 7,5	RAS <sup>4</sup>	3 - 6	Fe	0,2 - 4,0
Bicarbonatos	40 - 160	N total	5 - 20	Mn	0,2 - 2,0
CE <sup>2</sup>	0,5 - 1,5	$\text{NO}_3^-$ - N	5 - 10	Cu	0,2 - 1,0
TDS <sup>3</sup>	325 - 832	$\text{NH}_4^+$ - N	0,5 - 5	Zn	1,0 - 5,0
Na	50 - 70	K	5 - 100	B	0,5 - 1,0
Ca	100 - 200	P	30	Al	5
Mg	50 - 150	Cl	70 - 100	Mo	0,01 - 0,1

Fonte: Adaptado de Cabral & Cunha (1985), Lorenz & Maynard (1988), Gheyi *et al.* (1999), Vieira (2000), Taveira (2000) *apud* TRANI (2001).

<sup>1</sup> Valores em  $\text{mg.L}^{-1}$  (ppm) com exceção do pH, CE e RAS

<sup>2</sup> CE: condutividade elétrica em  $\text{dS.m}^{-1}$  (=  $\text{mS.cm}^{-1}$ ) (relação solo:água de 1:2)

<sup>3</sup> TDS: Sólidos dissolvidos totais

<sup>4</sup> RAS: Relação de absorção de sódio

A análise foliar é uma técnica agrônômica utilizada para avaliar o estado nutricional das plantas, constituindo-se em ferramenta para auxiliar no cálculo da adubação, prevenção ou correção de deficiências ou de toxicidade dos nutrientes. Em geral, as folhas recém-maduras de plantas são amostradas e submetidas à análise química. Os teores adequados de micronutrientes para a alface, como pode ser visualizado na TABELA 3, podem variar, como detectado por vários pesquisadores, devido às diferentes cultivares pesquisadas, época de plantio e colheita, meio de cultivo utilizado (substrato, solução nutritiva, solo), posição da folha amostrada entre outros (TRANI, 2001).

Tabela 3. Teores adequados de macronutrientes e micronutrientes em folhas de alface

Macronutrientes						Fonte
N	P	K	Ca	Mg	S	
g.kg <sup>-1</sup>						
30-50	4-7	50-80	15-25	4-6	1,5-2,5	Trani & Rajj (1997) <sup>1</sup>
Micronutrientes						
mg.kg <sup>-1</sup>						
B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn	
20-60	5-10	80-200	25-150	-	30-60	Sanches <i>et al.</i> (1991) <sup>2</sup>
30-60	7-20	50-150	30-150	0,8-1,4	30-100	Trani & Rajj (1997) <sup>1</sup>
25-60	8-25	50-100	15-250	-	25-250	Jones Jr. <i>et al.</i> (1991) <sup>2</sup>
25-55	10-35	50-100	30-200	1,2-1,7	25-150	Price & Weir; Berry <i>et al.</i> <sup>2</sup>
38	5	55	51	1,5	69	Adams <i>et al.</i> (1986) <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fonte: Amostragem: folhas recém-maduras de 15 plantas, com metade a 2/3 do ciclo

<sup>2</sup> *apud* TRANI (2001) p.497.

O acúmulo de nutrientes e o crescimento da alface é lenta até 30 dias após a emergência, aumentando de forma acelerada após este período. A alface absorve quantidades pequenas de nutrientes se comparada a outras culturas, devido ao seu ciclo curto (varia de acordo com a cultura, espécie e locais de cultivo), porém, é exigente em nutrientes, principalmente na fase final do ciclo, Katayama *apud* FURTADO (2001).

CRUZ *et al.* (2002), estudaram o uso de água residuária durante dois ciclos da cultura da alface, onde verificaram que os tratamentos com frequência de aplicação de água de dois dias, apresentaram aumento de nutrientes no solo durante o 1º ciclo. No 2º ciclo, os teores de macronutrientes variaram de forma lenta, já que não foram adicionados por fertirrigação e a contribuição da água residuária ser baixa, porém os micronutrientes tiveram um decréscimo. Constataram ainda, valores crescentes de nitrogênio nas análises de 0, 30 e 60 dias após o armazenamento da água residuária em um reservatório, justificado pelo aumento de algas no reservatório, que captaram o nitrogênio. Os demais nutrientes analisados tiveram a concentração aumentada, devido a evaporação da água do reservatório, embora todos os nutrientes encontravam-se abaixo da concentração máxima permitida, podendo ser utilizada para a irrigação da alface sem causar danos a cultura.

A absorção radicular do boro do solo independe da temperatura e ocorre normalmente em processo passivo. No caso de absorção pelas folhas pode ser influenciada pela concentração de cálcio, quando aplicada na solução, sendo o excesso extremamente prejudicial e tóxico para as plantas (ADAMS *et al.* 1979). Quanto ao cobre, este aparece mais

fortemente na forma de  $\text{Cu}^{2+}$ , sendo esta a forma também mais adsorvida aos minerais de argila, hidróxido de ferro e à matéria orgânica. Aplicação em excesso de nitrogênio, fósforo e zinco na adubação pode provocar sua carência, da mesma forma que altas concentrações de fósforo e molibdênio prejudicam a absorção pelas plantas.

O manganês é absorvido pelas plantas como  $\text{Mn}^{2+}$ , sendo prejudicado pelas altas concentrações de potássio, cálcio, magnésio, cobre, zinco e sódio MALAVOLTA (1980). Este autor relata ainda que o zinco é absorvido pelo sistema radicular de forma ativa, porém, inibido pelo cobre e pelo ferro, enquanto o magnésio tem efeito de inibir mais facilmente que o cálcio, onde a literatura descreve claramente que a deficiência de zinco é induzido pelo fósforo em altos níveis.

Em se tratando de aplicação de água residuária, a composição química existente, normalmente não causa nenhum tipo de inconveniente, sendo na maioria das vezes benéfico para as culturas, fornecendo quantidade suficiente para atender a demanda da cultura. No entanto, em situações em que a concentração de nutrientes na água residuária é consideravelmente alta assim como o tempo de aplicação e não houver nenhum controle, poderá haver o surgimento de algum problema de toxidez do solo e do lençol freático .

### **3.1.3. Características biológicas e aspectos sanitários de efluentes**

Segundo BASTOS (1999), o entendimento de que a utilização de esgotos para a irrigação envolve riscos a saúde parece ser unânime. Porém, persistem controvérsias quanto à definição dos riscos aceitáveis, isto é, quanto aos padrões de qualidade e graus de tratamento requeridos para a garantia da segurança sanitária.

Estudos realizados em várias partes de mundo, mostraram que os riscos a saúde associada ao uso de água residuária são mínimos e que determinados padrões de restrição de bactérias muitas vezes são muito restritivos. A declaração de Engelberg em 1985 foi uma tentativa de estabelecer as diretrizes para o reaproveitamento de águas residuária para a irrigação de culturas comestíveis, campos de esportes e parques públicos. Foi estabelecido como padrão, que o número de nematóides não exceda a 1 ovo viável por litro e que o número de organismos coliformes fecais não exceda ao NMP de 1000 coliformes por 100 mL, como mostra a TABELA 4.

Tabela 4. Padrões microbiológicos de qualidade de água residuária aplicada em agricultura.

Condição de reúso	Grupo exposto	Nemat. Intest.* (ovos.L <sup>-1</sup> )	Colif. fecais** (NMP.100 mL <sup>-1</sup> )	Tratamento de água desejado para atingir a qualidade microbiológica requerida
Irrigação de culturas consumidas cruas, campos de esportes, parques públicos	Operador consumidor e público	≤ 1	≤ 1000	Série de lagoas de estabilização destinadas a aquisição da qualidade microbiológica indicada, ou tratamento equivalente
Irrigação de cereais, culturas industriais, alimentos e pastagens e árvores	Operador	≤ 1	Sem padrão recomendado	Retenção de lagoas de estabilização por 8-10 dias ou remoção de helmintos e coliformes fecais equivalentes
Irrigação localizada em culturas sem exposição de operadores e público	Nenhum	Não aplicável	Não aplicável	Pré-tratamento requerido pelo método de irrigação mas não inferior à sedimentação primária.

Fonte: Organização Mundial da Saúde (1989), *apud* CROOCK (1991)

\* Nematóides intestinais (média aritmética do ovos por litro)

\*\* Coliformes fecais (média geométrica do NMP por 100 mL)

Segundo MELO (1978), o uso de água residuária sem os cuidados e medidas de proteção necessários para controlar ou eliminar a concentração de patógenos, pode acarretar infecções e disseminar doenças. As medidas que dispomos para alcançar estes propósitos são o grau de tratamento do esgoto, a escolha da cultura, adequação do método de irrigação e cuidados pessoais dos envolvidos. O grau de tratamento que o esgoto deve ser submetido em função do tipo de cultura e da técnica de irrigação podem ser vistos na TABELA 5.

Tabela 5. Grau de tratamento dos esgotos necessários em função do tipo de cultura e da técnica de irrigação.

Tipo de cultura	Técnica de irrigação	Grau de tratamento de esgotos visando objetivos sanitários
• Alimentos de consumo humano direto (legumes, verduras, frutas, etc.)	- Aspersão	Exigente
	- Inundação ou canais e sulcos	Exigente
• Campos de esporte e áreas de recreação	- Gotejamento superficial ou subsuperficial	Moderado
	- Aspersão	Moderado
• Cerealíferas ou industriais	- Inundação ou canais e sulcos	Baixo
	- Gotejamento superficial ou subsuperficial	Nenhum
• Árvores (bosques, reflorestamento, etc.)	- Aspersão	Baixo
	- Inundação ou canais e sulcos	Nenhum
	- Gotejamento superficial ou subsuperficial	Nenhum

Fonte: Melo (1978)

Os contaminantes em esgotos provenientes de zonas urbanas de maior importância são os biológicos, já que normalmente metais pesados ou outros contaminantes de origem química não estão presentes, exceto quando estes recebem dejetos de indústrias. O risco de contaminação não está relacionado somente a presença de patógenos como os vermes, protozoários, bactérias e vírus, mas depende também da concentração que atinge a área irrigada, latência, persistência e capacidade de multiplicação para atingir e manter a dose infectiva para cada espécie, de forma que possa atingir e infectar uma pessoa (ANDRADE NETO, 1992).

A sobrevivência dos organismos patogênicos pode atingir períodos elevados, sendo que os coliformes podem sobreviver por até 60 dias no solo (HARISON *et al.* 1996). Enquanto que nas folhas de vegetais (MELO, 1978), o tempo de sobrevivência dos mesmo pode atingir 35 dias em condições ambientais favoráveis.

Em condições de reduzida umidade e insolação elevada, a persistência de agentes patogênicos, é consideravelmente inferior aos ambientes úmidos e pouco sujeitos à radiação solar. Alguns tipos de bactérias e vírus não resistem mais que algumas horas ou mesmo minutos, sob condições de clima seco, quente e forte insolação (ANDRADE NETO, 1992).

Ainda segundo este autor, a população de microrganismos em produtos frescos podem variar consideravelmente. O conteúdo pode variar acima de  $10^9 \cdot g^{-1}$  de produto, mas são tipicamente encontrados na faixa de  $10^4 - 10^6 \cdot g^{-1}$  de produto. Uma grande quantidade de fatores são responsáveis por este grau de variação incluindo os fatores ambientais como as condições climáticas, presença e quantidade de animais presentes ou insetos, sendo que danos físicos podem potencialmente influenciar na população de microrganismos.

A avaliação microbiológica de águas residuárias é estabelecida pela presença de coliformes fecais e também bactérias patogênicas, onde alguns destes padrões são estabelecidos por BRASIL - Resolução CONAMA do Conselho Nacional do Meio Ambiente, nº 20 de 18 de junho de 1986, que estabelece a classificação das águas doces, salobras e salinas, do território nacional para as várias aplicações, entre elas a irrigação. Os índices estabelecidos para os coliformes totais e fecais podem ser encontrados na TABELA 6.

Tabela 6. Padrões para coliformes totais e fecais em corpos d'água.

Parâmetro	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Coliformes totais (NMP/100 mL)	1.000	5.000	20.000
Coliformes fecais (NMP/100 mL)	200	1.000	4.000

Fonte: Organização Mundial de Saúde (1995)

Para a irrigação irrestrita de culturas, em que exista risco de contaminação, a OMS - Organização Mundial da Saúde, recomenda os seguintes valores: Coliformes fecais de 1.000/100 mL e ovos de helmintos de 1 por litro. Os valores padrões da OMS para a utilização direta e irrestrita na irrigação, corresponde aos valores do BRASIL para a Classe 2, após a diluição esgoto-receptor.

Os padrões de qualidade microbiológicos recomendados pela OMS, assim como os preconizados por BRASIL - Resolução CONAMA, podem ser atendidos pela adoção de técnicas adequadas de tratamento do esgoto e pela aplicação do conhecimento e domínio que os engenheiros sanitaristas brasileiros possuem sobre o assunto (ANDRADE NETO, 1992).

Dentre os vários gêneros e espécies de microrganismos não patogênicos presentes no intestino humano, aqueles conhecidos como grupo dos coliformes, passaram a ser denominados indicadores da presença de microrganismo patogênicos em águas de abastecimento. As principais razões dessa escolha são as seguintes: 1) aparecem em grande

quantidade nas fezes humanas, 2) são encontrados apenas nas fezes de animais de sangue quente ou homeotermos, 3) do ponto de vista da resistência às condições climáticas, são bastante semelhantes aos microrganismos patogênicos intestinais e 4) sua identificação, do ponto de vista laboratorial, requer técnicas simples e econômicas (OMS, 1995).

Os coliformes fecais representam os membros capazes de fermentar a lactose com produção de gás, em 24 horas a 44,5-45,5 °C. O grupo dos coliformes fecais inclui pelo menos três espécies, *Escherichia*, *Enterobacter* e *Klebsiella*, sendo que as duas últimas indicam cepas de origem não fecal. Por esse motivo, a presença de coliformes fecais em alimentos é menos representativo, como contaminação fecal, do que a enumeração direta de *E. coli*, porém, muito mais representativa, como indicadora de contaminação fecal, que a presença de coliformes totais, dada a alta incidência de *E. coli* dentro do grupo fecal (SILVA *et al.* 2001). Pelo menos 90% dos coliformes fecais, é representado pela *E. coli*, sendo reconhecidamente o melhor indicador de contaminação fecal conhecido até o momento.

Para determinação dos coliformes, vários métodos oficiais podem ser utilizados, dentre eles está o Colilert. Este é um método rápido de determinação dos coliformes totais e *Escherichia coli*, utilizando na metodologia um substrato específico para a ação enzimática dos coliformes totais e outro para a *Escherichia coli*. Possui também antibióticos para inibir o crescimento de outros microrganismos. A ação da enzima b-galactosidade presente nos coliformes age sobre o orto-nitrofinil-b-D-galactopiranosídeo liberando orto-nitrofenil, apresentando coloração amarela (coliformes totais). A enzima b-glucoronidase presente na *Escherichia coli* age sobre o 4-metil-umbeliferil-b-D-glucoronido, liberando 4-metil-umbeliferona que pode ser visto em lâmpada fluorescente em luz ultravioleta (PARK *et al.* 1995).

Estudos realizados por MIRANDA (1995) demonstram que mesmo com altas concentrações de coliformes, é possível a obtenção de alface com quantidades inferiores a 2 coliformes por 100 g.

CRUZ *et al.* (2002), ao analisarem água residuária armazenada em reservatório, constataram que os coliformes fecais, no início de um dos dois ciclos da cultura da alface, a concentração era de  $1,1 \times 10^6 \text{ mL}^{-1}$ . Enquanto que num segundo ciclo da alface, BISCARO *et al.* (2002), verificaram uma concentração de  $1,3 \times 10^6 \text{ mL}^{-1}$ . Após 30 dias de armazenamento e

final de ambos os ciclos da alface, todas as amostras analisadas, tanto de água como as de alface estavam ausentes de coliformes fecais.

Utilizando a irrigação por gotejamento para a aplicação de água residuária SADOVSKI *et al.* (1978), analisaram a contaminação de pepino e beringela, constatando que a presença de coliformes fecais sobre os vegetais irrigados com água residuária foi 38 vezes maior que os vegetais irrigados com água de fonte hídrica superficial. Verificaram ainda que a manipulação agrotécnica do método de gotejamento, assim como o uso de irrigação subterrânea ou cobertura com camada de solo ou lona plástica, sobre as linhas de gotejadores, reduziu a contaminação bacteriológica consideravelmente. A contaminação bacteriológica dos vegetais irrigados com água residuária na primeira fase de crescimento, comparada com água limpa, mostrou que não houve diferença nos níveis de contaminação. Assim, acredita-se que o método de irrigação por gotejamento pode ser considerado viável para a aplicação de água residuária para a irrigação de culturas, estando de acordo com os critérios aceitáveis para evitar danos a saúde pública.

Segundo ADIN *et al.* (1991), a utilização de água residuária tratada, armazenada em reservatórios durante a estação das chuvas, para posterior utilização na irrigação no período de estiagem, é muito praticado em regiões áridas e semi-áridas em Israel e nos Estados Unidos. No entanto, pode ocorrer o desenvolvimento aquático como algas, em que processos físicos e biológicos afetam a qualidade da água, interferindo nas características do efluente do reservatório.

PATERNIANI *et al.* (1992) realizaram estudo para diagnosticar a qualidade da água utilizada na irrigação, manipulação de hortaliças e consumo humano em pequenas propriedades agrícolas do município de Campinas e algumas cidades vizinhas. As análises físicas, químicas e bacteriológicas realizadas, mostraram que nas águas destinadas à irrigação, as concentrações de coliformes fecais estavam acima do limites permissíveis por BRASIL - Resolução CONAMA nº 20 de 1986, indicando que estas águas recebem cargas de esgotos domésticos e/ou de adubação orgânica.

COELHO *et al.* (2001), utilizando uma metodologia rápida (colilert), baseada na tecnologia do substrato definido, para detectar a presença ou ausência de coliformes totais e *E. coli* em alface americana e amostras preparadas pela técnica da lavagem, em amostras preparada e analisadas aos 0, 3, 7 e 10 dias de armazenamento a 4° C. Verificaram que os

coliformes estavam presentes em 100% das amostras analisadas durante todos os dias de armazenamento, enquanto que a *E. coli* esteve presente em 50% das amostras em cada dia de armazenamento. Segundo estes autores, o uso de substrato definido, como uma metodologia qualitativa, indicando presença e ausência de tais microrganismos fornecem resultados com mais segurança e rapidez.

VENKATESWARAN *et al.* (1996), realizaram uma comparação utilizando kits comerciais baseados no substrato definido em comparação com o método padrão para detecção de coliformes fecais e *E. coli*, em um total de 50 amostras de alimento (peixes mariscos, carnes, vegetais entre outros) de vários pontos de comercialização. Retiraram 25 g de produto e misturado com 225 mL de solução de PBS (Phosphate buffered saline) esterilizado e agitado por 1 minuto. Verificaram que o kit de colilert teve bons resultados, com nível de detecção acima de 90% das amostras. No entanto, para análise de vegetais, o colilert não mostrou resultados satisfatórios para a detecção de *E. coli*, em relação aos resultados obtidos com o método padrão USFDA (U. S. Food and Drug Administration). Constataram ainda, que os níveis de detecção com os kits comerciais foram altos (78 a 98%, comparado com os resultados dos métodos padrões (80 a 83%). Entre os kits testados, o colilert teve alto nível de detecção de coliformes totais (98%) e de coliformes fecais (83%). Em resumo, o método do colilert para detecção de coliformes em alimentos tem uma boa correlação com o método padrão usado por USFDA, podendo ser usado para análise de alimentos.

ELMUND *et al.* (1999) avaliaram a presença de *E. coli* pela técnica do substrato definido com uso da cartela QuantiTray 2000 (colilert) comparando esta técnica com o método padrão da membrana filtrante, onde verificaram que o colilert é um método preciso para quantificação de *E. coli* e coliformes totais em água residuária tratada com wetlands artificial e de um riacho, não verificando diferença significativa entre as duas técnicas utilizadas. A cartela QuantiTray (IDEXX Laboratories, Inc), é um método que pode ser utilizado para quantificar o NMP de *E. coli* em efluentes de água residuária e de riacho. Ainda segundo estes autores é necessário distinguir o número de coliformes fecais de *E. coli*, pois este último representa uma substancial proporção da população de coliformes fecais. Encontraram que em efluente de água residuária com uma clarificação primária (uso de filtro) a *E. coli* representou aproximadamente 47% dos coliformes fecais e 9% dos coliformes totais. Depois da desinfecção

com UV, os valores foram de 49% e de 4%, respectivamente. No entanto, caso seja determinado somente a presença de *E. coli*, deve constar no laudo analítico.

No Estado de São Paulo, predominantemente em áreas ao redor dos grandes centros urbanos, são cultivadas várias hortaliças consumidas cruas como a alface, onde um problema sério, é a contaminação com patógenos, como coliformes fecais, nocivos a saúde humana. A contaminação de microrganismos patogênicos em hortaliças é decorrente tanto da qualidade da água como também do uso de lodo de esgoto e de compostos de lixo urbano mal curados (BERTON, 1997). O controle da poluição das águas superficiais, que hoje são utilizadas na irrigação pelos agricultores, por meio da instalação de sistemas de tratamento dos esgotos domésticos e agroindustriais é uma necessidade prioritária, para controle da transmissão de doenças por produtos consumidos crus, que foram irrigados com água contaminada.

#### **3.1.4. Alterações físicas e químicas no solo**

A irrigação com água residuária pode aumentar a produção das culturas, mas por outro lado pode elevar a concentração de metais pesados e o grau de contaminação do solo, plantas e agricultores por patógenos. Os riscos associados ao uso de água residuária pode ser reduzido pelo tratamento eficiente, mas por outro lado, reduz a concentração de material orgânico, fósforo, nitrogênio inorgânico e outros nutrientes benéficos para as culturas. Em se tratando de águas residuárias domésticas, os metais pesados não devem constituir maior problema. De maneira análoga, micronutrientes provavelmente estarão presentes em concentrações abaixo dos tóxicos e acima da demanda nutricional da maioria das culturas. Exceção deve ser dada ao boro, tóxico para diversas culturas e normalmente presente nos esgotos sanitários oriundos da utilização de sabão em pó e outros produtos de limpeza (BASTOS 1999).

JNAD *et al.* (2001a), analisaram as mudanças nas características químicas do solo devido a aplicação de efluente tratado em tanque séptico (tratamento primário) seguido de leitos cultivados com macrófita (tratamento avançado) utilizando o gotejamento subterrâneo como sistema de disposição no solo em quatro locais diferentes, aplicando o volume de 2082 L no local 1 e 1893 L nos locais 2, 3 e 4. Retirou amostras de solo a 0,08 m acima do gotejador, no nível do gotejador, 0,08 e 0,30 m abaixo do gotejador instalado no campo. Para a análise da concentração de Ca, K, Mg, Na e CE, utilizaram o método de extração solo:água de

1:2. Constatou que a aplicação de água residuária resultou em aumento significativo de sódio no solo quando a concentração do mesmo no efluente era alta, e a concentração inicial no solo era baixa. A concentração de P aumentou significativamente próximo do emissor e na superfície do solo, por estar a linha de gotejador instalada a uma profundidade pequena. Não houve uma mudança drástica na concentração de nitrogênio total, Ca, Mg, K, carbono orgânico total e no conteúdo de sais no perfil do solo. Ainda de acordo com estes autores, a aplicação de água residuária utilizando a irrigação por gotejamento subterrâneo é relativamente recente, por isso poucas informações são encontradas sobre o impacto do uso deste tipo de água sobre as propriedades químicas do solo nas vizinhanças do emissor.

A aplicação de água residuária com alta concentração de sódio, elevando seu teor no solo, podendo acarretar expansão e dispersão das partícula de argila, resultando na alteração das características físicas do solo (JNAD *et al.* 2001b).

RAMIREZ-FUNTES *et al.* (2002), encontraram que a oxidação de  $\text{NO}_2^-$  no solo, foi inibida, podendo ter sido causado pelo aumento da salinidade e presença de metais pesados pelo uso de água residuária. A mineralização do nitrogênio foi baixa ou ausente, assim, não corrigiu as perdas de nitrogênio quando a água residuária foi tratada. Desta forma, a aplicação de fertilizantes a base de nitrogênio deverá ser necessária para manter a produção das culturas em níveis adequados. Verificaram ainda que as características do solo, parece não ter sido alterada drasticamente, após vários anos de aplicação de água residuária. No entanto, o uso contínuo deste tipo de água, pode elevar a salinidade e a sodicidade do solo, constituindo em ameaça para a produção das culturas futuramente implantadas.

Os principais problemas causados pela salinização do solo são a redução do potencial osmótico da solução do solo, resultando na diminuição da disponibilidade de água para as plantas e a toxicidade de certos íons às plantas (RHOADES, 1993).

O excesso de sais na solução do solo modifica as atividades metabólicas das células no processo de alongamento celular, limitando a elasticidade da parede da mesma, reduzindo seu alongamento e conseqüentemente o crescimento do planta (BLANCO, 1999).

Ainda segundo o autor acima, normalmente a salinidade em áreas irrigadas, é conseqüência de sua qualidade inadequada, associada ao manejo do sistema solo-água-planta, onde qualquer que seja a fonte, a água utilizada sempre contém sais, embora a quantidade e a qualidade dos mesmos possam variar de local para local.

A tolerância das plantas à salinidade do solo é variável para as diferentes espécies, sendo que as hortaliças, apresentam-se sensíveis à salinidade do solo, sendo o limite da salinidade do solo ( $CE_{es}$ ), acima do qual começa a haver redução na produção para a cenoura, alface, repolho, pepino, tomate e beterraba, que são, respectivamente, 1,0, 1,5, 1,8, 2,5 e 4,0  $dS.m^{-1}$  (MAAS & HOFFMAN, 1977). De modo geral, a produção decresce linearmente com o aumento da salinidade do solo a partir de determinado nível de salinidade, denominado “salinidade limiar”. De acordo com AYRES & WESTCOT (1991), pode-se adotar como critério para a 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 é aquela que permite produzir pelo menos 90% do seu potencial de rendimento.

MEDEIROS (1998) estudou a salinidade do solo (condutividade elétrica no extrato de saturação,  $CE_{es}$ ), estimado a partir da  $CE_{1:2}$  (uma parte de terra fina seca ao ar, para duas de água destilada). Para estimar a  $CE_{es}$  a partir da  $CE_{1:2}$ , estabeleceu uma equação de regressão estimada a partir de medidas da  $CE_{es}$  dos extratos, obtida da pasta de saturação em parte das amostras, obtendo a seguinte equação:  $CE_{es} = 2,837 \times CE_{1:2}$  com  $R^2 = 0,97$ . Esta equação, equiparou-se a equação geral obtidas por MEDEIROS *et al.* (1996) para transformar de  $CE_{1:2}$  em  $CE_{es}$ , em que encontrou um coeficiente de determinação de 0,96 e 0,98, respectivamente, para as misturas de 1:1 e 1:2, concluindo que os métodos de diluição, podem ser usados para monitorar a salinidade do solo.

A condutividade elétrica é aproximadamente proporcional à quantidade de sais da solução, indicando a concentração de constituintes ionizados. A proporção solo:água e o método de preparo, dependem do propósito da determinação e da precisão desejada. Para os casos em que se deseja apenas ter uma idéia da salinidade do solo, pode-se usar uma proporção solo:água de 1:1 (CAMARGO, *et al.* 1986). Conforme relatam estes autores, o procedimento de preparo consiste em adicionar água desionizada na mesma proporção de solo, agitar muito bem manualmente, por trinta segundos, a cada meio hora, durante duas horas, filtrar lentamente e proceder a leitura.

Para relações solo:água de 1:1 ou 1:5, o extrato é obtido facilmente e são muito convenientes para determinações rápidas, particularmente se o volume de amostra é limitado ou quando se faz amostras repetidas para determinar a mudança de salinidade devido ao tempo e aos tratamentos (RICHARDS, 1954).

### **3.1.5. Métodos de aplicação de água residuária via irrigação**

Para a seleção do método de irrigação a ser usado para aplicação de água residuária, além de fatores econômicos, tipo de cultura, natureza do solo e sua topografia, devem ser considerados os riscos para a saúde dos trabalhadores, contaminação da cultura, formação de aerossóis, odores e possíveis danos ao sistema de irrigação.

A irrigação com esgotos brutos ou tratados, pode ser definida como sua descarga controlada sobre o solo, com a finalidade de suportar o crescimento de plantações. Assim, os esgotos são aplicados em solos cobertos por vegetação, com o objetivo de auxiliar a agricultura ou a silvicultura (PAGANINI, 2003).

Em função do risco sanitário, podem-se agrupar os métodos de irrigação em três categorias: irrigação por aspersão; inundação, sulcos e localizada, (ANDRADE NETO, 1992). Já para o U.S. Department of Agricultural (1998), os métodos são divididos em quatro categorias, ou seja, aspersão, gravidade, gotejamento ou microaspersão e irrigação subterrânea.

Algumas considerações com relação a utilização de água residuária, em cada método de irrigação são mostradas a seguir.

Os sistemas de irrigação localizada apresentam, como característica hidráulica básica, a utilização de emissores que operam a baixas vazões, com a passagem da água em orifícios de pequeno diâmetro (0,5 a 1,5 mm). O entupimento de emissores constitui o principal problema associado à operação de tais sistemas. Se os emissores forem obstruídos em curto espaço de tempo, os procedimentos de recuperação elevam os custos de manutenção e podem ainda não ser efetivos, o que normalmente leva o agricultor a abandonar o sistema e a retornar a métodos de irrigação menos eficientes (NAKAYAMA & BUCKS, 1981).

Na irrigação localizada, a água é aplicada em cada planta individualmente, a uma taxa de aplicação ajustável, sendo que normalmente a água é fornecida de forma contínua, mantendo sempre úmida a região radicular e favorecendo a absorção de água pelas plantas. O contato direto com folhas e frutos pode ser evitado e os riscos serão menos elevados (HESPANHOL, 1990).

A aplicação de água residuária para a agricultura, utilizando a irrigação por gotejamento não apresenta nenhuma restrição, no entanto, recomenda-se o tratamento prévio

exigido por este sistema de irrigação, não oferecendo desta forma qualquer riscos sanitários quando tomado os devidos cuidados (WHO, 1989; HESPANHOL, 1990).

Segundo ZOLDOSKE (1999), a irrigação por gotejamento subterrâneo é a aplicação de água utilizando-se de tubulações com emissores enterrados no solo. A irrigação subterrânea permite aplicar quantidades precisas de água diretamente na zona radicular das plantas. Os produtos que são usados hoje em irrigação por gotejamento subterrâneo possuem três formas básicas: fita gotejadora, mangueira perfurada e tubulação porosa.

A irrigação por gotejamento subterrâneo é uma nova tecnologia que vem sendo utilizada em sistemas de tratamento de água residuária como uma alternativa aos sistemas convencionais como é o caso dos sulcos. O gotejamento enterrado prevê melhor controle da taxa de aplicação, assim como, minimiza os riscos de contaminação das águas subterrâneas (JNAD *et al.* 2001a).

A irrigação por sulcos não apresenta grandes problemas, desde que seja respeitado uma adequada frequência de irrigação, pois permite menor contato com a parte aérea da planta. Provoca a saturação de apenas uma parcela da superfície do solo, sendo um sistema de baixo custo de manutenção (HESPANHOL, 1990).

SOLOMON *et al.* (2002), comparando a irrigação por microaspersão e por superfície com água de baixa qualidade, verificaram que a irrigação por superfície reduz grandemente a contaminação das culturas agrícolas, podendo está ser utilizada quando a qualidade da água é questionável quanto a presença elementos microbiológicos.

A irrigação por aspersão provoca aumento da umidade em toda a superfície do solo e das culturas. Quando do uso de água residuária não tratada, é mais recomendada para culturas de cereais e pastagens, não sendo indicado para frutíferas e hortaliças, porque pode causar sérios danos as plantas e para a saúde humana, já que a água entra em contato com a parte aérea da planta. Porém, quando a água é tratada adequadamente, poderá ser utilizada em todas as culturas (HESPANHOL, 1990).

Segundo ARMON *et al.* (1994), a irrigação de culturas sem controle com efluentes pode se tornar um dos principais problemas de saúde pública. Um estudo feito por estes autores, utilizando a irrigação por aspersão para as culturas da alface, salsa, flores, couve, cebola, cenoura, rabanete e tomate, com dois tipos de efluentes, mostrou uma clara correlação entre a qualidade do efluente e o grau de contaminação nos vegetais irrigados com efluentes

altamente contaminados por coliformes fecais e *Salmonella spp.* A irrigação por aspersão aumenta os efeitos contaminantes nas culturas devido ao alto contato entre o efluente e o vegetal.

A irrigação por aspersão com água residuária é mais perigosa que outros métodos em termos de saúde pública. Pode formar aerossóis, contendo microrganismos, que são transportados pelo vento a distâncias superiores a um quilômetro, causando riscos a saúde das pessoas devido a inalação de patógenos presentes nos aerossóis (SCALOPPI & BAPTISTELLA, 1986).

### **3.2. Uniformidade de aplicação de água e entupimento de gotejadores**

A uniformidade de distribuição de água pelos sistemas de irrigação tem sido um dos fatores que mais tem recebido atenção, buscando melhorar o aproveitamento do uso da água e dos sistemas de irrigação. Os fatores relacionados a este aspecto são variados, alguns comuns a todos os métodos de irrigação e outros específicos para cada caso, porém, todos de grande importância e que devem ser considerados no manejo da irrigação.

Em sistemas de irrigação por aspersão e pivô central, o principal fator determinante na redução da uniformidade de aplicação de água é o vento, já no caso da irrigação por gotejamento, este problema deixa de ser significativo (BOMAN, 1995). Neste sistema, o coeficiente de fabricação dos emissores, variações que ocorrem na distribuição de pressão nas linhas secundárias e terciárias, juntamente com a variação da temperatura da água, interferem mais acentuadamente na uniformidade de aplicação de água. No entanto, com os modernos processos de fabricação dos emissores existentes, reduziu-se de forma significativa a variação de fabricação. Porém, o entupimento dos emissores, decorrente de fatores físicos, químicos ou biológicos, ainda é o principal fator que leva a desuniformidade. Para RAVINA *et al.* (1997), este problema se agrava ainda mais quando estes sistemas de irrigação utilizam água residuária, principalmente se estocadas em reservatórios superficiais, devido a presença de partículas suspensas, algas, zooplânctons entre outros organismos.

De acordo com RESENDE (1999), na irrigação por gotejamento o problema mais comumente encontrado em campo é o entupimento parcial dos emissores, apresentando o inconveniente adicional de não ser perceptível visualmente, dificultando a tomada de práticas para o equacionamento do problema. Por estes motivos, o entupimento de emissores tem recebido considerável atenção em países que utilizam este método de irrigação mais intensamente como os Estado Unidos, Israel entre outros. No Brasil, são poucos os trabalhos

quanto ao potencial risco de entupimento, sendo menor a preocupação com a uniformidade de aplicação de água pelo sistema de irrigação por gotejamento e a recuperação dos emissores entupidos, onde a maioria dos trabalhos estão relacionados ao bloqueio de filtros.

A qualidade da água tem papel importante nos sistemas de irrigação. Porém, é difícil definir com precisão o grau de interferência dos vários elementos constituintes na água sobre o grau de entupimento emissores. De forma geral, o entupimento é influenciado por três principais fatores, ou seja, presença de partículas orgânicas e inorgânicas, elementos químicos como os precipitados de carbonato de cálcio, ferro e magnésio e o acúmulo de sedimentos devido ao desenvolvimento bacteriano, (NAKAYAMA *et al.* 1978).

Atualmente não se dispõe de um método seguro para avaliar o risco de entupimento decorrente de uma determinada água. O problema ocorre porque alguns fatores inconvenientes são variáveis, como a temperatura, que influencia na formação de precipitados e no desenvolvimento de microrganismos, além de outros problemas que não dependem da origem da água, mas sim de produtos que por ventura são adicionados a mesma, como os fertilizantes (PIZARRO, 1996).

NAKAYAMA & BUCKS (1986), apresentam uma classificação de caráter quantitativo para alguns parâmetros da água, indicando critérios para avaliação do risco de entupimento de emissores, como mostrado na TABELA 7.

Tabela 7. Risco potencial de entupimento de emissores pela água de irrigação.

Tipo de problema	Reduzido	Médio	Alto
• Físicos			
Sólidos suspensos, mg.L <sup>-1</sup>	<50	50 - 100	>100
• Químicos			
pH	<7,0	7,0 - 8,0	>8,0
Sólidos dissolvidos, mg.L <sup>-1</sup>	<500	500 - 2,000	>2,000
Manganês, mg.L <sup>-1</sup>	<0,1	0,1 - 1,5	>1,5
Ferro total, mg.L <sup>-1</sup>	<0,2	0,2 - 1,5	>1,5
Sulfeto de hidrogênio, mg.L <sup>-1</sup>	<0,2	0,2 - 2,0	>2,0
Dureza*	<150	150 - 300	>300
• Biológico			
População bacteriana	<10,000	10,000 - 50,000	>50,000

Fonte: Nakayama & Bucks (1986).

\*Dureza como mg.L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub>, Todd *apud* PITTS et al. (1990).

A dureza é medida como  $\text{mg.L}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3$ , determinada pela presença de cálcio e magnésio, sendo esta outro indicador do entupimento de gotejadores devido a qualidade da água, Todd *apud* PITTS et al. (1990). O Ca e Mg são dados em  $\text{mg.L}^{-1}$  e pode ser estimada pela Equação 1.

$$\text{Dureza} = (2,5 \times \text{Ca}) + (4,1 \times \text{Mg}) \quad (1)$$

Vários estudos apontaram as limitações inerentes à irrigação localizada com efluentes, indicando que não são as mesmas insuperáveis. Medidas preventivas e corretivas contra o entupimento usualmente empregados com sucesso, incluem a filtração em areia, filtros de tela com autolavagem, cloração e descargas periódicas para a lavagem das linhas laterais (ORON *et al.* 1979, ADIN & SACKS, 1991; TAYLOR *et al.* 1995).

Uma classificação agrupa os emissores quanto à sensibilidade a obstruções, de acordo com o diâmetro mínimo de passagem de água, como apresentado na TABELA 8.

Tabela 8. Classificação de emissores quanto à sensibilidade ao entupimento.

Diâmetro mínimo (mm)	Sensibilidade à obstrução
$\leq 0,7$	Alta
0,7 a 1,5	Média
$\geq 1,5$	baixa

Fonte: Pizarro, (1996).

ADIN *et al.* (1991), estudaram os fatores e mecanismos de entupimento de três tipos de gotejadores, utilizando água residuária tratada e armazenada em reservatório aberto, demonstrando que os constituintes relevantes no efluente são definidos pelas propriedades físicas e químicas dos efluentes, em que a filtração previne entupimentos imediatos por partículas maiores, enquanto que a modificação da estrutura dos emissores e pré-tratamento químico com oxidantes e floculantes auxiliam na melhora da qualidade da água.

A água residuária armazenada pode conter uma grande variedade de partículas de material em suspensão de vários tamanhos, incluindo material orgânico e elementos químicos. Pode também conter fito e zooplanctons que se desenvolvem de acordo com condições específicas. Alguns microrganismos podem continuar crescendo em locais escuros, como tubulações e filtros, por conterem nutriente e partículas de material orgânico que favorecem o

desenvolvimento dos mesmos. O número destes organismos no reservatório de água é menor que no interior de tubulações, isso porque, no caso da água residuária, que é rica em partículas pequenas de material orgânico e por não existir competição com algas em locais escuros como no interior das tubulações, filtros etc., pode ocorrer crescimento biológico, que é geralmente carregado pela passagem de água, sendo este, identificado como o principal material de entupimento de filtros, emissores e medidores de vazão (RAVINA *et al.* 1992).

Trabalho realizado por LAMM & TROOEN (2003), no período de 1998 a 2001, onde um total de aproximadamente 1676 mm de água foram aplicados no sistema de irrigação por gotejamento subterrâneo, com o objetivo de avaliar o desempenho de cinco diferentes tipos de gotejadores (0,68, 1,10, 1,80, 2,72 e 4,20 L.h<sup>-1</sup>) utilizando para tratamento filtros de disco de 200 mesh (74 microns) e tratamento de choque com cloro e ácido injetados periodicamente. Os emissores de 0,68 e 1,10 L.h<sup>-1</sup>, diminuíram a vazão em 40 e 30%, respectivamente. Enquanto que os emissores de vazão 1,80, 2,72 e 4,20 L.h<sup>-1</sup>, diminuíram 7, 8 e 13%, respectivamente. O uso de filtros de disco auto-limpante mostrou-se eficiente para tratamento de água residuária de carne bovina em todos os anos testados. Concluíram que emissores de tamanhos menores podem não ser apropriados para aplicação de água residuária de lagoa de estabilização, por estarem mais propensos a entupimento.

TROOEN *et al.* (2000), aplicaram em três anos (1998-2000) um total de aproximadamente 1320,8 mm de água residuária no sistema de irrigação subterrânea, verificaram que a vazão dos dois emissores de menor tamanho, 0,57 L.h<sup>-1</sup> e 0,91 L.h<sup>-1</sup> diminuíram 30% aproximadamente, onde alguns emissores entupiram totalmente. Enquanto nos gotejadores de maior vazão, ou seja, 1,51, 2,27 e 3,48 L.h<sup>-1</sup>, tiveram redução de vazão de 5%. Baseado nestes resultados, o uso de irrigação subterrânea com água residuária de lagoa de estabilização de dejetos frigorífico mostrou se possível a aplicação com os emissores de maior vazão.

HILLS & BRENES (2001), avaliaram quatro diferentes tipos de fitas gotejadoras para aplicação de efluente secundário de água residuária tratada com lagoa ativada. No sistema de irrigação, o tratamento incluiu filtração de areia, cloração contínua com concentração de cloro residual de 0,4 mg.L<sup>-1</sup> e filtro de tela de 100 micron. Durante a primeira fase que durou dois meses de operação contínua, nenhuma das fitas de gotejadores sofreu reduções de vazão maior que 5%. Um das fitas, porém aumentou seu fluxo em 30%, porém foi atribuído a

problemas na sua estrutura de fabricação. Durante a segunda fase que durou seis meses uma das melhores fitas de gotejadores foi utilizada para avaliação da uniformidade estatística da vazão do emissor variando entre 92,7 e 98,0% com valor médio de 94,8%.

TAYLOR *et al.* (1995), montaram um sistema de irrigação em escala piloto no sudeste de Portugal, para detectar as causas do entupimento de emissores utilizando efluente de lagoa de estabilização na irrigação por gotejamento. Usaram filtros de areia e tela, onde foram analisados 5 diferentes tipos de emissores para duas estações do ano, comparando-se o formato dos emissores e a natureza do entupimento. O modelo de emissor, aliado a qualidade da água e tempo de detenção de sólidos no reservatório, mostraram ser os fatores mais importantes no processo de entupimento, concluindo que, somente microalgas não constituem maiores problemas na operação de equipamentos de irrigação por gotejamento, podendo ser usados efluentes de lagoas de estabilização sem maiores problemas. No entanto, deve-se prevenir a contaminação de linhas laterais por partículas de solo e areia. As algas podem se aderir a partículas sólidas agravando ainda mais o problema.

OSBURN *et al.* (1992), encontraram grande entupimento no filtro de tela de 80 mesh (180 microns) e 100 mesh (149 microns), verificando a necessitando limpeza do mesmo entre 8 e 12 horas de irrigação, mesmo sendo auto limpante. Entretanto, os sólidos suspensos não foram totalmente removidos dos filtros após a auto lavagem, provocando o entupimento de 54 gotejadores (71% do total), quando usaram o efluente secundário, necessitando desta forma, serem substituídos, enquanto que com o uso de água superficial, apenas 14 (18% do total) apresentaram problema de entupimento.

TROOIJEN *et al.* (2000) utilizaram água residuária de uma lagoa de estabilização de esgoto bovino, tratando a mesma com cloro (5,25% de hipoclorito de sódio), ácido para ajustar o pH da água a 6,3 e aumentar a eficiência da cloração e filtro de disco de 55 microns, para cinco tipos de gotejadores, com vazão variáveis, ou seja, 0,57, 0,91, 1,5, 2,3 e 3,5 L.h<sup>-1</sup>, em linhas de emissores com 137 metros de comprimento. No período de 1998, foram aplicados 530 mm de água residuária e 390 mm em 1999. Observaram que a redução de vazão foi de 15% e 11% em 1998 e de 22% e 14% em 1999, para os emissores com vazão de 0,57 e 0,91 L.h<sup>-1</sup>, respectivamente, indicando que estes tamanhos de orifício podem não ser adequados para uso de água residuária de lagoa de estabilização. Para os outros três tipos de gotejadores as reduções foram menores de 4%.

Ainda segundo o autor acima, para controlar o entupimento, um dos seguintes procedimentos pode ser adequado, (a) uso de cloração ou ácido por um tempo longo o suficiente para controle de agentes de entupimento biológico, (b) ocorrência de temperatura baixa durante o uso do sistema, resultando no controle total ou parcial dos agentes biológicos de entupimento (c) detectar os agentes de entupimento biológico e reduzir em quantidade e tamanho. O uso da cloração ou de ácido na água é o procedimento que tem se mostrado mais efetivo para controlar agentes biológicos e prevenir o acúmulo de biomassa e assim manter a vazão dos gotejadores em gotejamento subterrâneo e superficial quando do uso de água residuária municipal tratada.

A vazão dos emissores na irrigação por gotejamento subterrâneo pode ser afetada pela pressão de operação, temperatura da água e principalmente pelo entupimento devido a presença de partículas sólidas. Sendo que o entupimento pode ser devido principalmente ao material suspenso, precipitação química e crescimento de bactérias, raízes, presença de areia, insetos, microrganismos, sendo estes os principais fatores físicos. Os fatores biológicos são a presença de larvas derivadas de microrganismos e algas (ADIN *et al.* 1991; GUSHIKEN 1999).

Um trabalho foi desenvolvido por SOLOMON & JORGENSEN (1993), para avaliar linhas de gotejadores com distribuição pontual da água e tubos porosos, utilizando água com tratamento secundário de origem doméstica, apenas filtrada com filtro de malha de 200 mesh (74 microns). Os dois produtos foram testados em área de gramado, sendo avaliados considerando-se a densidade do gramado, a temperatura, presença de ervas daninhas e insetos. Ambas as marcas de emissores apresentam sérios problemas devido a introdução de raízes com entupimento das saídas. Desta forma, recomenda-se que seja usado tanto o método químico (Erbicida Treflan<sup>TM</sup>) como o físico para controle da introdução de raízes nos emissores. Quanto aos filtros e linhas de gotejadores, estes devem ser limpados regularmente. As linhas de gotejadores com emissão pontual da água devem ser limpas mensalmente e os tubos porosos duas vezes ao mês.

O uso de irrigação por gotejamento subterrâneo pode apresentar muitas vantagens, como minimizar os riscos a saúde associados com o contato com a água residuária, política e psicologicamente é um método mais aceitável de disposição de água residuária, elimina odores e problemas de escoamento superficial, diminuí a contaminação de outras fontes de

recursos hídricos, reduz o crescimento de ervas daninhas, melhora a relação custo/benefício comparado a outros métodos de irrigação, maior uniformidade de aplicação de água, o que resulta em melhor controle do volume de água disponível, fornece nutrientes e sais, tem menor corrosão do sistema de irrigação e menor interferência das condições climáticas (LAMM & TROOEN, 2003; ZOLDOSKE, 1999; ZOLDOSKE & GUSHIKEN, 1995).

A uniformidade de aplicação de água de um sistema de irrigação localizada é afetada tanto pela hidráulica da tubulação, quanto pelas propriedades hidráulicas dos emissores que incluem os efeitos de pressão, temperatura, qualidade de água entre outros fatores. Sabendo que são inúmeros os fatores que interferem na distribuição de água nos sistemas de irrigação, a definição e seleção dos parâmetros mais importantes a serem investigados deve ser feita com cuidado, principalmente quando o sistema de irrigação é do tipo localizado, onde os emissores estão mais sujeitos a alterações oriundas de fatores físicos, químicos e biológicos.

### **3.2.1. Coeficiente de uniformidade de irrigação**

Vários coeficientes podem ser usados para avaliar a eficiência de um sistema de irrigação por gotejamento. Um dos que primeiro deve ser estimado, é o coeficiente de variação de fabricação (CVf), que é uma medida da variabilidade da vazão de uma amostra de emissores, escolhidos aleatoriamente, de um conjunto de amostras de um determinado fabricante, tamanho e tipo de emissor. Esta análise deve ser realizada antes da instalação do sistema de irrigação em campo, sendo determinado pela Equação 2.

$$CVf = \frac{S}{q_{m\u00e9dia}} \quad (2)$$

Onde:

S: Desvio padrão da vazão ds emissores amostrados;

$q_{m\u00e9dia}$ : Média da vazão de todos os emissores analisados, L.h<sup>-1</sup>.

A TABELA 9 classifica os emissores em fontes pontuais (gotejadores e microaspersores) e fontes lineares ou faixas contínuas (gotejadores com pequenos espaçamentos, tubo-gotejador), baseados no coeficiente de variação de fabricação.

Tabela 9. Classificação de coeficientes de variação de fabricação (CVf) para emissores.

Tipo de emissor	CVf	Classificação
Fonte pontual	Abaixo de 0,05	Excelente
	0,05 até 0,07	Mediano
	0,07 até 0,11	Marginal
	0,11 até 0,15	Ruim
	Acima de 0,15	Inaceitável
Fonte linear ou faixa contínua	Abaixo de 0,10	Bom
	0,10 até 0,20	Mediano
	Acima de 0,20	Inaceitável

Fonte: ASAE Engineering Practc, ASAE EP 405.1 (1992) p. 648

Variações de pressão no sistema ocorrem principalmente devido ao escoamento da água pela tubulação e acessórios, causando perdas por fricção ou atrito e devido ao aclave (perda de pressão) ou declive (ganho de pressão) na tubulação. Se o sistema de irrigação é sub-dimensionado ou imprópriamente instalado, perdas de pressão podem ser excessivas em função de componentes com dimensões incorretas para o dimensionamento ou declives muito íngremes para os componentes selecionados.

Para determinar se o sistema está operando sob eficiência aceitável e econômica, a uniformidade de emissão poderá ser determinada e classificada conforme sugerido por MERRIAM & KELLER (1978), em que considera 25% das menores vazões, dividido pela média de todas as vazões e pode ser calculada pela Equação 3.

$$EU = \frac{d_{25}}{d_{\text{médio}}} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

EU: uniformidade de emissão, %;

$d_{25}$ : vazão média de 25% menores valores de vazão,  $L.h^{-1}$ ;

$d_{\text{médio}}$ : média de todas as observações,  $L.h^{-1}$ .

Valores de EU determinados em campo, típicos ou médios, serão encontrados entre 85% a 95%. Segundo estes autores, a desuniformidade pode ser causada pelos seguintes fatores: variabilidade nas características devido ao controle de qualidade nos processos de

fabricação; falha ou imprudência no manejo do sistema; pressões operacionais diferente das especificada para cada situação específica; mudanças hidráulicas no sistema devido ao tempo de uso e entupimento dos emissores.

A uniformidade de emissão estatística dos emissores poderá estimada utilizando a Equação 4, proposta por SMAJSTRIA *et al.* (1990).

$$U_s = \frac{1}{V_{qs}} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

$U_s$ : uniformidade estatística de emissão, %;

$V_{qs}$ : coeficiente estatístico de variação de vazão dos emissores, %.

O valor de  $V_{qs}$  é obtido a partir das Equações 5, 6 e 7.

$$V_{qs} = \frac{S_q}{q_{m\u00e9dia}} \quad (5)$$

onde:

$$q_{m\u00e9dia} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i \quad (6)$$

$$S_q = \left\{ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n q_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n q_i \right)^2 \right\}^{1/2} \quad (7)$$

onde:

$n$ : número de emissores aleatoriamente selecionados;

$i$ : identificação individual dos emissores;

$q_i$ : descarga média dos emissores,  $L.h^{-1}$ .

O coeficiente de variação de vazão dos emissores inclui os efeitos da variabilidade na vazão dos emissores devido a várias causas, incluindo efeitos da tubulação e das propriedades

hidráulicas dos mesmos (incluindo entupimento). Assim, quando a variação na vazão dos emissores aumentar, a uniformidade de aplicação de água diminuirá. Na TABELA 10 é mostrado a classificação da uniformidade acordo com SMAJSTRIA *et al.* (1990), reconhecida pela American Society of Agricultural Engineers (ASAE, 1997).

Tabela 10. Uniformidade do sistema de microirrigação ( $U_s$ ), classificações para vazões médias dos emissores.

Classe	Uniformidade $U_s$ (%)
Excelente	Acima de 90
Bom	90 – 80
Razoável	80 – 70
Ruim	70-60
Inaceitável	Abaixo de 60

Fonte: SMAJSTRIA *et al.* (1990)

O índice da relação das vazões médias dos gotejadores ( $D_{ra}$ ), desenvolvido por CAPRA & TAMBURINO (1995), é usado para determinar a eficiência de aplicação de água em sistemas de irrigação por gotejamento, sendo estimado pela Equação 8.

$$D_{ra} = 100 \frac{\sum \frac{q_f}{q_c}}{n} \quad (8)$$

Onde:

$D_{ra}$ : é o índice da relação das vazões médias dos gotejadores, %;

$n$ : é o número de gotejadores ensaiados;

$q_f$ : a vazão dos gotejadores medido em campo,  $L.h^{-1}$ ;

$q_c$ : a vazão calculada por meio da equação pressão x vazão determinada em laboratório, na pressão que os gotejadores foram medidos em campo,  $L.h^{-1}$ .

$D_{ra}$  inclui fatores como o coeficiente de variação de vazão dos emissores em campo e pode ser usado para comparar a elevação do entupimento, que quando comparada com o coeficiente de variação de fabricação, nos dá uma medida estatística da variação em decorrência ou não do entupimento.

A vazão dos emissores utilizados em microaspersão tem diferentes respostas a variações de pressão, que depende do desenho do emissor e qualidade do material e processo

de fabricação. Devido ao diâmetro dos orifícios serem consideravelmente pequenos, os emissores de microirrigação são também sujeitos a entupimento parcial ou completo por partículas de material sólido e biológico e precipitados químicos. Por essas razões, a uniformidade de aplicação de água pode ser grandemente afetada pela performance dos emissores.

### **3.2.2. Uniformidade da umidade do solo dos canteiros irrigados**

Tendo em vista que a quantidade de água presente no solo afeta a produtividade da cultura, tanto na escassez como no excesso, é necessário que se tenha o conhecimento dessa quantidade e também da qualidade de distribuição da umidade no interior do solo em cada sistema de irrigação. A avaliação da uniformidade de distribuição de água em sistemas de irrigação é, tradicionalmente, realizada na superfície do solo, obtendo-se a lâmina de água aplicada em coletores.

Entretanto, de acordo com ROCHA et al. (1998), esta forma de avaliação, não considera a distribuição da água no perfil do solo, que é tridimensional e de grande importância nas relações água-solo-planta, podendo subestimar a eficiência de funcionamento do sistema de irrigação.

A obtenção dos coeficientes de uniformidade na superfície do solo, são determinados utilizando lâminas de água coletadas em pluviômetros e para o interior do solo, empregam-se dados de umidade, normalmente obtidos por meio de amostragem gravimétrica, tensiômetros, sonda de nêutrons ou a técnica eletromagnética através da TDR (Reflectometria no Domínio do Tempo) RODRIGUES et al. (2001). Estes autores, estudaram a distribuição de água na superfície e no interior do solo em um pivô central operando em condições de campo utilizando a técnica de TDR. Essa mesma técnica foi utilizada por CARVALHO et al. (2002), na avaliação da distribuição de umidade em canteiro irrigado com o sistema Poritex. Em ambos trabalhos essa técnica foi considerada adequada para a avaliação da uniformidade de distribuição de água no perfil do solo.

De acordo com JNAD *et al.* (2001b), a qualidade da água aplicada via irrigação, pode alterar as características físicas do solo e conseqüentemente a umidade do mesmo. Desta forma, estes autores estudaram as mudanças nas características do solo, alteração na capacidade de retenção de água e condutividade hidráulica saturada, devido a aplicação de água residuária

tratada com tanque séptico modificado seguido de sistema de leitos cultivados com macrófitas. Analisaram as mudanças ocorridas próximo e distante do emissor no sistema de gotejamento subterrâneo, constatando que a aplicação de água residuária resultou em aumento na capacidade de retenção de água no solo, diminuição do tamanho dos poros e da condutividade hidráulica saturada, sendo maior esta alteração logo abaixo do emissor (0,08 m).

A variabilidade das condições físicas do solo pode afetar a vazão dos emissores no sistema de gotejamento subterrâneo. De acordo com WARRICK & SHANI (1996), isto é devido a um aumento da pressão no solo quando a água não pode ser facilmente movimentada para longe do emissor. Estes autores analisaram a relação entre a vazão do emissor em campo (gotejador enterrado) e a vazão pré determinada (na superfície), em função das características do emissor e propriedades hidráulicas do solo. Assim, quando a vazão pré determinada é aumentada ou a condutividade hidráulica do solo diminui a pressão no solo próxima ao emissor aumenta, o que reduz a vazão do mesmo. Desta forma, a proporção da vazão média medida pela vazão pré estabelecida foram de 0,905, 0,825 e 0,704 para as vazões definidas dos emissores de 1, 2 e 4 L.h<sup>-1</sup>, respectivamente. O correspondente coeficiente de variabilidade foram de 0,072, 0,124 e 0,193, respectivamente. Igualmente, a uniformidade de Christiansen's foram de 0,95, 0,91 e 0,85.

Dentre as várias maneiras de determinação do manejo e controle da água disponível no solo, está o uso de tensiômetros. Estes devem ser instalados a profundidades adequadas para cada cultura, o que segundo MAROUELLI *et al.* (1998), recomendam para a alface as profundidades de 0,10 e 0,20 m da superfície do solo. De acordo com estes autores, a irrigação de hortaliças, deve ser feita sempre que a leitura dos tensiômetros instalados a 0,10 m for igual ou superior à tensão crítica, que para hortaliças é entre 10 a 30 kPa. A irrigação deve ser o suficiente para que a tensão de água no solo a 0,10 m, seja reduzida para 5 a 10 kPa, enquanto que na profundidade de 0,20 m, a tensão deve ser reduzida para a faixa entre 10 a 15 kPa. O potencial crítico de água no solo, na região de maior concentração de raízes, para o manejo das irrigações, para a obtenção de altas produções da alface é de 20 kPa (HOWEL & HANSON, 1976).

QUEIROZ *et al.* (2001) avaliaram o efeito de diferentes níveis de tensão de água no solo (-10, -30, -50 e -60 kPa) sobre a cultura da alface americana, em experimento realizado

em casa de vegetação. A maior produção, tanto a total como a comercial, foram obtidas quando se manteve a umidade do solo próximo a capacidade de campo, ou seja -10 kPa.

Dentro de seu intervalo de sensibilidade, o tensiômetro é mais preciso que qualquer outro meio empregado para determinação da tensão de água no solo (GONAT & GOLDEBERG, 1975). O ótimo regime de irrigação é aquele em que o solo seja irrigado até que a potencial capacidade de água se mantenha bastante alta, afim de assegurar que haja uma quantidade adequada de água as demandas atmosféricas existentes, sem submeter a planta a um esforço que reduza seu rendimento e qualidade do produto.

A umidade no solo também pode ser determinação através da utilizando da técnica da TDR, que baseia-se no sensível efeito do conteúdo de água no solo sobre a velocidade de propagação de pulsos de microondas em cabos condutores envoltos pelo solo. Esse resultado é determinado pela constante dielétrica do solo, que é função do conteúdo de água no mesmo. O cálculo da constante dielétrica é feito empregando-se a equação que relaciona a constante dielétrica com o tempo que o sinal leva para percorrer o meio, em função do comprimento da sonda. Obtida a constante dielétrica ( $K_a$ ), (Equação 9), estimasse a umidade com base em volume ponto a ponto, utilizando-se de uma equação de calibração apropriada para solo em estudo.

$$K_a = [(t \cdot x) / L]^2 \quad (9)$$

Onde:

$K_a$ : Constante dielétrica aparente (adimensional)

t: Tempo de deslocamento, ns;

x: Velocidade da luz, 30 cm.ns<sup>-1</sup>;

L: Comprimento da haste, cm.

SOUZA (2002) determinou a curva de calibração do solo do Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP e obteve a Equação 10.

$$\theta: 3,10^{-5} \cdot K_a^3 - 0,0017 \cdot K_a^2 + 0,0415 \cdot K_a - 0,0603 \quad (10)$$

$$R^2: 0,9806$$

Onde:

$\theta$ : Umidade em base de volume (cm<sup>3</sup>.cm<sup>-3</sup>)

A quantidade de água presente no solo pode influenciar na produtividade da cultura, desta forma, é importante conhecer a medida exata dessa quantidade e a distribuição no interior do solo. Estes são fatores muito importantes no planejamento da irrigação, devendo ser considerados, juntamente com os procedimentos mais adequados de determinação dos mesmos.

### **3.3. Cultura da alface**

A planta de alface (*Lactuca sativa* L.) é originária da Ásia, pertence a família Cichoreacea (Compositae) e foi trazida para o Brasil pelos portugueses no início do século XVI. A planta apresenta vitamina A e C, cálcio ( $43 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ ), fósforo ( $34 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ ) e ferro ( $1,3 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ ) (MEIRELLES, 1998).

O ponto de colheita indicado para a alface, sendo um produto não climatérico, corresponde ao máximo desenvolvimento da cabeça, estando as folhas ainda tenras e não havendo nenhum indício de florescimento. O ciclo da cultura, ou seja, da sementeira ao ponto de colheita, apresenta variação em função da cultivar e das condições edafo-climáticas, variando de 50 a 90 dias (FILGUEIRA, 1982). Por ser consumida crua, deve haver a necessidade de cuidados especiais com a irrigação e qualidade da água utilizada, devendo ser isenta de microrganismos prejudiciais a saúde (LISBÃO *et al.* 1990).

A alface, de acordo com a variedade pode ser classificada nos grupos crespa, lisa, mimosa, romana e americana e subgrupo em verde e roxa. Devido as suas características intrínsecas, as diferentes espécies diferem quanto aos fatores: época de colheita, tamanho, compactação e coloração da cabeça, espessura de folhas, resistência a doenças e comportamento fisiológico (CAMARGO, 1984; CEAGESP, 2001).

Nas propriedades localizadas no “cinturão verde” do município de Campinas, SP e outros grandes centros urbanos do Brasil, são cultivados várias hortaliças, a maioria de ciclo curto, sendo a alface a que apresenta maior importância econômica, pois compreende a hortaliça folhosa de maior produção e consumo, visto que, a nível de Estado de São Paulo o consumo “per capita” foi estimado em 2 kg por pessoa ao ano, sendo 40% dos seus gastos totais com verduras destinados à compra da alface, além da importância nutricional, já que, encontra-se presente regularmente na dieta da população brasileira. A quantidade total de alface comercializada no ETSP/CEAGESP de 1993 a 1997, foi de 128 mil toneladas. No

Estado de São Paulo, a alface ocupa aproximadamente 8,052 ha, sendo Piedade (18%), Mogi das Cruzes (14%) e Suzano (11%) os principais municípios fornecedores. Além destes, outros possuem uma produção considerável tais como Campinas, Jaboticabal e Piracicaba.

Para a produção da alface, os agricultores normalmente utilizam a prática da irrigação por aspersão, sendo que a qualidade da água é duvidosa, principalmente quando retirada de rios localizados próximos aos centros urbanos, uma vez que recebem grandes quantidades de dejetos, caracterizando-se por ser um importante fator de comprometimento à saúde da população. Sendo assim, a solução do problema começa pelo tratamento adequado dos esgotos domésticos antes de serem descartados nos corpos d'água, seguido pela utilização de sistemas de irrigação que evitem o contato direto da água com a planta.

### **3.3.1. Parâmetros de crescimento**

Somente avaliar a produção final de uma cultura não é suficiente no estudo da interação planta-ambiente e de seu desenvolvimento. Por isso, são necessárias observações mais detalhadas (PEREIRA & MACHADO, 1987). HUNT (1978) observou que a análise de crescimento permite a obtenção de informações comparativas importantes com plantas cultivadas em condições naturais, semi-naturais ou artificiais.

A análise de crescimento de uma planta ou de uma cultura é o conjunto de técnicas e conceitos que visam quantificar o crescimento da planta. Com isto pode-se fazer comparações para o desenvolvimento de uma cultura quando submetida a diferentes manejos, conforme relatado por (HAMADA, 1993). Alguns parâmetros são avaliados como por exemplo o número de folhas, a área de superfície, massa seca e úmida por unidade de tempo definidos durante o ciclo de crescimento e altura da planta.

De acordo com Radford *apud* HAMADA (1993), pode-se analisar os seguintes parâmetros fenométricos, para análise de crescimento: taxa de crescimento relativo, índice de área foliar, taxa de assimilação líquida e razão de área foliar.

A análise quantitativa de crescimento é o primeiro passo na análise de produção vegetal, podendo ser medido pela quantidade de material contido na planta toda ou em parte dela, representado por folhas, área foliar, entre outros, obtidos em intervalos de tempo durante o período de crescimento do vegetal, (PEREIRA & MACHADO, 1987; BENICASA, 1988).

O comprimento/altura pode ser uma medida indicadora do crescimento de uma planta. Pode-se medir o comprimento de folhas, entrenós, altura de planta, etc. A grande vantagem desta unidade é que a planta pode ser mantida viva. É uma medida fácil de ser realizada mas tem a limitação de ser pouco representativa. Por exemplo, existem diferentes conceitos do que é a altura de uma planta, principalmente de uma folhosa como a alface. Ela pode ser da ponta da raiz até o ápice, ou então da base até o ápice. Para a alface pode-se medir a altura esticando-se as folhas ou como elas se encontram naturalmente em campo. Ademais, como se trata de uma medida que tende a ser subjetiva, ela deve ser sempre, na mesma experiência, realizada pela mesma pessoa (FERRI, 1979).

Ainda segundo este autor, para culturas como a alface, a área foliar é uma medida essencial na determinação do desenvolvimento da planta. É mais interessante que o alface tenha maior área foliar total, do que maior número de folhas ou altura. Para a realização desta medida, o órgão precisa ser destacado. A desvantagem desta medida é a vulnerabilidade do peso quanto as perdas de água que podem ocorrer. De acordo com (PEREIRA & MACHADO, 1987), a área foliar de uma planta depende do número e do tamanho das folhas e por consequência do estágio de desenvolvimento. Mas as medidas de altura e número de folhas também são importantes, pois elas servem como dados comparativos, podendo ser relacionadas com a área foliar da planta (FERRI, 1979).

Em análise de crescimento, toma-se como base a massa seca, como representativa da fitomassa. Isto se faz necessário, visto que o teor de água na planta, varia com a hora do dia, condições ambientais, estágio de desenvolvimento da planta, tempo entre a colheita e a medição, entre outros (PEREIRA & MACHADO, 1987). É um dos parâmetros mais significativos, pois mostra o aumento ou acúmulo de várias substâncias responsáveis pela formação da planta, sem levar em conta a entrada de água, sendo um dos mais usados e aconselhados (FERRI, 1979).

A alface nas últimas semanas de seu ciclo, tem seu crescimento reduzido, passando a acumular mais matéria seca (DANTAS & ESCOBEDO, 1998) e a absorver mais água (GALLARDO *et al.* 1996) e nutrientes (GARCIA, 1982).

### 3.3.2. Produtividade da cultura da alface

A produtividade da alface pode ser alterada com a aplicação de diferentes lâminas de água, conforme verificado por HAMADA (1993), onde estudou a utilização da irrigação por gotejamento, observando que na última data de amostragem, os tratamentos que receberam 100 e 120% da evaporação do tanque “Classe A”, mantiveram seu ritmo de crescimento, enquanto que os que receberam 60 e 80% da evaporação, mostraram crescimento mais lento, possivelmente em decorrência do stresse hídrico.

Da mesma forma, a qualidade também pode influenciar na produtividade, como observado por MIRANDA (1995), onde encontrou maior produtividade nos tratamentos irrigados com água residuária em relação aos tratamentos com água superficial, sendo este fato, devido a disponibilidade de nutrientes, principalmente nitrogênio, fósforo e potássio na água residuária, que são fundamentais ao desenvolvimento das plantas.

JUCHEN (2000), trabalhando com a cultivar de alface “Americana”, nas condições de Cascavel, PR, utilizando água residuária de laticínio e frigorífico, obteve, respectivamente, produção de 5960 g.m<sup>-2</sup> e 7040 g.m<sup>-2</sup> no sistema de irrigação por gotejamento.

CRUZ *et al.* (2002) e BISCARO *et al.* (2002), estudaram o uso de água residuária do Ribeirão Lavapés, que recebe esgotos domésticos e industriais da cidade de Botucatu, SP, durante dois ciclos da cultura, avaliando a produção da alface americana, variedade “Tainá” submetida a diferentes doses de adubações (500 kg.ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 150 kg.ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 60 kg.ha<sup>-1</sup> N, parcelado em três vezes), sendo os tratamentos, considerando, 100, 50, 25 e 0% da recomendação acima mais água residuária, e 100% da recomendação com água tratada, cultivado em vasos e em estufa. A qualidade da água apresentou: N: 13 a 88; P: 1 a 2; K: 67 a 12; Ca: 7,5 a 43,0; Mg: 1,6 a 4,0; S: 1 a 6; Cu: 0,00 a 0,19; Fe: 0,01 a 2,28; Mn: 0,00 a 0,06 e Zn: 0,00 a 0,01 mg.kg<sup>-1</sup>. Verificaram que a produção de massa fresca e seca, não mostraram diferença significativa entre os tratamentos.

ANDRADE JÚNIOR & KLAR (1997), estudaram diferentes níveis de irrigação, baseados em frações da evaporação do tanque “Classe A” (0,25, 0,50, 0,75 e 1,00) sobre o comportamento produtivo da alface tipo americana, variedade “Mesa 659”, cultivada em estufa plástica e irrigada por gotejamento, no período de julho a setembro de 1993. Os resultados de matéria seca e produtividade, indicaram acréscimo em ambos os parâmetros, a medida que aumentou-se a lâmina de irrigação aplicada até o nível de 0,75 da evaporação,

apresentando valores máximos de 818,72 g e 90,97 ton.ha<sup>-1</sup>, respectivamente. A lâmina equivalente a 0,75 da evaporação, resultou em melhores índices de matéria fresca por planta e também maior produtividade.

DEMATTE (1972), estudou a influência da irrigação por gotejamento e aspersão sobre o desenvolvimento e produção da cultura de alface. Como variáveis de desenvolvimento analisou o diâmetro e altura médios da parte aérea e porcentagem das plantas comerciáveis e como variações de produção, o peso médio por m<sup>2</sup> de terreno cultivado. Seus resultados mostraram claramente que a irrigação por gotejamento proporciona maior eficiência na produção. Seu aumento de produção foi de 1,23 vezes em relação à aspersão. Observou também, que a porcentagem de plantas comerciáveis para esse tipo de irrigação é da ordem de 8% enquanto que para a aspersão é de 23%.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Caracterização do local do experimento

O estudo foi desenvolvido no campo experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas (FEAGRI/UNICAMP), localizada na Cidade Universitária “Zeferino Vaz”, distrito de Barão Geraldo na cidade de Campinas/SP.

O solo no local do experimento foi classificado como latossolo vermelho distroférico. O clima, segundo a classificação de Köppen, é uma transição entre Cwa e Cwf, isto é, subtropical de altitude, seco no inverno e chuvoso e quente no verão, com precipitação média anual em torno de 1370 mm e temperatura média anual de 21,7 °C e 66,2% de umidade relativa do ar.

A curva característica da umidade do solo, determinados a partir de 18 amostras, sendo uma em cada canteiro, retiradas 15 dias após a confecção dos mesmos, representando toda a área do experimento, na camada de solo de 0,00 a 0,20 m, é apresentada na FIGURA 2.

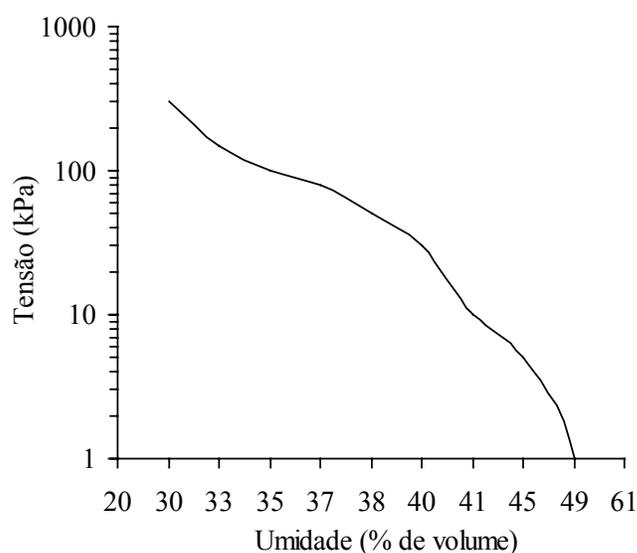


Figura 2. Curva característica da umidade dos canteiros na camada de 0,00 a 0,20 m solo, realizada no Laboratório de solos FEAGRI/UNICAMP, 2000.

As propriedades físicas do solo na camada de 0,00-0,20 m, apresentam a seguinte composição: Argila 56,9%, silte 19,2% e areia 23,9%. A densidade do solo, determinada a partir de amostras retiradas dos canteiros apresentou valor médio de 1240 kg.m<sup>-3</sup>.

## **4.2. Descrição do experimento e delineamento experimental**

O desenvolvimento da pesquisa consistiu na realização de dois ciclos da cultura da alface, compreendidos no período de 08/06 a 23/07/01 (1º ciclo) e de 17/08 a 3/10/2001 (2º ciclo).

Para realização do ensaio de campo foi construído 3 canteiros para cada sistema de irrigação, ou seja, aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial. No gotejamento subterrâneo e superficial, foram utilizadas duas linhas de gotejadores CarboDrip, tipo labirinto por canteiro, totalizando 6 linhas de gotejadores ensaiadas por tratamento, com espaçamento entre emissores na linha lateral de 0,40 m e vazão nominal de 2,3 L.h<sup>-1</sup>. Na irrigação subterrânea as linhas laterais foram enterradas a uma profundidade de 0,10 m da superfície do solo, sendo que tanto estas linhas, como as utilizadas na irrigação superficial, foram submetidas a pressão de operação de 98 kPa durante todo o período de ensaio.

A configuração dos sistemas de irrigação utilizando água residuária e água de um depósito de fonte hídrica superficial são mostrados nas FIGURAS 3 e 4, respectivamente.



O delineamento experimental usado foi em esquema fatorial com 3 sistemas de irrigação (aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial) x 2 qualidades de água (água residuária e água do depósito superficial), com três repetições. Para avaliação dos parâmetros de crescimento e produtividade da cultura, foram definidos 6 subparcelas em cada repetição.

Os tratamentos utilizados foram: AR – Aspersão utilizando água residuária; AD - aspersão utilizando água do depósito; GSbR - gotejamento subterrâneo utilizando água residuária; GSbD - gotejamento subterrâneo utilizando água do depósito; GSpR - gotejamento superficial utilizando água residuária e GSpD - gotejamento superficial utilizando água do depósito.

As medidas de vazão dos gotejadores foram tomadas em condições de campo, utilizando-se uma bancada móvel apropriada ao teste. Para determinação da vazão, utilizou-se o método gravimétrico, que consistiu do uso de coletores, de uma balança digital com precisão de 0,01g, cronômetro e coletores, onde foram feitas 3 repetições com tempo de coleta de 3 minutos, medindo-se a vazão de todos os 25 emissores de cada linha lateral.

Na irrigação por aspersão foram instalados 4 aspersores para cada tratamento, com vazão de  $0,45 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  por aspersor, espaçados em campo de  $12,00 \times 12,00 \text{ m}$  e pressão de operação de 196 kPa.

O sistema de irrigação por aspersão em campo, foi instalado a uma distância de aproximadamente 50 metros dos sistemas de irrigação por gotejamento, evitando a ocorrência de transporte de água por deriva devido a ação do vento, controlando assim, a interferência na contaminação da planta.

Para operacionalização da irrigação, utilizou-se um sistema de automação constituído de painel de controle e cabeçal de controle contendo válvula elétrica solenóide, hidrômetro, filtro de tela de  $\frac{3}{4}$ " com 130 microns, regulador de pressão e válvula de ar. Antes do cabeçal de controle foi instalado um filtro de areia e em seguida a este um filtro de tela de  $1\frac{1}{2}$ " com 130 microns. No final de cada linha lateral foi instalado uma válvulas de alívio, tanto no sistema de gotejamento subterrâneo, como no superficial.

### 4.3. Manejo da cultura e dos sistemas de irrigação

No momento da confecção dos canteiros definitivos, com o auxílio de uma máquina encanteiradora, foi incorporado na camada de 0,00 a 0,20 m, 33 kg.ha<sup>-1</sup> N, 116 kg.ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 67 kg.ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O, considerando a recomendação de TRANI *et al.* (1997), de acordo com a análise de solo realizada anteriormente e mais 208 g de condicionador de solo, marca Solomax. Em cobertura foram aplicados, por vez, 15 g de sulfato de amônia (com 20% de N) aos 20 e 32 dias após o transplântio (DAT), para o 1º ciclo e aos 10, 20 e 32 dias, para o 2º ciclo. No 2º ciclo foi feita uma aplicação a mais de sulfato de amônia em relação ao 1º ciclo, devido a problemas na formação das mudas pelo viveirista, que verificou que o substrato utilizado, mostrou deficiência de alguns micronutrientes necessários às plantas, o que resultou em plântulas menos desenvolvidas no início da formação das mesmas, mas que foram corrigidas antes de serem transplantadas para o campo. Como cobertura morta foi utilizado de 0,01 a 0,02 m de bagaço de cana-de-açúcar moído. Este produto é normalmente utilizado pelos agricultores, proporcionando como vantagem, uma maior conservação da umidade do solo e um maior controle de ervas daninhas.

Foi realizada uma pulverização com o inseticida K-Othrine 2P, em cada ciclo da cultura para combate de lagartas, a aproximadamente 15 DAT, em dosagem recomendada pelo fabricante.

Os canteiros foram construídos com 10,0 m de comprimento e 1,2 m de largura (12,0 m<sup>2</sup>), sendo subdividido em 6 subparcelas, contendo cada uma 24 plantas, sendo 16 como bordadura e 8 plantas úteis. Estas parcelas foram utilizadas para determinação dos parâmetros de crescimento, sorteadas aleatoriamente durante as cinco datas de amostragem, restando uma de reserva para eventual problema em alguma das parcelas.

A aplicação de água para a cultura foi realizada diariamente às 17h e 30 min, sendo a lâmina de água aplicada determinada a partir da evapotranspiração de referência do dia anterior, obtida pela equação de Penman Monteith, fornecida por uma estação climática automática. Esta estação estava localizada no campo experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola, distante 100 m dos tratamentos com água residuária e de 200 metros dos tratamentos com água do depósito de fonte superficial.

Os valores de ET<sub>c</sub>, foram determinados pela multiplicação dos valores de evapotranspiração de referência fornecidos pela estação meteorológica, pelo coeficiente da

cultura ( $K_c$ ), utilizando-se o valor de 0,6 no período de 07 (15/06/01) ao 26 (03/07/01) DAT da alface em campo no 1º ciclo e entre 8 (25/08/01) ao 24 (10/09/01) DAT no 2º ciclo. Deste período em diante até o final do ciclo, o valor de  $K_c$  adotado foi igual a 1,0 para ambos os ciclos da cultura. Nos primeiros dias após o transplântio das mudas em campo, a irrigação foi realizada utilizando a aspersão, aplicando água do depósito de fonte superficial em todos os sistemas de irrigação, que teve a função de facilitar o pegamento das mudas da alface em campo. A aplicação de água residuária iniciou-se aos 7 e 8 dias, respectivamente, no 1º e 2º ciclo, coincidindo com o início do uso de  $K_c$  igual a 0,6.

O monitoramento da umidade do solo, analisada antes de cada irrigação nos dois ciclos, foi realizada através de tensiômetro, instalados em dois canteiros de cada tratamento, cada um composto de 4 tensiômetros, dois na profundidade de 0,10 m e dois na de 0,20 m, instalados na início e final dos mesmos, totalizando quatro tensiômetros por profundidade em cada tratamento. Os tensiômetros de cada bateria foram instalados no início e no final de cada canteiro. Os tensiômetros instalados a 0,10 m de profundidade foram utilizados para verificação da umidade no perfil do solo superficial e os instalados a 0,20 m para verificar a percolação da água pelo perfil do solo.

A alface utilizada nos ensaios foi a cultivar “Elisa”, pertencente ao grupo lisa e subgrupo verde (CAMARGO, 1984). A escolha se deve ao fato de ser uma das mais cultivadas na região de Campinas, SP e pela maior praticidade na obtenção dos dados de crescimento. As mudas foram fornecidas por um viveirista especializado, situado no Bairro Guará, próximo a 5 km do local do experimento. O transplântio definitivo das mudas para o campo, ocorreu aos 34 e 36 dias após a semeadura para o 1º e 2º ciclo, respectivamente. O espaçamento entre as plantas de alface em campo foi de 0,25 x 0,25 m (16 plantas por m<sup>2</sup>), num total de quatro linhas de planta por canteiro, sendo este um dos espaçamentos recomendados por LISBÃO *et al.* (1990). Antes do transplante das mudas para o campo, foram analisadas o número de folhas e a altura de 30 plântulas representativas de todas as bandejas em cada ciclo da cultura, com a finalidade de caracterizar o “stand” das mesmas. Observou-se que a altura média era de 0,10 m e com média de 6 folhas definitivas por planta no 1º ciclo. No 2º ciclo da cultura, a altura média era de 0,11 m e número médio de 8 folhas definitivas.

#### **4.4. Água utilizada**

O experimento foi realizado utilizando-se duas diferentes qualidades de água, sendo uma água residuária tratada com leitos cultivados de macrófitas e outra de um depósito de fonte hídrica superficial.

##### **4.4.1. Água residuária**

A água da Faculdade de Engenharia Agrícola é servida pela Companhia de Abastecimento de Água de Campinas (SANASA) e também por poços artesianos localizados dentro da Universidade, sendo esta água utilizada para todas as dependências da faculdade. A água residuária foi captada da rede local da FEAGRI, que é composto de uma mistura de dejetos domésticos e sanitários dos vários laboratórios, dos prédios de sala de aula e do prédio de administração, cozinha, cantina e água de lavagem da oficina mecânica onde são realizadas a manutenção de máquinas e usinagem de peças.

O sistema de tratamento do efluente é composto por um reator anaeróbio compartimentado (tratamento primário) composto de três caixas de cimento amianto (1000, 500 e 500 L), com volume total de 2000 L e projetado adotando o conceito dos reatores anaeróbicos compartimentados. Este reator tem como características o fluxo ascendente e a divisão de fases da digestão anaeróbia, o que possibilita um maior contato entre o efluente e colônias específicas de bactérias formadas em cada compartimento. Na seqüência passa por seis leitos, construídos de formato retangular e quadrada, dispostos em paralelo, preenchidos com brita número dois e área de 4 m<sup>2</sup> cada leito e volume variável (tratamento secundário), onde foi cultivado as macrófitas emergentes *Typha* spp (taboa) e *Eleocharis* spp (junco manso), com leitos de vazão subsuperficial. O tempo de retenção hidráulica foi de aproximadamente 4 dias durante a realização do 1º ciclo e 5 dias no 2º ciclo. De todo o esgoto produzido na FEAGRI, parte era tratado e utilizado no experimento e parte devolvida novamente a rede coletora local. O sistema de tratamento estava localizado próximo ao Posto Meteorológico da FEAGRI, sendo que demais detalhes construtivos podem ser encontrados em VALENTIM (1999).

A qualidade média do efluente após a passagem pelos leitos cultivados com macrófitas e antes de armazenada no reservatório para posterior utilização na irrigação, durante o 1º e 2º ciclos da alfaca, são apresentados na TABELA 11.

Tabela 11. Resultados dos parâmetros analisados no efluente na saída do sistema de tratamento com leitos cultivados com macrófitas e antes de ser armazenado no reservatório durante o 1º e 2º ciclos da alfaca.

Datas	pH	P total	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N	DQO	SST	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N	Turbidez	Col.totais	<i>E. coli</i>
1º ciclo			mg.L <sup>-1</sup>				FAU	NMP/100 mL	
05/6/01	6,53	1,98	24,54	6,17	10,17	0,42	21,50	4,1x10 <sup>5</sup>	3,0x10 <sup>4</sup>
12/6/01	6,44	1,91	27,54	102,33	27,83	0,98	51,50	1,0 x10 <sup>6</sup>	5,6 x10 <sup>5</sup>
26/6/01	6,79	1,30	29,38	34,67	6,00	0,52	24,17	2,8 x10 <sup>5</sup>	6,9 x10 <sup>4</sup>
03/7/01	6,65	0,40	23,92	62,67	13,67	0,57	19,50	1,4 x10 <sup>5</sup>	4,8 x10 <sup>4</sup>
10/7/01	6,39	2,35	30,79	160,33	23,00	1,30	37,67	1,2 x10 <sup>6</sup>	2,2 x10 <sup>5</sup>
17/7/01	6,65	1,88	25,67	47,50	9,83	0,58	18,83	1,5 x10 <sup>5</sup>	4,2 x10 <sup>4</sup>
31/7/01	6,79	3,02	32,29	66,33	20,33	0,45	34,33	5,0 x10 <sup>5</sup>	9,3 x10 <sup>4</sup>
2º ciclo									
14/8/01	6,79	2,48	34,96	22,33	6,17	0,28	12,00	1,1 x10 <sup>5</sup>	1,7 x10 <sup>4</sup>
22/8/01	6,79	2,26	36,67	20,17	5,50	0,28	9,67	7,1 x10 <sup>5</sup>	2,2 x10 <sup>4</sup>
28/8/01	6,83	2,23	35,58	11,33	10,17	0,55	17,33	1,9 x10 <sup>5</sup>	1,6 x10 <sup>4</sup>
11/9/01	6,76	2,18	36,92	57,83	9,17	0,53	13,33	2,8 x10 <sup>5</sup>	4,5 x10 <sup>4</sup>

Fonte: Valentim (2003), Comunicação pessoal (FEAGRI/UNICAMP).

O efluente tratado pelos leitos cultivados foi coletado por um conjunto de tubos de PVC de 3” enterrados e ligados em uma mangueira de polietileno de 1” que conduziu o efluente por gravidade até um reservatório com capacidade de 15000 litros, para posterior utilização nos sistemas de irrigação por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial. O volume foi suficiente para atender a necessidade dos sistemas de irrigação instalados uma vez que o volume de efluente tratado no sábado e domingo devido ao reduzido número de pessoas, é praticamente zero, tendo assim, um volume reserva para atender a necessidade das culturas.

As datas de amostragem para análise da água residuária e do depósito de fonte hídrica superficial, aplicada em todos os sistemas de irrigação, foram realizadas aos 06 (14/06/01), 26 (4/07/01) e 46 (24/07/01) DAT no 1º ciclo e aos 10 (27/08/01), 25 (11/09/01) e 47 (03/08/01) DAT no 2º ciclo.

#### 4.4.2. Água do reservatório superficial

A água utilizada para irrigar a alfaca do tratamento padrão (testemunha), foi captada de um reservatório existente na própria Faculdade de Engenharia Agrícola, abastecido por bombeamento, de um reservatório a céu aberto localizado nas proximidades do Parque Ecológico da UNICAMP. As análises realizadas nesta água e datas de coleta, foram as mesmas utilizadas quando do uso de água residuária com tratamento secundário.

## 4.5. Coleta e procedimentos de análises

### 4.5.1. Coleta das amostra de água residuária e do depósito superficial

A coleta das amostras de água para análises físicas, químicas e biológicas, tanto na água residuária como na do depósito, foram realizadas em dois locais, ou seja, nos bocais dos aspersores e após a passagem pelo cabeçal de controle e filtros no sistema de irrigação por gotejamento. As amostras de água foram acondicionadas em garrafas de vidro transparentes, com tampas de plástico e esterilizados, próprias para coleta, com volume total de 250 mL. As amostras foram conservadas à 4 °C, conforme indicado no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, 1995) para posterior realização das análises propostas.

Na análise de coliformes totais e *E. coli*, devido ao tempo de conservação da amostra de água ser limitado a 6 horas (APHA, 1995 e Hach, 1996), as análises foram realizadas logo após a coleta. Estas amostras de água foram coletadas após certo tempo de iniciada a irrigação, permitindo que a água que havia dentro da tubulação fosse renovada, evitando efeitos do tempo de retenção da água no interior da tubulação de um dia para outro.

Os parâmetros analisados no efluente e na água do depósito foram a demanda bioquímica de oxigênio (DBO<sub>5</sub>); demanda química de oxigênio (DQO); coliformes totais e *E. coli* (NMP/100 mL); *Salmonella spp*; turbidez (NTU); pH, nitrogênio amoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N); nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - N); fósforo total (P<sub>tot</sub>) e na forma de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; Potássio (K); Cálcio (Ca); Magnésio (Mg); Enxofre (S); Ferro (Fe); Manganês (Mn); Cobre (Cu); Zinco (Zn); Boro (B); Sódio (Na); Cobalto (Co); Molibdênio (Mo) e Condutividade Elétrica (CE).

### 4.5.2. Análise da água de irrigação

Os equipamentos, métodos e técnicas de análises laboratoriais utilizados para o desenvolvimento deste experimento estão descritos a seguir.

#### a) Sólidos suspensos totais (SST)

Determinado no espectrofotômetro DR/4000U (Hach), pelo método fotométrico descrito em Hach (1996), com intervalos de medidas de 0 a 750 mg.L<sup>-1</sup>.

#### b) Demanda bioquímica de oxigênio (DBO<sub>5</sub>)

Realizado no equipamento DBOtrak (Hach), podendo ser analisada a DBO de 5,7 e 10 dias. Seu princípio de funcionamento está baseado na diminuição da pressão do ar

atmosférico retido em cada frasco devido ao consumo de oxigênio para oxidar a matéria orgânica. Este decréscimo de pressão é convertido em valores de DBO automaticamente pelo equipamento, sendo registrado de hora em hora para cada amostra analisada, conforme descrito em Hach (1997).

c) Demanda química de oxigênio (DQO)

Realizada com a digestão da amostra com dicromato de potássio em um reator DQO Hach, seguido de determinação colorimétrica no espectrofotômetro DR/4000U (Hach) na faixa de 0 a 150 mg O<sub>2</sub>/L e desvio padrão de ± 2,7 mg O<sub>2</sub>/L, conforme descrito em Hach (1996), sendo este método aprovado pela (U.S.E.P.A. - United States Environmental Protection Agency, 1988).

d) Turbidez

Realizado no espectrofotômetro DR/4000U (Hach), pelo método de radiação atenuada descrito em Hach (1996), no intervalo de leitura de 0 a 4400 FAU (unidade de atenuação Formazim). Esta unidade de leitura é equivalente a NTU (unidade de turbidez nefelométrica), apesar dos métodos serem muito diferentes. Este é um método direto e adaptado da ISO 7027:2001 (International Organization for Standardization).

e) pH

Realizado em um peagâmetro Orion de bancada, pelo método eletrométrico, segundo o Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, 1995).

f) Nitrogênio Amoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N)

Realizado pelo método de Nessler, não necessitando digestão, com posterior determinação colorimétrica no espectrofotômetro DR/4000U (Hach) com resultados de 0 a 50 mg.L<sup>-1</sup>. Os procedimentos experimentais estão descritos em Hach (1996).

g) Nitrato ( $\text{NO}_3^-$  - N)

Realizado pelo método do reagente NitraVer5 (Hach) e posterior determinação colorimétrica no espectrofotômetro DR/4000U (Hach), com resultados de 0 a 5  $\text{mg.L}^{-1}$  de  $\text{NO}_3^-$  - N. Os procedimentos experimentais estão descritos em Hach (1996).

h) Fósforo total

O fósforo total foi realizado pelo método do reagente PhosVer3 (Hach) com digestão em persulfato ácido no reator Hach para DBO e posterior determinação colorimétrica no espectrofotômetro DR/4000U (Hach), fornecendo leituras em  $\text{P}_2\text{O}_5$  e P. Os procedimentos estão descritos em Hach (1996), sendo este um método aceito pela U.S.E.P.A.

i) Potássio

Realizado no espectrofotômetro DR/4000U (Hach), pelo método de radiação atenuada descrito em Hach (1996).

j) Coliformes totais e *E. coli*

A determinação dos coliformes totais e *E. coli* foi realizada pelo método do substrato definido, conhecido comercialmente como Colilert-IDEXX, utilizando-se a cartela QuantiTray, seladora Quanti-Sealer e lâmpada UV. Os resultados foram obtidos após 24 horas de incubação em estufa biológica a 35 °C. Os materiais necessários e o método estão descritos no Standard Methods (APHA, 1995). Este método foi utilizado tanto para a análise da água como das folhas de alface.

Para a alface, as análises foram feitas no momento da colheita do final de cada ciclo, ou seja, 45 e 47 dias após o transplante das mudas em campo no 1º e 2º ciclo, respectivamente.

As amostras de alface para análise dos coliformes totais e *E. coli*, foram realizadas pela parte da manhã, sendo a última irrigação feita no dia anterior às 17 h 30 min. As amostras de alface foram analisadas pela técnica da lavagem superficial, utilizada em alimentos cuja contaminação é predominantemente superficial, coletando os contaminantes externos aderidos ao produto a ser analisado. Esta técnica pode ser aplicada em carcaças de aves inteiras ou partes, pequenos peixes, condimentos, grãos, sementes ou folhas, superfícies de embalagens,

etc. SILVA *et al.* (2001). A técnica da lavagem, segundo esta autora, consiste em transferir parte da amostra para uma embalagem estéril, adicionando-se o volume de diluente requerido para a diluição inicial desejada. Neste experimento foi utilizado 25 g de alface em 225 mL de uma solução salina tamponada estéril para obtenção da diluição de  $10^{-1}$ .

As amostras de alface foram agitadas, massageando as mesmas com as mãos, por fora das embalagens de plástico esterilizadas. Na seqüência foi transferido 1 mL da solução de lavagem em 99 mL da solução padrão, para formar o volume necessário, conforme exigência do método Colilert-IDEXX. Esta diluição foi definida considerando o grau de contaminação esperado, tomando-se em conta dados de análises preliminares. A contagem dos coliformes foi feita utilizando a tabela do número mais provável (NMP), fornecida pelo fabricante, em que o valor obtido de coliformes, corresponde a 0,1 g de alface fresca e multiplicando este valor por 10, obteve-se o número de coliformes por grama de massa fresca de alface.

#### 1) *Salmonella spp.*

A determinação qualitativa da *Salmonella* foi realizada utilizando o método 1-2 Test, fabricado pela BioControl. É um método rápido qualitativo para detecção de espécies móveis de *Salmonella*.

Este método é oficial e aprovado pela A.O.A.C. - Association of Official Analytical Chemists International (1989), para utilização em todos os tipos de alimentos. Os procedimentos foram seguidos conforme recomendação do fabricante.

As análises de presença de *Salmonella spp* na água residuária foram realizadas em duas amostras diárias durante 5 dias. A distribuição da *Salmonella spp* em água normalmente não é uniforme dentro do volume total de água, ou seja, é comum estarem concentradas em pontos específicos do volume de água, dificultando a localização, desta forma, é recomendável realizar a coleta de amostras o mais distribuído possível ao longo do tempo.

#### **4.5.3. Análise química da alface**

O tecido vegetal da alface foi analisado quanto a concentração dos elementos químicos nitrogênio total, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, ferro, manganês, cobre, zinco, sódio, boro, cobalto e molibdênio, através da técnica de espectrofotometria de absorção atômica e metodologia de preparo dos reagentes e soluções do material para a análise, conforme descrito em SILVA (1999).

As amostras das folhas de alface foram inicialmente lavadas e secas em estufa de ar forçado a 60 °C, até atingir peso constante. Em seguida foram trituradas e passadas em peneira de 1,0 mm, para posterior realização dos procedimentos de extração da solução e análise química conforme metodologia utilizada pelo laboratório contratado. O procedimento utilizado para análise da concentração de nitrogênio nitrato, consistiu na transferência 0,20 g de amostra para um frasco de 50 ml, onde adicionou-se 20 ml da solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,05 mol.L<sup>-1</sup> + K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,05 mol.L<sup>-1</sup> e aquecido em banho-maria a 60 °C por 10 minutos, agitando-se por 2 horas e filtrados (MIYAZAWA et al. 1985). Após este procedimento, uma porção da solução foi utilizada para determinação da concentração de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, através da cromatografia iônica com equipamento calibrado para este íon.

#### **4.5.4. Uniformidade da distribuição de água dos sistemas de irrigação**

Em laboratório determinou-se o coeficiente de variação na fabricação (CVf), utilizando três linhas laterais de 10 m de comprimento, testadas conforme descrito por KELLER & BLIESNER (1990). As pressões utilizadas foram de 49, 98, 147, 196, 245 kPa e o coeficiente na fabricação foi classificado conforme recomendação da American Society of Agricultural Engineer (1994), que é uma das mais utilizadas no Brasil.

Após o término do ciclo da cultura da alface as linhas de gotejadores foram desenterradas, evitando-se ao máximo a movimentação da mesma e posterior procedimento de medição das vazões em todos os tratamentos.

Em campo foi analisado a vazão dos gotejadores no início do 1º ciclo, no intervalo do 1º para o 2º ciclo e no final do 2º ciclo na pressão de 98 kPa. Os coeficientes estudados foram a uniformidade estatística de emissão (U<sub>s</sub>), segundo SMAJSTRIA *et al.* (1990), uniformidade de emissão (EU), conforme sugerido por MERRIAM & KELLER (1978) e índice de relação de vazão dos gotejadores (D<sub>ra</sub>), desenvolvido por CAPRA & TAMBURINO (1995).

#### 4.5.5. Uniformidade da umidade do solo

A determinação da uniformidade de distribuição da água no interior do solo nos canteiros, foi realizada através da técnica da TDR (Reflectometria no Domínio do Tempo), sendo considerada uma técnica adequada para a avaliação da umidade no solo. O ensaio foi realizado no dia 1 de setembro de 2001, ou seja, 15 DAT do 2º ciclo, nos sistemas de irrigação por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial, irrigados somente com água residuária.

A estimativa da umidade foi feita com sonda TDR, com haste de 0,20 m, após aproximadamente 12 horas da irrigação, somente em dois canteiros nos tratamentos irrigados com água residuária e apenas no 2º ciclo, por não ter sido programada esta etapa no projeto inicial. Os valores de  $K_a$  foram medidos em uma malha de metro em metro nas quatro linhas de plantas de alface de cada canteiro, totalizando 40 pontos.

Os pontos onde foram levantados os valores de  $K_a$  podem ser observados na FIGURA 5.

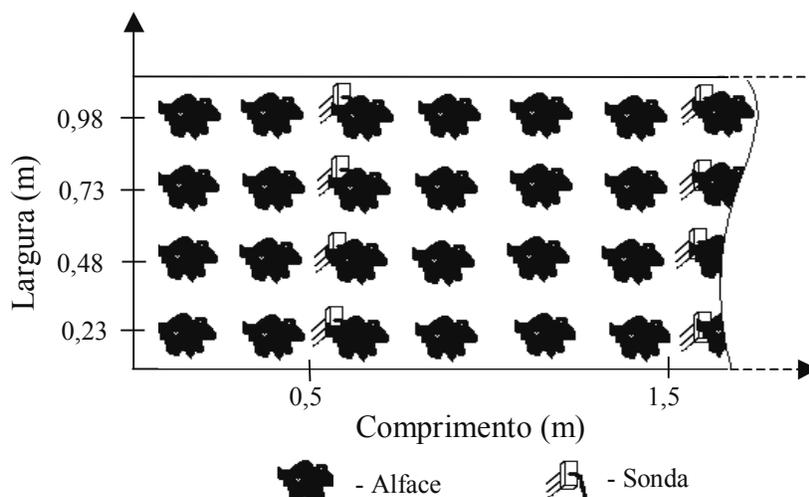


Figura 5. Esquema dos locais de determinação de  $K_a$  nos canteiros.

Após obtida a constante dielétrica, foi estimada a umidade base em volume, utilizando a equação de SOUZA (2002), conforme descrita no item 3.2.2.

Para a análise da distribuição da água no perfil do solo nos canteiros, foram determinados os coeficiente de uniformidade de CHRISTIANSEN (CUC) (1942) e Coeficiente de Uniformidade de DAVIS (CUD) (1966) para cada sistema de irrigação.

#### 4.5.6. Solo

Foi realizado uma aplicação de calcário para elevar o pH e corrigir a acidez do solo, 3 meses antes do início do plantio da alface, conforme recomendação de RAIJ & QUAGGIO (1997).

Os canteiros foram inicialmente preparados, de onde foi realizada uma amostragem de solo em vários locais do canteiro, formando uma amostra composta, representativa de todos os canteiros em cada tratamento, servindo para recomendação de adubação com macronutrientes. A incorporação da adubação, juntamente com o condicionador de solo foi realizada por ocasião do preparo definitivo dos canteiros. Após o transplante das mudas da alface e antes de iniciar a irrigação com água residuária, foi realizada mais uma análise do solo, porém, individualizada para cada canteiro, correspondendo ao 6 DAT (início) no 1º ciclo e aos 7 DAT (início) no 2º ciclo. As demais análises do solo foram realizadas a aproximadamente metade de cada um dos ciclos da cultura, ou seja, aos 26 DAT (meio) no 1º ciclo e aos 27 DAT (meio) no 2º ciclo, e a última análise realizada no término do ciclo, isto é, aos 46 DAT (final) no 1º ciclo e 49 DAT (final) no 2º ciclo.

As amostras de solo foram retiradas em dois canteiros por tratamento, no perfil de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m da superfície do solo, em três posições, ou seja, no início, no meio e no final, sendo misturadas as amostras de cada profundidade e canteiro, formando uma única composta. Assim, em cada data de amostragem, uma análise em cada camada de solo e canteiro foi realizada, totalizando seis análises por tratamento, ou seja, três (canteiros) análises por profundidade. O local de coleta das amostras no canteiro foi sempre o mesmo, ou seja, entre duas plantas de alface, em uma das linhas de plantas consideradas úteis.

O solo foi analisado quanto aos seguintes parâmetros, pH, Hidrogênio + Alumínio, Alumínio, Cálcio, Magnésio, Potássio, Fósforo (Mehlich e Resina), Carbono, Matéria orgânica, Soma de Bases, Capacidade de Troca de Cátions, Saturação por Bases, Relação Cálcio/Magnésio, Enxofre, Sódio, Boro, Ferro, Manganês, Cobre, Zinco, Cobalto, Molibdênio, Nitrogênio, Relação C/N, Cloro, Condutividade Elétrica, e porcentagem da C.T.C. para o Potássio, Cálcio, Magnésio, Hidrogênio e Alumínio. As técnicas de determinação analíticas utilizadas pelo laboratório contratado, seguiu os procedimentos descritos em SILVA (1999).

#### **4.5.7. Solução do solo**

As amostras de solo coletadas foram divididas em duas partes, uma para análise química do solo e outra para análise da solução do solo. Os parâmetros analisados foram o cálcio, magnésio, potássio, sódio e condutividade elétrica.

Neste trabalho foi utilizado para extração da solução do solo, a diluição em extrato aquoso solo:água 1:2 (1 parte de terra fina seca ao ar, para duas partes de água destilada). O preparo da amostra de solução e agitação das mesmas, seguiu o procedimento proposto por CAMARGO *et al.* (1986). A amostra foi agitada manualmente durante 30 segundos por 4 vezes, à intervalos de 30 minutos. Deixou-se a amostra em repouso por uma noite, conforme recomendação da EMBRAPA (1997), para posteriormente proceder a retirada do sobrenadante e realizar as análises necessárias.

As técnicas de determinação analíticas utilizadas pelo laboratório contratado, seguiu os procedimentos descritos em SILVA (1999).

#### **4.5.8. Avaliação da produtividade da cultura**

Foram realizadas colheitas manuais para as amostragens durante o período de crescimento para os dois ciclos da cultura, sendo feito cinco amostragens durante o desenvolvimento da cultura, ou seja, aos 13, 25, 33, 40 e 45 dias após o transplântio (DAT) no 1º ciclo e aos 14, 25, 33, 41 e 47 dias após o transplântio no 2º ciclo. Os parâmetros de crescimento analisados na planta de alface foram: altura (cm), número de folhas por planta, área foliar ( $\text{cm}^2 \cdot \text{planta}^{-1}$ ), massa seca ( $\text{g} \cdot \text{planta}^{-1}$ ) e massa fresca ( $\text{g} \cdot \text{planta}^{-1}$ ).

Três plantas foram amostradas aleatoriamente em cada uma das subparcelas. A altura das plantas foi determinada com auxílio de uma régua graduada, com precisão de 1 mm, medida a partir da base da planta até a altura máxima das folhas. A massa fresca foi determinada em balança analítica, com precisão de 0,001 g, logo após a coleta das plantas em campo. Para as determinações do número de folhas e área foliar foram consideradas apenas as folhas com altura igual ou superior a 1 cm. Para medição da área foliar utilizou-se um equipamento eletrônico, integrador de área, com precisão de 0,01  $\text{cm}^2$ . Após as medições, as plantas foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas para secar em estufa de ar forçado a 60 °C, por 72 horas ou até atingir massa constante, para então, determinar a matéria seca.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Presença de coliformes totais, *E. coli* e *Salmonella spp* na água e na planta

#### 5.1.1. Água de irrigação

Os resultados de presença de coliformes totais e *E. coli* na água residuária e na água do depósito de fonte hídrica superficial, realizadas aos 06, 26 e 46 DAT no 1º ciclo e 10, 25 e 47 DAT no 2º ciclo, podem ser observados nas TABELAS 12 e 13.

Tabela 12. Níveis de contaminação da água residuária e do depósito superficial no 1º ciclo para a aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial na saída do aspersor e após o sistema de filtragem.

DAT	Aspersão com água residuária		Aspersão com água do depósito	
	Coliformes totais (NMP.100 mL <sup>-1</sup> )	<i>E. coli</i> (NMP.100 mL <sup>-1</sup> )	Coliformes totais (NMP.100 mL <sup>-1</sup> )	<i>E. coli</i> (NMP.100 mL <sup>-1</sup> )
06	1,1x10 <sup>6</sup>	4,6x10 <sup>5</sup>	5,8x10 <sup>2</sup>	41,0
26	2,3x10 <sup>4</sup>	9,7x10 <sup>3</sup>	5,8x10 <sup>2</sup>	31,0
46	4,0x10 <sup>4</sup>	1,5x10 <sup>4</sup>	8,7x10 <sup>2</sup>	3,1
DAT	Gotejamento com água residuária		Gotejamento com água do depósito	
	Coliformes totais (NMP.100 mL <sup>-1</sup> )	<i>E. coli</i> (NMP.100 mL <sup>-1</sup> )	Coliformes totais (NMP.100 mL <sup>-1</sup> )	<i>E. coli</i> (NMP.100 mL <sup>-1</sup> )
06	1,3x10 <sup>6</sup>	3,1x10 <sup>5</sup>	6,9x10 <sup>3</sup>	31,0
26	1,2x10 <sup>5</sup>	5,6x10 <sup>4</sup>	9,1x10 <sup>2</sup>	0
46	2,5x10 <sup>4</sup>	1,4x10 <sup>4</sup>	8,1x10 <sup>1</sup>	0

<sup>1</sup>Dias após o transplântio

Tabela 13. Níveis de contaminação da água residuária e do depósito superficial no 2º ciclo para a aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial na saída do aspersor e após o sistema de filtragem.

DAT	Aspersão com água residuária		Aspersão com água do depósito	
	Coliformes totais (NMP.100 mL <sup>-1</sup> )	<i>E. coli</i> (NMP.100 mL <sup>-1</sup> )	Coliformes totais (NMP.100 mL <sup>-1</sup> )	<i>E. coli</i> (NMP.100 mL <sup>-1</sup> )
10	3,9x10 <sup>4</sup>	1,0x10 <sup>3</sup>	1,3x10 <sup>3</sup>	0
25	>2,4x10 <sup>5</sup>	1,0x10 <sup>3</sup>	2,4x10 <sup>3</sup>	0
47	1,5x10 <sup>5</sup>	6,8x10 <sup>4</sup>	4,7x10 <sup>4</sup>	0
DAT	Gotejamento com água residuária		Gotejamento com água do depósito	
	Coliformes totais (NMP.100 mL <sup>-1</sup> )	<i>E. coli</i> (NMP.100 mL <sup>-1</sup> )	Coliformes totais (NMP.100 mL <sup>-1</sup> )	<i>E. coli</i> (NMP.100 mL <sup>-1</sup> )
10	3,5x10 <sup>4</sup>	6,3x10 <sup>3</sup>	>2,4x10 <sup>5</sup>	0
25	4,4x10 <sup>5</sup>	1,0x10 <sup>3</sup>	6,8x10 <sup>1</sup>	3,10
47	1,5x10 <sup>5</sup>	4,7x10 <sup>4</sup>	2,6x10 <sup>4</sup>	0

<sup>1</sup>Dias após o transplântio

Observou-se que tanto a menor, quanto a maior concentração de *E. coli* na água residuária durante o 1º ciclo, foram na água utilizada na irrigação por aspersão, sendo de  $9,7 \times 10^3 \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$  e  $4,6 \times 10^5 \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$ , respectivamente. No 2º ciclo, a menor concentração foi de  $1,0 \times 10^3 \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$  e a maior de  $6,8 \times 10^4 \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$ , para este mesmo sistema de irrigação. Observou-se que a concentração de *E. coli* em todas as análises realizadas, tanto no 1º como no 2º ciclo, foram maiores que o permitido pela Organização Mundial da Saúde (1989) e BRASIL - Resolução CONAMA nº 20 (1986), que não permitem ultrapassar o limite de 1000 coliformes fecais.100 mL<sup>-1</sup> de água, para a irrigação de vegetais consumidos crus. Os valores de *E. coli* obtidos, também são considerados muito superiores aos sugeridos por SHELEF (1991), que define um limite de 12 coliformes fecais por 100 mL de água, em mais de 80% das amostras analisadas.

Quanto a concentração dos coliformes totais na água residuária, observou-se que durante o 1º ciclo, o menor valor foi de  $2,3 \times 10^4$  coliformes totais por 100 mL e no 2º ciclo de  $3,5 \times 10^4$  coliformes totais por 100 mL, sendo estes índices, segundo TRANI (2001), maiores que o máximo permitido para aplicação na irrigação, que não devem ultrapassar a 5000 coliformes totais por 100 mL de água.

Percebe-se que o tratamento dos esgotos com leitos cultivados com macrófitas, não foi capaz de remover os coliformes totais e *E. coli*, a níveis exigidos para aplicação na irrigação de culturas consumidas cruas, o que sugere um tratamento adicional (terciário) como por exemplo a cloração. Este alto índice de coliformes presentes no efluente após tratado, provoca a contaminação de várias culturas, sendo que as hortaliças folhosas, segundo ARMON *et al.* (2002), são mais vulneráveis a contaminação. Ainda segundo este autor, algumas recomendações baseadas em dados microbiológicos, tem sido estabelecidos para a irrigação com água residuária, no entanto, ainda persiste a necessidade de definir um critério melhor elaborado para a qualidade dos efluentes para irrigação irrestrita de culturas, relacionadas ao método de aplicação.

Os valores observados foram menores que os obtidos por VAZ DA COSTA-VARGAS (1991), em água residuária com tratamento secundário, utilizada na irrigação da alface, encontrando NMP de  $1,5 \times 10^7$  coliformes totais por 100 mL e  $8,0 \times 10^6$  coliformes fecais por 100 mL. Foram menores também aos obtidos por MIRANDA (1995), em efluente de estação de tratamento com lagoa de estabilização, observando valores médios de  $6,08 \times 10^8$  coliformes totais por 100 mL e  $3,53 \times 10^8$  coliformes fecais por 100 mL. No entanto, foram

maiores que os encontrados por JUCHEN (2000) em efluentes provenientes das indústrias frigoríficas e de laticínios, ambas tratadas com sistema de lagoas de estabilização e aplicada pelo sistema de irrigação por gotejamento, onde a concentração de coliformes totais foi em média de  $1,5 \times 10^3 \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$  e os coliformes fecais da ordem de  $7,5 \times 10^2 \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$ .

As diferenças encontradas no NMP de coliformes nos vários trabalhos, deve-se a vários fatores, sendo os principais a qualidade do efluente de origem, sistema de tratamento de esgoto, método de irrigação empregado para a aplicação da água às plantas, manejo do produto a ser analisado, procedimentos analíticos e condições ambientais locais como a temperatura, precipitação, etc.

Na água do depósito de fonte hídrica superficial, observou-se que em todas as análises realizadas nos dois ciclos, o NMP de *E. coli* foi menor que o limite máximo permitido pela Organização Mundial da Saúde (1989) e BRASIL - Resolução CONAMA nº 20 (1986), observando-se os valores máximos de 41 *E. coli*.100 mL<sup>-1</sup>. O NMP de coliformes totais, no entanto, mostrou índices mais elevados que o permitido (5000.100 mL<sup>-1</sup>), somente na amostra realizada ao 06 DAT, no 1º ciclo, na água aplicada no gotejamento subterrâneo e superficial, TABELA 12. Enquanto que no 2º ciclo, observou-se maiores índices que o permitido aos 10 DAT na água aplicada no gotejamento e aos 47 DAT, tanto na aspersão como no gotejamento.

A presença de *Salmonella spp.* na água residuária durante o 1º ciclo da cultura, apresentou resultados negativos em todas as amostras de água analisadas. Desta forma, não houve a necessidade da análise da presença de *Salmonella spp.* nas plantas de alface, uma vez que também não haviam sido encontradas na água de irrigação. Resultados estes, também obtidos por BUREAU *et al.* (1987), ao analisarem a presença de *Salmonella spp.* e *Shigella* em água residuária.

### **5.1.2. Tecido vegetal da alface**

Os resultados de contaminação da alface por coliformes totais e *E. coli*, irrigada com água residuária e água do depósito, foram comparados com as especificações de BRASIL - ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária, Resolução RCD nº 12, de 2 janeiro 2001, que estabelece os critérios e padrões microbiológicos para alimentos, tolerando  $10^2 \cdot \text{g}^{-1}$  de coliformes fecais para as hortaliças. Os valores obtidos de coliformes totais e *E. coli* podem ser observados na TABELA 14.

Tabela 14. Níveis de contaminação nas folhas de alface irrigada com água residuária e água do depósito superficial no final do 1º e 2º ciclo nos seis tratamentos.

Tratamentos	AR	GSbR	GSpR	AD	GSbD	GSpD
<b>1º ciclo</b>						
Coliformes totais (NMP.g <sup>-1</sup> ) *	6,3x10 <sup>2</sup>	1,8x10 <sup>3</sup>	9,4x10 <sup>2</sup>	1,1x10 <sup>3</sup>	2,8x10 <sup>2</sup>	8,15x10 <sup>2</sup>
<i>E. coli</i> (NMP.g <sup>-1</sup> ) *	148	0	0	0	0	0
<b>2º ciclo</b>						
Coliformes totais (NMP.g <sup>-1</sup> )*	1,4x10 <sup>4</sup>	4,9x10 <sup>3</sup>	7,2x10 <sup>3</sup>	2,5x10 <sup>3</sup>	3,9x10 <sup>2</sup>	1,9x10 <sup>2</sup>
<i>E. coli</i> (NMP.g <sup>-1</sup> )*	86	0	0	0	0	0

\* Média de 3 amostras

Os resultados demonstram que a contaminação por *E. coli* no tecido vegetal da alface irrigada por aspersão, com água residuária no final do 1º ciclo, foi acima do índice de tolerância permitido pela legislação, com média de 148 NMP.g<sup>-1</sup> (peso fresco), enquanto que no 2º ciclo o valor foi inferior ao tolerado, porém, próximo ao limite. Este resultado, inferior ao estabelecido pela vigilância sanitária ocorreu possivelmente devido a incidência de chuvas intensas, concentradas em poucas horas, 2 a 3 dias antes da coleta das amostras de alface, sendo de 58,0 e 42,8 mm, respectivamente. Os níveis de contaminação por *E. coli* encontrados no 1º ciclo foram maiores que os obtidos por VAZ DA COSTA *et al.* (1996), enquanto que no 2º ciclo, foram menores, onde este mesmo autor encontrou contaminação em radische e alface, respectivamente, na ordem de 10.g<sup>-1</sup> e 100.g<sup>-1</sup> (peso fresco).

No entanto, as variações que ocorrem entre os vários pesquisadores na contagem de bactérias, segundo FREIRE Jr. (1999), são decorrentes dos métodos de determinação utilizados, incluindo o manuseio na fase pré-colheita, qualidade da água e as operações pós-colheita, como a remoção das folhas externas, higienização, manuseio dos operadores, das águas utilizadas e das instalações.

No sistema de irrigação subterrâneo, assim como no superficial, para ambas as qualidades de água utilizada, observou-se que em nenhuma das amostras de alface analisadas, houve a presença de *E. coli*, como pode ser observado na TABELA 14. Evidenciando desta forma que o uso de sistemas de irrigação por gotejamento subterrâneo e superficial, podem ser utilizados para aplicação de água residuária, mesmo em culturas consumidas *in natura*, como as hortícolas tradicionais. Estes resultados também foram obtidos por JUCHEN (2000), onde utilizou efluentes provenientes das indústrias frigoríficas e de laticínios, ambas tratadas com sistema de lagoas de estabilização, aplicada no sistema de irrigação por gotejamento, encontrando valores de coliformes fecais inferiores a 3 por 100 g em todas as amostras

analisadas, enquanto que o número de coliformes totais encontrados na alface variou de 21 a 150 por 100 g, sendo maior no tratamento testemunha. A concentração de coliformes totais nos efluentes era em média de  $1,5 \times 10^3 \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$  e os coliformes fecais eram da ordem de  $7,5 \times 10^2 \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$ .

Os resultados obtidos no gotejamento, são concordantes aos observados por BUREAU *et al.* (1987), que relacionaram o uso de água residuária com a contaminação de vegetais, entre eles a alface, constatando que mesmo havendo considerável concentração de coliformes fecais e totais em relação a água de boa qualidade, não refletiu em significativa diferença na contaminação por coliformes totais e fecais nas plantas e no solo.

Na irrigação com água do depósito superficial, não observou-se contaminação em nenhuma das amostras da alface analisada e sistema de irrigação, conseqüência da baixa concentração de *E. coli* na água (máximo 41 de *E. coli* por 100 mL) TABELAS 12 e 13.

A concentração de coliformes totais encontrados apresentou variações entre os tratamentos, porém, de maneira geral, foi mais elevada no 2º ciclo utilizando água residuária. Este fato está associado a maior contaminação da água residuária utilizada na irrigação (TABELA 13) e também ao efeito de contaminação das plantas pela chuva, visto que neste ciclo houve maior precipitação (33,9 mm no período do 1º ciclo e 197,0 mm no 2º ciclo), onde o impacto das gotas sobre o solo ocasionaram respingos e conseqüente contaminação das folhas de alface por microrganismos presentes no solo, uma vez que o bagaço de cana-de-açúcar colocado sobre o canteiro, foi sendo deslocado pela ação do vento e da chuva. Observou-se no entanto, que as plantas irrigadas por gotejamento nos tratamentos utilizando água do depósito, foram as que ficaram mais sujas, sendo este fato justificado pelo menor tamanho das plantas devido ao seu menor desenvolvimento nestes tratamentos, o que provocou impacto das gotas de chuva diretamente sobre o solo. Porém, não necessariamente resultou em maior contaminação da alface por coliformes totais, visto que este fato é dependente da maior ou menor presença de microrganismos no solo.

A partir dos resultados obtidos, TABELAS 12 e 13, fica evidente a possibilidade de aplicação de água residuária tratada com leitos cultivados com macrófita, através da irrigação por gotejamento, mesmo com elevada presença de coliformes na água. Por outro lado, o uso da aspersão deve ser evitado para irrigação de hortaliças consumidas cruas, devido a possibilidade de contaminação do produto e transmissão de doenças aos consumidores.

### 5.1.3. Avaliação da qualidade físico-química da água residuária e do depósito

As TABELAS 15, 16, 17 e 18, apresentam os resultados das análises físicas e químicas da água residuária e do depósito de fonte superficial, aos 06, 26 e 46 DAT no 1º ciclo e aos 10, 25 e 47 DAT no 2º ciclo da cultura da alface, nos sistemas de irrigação por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial.

Tabela 15. Análise da água residuária e do depósito superficial utilizada na irrigação por aspersão durante o 1º ciclo aos 06, 26 e 46 DAT.

Parâmetro	Aspersão					
	Água residuária			Água do depósito		
	06	26	46	06	26	46
	----- mg.L <sup>-1</sup> -----					
Sódio	18,0	19,0	18,0	1,0	2,0	2,0
Cálcio	37,0	30,0	31,0	6,0	4,0	5,0
Magnésio	2,0	3,0	2,0	1,5	2,0	2,0
RAS	4,1	4,7	4,4	0,5	1,2	1,1
Dureza	100,7	87,3	85,7	21,15	18,2	20,7
Enxofre	2,0	3,0	3,0	1,0	1,0	1,0
Ferro	0,5	0,5	2,0	0,8	0,6	0,3
Boro	0,1	0,1	0,1	*	*	*
Potássio	9,0	9,0	11,0	1,0	*	0,5
P total	1,65	2,10	1,30	0,02	0,15	0,01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3,75	4,85	2,80	0,05	0,34	0,03
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N	26,50	31,50	28,75	0,00	0,00	0,00
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N	0,3	0,0	0,4	0,3	0,0	0,4
Sólidos suspensos totais	13	4	18	2	2	3
DBO <sub>5</sub>	28	0	55	0	0	0
DQO	46	5	124	2	0	14
Sólidos dissolvidos totais <sup>1</sup>	323,8	290,6	331,5	33,9	24,3	30,7
Cond. Elétrica, dS.m <sup>-1</sup>	0,51	0,45	0,52	0,05	0,04	0,05
Turbidez (FAU)	22	5	35	4	4	6
pH	7,3	7,3	7,1	6,4	7,2	6,7

\* Abaixo do limite de detecção

<sup>1</sup> Fonte: PAGANINI (1997), SDT(mg.L<sup>-1</sup>) = CE (dS.m<sup>-1</sup>) x 640

Tabela 16. Análise da água residuária e do depósito superficial utilizada na irrigação por gotejamento subterrâneo e superficial durante o 1º ciclo aos 06, 26 e 46 DAT.

Parâmetro	Gotejamento subterrâneo e superficial					
	Água residuária			Água do depósito		
	06	26	46	06	26	46
	----- mg.L <sup>-1</sup> -----					
Sódio	15,0	17,0	20,0	1,0	2,0	2,0
Cálcio	36,0	28,0	32,0	9,0	5,0	6,0
Magnésio	2,0	2,0	2,0	1,5	2,0	2,0
RAS	3,4	4,4	4,9	0,4	1,1	1,0
Dureza	98,2	78,2	88,2	28,65	20,7	23,2
Enxofre	2,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Ferro	0,3	0,8	1,5	0,9	0,7	0,4
Boro	0,1	0,1	0,1	*	*	*
Potássio	8,0	9,0	11,0	1,0	*	0,5
P total	1,60	1,45	1,10	0,02	0,04	0,01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3,60	3,40	2,60	0,02	0,10	0,03
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N	24,00	32,00	30,50	0,00	0,00	0,00
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N	0,5	0,1	0,5	0,3	0,0	0,4
Sólidos suspensos totais	42	12	100	1	3	3
DBO <sub>5</sub>	33	6	22	3	0	0
DQO	9	8	62	0	0	0
Sólidos dissolvidos totais <sup>1</sup>	323,8	283,5	332,8	33,9	25,6	34,6
Cond. Elétrica, dS.m <sup>-1</sup>	0,51	0,44	0,52	0,05	0,04	0,05
Turbidez (FAU)	54	8	43	4	1	6
pH	7,2	7,4	7,1	6,8	7,1	7,1

\* Abaixo do limite de detecção

<sup>1</sup> Fonte: PAGANINI (1997), SDT(mg.L<sup>-1</sup>) = CE (dS.m<sup>-1</sup>) x 640

Tabela 17. Qualidade da água residuária e do depósito superficial utilizada na irrigação por aspersão durante o 2º ciclo aos 10, 25 e 47 DAT.

Parâmetro	Aspersão					
	Água residuária			Água do depósito		
	10	25	47	10	25	47
	----- mg.L <sup>-1</sup> -----					
Sódio	18,0	19,0	18,0	2,0	2,0	1,0
Cálcio	28,0	30,0	31,0	4,0	3,0	4,0
Magnésio	2,0	2,0	3,0	2,0	2,0	2,0
RAS	4,6	2,3	4,4	1,2	1,3	0,6
Dureza	78,2	83,2	89,8	18,2	15,7	18,2
Enxofre	3,0	3,0	4,0	1,0	1,0	2,0
Ferro	1,0	0,7	0,5	0,4	0,9	0,9
Boro	*	0,1	0,1	*	*	0,4
Potássio	8,0	11,0	12,0	0,5	0,5	1,0
P total	1,50	2,60	1,50	0,05	0,02	0,13
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3,41	5,90	,41	0,12	0,04	0,32
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N	35,75	32,25	36,00	0,00	0,00	0,00
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N	0,6	1,0	0,2	0,2	0,4	0,2
Sólidos suspensos totais	6,0	4,0	5,0	7,0	9,0	7,0
DBO <sub>5</sub>	**	**	**	**	**	**
DQO	28,0	59,0	7,0	21,0	37,0	0,0
Sólidos dissolvidos totais <sup>1</sup>	325,1	327,7	390,4	31,4	28,8	30,7
Cond. Elétrica, dS.m <sup>-1</sup>	0,51	0,51	0,61	0,05	0,05	0,05
Turbidez (FAU)	7	3	9	9	12	14
pH	7,2	7,3	7,4	6,7	6,9	6,6

\* Abaixo do limite de detecção

\*\* Análise não realizada

<sup>1</sup> Fonte: PAGANINI (1997), SDT(mg.L<sup>-1</sup>) = CE (dS.m<sup>-1</sup>) x 640

Tabela 18. Qualidade da água residuária e do depósito superficial utilizada na irrigação por gotejamento subterrâneo e superficial durante o 2º ciclo aos 10, 25 e 47 DAT.

Parâmetro	Gotejamento subterrâneo e superficial					
	Água residuária			Água do depósito		
	10	25	47	10	25	47
	----- mg.L <sup>-1</sup> -----					
Sódio	18,0	20,0	19,0	2,0	2,0	1,0
Cálcio	29,0	30,0	30,0	5,0	4,0	4,0
Magnésio	3,0	2,0	3,0	2,0	2,0	2,0
RAS	4,5	5,0	4,7	1,1	1,2	0,6
Dureza	84,8	83,2	87,3	20,7	18,2	18,2
Enxofre	2,0	3,0	4,0	1,0	1,0	3,0
Ferro	1,1	0,8	0,5	0,4	0,9	0,9
Boro	*	0,1	0,1	*	*	0,2
Potássio	10,0	11,0	12,0	0,5	0,5	1,0
P total	1,60	2,10	1,40	0,18	0,02	0,13
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3,40	4,80	3,25	0,42	0,05	0,31
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N	36,50	32,75	38,75	0,00	0,00	0,00
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N	1,0	1,3	0,3	0,3	0,3	0,1
Sólidos suspensos totais	4,0	2,0	8,0	8,0	2,0	5,0
DBO <sub>5</sub>	**	**	**	**	**	**
DQO	18,0	47,0	2,0	9,0	47,0	0,0
Sólidos dissolvidos totais <sup>1</sup>	333,4	336,0	409,6	37,1	32,0	30,7
Cond. Elétrica, dS.m <sup>-1</sup>	0,52	0,53	0,64	0,06	0,05	0,05
Turbidez (FAU)	3	7	14	10	5	12
pH	7,2	7,4	7,3	7,0	7,2	7,2

\* Abaixo do limite de detecção

\*\* Análise não realizada

<sup>1</sup> Fonte: PAGANINI (1997), SDT(mg.L<sup>-1</sup>) = CE (dS.m<sup>-1</sup>) x 640

A discussão dos elementos químicos analisados na água residuária e água do depósito de fonte superficial, aplicadas na irrigação da alface através da aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial, considerando os níveis críticos e limites máximos permissíveis para a água de irrigação é apresentado na seqüência.

### Nitrogênio

A água residuária e do depósito de fonte superficial, foram analisadas quanto a concentração de nitrogênio nas formas de nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - N) e amônia (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N). Nas TABELAS 15 a 18, observa-se que a concentração de nitrogênio amônia na água do depósito não foi detectada em nenhuma das amostras analisadas nos dois ciclos. A água residuária por

sua vez, apresentou concentração de nitrogênio amônia elevados, mostrando valor mínimo de 24,00 mg.L<sup>-1</sup> no 06 DAT do 1º ciclo na água aplicada no gotejamento subterrâneo e superficial e máximo de 38,75 mg.L<sup>-1</sup> aos 47 DAT do 2º ciclo, também na amostra de água aplicada no gotejamento subterrâneo e superficial. Resultados estes considerados críticos na água de irrigação para aplicação em hortaliças, de acordo com recomendação de TRANI (2001). Porém, para a maioria das outras culturas não ocorre efeitos prejudiciais com concentrações inferiores a 30,0 mg.L<sup>-1</sup> (AYRES & WESTCOT, 1991).

As concentrações de nitrogênio nitrato em todas as amostras durante o 1º e 2º ciclo, não ultrapassaram o valor de 1,3 mg.L<sup>-1</sup>, sendo observado maiores concentrações na água residuária, porém, não existe nenhuma restrição para uso na irrigação (AYRES & WESTCOT, 1991). Para estes autores, até 5 mg.L<sup>-1</sup> de nitrato não existe restrição, de 5 a 30 mg.L<sup>-1</sup> a restrição é ligeira a moderada. Para TRANI (2001) e BRASIL - Resolução CONAMA nº 20 (1986), os valores máximos (valores críticos) de nitrato estão entre 5,0 e 10,0 mg.L<sup>-1</sup> na água de irrigação para hortaliças.

### **Fósforo**

A avaliação do teor de fósforo total na água residuária e do depósito de fonte superficial analisados aos 06, 26 e 46 DAT no 1º ciclo e aos 10, 25 e 47 DAT no 2º ciclo apresentados nas TABELAS 15 a 18, mostram que na água residuária as concentrações foram muito variáveis entre as datas de amostragem durante o ciclo da alface. Variações estas, conseqüentes da qualidade do efluente de origem, podendo variar consideravelmente entre as datas de amostragem, como também verificado por VALENTIM (1999), analisando o efluente deste mesmo sistema de tratamento e que serviu de fonte de água residuária para este experimento.

Os teores de fósforo total na água residuária no 1º ciclo variaram entre 1,1 a 2,1 mg.L<sup>-1</sup> e no 2º ciclo entre 1,5 a 2,6 mg.L<sup>-1</sup>. Estes valores são inferiores aos verificados por MIRANDA (1995) que encontrou valor médio de 9,4 mg.L<sup>-1</sup> de fósforo total em efluente doméstico com tratamento secundário.

Os teores máximos de fósforo total observados na água do depósito durante o 1º ciclo foram de 0,15 e 0,04 mg.L<sup>-1</sup>, respectivamente, para a aspersão e gotejamento, na análise realizada ao 26 DAT. No 2º ciclo, para as datas de amostragem de 10 e 47 DAT, a

concentração foi de 0,18 e 0,13 mg.L<sup>-1</sup>, respectivamente, para os mesmos sistemas de irrigação. Estes teores de acordo com BRASIL - Resolução CONAMA nº 20 (1986), estão acima do permitido para a classe I, indicado para a irrigação de hortaliças consumidas cruas, o qual permite um valor máximo de fósforo total de 0,025 mg.L<sup>-1</sup>.

Os valores máximos (valores críticos) de P na água de irrigação, segundo TRANI (2001), são de 30 mg.L<sup>-1</sup>, contudo, observa-se disparidade entre as literaturas. Por outro lado, KIRKHAM (1986) relata que tanto o fósforo quanto o potássio em água residuária, juntamente com o nitrogênio, são importantes nutrientes para as culturas e que não são bem conhecidos os efeitos adversos a saúde.

### **Potássio**

A menor concentração de potássio observada na água residuária foi de 8,0 mg.L<sup>-1</sup> no 6º e 10º DAT, respectivamente, para o 1º e 2º ciclo, enquanto que a máxima concentração foi de 11,0 e 12,0 mg.L<sup>-1</sup> aos 46 e 47 DAT no 1º e 2º ciclo, respectivamente. Considerando o teor máximo de potássio, o total adicionado ao solo via água residuária foi da ordem de 22 a 24 kg.ha<sup>-1</sup>, estimando-se que cerca de 13,2 a 14,4 mg.L<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O estavam presentes. O potássio adicionado ao solo pode não estar completamente disponível para as plantas, uma vez que no solo, pode tomar diferentes formas (fixado, trocável, solúvel ou constituinte da matéria orgânica). Para TRANI (2001), os valores máximos permissíveis de potássio na água de irrigação, para a aplicação em hortaliças folhosas, sem provocar perda de produtividade, estão entre 5 e 100 mg.L<sup>-1</sup>, mostrando desta forma, que a água utilizada não apresentou nenhuma restrição para uso na irrigação da alface.

Através dos resultados obtidos, verificou-se que não houve problemas de deficiência ou toxidez na alface, em consequência das concentrações de potássio existentes na água residuária utilizada na irrigação em nenhum dos tratamentos, ao contrário, a concentração de potássio auxiliou no maior desenvolvimento da cultura. Este resultado também foi obtido por MIRANDA (1995), que utilizando água residuária, observou a concentração média de potássio de 24,85 mg.L<sup>-1</sup>, não verificando nenhum sintoma de toxidez na alface.

Na água do depósito superficial, a concentração de potássio foi no máximo de 1,0 mg.L<sup>-1</sup>, sendo estes valores normais para água de irrigação, que de acordo com AYRES & WESTCOT (1991), estão entre 0,0 e 2,0 mg.L<sup>-1</sup>.

### **Condutividade elétrica**

A condutividade elétrica da água ( $CE_a$ ) residuária, durante o 1º ciclo foi de 0,44 a 0,52  $dS.m^{-1}$ , com valor médio de 0,49  $dS.m^{-1}$ . Considerando a classificação da água para a irrigação proposta por AYRES & WESTCOT (1991), a água utilizada possuía salinidade sem nenhum grau de restrição. Segundo estes autores, a  $CE_a$  até 0,7  $dS.m^{-1}$ , pode ser utilizada na irrigação sem nenhum problema, até mesmo para culturas mais sensíveis a salinidade. Para o 2º ciclo da cultura a condutividade elétrica da água residuária foi mais elevada em relação ao 1º ciclo, com valores entre 0,50 a 0,60  $dS.m^{-1}$ , com média de 0,55  $dS.m^{-1}$ , entretanto, ainda abaixo dos índices críticos para aplicação via irrigação.

De acordo com a Environment Protection Authority of Victoria, *apud* PAGANINI (1997), todas as amostras de água residuária analisadas se enquadram na classe 2, que abrange uma faixa de 0,3 a 0,8  $dS.m^{-1}$ , podendo ser aplicada via irrigação sem causar problema quando da dissolução/lixiviação. Assim, plantas com moderada tolerância à salinidade, podem desenvolver-se normalmente, sem práticas especiais de controle da mesma. Para esta classe, no entanto, a aplicação desta água por aspersão, com concentração próxima do limite superior deste grupo, podem ocorrer leves queimaduras das folhas em culturas mais sensíveis aos sais, principalmente em altas temperaturas durante o dia e com baixas taxas de aplicação.

A água do depósito apresentou valores de  $CE_a$  entre 0,038 a 0,053  $dS.m^{-1}$  durante o 1º ciclo e de 0,045 a 0,085  $dS.m^{-1}$  no 2º ciclo, indicando baixo índice de salinidade, enquadrando-se na classe 1, que abrange a faixa de 0,0 a 0,3  $dS.m^{-1}$  de acordo com a Environment Protection Authority of Victoria *apud* PAGANINI (1997). Nesta classe, pode-se utilizar esta água para a maioria das culturas e tipos de solo, sob qualquer forma de disposição no solo, com baixa probabilidade de ocorrer problema ao solo e as plantas.

### **Sódio, cálcio e magnésio**

A concentração de sódio nas análises realizadas da água residuária durante o 1º ciclo, apresentou valores entre 15,0 e 20,0  $mg.L^{-1}$  e média de 17,8  $mg.L^{-1}$ , enquanto que no 2º ciclo as concentrações foram entre 18,0 e 20,0  $mg.L^{-1}$ , com média de 18,7  $mg.L^{-1}$ . Valores estes, bem abaixo do encontrado por MIRANDA (1995), que verificou concentração média de 68,1  $mg.L^{-1}$  em água residuária com tratamento secundário. A concentração de magnésio em ambos os ciclo e em todas as datas de amostragem, foram entre 2,0 e 3,0  $mg.L^{-1}$  e a concentração de

cálcio variou entre 28,0 e 37,0 mg.L<sup>-1</sup>, sendo portanto, o nível adequado para a irrigação, que de acordo com AYRES & WESTCOT (1991), são normais as concentrações de 0,0-20,0 mg.L<sup>-1</sup> para o cálcio, 0,0-5,0 mg.L<sup>-1</sup> para o magnésio e entre 0,0-40,0 mg.L<sup>-1</sup> para o sódio. Valores altos de sódio e baixos de sais totais, podem diminuir a permeabilidade do solo, devido a dispersão e expansão da argila.

Os valores máximos (níveis críticos) do sódio na água de irrigação, segundo TRANI (2001), estão entre 50 a 70 mg.L<sup>-1</sup>, indicando que a água utilizada para a irrigação não mostrou indicação de que pudesse promover qualquer dano a cultura e ao solo. Para CROOK (1991), valores de sódio até 70 mg.L<sup>-1</sup> na água de irrigação, não provoca danos as plantas. Valores maiores, levam a absorção excessiva deste íon, especialmente quando a umidade no solo for inferior a 30%.

Na água do depósito de fonte superficial a concentração de sódio em todas as amostras de água analisadas foram entre 1,0 a 2,1 mg.L<sup>-1</sup>. O cálcio apresentou concentração abaixo dos limites críticos para água de irrigação, atingindo o máximo de 9,0 e 5,0 mg.L<sup>-1</sup>, respectivamente, para o 1º e 2º ciclo. O mesmo ocorreu com o magnésio, com valores máximos de 2,0 mg.L<sup>-1</sup> tanto no 1º como no 2º ciclo.

A razão de absorção de sódio (RAS), conforme mostrado nas TABELAS 15 a 18, apresentou valores entre 3,4 a 4,9 para a água residuária durante o 1º ciclo e de 2,3 a 5,0 no 2º ciclo, estando em ambos os ciclos dentro dos níveis adequados para água de irrigação. Na água do depósito os valores de RAS foram sensivelmente menores, não ultrapassando de 1,2 no 1º ciclo e 1,3 no 2º ciclo. Segundo MELO (1978), com estes valores não são verificados efeitos negativos do sódio na irrigação, que só passam a provocar problemas as plantas com valores de RAS maiores que 10. De acordo com Feigin *et al. apud* MAMEDOV *et al.* (2001), a RAS em efluente secundário avaliados em Israel foi entre 5 a 8 e a concentração de sais mostrou níveis entre 17 a 20 mg.L<sup>-1</sup>, enquanto que na água superficial, o valor máximo de RAS foi de 2 e os sais variaram entre 8 a 10 mg.L<sup>-1</sup>. Os valores de RAS encontrados neste trabalho, são portanto, menores que os citados por estes autores, porém, dentro do intervalo de valores encontrados por JNAD *et al.* (2001a), em efluentes obtidos de quatro localidades diferentes, que variou entre 2,6 a 12,4.

De acordo com AYRES & WESTCOT (1991), o valor de RAS menor que 3, indica que não existe nenhum grau de restrição para aplicação agrícola, de 3,0 a 9,0, o grau de

restrição é de ligeiro a moderado, tanto em relação a planta quanto em relação a capacidade de infiltração de água no solo. Diante destes índices, observa-se que a água residuária utilizada neste experimento, poderá ser prejudicial para algumas culturas mais sensíveis e também modificar a permeabilidade do solo, uma vez que em praticamente todas as datas de amostragem e em ambos os ciclos, os valores de RAS observados foram entre 3,0 a 9,0.

### **Boro**

O teor médio de boro nas amostras de água residuária e do depósito, em ambos os ciclos da cultura, foi de  $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$  não apresentando nenhuma restrição para aplicação na irrigação. De acordo com AYRES & WESTCOT (1991), poderá haver problema para as culturas, quando a concentração atingir pelo menos  $0,7 \text{ mg.L}^{-1}$ , enquanto que para TRANI (2001), os valores limites para a água de irrigação estão entre  $0,5$  a  $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ .

### **Ferro**

Na água residuária durante o 1º ciclo, observou-se que a concentração aumentou progressivamente a partir do 06 DAT ( $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$ ) até aos 46 DAT ( $2,0 \text{ mg.L}^{-1}$ ). No 2º ciclo, ocorreu o inverso, ou seja, os valores diminuíram de  $1,1 \text{ mg.L}^{-1}$  aos 10 DAT, para  $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$  aos 47 DAT. Na água do depósito superficial as concentrações de ferro foram menores, não ultrapassando o valor de  $0,9 \text{ mg.L}^{-1}$  em ambos os ciclos da cultura.

De acordo com AYRES & WESTCOT (1991), as concentrações de ferro recomendadas para a irrigação são no máximo de  $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$ , onde a partir deste valor as culturas começam a apresentar problemas de toxidez. Este valor não é tóxico para solos com boa aeração, porém contribui para a acidez e a indisponibilidade do fósforo e do molibdênio, sendo que para o uso na aspersão pode causar a formação de depósitos de ferro nas folhas.

Segundo TRANI (2001) os valores máximos de ferro na água de irrigação devem estar entre  $0,2$  a  $4,0 \text{ mg.L}^{-1}$  para aplicação agrícola. Considerando a recomendação deste autor, verificou-se que em todas as amostras analisadas, a concentração de ferro mostrou níveis normais para aplicação agrícola via irrigação.

### 5.3. Análise do solo

Na seqüência será apresentado uma discussão dos resultados obtidos da análise do solo, referente aos parâmetros: matéria orgânica, C.T.C., potássio, nitrogênio total, magnésio, manganês, cobre, enxofre, boro, sódio, cálcio e condutividade elétrica, irrigado com água residuária e do depósito de fonte hídrica superficial, nas camadas de solo de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m, analisado no início (6 DAT), meio (26 DAT) e final (46 DAT) no 1º ciclo e no início (7 DAT), meio (27 DAT) e final (49 DAT) no 2º ciclo da cultura da alface.

#### Matéria Orgânica

Observou-se que durante o 1º ciclo utilizando água residuária, a matéria orgânica da camada de solo de 0,00-0,10 m, mostrou elevação no seu teor no final em relação ao início do ciclo de 21,2%, 14,7% e 12,9% (TABELA 19), enquanto que utilizando água do depósito, as elevações nesta mesma camada de solo foram de 36,7%, 23,3% e 27,6%, respectivamente para a aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial. No 2º ciclo para esta mesma camada de solo, as elevações foram de 37,1%, 18,9% e 31,6% (TABELA 19) utilizando água residuária e de 21,6%, 25,0% e 16,2% utilizando água do depósito, respectivamente para a aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial.

Tabela 19. Resultados da análise da matéria orgânica do solo irrigado por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária e do depósito de fonte superficial durante o 1º e 2º ciclo nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.

Tratamentos	Matéria orgânica (g.dm <sup>-3</sup> )							
	Início	Meio	Final	Variação	Início	Meio	Final	Variação
<b>1º ciclo</b>		0,00-0,10		(%)		0,10-0,20		(%)
AR	33,0	34,0	40,0	21,2	31,0	31,0	36,0	16,1
AD	30,0	33,0	41,0	36,7	30,0	30,0	37,0	23,3
GSbR	34,0	36,0	39,0	14,7	30,0	33,0	35,0	16,7
GSbD	30,0	30,0	37,0	23,3	30,0	27,0	34,0	13,3
GSpR	37,0	35,0	41,0	10,8	35,0	32,0	36,0	2,9
GSpD	29,0	33,0	37,0	27,6	27,0	29,0	33,0	22,2
<b>2º ciclo</b>								
AR	35,0	36,0	48,0	37,1	33,0	33,0	42,0	27,3
AD	37,0	36,0	45,0	21,6	33,0	32,0	40,0	21,2
GSbR	37,0	38,0	44,0	18,9	34,0	33,0	40,0	17,6
GSbD	36,0	34,0	45,0	25,0	31,0	30,0	39,0	25,8
GSpR	38,0	39,0	50,0	31,6	34,0	35,0	44,0	29,4
GSpD	36,0	36,0	42,0	16,7	32,0	32,0	36,0	12,5

Na camada de solo de 0,10-0,20 m, em praticamente todos tratamentos e em ambos os ciclos, a elevação foi menor que na camada anterior. Estes resultados confirmam os obtidos por outros autores, como MIRANDA (1995), que encontrou um acréscimo de 19,0% na matéria orgânica, quando da adição no solo de efluente doméstico tratado com lagoa de estabilização e quando da adição de água límpida de um açude, a elevação foi de 14,3%. JUCHEN (2000) por sua vez, encontrou elevação de 11,0% nos teores de matéria orgânica com a fertirrigação de efluentes das agroindústrias de laticínios e frigorífico. Outros autores como (PAGANINI, 1997; ANDRADE NETO, 1991), relatam que a adição de resíduos ricos em matéria orgânica, como são os efluentes domésticos, provocam elevação no percentual de matéria orgânica do solo.

### **Capacidade de troca de cátions**

A capacidade de troca de cátions (C.T.C.) no 1º ciclo utilizando água residuária, mostrou elevação no seu percentual em todos os tratamentos. Na camada de solo de 0,00-0,10 m, a maior elevação ocorreu no gotejamento superficial com 3,3% (TABELA 20), enquanto que aplicando água do depósito, a maior elevação ocorreu no sistema de irrigação por aspersão, sendo de 14,7% e 18,2% (TABELA 20), respectivamente para as camadas de solo de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m.

No 2º ciclo houve variação dos valores da C.T.C. entre os tratamentos utilizando água residuária, no entanto, de forma geral, observou-se redução na medida realizada no final do ciclo em relação ao início no gotejamento subterrâneo e superficial, em ambas as camadas de solo. Nos demais tratamentos houve acréscimo, sendo mais acentuado no gotejamento superficial utilizando água do depósito, com valores de 12,1% e 18,7% (TABELA 20), respectivamente, para as camadas de solo de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m, mostrando não ser possível identificar com clareza a influência de cada tipo de água sobre o valor da C.T.C. do solo. A elevação em praticamente todos os tratamentos nos dois ciclos, foram menores que os obtidos por MIRANDA (1995). Esta autora observou que a adição de efluente propiciou uma elevação de 15,4%, atribuindo em parte ao aumento de matéria orgânica do solo e dos constituintes orgânicos minerais da fração coloidal do solo.

Tabela 20. Resultados da capacidade de troca de cátions do solo irrigado por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária e do depósito de fonte superficial durante o 1º e 2º ciclo nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.

Tratamentos	Capacidade de troca de cátions (cmol.dm <sup>-3</sup> )								
	Início	Meio	Final	Variação	Início	Meio	Final	Variação	
<b>1º ciclo</b>	0,00-0,10				(%)	0,10-0,20			
AR	9,1	9,2	9,3	2,2	8,8	8,8	9,2	4,5	
AD	8,2	9,2	9,4	14,7	8,3	8,7	9,8	18,2	
GSbR	9,5	9,4	9,6	1,1	8,9	9,8	9,0	1,1	
GSbD	8,2	8,7	8,8	7,7	8,6	8,1	8,7	1,4	
GSpR	9,2	9,5	9,5	3,3	9,4	9,3	9,5	1,1	
GSpD	8,6	8,6	8,7	1,8	8,7	8,4	9,0	3,9	
<b>2º ciclo</b>									
AR	9,6	9,7	9,9	3,1	9,7	9,5	10,2	5,2	
AD	9,9	10,1	10,0	1,0	9,8	9,7	9,9	1,0	
GSbR	9,8	9,6	9,5	-3,2	10,1	9,8	9,6	-5,2	
GSbD	8,8	8,8	9,6	9,1	8,6	8,6	9,3	8,1	
GSpR	10,2	10,2	9,9	-3,0	10,6	9,9	9,7	-9,3	
GSpD	9,1	9,4	10,2	12,1	9,1	9,3	10,8	18,7	

Os valores menores obtidos no solo utilizado neste trabalho, são provavelmente devido a menor concentração de material orgânico presente na água residuária. TOMÉ Jr. (1997), relata que uma elevada C.T.C. pode ser importante indicativo da reserva de nutrientes para as plantas, devido a possibilidade de redução de perdas de cátions por lixiviação ou como inativação de compostos tóxicos, mas sendo o solo ácido, poderá ter C.T.C. baixa. De maneira geral, a maior parte da C.T.C. do solo está ocupada por cátions essenciais como o Ca, Mg e K e sendo o solo considerado bom para a nutrição das plantas.

### Fósforo

O fósforo (resina) presente no solo mostrou um comportamento diferenciado entre os tratamentos, tanto utilizando água residuária como do depósito superficial. No 1º ciclo utilizando água residuária, observou-se que no sistema de irrigação por aspersão e gotejamento subterrâneo, houve elevação no teor de fósforo no meio do ciclo para a camada de 0,00-0,10 m, provavelmente devido ao acúmulo no solo e ao menor consumo pela planta, na fase inicial de desenvolvimento da alfaca. No final do ciclo houve diminuição, sendo inferior ao verificado no início do mesmo, possivelmente, pela maior demanda na fase final do desenvolvimento da alfaca, mostrando que o consumo de fósforo nesta fase, foi maior que o fornecido pela água de irrigação (TABELA 21).

Tabela 21. Resultados da análise do fósforo (Resina) do solo irrigado por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária e do depósito de fonte superficial durante o 1º e 2º ciclo nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.

Tratamentos	Fósforo (Resina) (mg.dm <sup>-3</sup> )							
	Início	Meio	Final	Variação	Início	Meio	Final	Variação
<b>1º ciclo</b>	0,00-0,10				0,10-0,20			
				(%)				(%)
AR	47,7	52,3	44,3	-7,7	39,0	45,7	40,3	3,3
AD	33,0	47,3	56,7	71,8	32,0	40,3	53,0	65,6
GSbR	55,7	57,3	50,0	-11,4	50,3	56,7	50,7	0,8
GSbD	32,3	33,3	34,3	6,2	36,0	25,7	35,0	-2,9
GSpR	48,3	40,7	60,7	25,7	41,3	49,7	40,7	-1,5
GSpD	40,3	57,0	46,0	14,1	35,7	44,0	51,0	42,9
<b>2º ciclo</b>								
AR	44,3	61,7	42,3	-4,7	51,3	54,3	54,3	5,8
AD	54,3	52,3	42,7	-27,2	42,7	42,3	48,3	13,1
GSbR	59,7	63,7	63,3	6,0	59,7	56,7	62,0	3,9
GSbD	33,3	41,0	36,3	9,0	25,0	24,7	31,3	25,2
GSpR	55,0	49,3	48,0	-14,6	41,7	42,0	55,0	31,9
GSpD	54,7	46,3	48,3	-13,3	47,0	39,7	40,0	-17,5

No gotejamento superficial utilizando água residuária, no entanto, houve elevação acentuada do fósforo na camada de 0,00-0,10 m, ocasionado possivelmente pela permanência nesta camada, decorrente da baixa mobilidade deste íon no solo, como também encontrado por MIRANDA (1995), constatando que 99,5% do fósforo total da água de irrigação ficou retido no solo, em um ensaio realizado em colunas de solo, sendo os principais responsáveis a matéria orgânica ou o próprio material coloidal do solo. Na camada de solo de 0,10-0,20 m no 1º ciclo, observou-se comportamento semelhante ao da aspersão e gotejamento subterrâneo, ou seja, aumento de fósforo na medida realizada no meio do ciclo e diminuição no final do mesmo, porém, de forma menos acentuada.

O comportamento do fósforo em permanecer na camada mais superficial de solo, também foi comprovado por JNAD *et al.* (2001a), onde verificou que a concentração do mesmo próximo ao emissor (0,08 m acima do emissor), foi significativamente maior que na área de controle, enquanto que a 0,30 m abaixo do emissor não houve diferença significativa. De acordo com este autor, este íon rapidamente sofre reação de adsorção no solo, assim, o movimento no perfil do solo é limitado, por este motivo, observou que a maior parte da

elevação do fósforo ocorreu próximo ao emissor. No entanto, o movimento de fósforo a grandes distâncias pode ocorrer quando a capacidade de adsorção pelo solo for atingido.

Ainda de acordo com o autor acima, fica demonstrado que a posição de coleta da amostra de solo em relação a posição do gotejador, influencia na concentração de fósforo do solo. Este critério porém, não foi considerado na realização deste trabalho, onde as amostras foram coletadas na mesma posição em relação as dimensões do canteiro, desconsiderando a posição do gotejador, podendo este ser um dos motivos pela variação da concentração de fósforo entre as datas de amostragem e camada de solo.

No 2º ciclo utilizando água residuária, de forma geral, houve tendência em diminuir a concentração de fósforo do início para o final do ciclo, sendo mais evidente na camada de solo de 0,00-0,10 m para a aspersão e gotejamento superficial (TABELA 21). No gotejamento subterrâneo, porém, houve variação lenta da concentração de fósforo durante todo o ciclo da alface.

Utilizando água do depósito no 1º ciclo, observou-se elevação do teor de fósforo (resina) no solo no final em relação ao início do ciclo em todos os tratamentos, sendo que na camada de solo de 0,00-0,10 m, foram de 71,8%, 6,3% e 14,1% (TABELA 21), respectivamente para a aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial. No 2º ciclo houve diminuição na concentração do fósforo de 27,2%, 13,3% e 9,0%, respectivamente na aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial.

### **Potássio**

Observou-se redução na concentração de potássio no final do 1º ciclo, utilizando água residuária na camada de solo de 0,00-0,10 m de 15,2%, 36,1% (TABELA 22), respectivamente para a aspersão e gotejamento subterrâneo, enquanto que no gotejamento superficial, houve elevação de 4,7%. No 2º ciclo as reduções foram de 50,0%, 30,0% e 33,3%, respectivamente para a aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial.

Na camada de solo de 0,10-0,20 m, também houve redução no teor de potássio em ambos os ciclos da cultura, com exceção do 1º ciclo, da aspersão e gotejamento superficial, onde a concentração aumentou em 14,7% e 4,7% (TABELA 22) respectivamente. Na aspersão durante o 2º ciclo, o teor de potássio manteve o mesmo durante todo o período. As reduções de potássio podem ser atribuídas principalmente ao consumo pelas plantas e lixiviação no perfil

do solo. Resultados estes, em grande parte, concordantes com os observados por MIRANDA (1995), que observou redução de 24,5% de potássio na análise do solo após o ciclo da cultura da alface. JUCHEN (2000), por sua vez, encontrou variação entre os tratamentos, sendo que utilizando fertirrigação com efluente de frigorífico em alface, a redução na concentração de potássio foi de 15,0%, enquanto que nas parcelas fertirrigadas com efluente de laticínios houve aumento de 19,0%.

Tabela 22. Resultados da análise do potássio do solo irrigado por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária e do depósito de fonte superficial durante o 1º e 2º ciclo nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.

Tratamentos	Potássio (cmol.dm <sup>-3</sup> )							
	Início	Meio	Final	Variação (%)	Início	Meio	Final	Variação (%)
<b>1º ciclo</b>	0,00-0,10				0,10-0,20			
AR	0,38	0,37	0,33	-15,20	0,34	0,40	0,39	14,70
AD	0,49	0,72	0,70	42,90	0,44	0,65	0,68	54,50
GSbR	0,49	0,43	0,36	-36,10	0,57	0,42	0,38	-50,00
GSbD	0,45	0,44	0,41	-9,80	0,45	0,45	0,44	-2,30
GSpR	0,43	0,51	0,45	4,70	0,43	0,52	0,45	4,70
GSpD	0,63	0,46	0,44	-43,20	0,63	0,49	0,48	-31,30
<b>2º ciclo</b>								
AR	0,30	0,30	0,20	-50,00	0,30	0,30	0,30	0,00
AD	0,70	0,60	0,40	-75,00	0,60	0,60	0,50	-20,00
GSbR	0,39	0,40	0,30	-30,00	0,36	0,39	0,24	-50,00
GSbD	0,40	0,40	0,20	-100,00	0,40	0,30	0,30	-33,30
GSpR	0,40	0,40	0,30	-33,30	0,50	0,40	0,30	-66,70
GSpD	0,40	0,40	0,30	-33,30	0,50	0,40	0,30	-66,70

A concentração de potássio no solo da aspersão durante o 1º ciclo utilizando água do depósito, mostrou incremento no final em relação ao início do ciclo nas duas camadas de solo. Enquanto que todos os demais tratamentos, em ambos os ciclos da cultura e camadas de solo, ocorreu redução da concentração do potássio no final do ciclo, sendo mais acentuada no gotejamento subterrâneo atingindo 100,0% (TABELA 22) no 2º ciclo, para a camada de solo de 0,00-0,10 m. Este fato é decorrente de chuvas que ocorreram, principalmente no final do 2º ciclo, provocando a lixiviação do potássio, possivelmente abaixo da camada de solo de 0,20 m.

## Nitrogênio total

Observou-se aumento da concentração de nitrogênio total em todos os tratamentos, nas duas camadas de solo e em ambos os ciclos da cultura. No 1º ciclo houve comportamento diferenciado entre os três sistemas de irrigação utilizando água residuária, principalmente na aspersão, onde nas camadas de solo de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m, observou-se elevação de 44,4% e 100,0% (TABELA 23), respectivamente, enquanto que no gotejamento subterrâneo ocorreu o inverso, ou seja, aumento de 30,0% na camada de solo mais superficial e de 16,7% na mais profunda, enquanto que no gotejamento superficial, nas duas camadas de solo, a elevação foi de 55,6%.

Tabela 23. Resultados da análise do nitrogênio do solo irrigado por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária e do depósito de fonte superficial durante o 1º e 2º ciclo nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.

Tratamentos	Nitrogênio (g.dm <sup>-3</sup> )							
	Início	Meio	Final	Variação (%)	Início	Meio	Final	Variação (%)
<b>1º ciclo</b>	0,00-0,10				0,10-0,20			
AR	1,8	2,7	2,6	44,4	1,5	2,7	3,0	100,0
AD	2,2	2,7	2,4	9,1	1,5	3,0	2,4	60,0
GSbR	2,0	2,8	2,6	30,0	2,4	2,1	2,8	16,7
GSbD	1,8	2,3	2,6	44,4	2,4	3,5	3,0	25,0
GSpR	1,8	2,6	2,8	55,6	1,8	2,8	2,8	55,6
GSpD	2,0	3,4	3,2	60,0	2,0	3,2	3,0	50,0
<b>2º ciclo</b>								
AR	0,3	0,1	0,4	20,7	0,2	0,1	0,3	50,0
AD	2,6	2,4	3,2	23,1	1,8	1,5	2,8	55,6
GSbR	0,3	0,2	0,4	51,7	0,2	0,1	0,4	105,0
GSbD	2,0	2,0	3,5	75,0	1,1	1,3	2,6	136,4
GSpR	0,2	0,2	0,3	41,7	0,2	0,1	0,3	55,6
GSpD	3,0	2,4	2,6	-15,4	1,3	2,0	2,8	115,4

No 2º ciclo, no entanto, para os três sistemas de irrigação utilizando água residuária, houve elevação mais acentuada na camada de solo de 0,10-0,20 m, comparada a de 0,00-0,10 m, sendo de 50,0%, 105,0% e 55,6% (TABELA 23), respectivamente para a aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial. Observou-se que no gotejamento subterrâneo, a elevação foi maior, possivelmente devido a aplicação da água residuária diretamente sobre a camada de solo de 0,10-0,20 m, uma vez que as linhas de gotejador estavam enterradas a 0,10

m de profundidade. Esses dados mostram que em ambos os ciclos, possivelmente houve percolação do nitrogênio para a camada mais profunda, sendo mais evidente este fato no 2º ciclo, influenciado pela maior incidência de chuvas nesse período. A elevação da concentração do nitrogênio também foi observada por JNAD *et al.* (2001a), constatando que próximo ao emissor, a concentração de nitrogênio total foi significativamente maior que na área de controle, observando ainda que o nitrogênio teve o mesmo comportamento do fósforo, ou seja, a concentração foi maior acima do emissor que abaixo deste, atribuindo ao movimento ascendente da água no solo por capilaridade e conseqüente deposição dos íons pela evaporação da água. Trabalho realizado por MIRANDA (1995) utilizando efluente de uma lagoa de estabilização em colunas de solo, também encontrou elevação de nitrogênio total em média de 31,8% no solo após um ciclo da cultura da alface, porém é inferior ao obtido neste trabalho.

Aumentando a superfície de lixiviação da água no solo para um mesmo volume de água, maior deverá ser a quantidade de nitrogênio removido, estando, este fato, diretamente relacionado ao teor de amônia e carbono na água aplicada ao solo, a taxa de infiltração, capacidade de troca de cátions, percentagem de amônio trocável, teor de oxigênio e temperatura do solo (BOUWER, 1991).

De acordo com JNAD *et al.* (2001a) a maior parte do nitrogênio no efluente de sistema de tratamento com tanque séptico se encontra na forma de amônia, no entanto, quando o efluente atingir o solo, o  $\text{NH}_4^+$  é transformado para a forma  $\text{NO}_3^-$  e sendo um ânion, o  $\text{NO}_3^-$  é facilmente lixiviado ao perfil mais profundo do solo.

O nitrogênio amônia e o íon amônio, aplicados em grandes quantidades no solo, seja via fertilizantes ou lodo de esgoto, mostram tendência a elevar a acidez do solo, pois a rápida nitrificação destes compostos libera íons de hidrogênio que permanecem adsorvidos pelos colóides do solo (BRADY, 1989).

Devido a complexidade das transformações que ocorrem no solo, não existe uma metodologia de laboratório capaz de integrar o grande número de fatores que afetam esses processos e fornecer um índice de disponibilidade de nitrogênio. Desta forma, segundo TOMÉ Jr. (1997), deve-se considerar que não existe uma análise de solo para fornecer índices de nitrogênio disponível para as plantas. No entanto, tem-se adotado as classes de resposta esperada de nitrogênio baseadas nos teores de nitrogênio em folhas.

## Manganês

Observou-se que houve elevação no teor do manganês do solo durante o 1º ciclo utilizando água residuária, tanto na camada de 0,00-0,10 m, como na de 0,10-0,20 m. As maiores elevações ocorreram nas análises realizadas no meio do ciclo, diminuindo na medida do final do ciclo, no entanto, permaneceu acima da concentração observada no início do ciclo, podendo ser atribuído este comportamento ao crescimento lento das plantas no início do ciclo e mais intenso na metade final do ciclo, principalmente nos últimos dias que antecederam a colheita, retirando manganês do solo, em quantidade maior que a capacidade de reposição pela água de irrigação. Na camada de solo de 0,00-0,10 m no 1º ciclo, observou-se aumento de 14,9%, 10,1% e 25,6% (TABELA 24), respectivamente para a aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial. Estes dados são concordantes com os observados por MIRANDA (1995), que encontrou uma elevação média de 16,1%.

Tabela 24. Resultados da análise do manganês do solo irrigado por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária e do depósito de fonte superficial durante o 1º e 2º ciclo nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.

Tratamentos	Manganês (mg.dm <sup>-3</sup> )							
	Início	Meio	Final	Variação	Início	Meio	Final	Variação
<b>1º ciclo</b>	0,00-0,10				0,10-0,20			
				(%)				(%)
AR	26,9	34,3	30,9	14,9	27,7	35,5	34,3	23,8
AD	24,6	41,2	41,3	67,9	23,8	42,7	37,5	57,6
GSbR	32,7	38,4	36,0	10,1	33,1	36,7	36,5	10,3
GSbD	24,9	29,6	26,8	7,6	25,3	31,0	29,2	15,4
GSpR	32,0	48,4	40,2	25,6	35,9	49,1	42,2	17,5
GSpD	34,8	33,8	32,7	-6,4	34,8	29,9	31,7	-9,8
<b>2º ciclo</b>								
AR	34,4	32,1	24,8	-38,7	33,0	31,8	30,2	-8,5
AD	53,5	43,8	34,1	-56,9	48,2	40,1	38,2	-26,2
GSbR	42,2	38,2	30,2	-44,8	45,7	36,8	26,8	-70,5
GSbD	31,6	28,8	21,4	-47,7	31,2	28,5	20,3	-53,7
GSpR	48,1	41,3	31,5	-52,7	54,7	42,7	34,5	-58,6
GSpD	30,2	37,2	28,7	-5,2	34,7	34,8	26,8	-29,5

No 2º ciclo, observou-se distinto comportamento do manganês, ou seja, nos três sistemas de irrigação utilizando água residuária, houve redução progressiva do teor de manganês do início para o final do ciclo, nas duas camadas de solo analisadas. A redução no final em relação ao início do ciclo foram de 38,7%, 44,8% e 52,7% (TABELA 24), para a

camada de solo de 0,00-0,10 m, enquanto que de 0,10-0,20 m, a redução foi de 9,3%, 70,5% e 58,6%, respectivamente para a aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial. A redução mais acentuada de manganês do 2º ciclo, é atribuída as chuvas que ocorreram neste período, provocando a lixiviação deste elemento químico para abaixo da camada de 0,20 m, uma vez que houve redução nas duas camadas de solo estudadas.

Quanto aos tratamentos utilizando água do depósito superficial, observou-se que no 1º ciclo, houve elevação acentuada no teor de manganês do solo irrigado por aspersão, sendo de 67,9% e 57,6% (TABELA 24), respectivamente para as camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m. No gotejamento subterrâneo houve elevação de 7,6% na camada de 0,00-0,10 m e no gotejamento superficial houve redução progressiva do início para o final do ciclo nas duas camadas, atingindo 9,8% na de 0,10-0,20 m. No 2º ciclo, o teor de manganês sofreu redução progressiva do início para o final do ciclo, nas duas camadas de solo analisadas e nos três sistemas de irrigação.

### **Magnésio**

Observou-se que o teor de magnésio do solo irrigado com água residuária no 1º ciclo, na camada de 0,00-0,10 m, apresentou elevação na análise do meio do ciclo, tanto na aspersão como no gotejamento subterrâneo e superficial, diminuindo no final do ciclo a valores praticamente iguais aos verificados no início do ciclo. Isso mostra que a água residuária forneceu quantidade maior que a necessária pela planta na fase inicial do ciclo e menor que a absorvida na fase final do ciclo da alface. Na camada de solo de 0,10-0,20 m, a redução foi maior que na camada de 0,00-0,10 m, para o gotejamento subterrâneo e superficial, apresentando valores de 30,8% e 15,4% (TABELA 25), respectivamente. Observou-se que no 2º ciclo, na camada de 0,00-0,10 m, o solo irrigado com água residuária apresentou pequena elevação da concentração de magnésio na medida realizada na final do ciclo em relação ao início do mesmo na aspersão. Já no gotejamento superficial a elevação foi maior, atingindo 45,5% (TABELA 25) para esta mesma camada de solo, enquanto que no gotejamento subterrâneo, permaneceu praticamente o mesmo valor nas duas camadas de solo durante todo o ciclo. MIRANDA (1995) por sua vez, encontrou um acréscimo de magnésio de 24,5% durante um ciclo da cultura da alface, enquanto que JNAD *et al.* (2001a), constataram que a concentração de magnésio foi sempre mais elevada no solo irrigado com efluente com tratamento secundário, que no solo controle em todos os pontos analisados.

Tabela 25. Resultados da análise do magnésio do solo irrigado por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária e do depósito de fonte superficial durante o 1º e 2º ciclo nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.

Tratamentos	Magnésio (cmol.dm <sup>-3</sup> )							
	Início	Meio	Final	Variação	Início	Meio	Final	Variação
<b>1º ciclo</b>	0,00-0,10				0,10-0,20			
				(%)				(%)
AR	1,2	1,3	1,2	0,0	1,2	1,3	1,2	0,0
AD	1,2	1,6	1,5	25,0	1,2	1,5	1,5	25,0
GSbR	1,5	1,8	1,4	-7,1	1,7	1,4	1,3	-30,8
GSbD	1,2	1,5	1,2	0,0	1,3	1,3	1,2	-8,3
GSpR	1,4	1,6	1,4	0,0	1,5	1,5	1,3	-15,4
GSpD	1,5	1,5	1,3	-15,4	1,5	1,4	1,2	-25,0
<b>2º ciclo</b>								
AR	1,4	1,5	1,5	7,1	1,5	1,4	1,8	20,0
AD	1,7	1,7	1,8	5,9	1,7	1,7	1,8	5,9
GSbR	1,7	1,6	1,7	0,0	1,8	1,7	1,8	0,0
GSbD	1,3	1,3	1,7	30,8	1,3	1,3	1,4	7,7
GSpR	1,1	1,5	1,6	45,5	1,8	1,5	1,7	-5,9
GSpD	1,5	1,5	1,5	0,0	1,6	1,5	1,9	18,8

Nos tratamentos utilizando água do depósito durante o 1º ciclo, observou-se que na camada de 0,00-0,10 m, houve elevação do teor de magnésio no final em relação ao início do ciclo de cerca de 25,0% na aspersão, enquanto que no gotejamento subterrâneo permaneceu o mesmo valor, embora tenha apresentado uma pequena elevação na medida realizada no meio do ciclo. No gotejamento superficial, houve redução no teor de magnésio no final do ciclo na camada de 0,00-0,10 m. No 2º ciclo observou-se aumento nos três sistemas de irrigação e nas duas camadas de solo no final em relação ao início do ciclo (TABELAS 25). Exceção ocorreu no gotejamento superficial que manteve o mesmo valor durante todo o ciclo para a camada de solo de 0,00-0,10 m.

### Cobre

O cobre apresentou elevação no seu teor no final do 1º ciclo nos três sistemas de irrigação e nas duas camadas de solo estudadas utilizando água residuária, sendo mais acentuada na aspersão, com elevação de 33,9% e 31,8% (TABELA 26), respectivamente para as camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m. No 2º ciclo, porém, nestes mesmos tratamentos, observou-se diminuição na concentração de cobre do solo, sendo maior no gotejamento

superficial com 16,6% e menor na aspersão com 2,0% (TABELA 26). MIRANDA (1995) encontrou elevação do cobre de 9,0% em solo irrigado com efluente secundário. Segundo esta autora, o cobre presente no solo pode formar compostos muito estáveis com a matéria orgânica e em contrapartida, nesta forma não é trocável e nem lixiviável.

Tabela 26. Resultados da análise do cobre do solo irrigado por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária e do depósito de fonte superficial durante o 1º e 2º ciclo nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.

Tratamentos	Cobre (cmol.dm <sup>-3</sup> )							
	Início	Meio	Final	Variação	Início	Meio	Final	Variação
<b>1º ciclo</b>	0,00-0,10			(%)	0,10-0,20			(%)
AR	4,6	5,3	5,7	23,9	4,4	5,2	5,8	31,8
AD	5,4	5,3	6,9	27,8	5,5	5,3	6,0	9,1
GSbR	9,5	9,5	9,8	3,2	9,6	8,7	9,7	1,0
GSbD	6,5	6,5	7,4	13,8	6,3	7,7	7,3	15,9
GSpR	7,2	7,7	8,7	20,8	7,4	9,2	8,3	12,2
GSpD	5,1	6,2	7,5	47,1	5,1	6,4	7,2	41,2
<b>2º ciclo</b>								
AR	5,1	5,0	5,0	-2,0	4,9	5,0	6,5	32,7
AD	5,6	5,4	5,1	-9,8	5,4	5,3	5,1	-5,9
GSbR	10,2	10,3	9,4	-10,5	10,5	10,1	7,6	-38,2
GSbD	6,3	6,3	5,5	-14,5	6,3	6,5	6,6	4,8
GSpR	7,5	7,5	6,6	-13,6	7,8	7,6	6,7	-16,4
GSpD	6,2	7,0	6,2	0,0	6,4	6,8	5,9	-8,5

Utilizando água do depósito durante o 1º ciclo, o cobre apresentou elevação na sua concentração do solo nos três sistemas de irrigação e nas duas camadas de solo. Na aspersão e no gotejamento subterrâneo, para a camada de solo de 0,00-0,10 m, houve pouca ou nenhuma variação entre a análise do início e meio do ciclo, porém, aumentou de forma acentuada no final do mesmo. No entanto, no gotejamento superficial, houve aumento progressivo do início para o final do ciclo. No 2º ciclo na camada de 0,00-0,10 m, observou-se redução progressiva do teor de cobre do início para o final do ciclo, atingindo 9,8% (TABELA 26) na aspersão e 14,5% no gotejamento subterrâneo. No gotejamento superficial, tanto no início como no final do ciclo, a concentração de cobre foi a mesma, com pequena elevação na análise do meio do ciclo.

## Enxofre

A concentração de enxofre nos tratamentos utilizando água residuária durante o 1º ciclo, na camada de solo de 0,00-0,10 m, apresentou elevação de 3,5% (TABELA 27) na análise do final em relação ao início do ciclo para a aspersão, porém, no gotejamento subterrâneo e superficial, houve elevação do início para o meio do ciclo, diminuindo no final do ciclo à valores menores que os verificados no início, tanto na camada de solo de 0,00-0,10 m, como na de 0,10-0,20 m, sendo a maior redução no gotejamento superficial, na camada mais profunda de 17,5% (TABELA 27). Esta redução de enxofre, foi sensivelmente menor que a encontrada por MIRANDA (1995), que observou redução de 43,3%. Esta autora constatou ainda que o enxofre foi o parâmetro mais móvel no solo dentre os analisados. O aumento do enxofre no meio do ciclo, foi provocada pelo acúmulo inicial deste parâmetro presente na água de irrigação e sua diminuição do no final do ciclo, devido a absorção pelas plantas, uma vez que a maioria das plantas, inclusive a alface, necessita de enxofre em quantidades maiores, semelhante a necessidade de fósforo. A diminuição do enxofre no solo se deve ainda a alta capacidade de lixiviação deste nutriente no solo, uma vez que os sulfatos entram na solução do solo e são facilmente carregados pela água de infiltração.

Tabela 27. Resultados da análise do enxofre do solo irrigado por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária e do depósito de fonte superficial durante o 1º e 2º ciclo nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.

Tratamentos	Enxofre (mg.dm <sup>-3</sup> )							
	Início	Meio	Final	Variação	Início	Meio	Final	Variação
<b>1º ciclo</b>	0,00-0,10				0,10-0,20			
				(%)				(%)
AR	17,0	16,9	17,6	3,5	15,9	22,2	15,1	-5,3
AD	22,4	19,9	14,3	-56,6	18,5	23,9	16,7	-10,8
GSbR	16,5	24,8	15,2	-8,6	16,3	18,1	15,2	-7,2
GSbD	17,1	14,8	16,5	-3,6	17,1	17,4	16,7	-2,4
GSpR	23,5	29,1	22,9	-2,6	22,7	20,3	19,3	-17,6
GSpD	14,2	17,2	18,9	33,1	15,3	21,3	19,3	26,1
<b>2º ciclo</b>								
AR	37,1	54,4	37,2	0,3	37,3	51,2	31,2	-16,4
AD	17,6	40,6	10,9	-61,5	28,9	34,5	14,2	-103,5
GSbR	28,3	55,6	32,5	14,8	38,8	43,8	27,5	-41,1
GSbD	27,4	30,0	23,9	-14,6	29,8	31,9	23,5	-26,8
GSpR	36,7	34,7	25,9	-41,7	46,1	41,0	25,7	-79,4
GSpD	21,6	25,1	30,6	41,7	29,5	32,8	29,8	1,0

No 2º ciclo utilizando água residuária, observou-se comportamento semelhante ao 1º ciclo, no entanto, na camada de solo de 0,00-0,10 m no sistema de irrigação por aspersão e gotejamento subterrâneo, houve elevação mais acentuada no meio do ciclo, quando comparado ao 1º ciclo, elevando-se em 100,0% no meio do ciclo e 14,8% (TABELA 27) no final em relação ao início do ciclo, para o gotejamento subterrâneo. Na camada de solo de 0,10-0,20 m, para os três sistemas de irrigação, houve diminuição do enxofre no final em relação ao início do ciclo de 16,4%, 41,1% e 79,4%, respectivamente para a aspersão, gotejamento subterrânea e superficial.

Quanto ao uso de água do depósito, tanto no 1º como no 2º ciclo, houve diminuição do enxofre no final em relação ao início do ciclo na aspersão e gotejamento subterrâneo, sendo este fato mais acentuado no 2º ciclo em ambas as camadas de solo. Ao contrário, no gotejamento superficial, houve aumento no teor de enxofre, atingindo 41,7% (TABELA 27) no 2º ciclo para a camada de 0,00-0,10 m e mantendo praticamente o mesmo teor na camada de 0,10-0,20 m.

### **Sódio**

O sódio foi o parâmetro que teve maior elevação na concentração do solo. No 1º ciclo para os três sistemas de irrigação e em ambas as camadas de solo analisadas utilizando água residuária, a elevação dos valores no final em relação ao início do ciclo foram de 104,3%, 188,3% e 87,5% (TABELA 28), na camada de solo de 0,00-0,10 m, enquanto que na camada de solo de 0,10-0,20 m, as elevações foram de 49,3%, 166,7% e 9,4%, respectivamente para a aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial, sendo esses resultados consequência da elevada quantidade deste íon na água residuária aplicada na irrigação. A concentração de sódio presente na água residuária variaram entre 15 e 20 mg.L<sup>-1</sup>, porém foram suficientes para elevar a concentração deste íon do solo. Esses resultados são consideravelmente menores aos obtidos por JNAD *et al.* (2001a) em água residuária com tratamento secundário, onde também observou elevação do teor de sódio do solo, sendo que quando havia menor concentração de sódio no efluente (108 mg.L<sup>-1</sup>) houve menor alteração no solo, mas quando a concentração era alta (305 mg.L<sup>-1</sup>) houve diferença significativa entre a concentração de sódio no solo irrigado com efluente e da área de controle.

Tabela 28. Resultados da análise do sódio do solo irrigado por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária e do depósito de fonte superficial durante o 1º e 2º ciclo nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.

Tratamentos	Sódio (mg.dm <sup>-3</sup> )							
	Início	Meio	Final	Variação	Início	Meio	Final	Variação
<b>1º ciclo</b>	0,00-0,10				0,10-0,20			
				(%)				(%)
AR	7,0	8,6	14,3	104,3	6,7	9,5	10,0	49,3
AD	4,1	4,8	6,0	46,3	4,6	6,4	7,3	58,7
GSbR	6,0	10,0	17,3	188,3	6,3	11,9	16,8	166,7
GSbD	3,8	3,7	4,5	18,4	4,7	5,0	5,6	19,1
GSpR	6,4	8,5	12,0	87,5	7,9	9,9	15,2	92,4
GSpD	5,2	6,8	6,7	28,8	4,7	5,7	5,1	8,5
<b>2º ciclo</b>								
AR	12,2	10,5	17,2	41,0	12,3	11,8	15,3	24,4
AD	4,4	5,6	5,0	13,6	4,3	4,8	5,0	16,3
GSbR	8,6	9,1	6,8	-17,0	8,3	9,0	10,6	27,7
GSbD	3,0	3,8	2,9	-3,4	3,6	3,8	3,8	5,6
GSpR	7,8	12,3	7,1	-9,9	9,4	14,5	10,5	11,7
GSpD	3,4	5,7	3,9	14,7	3,7	4,4	3,5	-5,7

Ainda no 1º ciclo, observou-se que o aumento do sódio foi progressivo do início para o final do ciclo da cultura nos três sistemas de irrigação. Mostrando que ao contrário do que ocorreu com alguns parâmetros analisados, dentre eles o fósforo, potássio, manganês e magnésio, o sódio presente na água residuária, independente do sistema de irrigação, foi superior à capacidade de absorção pela alfaca, promovendo acúmulo no solo. Este fato ficou mais evidente no 1º ciclo, uma vez que a incidência de chuvas neste ciclo foi menor em relação ao 2º ciclo, provocando pouca ou nenhuma lixiviação. Por este motivo, no 2º ciclo, tanto no gotejamento subterrâneo como no superficial, houve um acréscimo de sódio na análise do meio do ciclo, diminuindo no final do ciclo a valores menores que os observados no início do ciclo, na camada de solo de 0,00-0,10 m, porém, na camada de 0,10-0,20 m houve elevação, mostrando ter havido lixiviação da camada mais superficial. Exceção ocorreu com a aspersão, que mostrou variações entre as datas de amostragem durante o ciclo, porém crescentes do início para o final do ciclo, sendo de 41,0% e 24,4%, respectivamente para as camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m.

Utilizando água do depósito superficial no 1º ciclo, nas duas camadas analisadas e nos três sistemas de irrigação, observou-se que houve aumento no teor de sódio no final em

relação ao início do ciclo de 46,3%, 18,5% e 28,8% (TABELA 28), respectivamente para a aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial, na camada de solo de 0,00-0,10 m. No 2º ciclo, para esta mesma camada de solo, as elevações foram de 13,6% no solo da aspersão e 14,3% no gotejamento subterrâneo, enquanto que no gotejamento superficial, houve redução de 3,5%. Para a camada de solo de 0,10-0,20 m, observou-se que no 1º ciclo, as variações foram semelhante ao ocorrido na camada mais superficial, enquanto que no 2º ciclo houve elevação de 5,6% e 16,3% (TABELA 28), respectivamente para a aspersão e o gotejamento subterrâneo, enquanto que no gotejamento superficial houve diminuição de 5,7% no teor de sódio.

### **Cálcio**

A concentração de cálcio do solo irrigado com água residuária durante o 1º ciclo, mostrou pouca variação do início em relação ao final do ciclo nas duas camadas de solo analisadas, mesmo contendo elevado teor de cálcio na água residuária (entre 28,0 a 30 mg.L<sup>-1</sup>, TABELA 29) em relação a água do depósito superficial (entre 4,0 a 9,0 mg.L<sup>-1</sup>, TABELAS 15 a 18). A concentração de cálcio permaneceu a mesma ou teve pequena redução nas duas camadas de solo e nos três sistemas de irrigação, com exceção da irrigação por gotejamento superficial, onde houve elevação da concentração de cálcio de 4,7% na camada de 0,10-0,20 m. A diminuição, embora pequena, concorda com as obtidas por JUCHEN (2000), que encontrou uma redução da concentração de cálcio de 12,0% em solos irrigados com efluentes de laticínio e frigorífico com tratamento secundário.

No 2º ciclo utilizando água residuária na irrigação por aspersão, houve elevação no final do ciclo de 7,0% (TABELA 29) nas duas camadas de solo analisadas. No gotejamento subterrâneo ocorreu o contrário, observando-se redução da concentração de cálcio de 9,5% e 8,9%, respectivamente para a camada de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m. No gotejamento superficial houve comportamento semelhante, com redução no final do ciclo de 8,9% na camada de solo de 0,00-0,10 m e 15,6% na camada mais profunda.

Tabela 29. Resultados da análise do cálcio do solo irrigado por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária e do depósito de fonte superficial durante o 1º e 2º ciclo nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.

Tratamentos	Cálcio (mg.dm <sup>-3</sup> )								
	Início	Meio	Final	Variação	Início	Meio	Final	Variação	
<b>1º ciclo</b>	0,00-0,10				(%)	0,10-0,20			
AR	4,4	4,2	4,3	-2,3	4,2	3,9	4,2	0,0	
AD	3,7	4,5	4,6	24,3	3,8	4,3	4,8	26,3	
GSbR	4,9	4,5	4,7	-4,3	4,3	5,1	4,2	-2,4	
GSbD	3,4	3,8	3,6	5,9	3,6	3,2	3,6	0,0	
GSpR	4,4	4,5	4,4	0,0	4,3	4,4	4,5	4,7	
GSpD	4,2	3,7	3,7	-13,5	4,3	3,5	3,9	-10,3	
<b>2º ciclo</b>									
AR	4,3	4,5	4,6	7,0	4,4	4,4	4,7	6,8	
AD	4,9	5,2	5,0	2,0	4,9	4,9	4,9	0,0	
GSbR	4,6	4,6	4,2	-9,5	4,9	4,8	4,5	-8,9	
GSbD	3,6	3,7	4,0	11,1	3,5	3,6	3,6	2,9	
GSpR	4,9	5,0	4,5	-8,9	5,2	4,8	4,5	-15,6	
GSpD	4,2	4,4	4,5	7,1	4,0	4,2	5,1	27,5	

A redução da concentração de cálcio em áreas irrigadas com efluente, também foram observadas em praticamente todos os pontos analisados no solo por JNAD *et al.* (2001a), em que verificou que a concentração de cálcio em um dos quatro locais analisados irrigados com efluente, tanto acima como a 0,08 m abaixo do emissor, foi maior que na área de controle, embora não significativo. Porém, a 0,30 m abaixo do emissor, a concentração na área irrigada com efluente foi menor que na área de controle. Já em outro local, em todos os pontos analisados o cálcio foi significativamente menor na área onde aplicou-se efluente secundário residencial que na área de controle, podendo ser devido a reação do cálcio com carbonato e sulfato presentes em alta concentração no efluente, ocorrendo a precipitação do mesmo. Em outro local ainda, o cálcio a 0,08 m abaixo do emissor, na área irrigada com efluente, foi significativamente menor que na área de controle, possivelmente devido ao deslocamento do cálcio juntamente com o sódio.

Utilizando água do depósito superficial no 1º ciclo, observou-se comportamento diferente entre os três sistemas de irrigação, ou seja, enquanto na aspersão houve aumento na concentração de cálcio no final em relação ao início do ciclo de 24,3% e 26,3% (TABELA 29), respectivamente para as camadas de solo de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m, no gotejamento

subterrâneo, houve elevação do cálcio de 5,9% na camada de solo de 0,00-0,10 m e permaneceu a mesma concentração na camada de 0,10-0,20 m. No gotejamento superficial, houve redução do cálcio nas duas camadas de solo, sendo de 13,5% e 10,3% (TABELA 29), respectivamente na camada de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m.

No 2º ciclo, utilizando água do depósito de fonte superficial a concentração de cálcio foi semelhante ao 1º ciclo, ou seja, elevação do teor de cálcio nas duas camadas de solo analisadas e nos três sistemas de irrigação. Na camada de solo de 0,00-0,10 m, a elevação da concentração de cálcio foi de 2,0%, 11,1% e 7,1% (TABELA 29), respectivamente para a aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial. Na camada de 0,10-0,20 m a elevação foi de 2,9% no gotejamento subterrâneo e de 27,5% no gotejamento superficial.

## Boro

O teor de boro do solo, de forma geral, mostrou variações em sua concentração entre os tratamentos, tanto utilizando água residuária como do depósito, em ambos os ciclos da cultura. Os teores variaram entre 0,1 a 0,3 mg.dm<sup>-3</sup> (TABELAS 30), bem abaixo do índice capaz de causar dano as culturas, mesmo às mais sensíveis, que de acordo com (AYRES & WESTCOT, 1991), situa-se entre 0,5 e 1,0 mg.dm<sup>-3</sup>.

Tabela 30. Resultados da análise do boro do solo irrigado por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária e do depósito de fonte superficial durante o 1º e 2º ciclo nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.

Tratamentos	Boro (mg.dm <sup>-3</sup> )							
	Início	Meio	Final	Variação	Início	Meio	Final	Variação
<b>1º ciclo</b>	0,00-0,10				0,10-0,20			
				(%)				(%)
AR	0,3	0,2	0,1	-200,0	0,2	0,2	0,1	-100,0
AD	0,2	0,2	0,2	0,0	0,3	0,2	0,2	-50,0
GSbR	0,3	0,2	0,2	-50,0	0,3	0,2	0,2	-50,0
GSbD	0,3	0,2	0,3	0,0	0,3	0,2	0,2	-50,0
GSpR	0,3	0,2	0,2	-50,0	0,2	0,2	0,3	50,0
GSpD	0,3	0,2	0,3	0,0	0,2	0,1	0,3	50,0
<b>2º ciclo</b>								
AR	0,1	0,2	0,2	100,0	0,1	0,2	0,1	0,0
AD	0,1	0,2	0,2	100,0	0,1	0,1	0,2	100,0
GSbR	0,1	0,2	0,2	100,0	0,2	0,1	0,1	-100,0
GSbD	0,2	0,2	0,1	-100,0	0,1	0,2	0,2	100,0
GSpR	0,1	0,2	0,2	100,0	0,2	0,1	0,1	-100,0
GSpD	0,2	0,2	0,2	0,0	0,2	0,2	0,2	0,0

## Condutividade elétrica

A condutividade elétrica do solo no 1º ciclo utilizando água residuária, na camada de 0,00-0,10 m, apresentou elevação de 37,5%, 5,3% e 35,0% (TABELA 31), respectivamente para a aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial, porém, na camada de solo de 0,10-0,20 m, houve elevação apenas na aspersão de 28,6%, enquanto que no gotejamento subterrâneo e superficial, houve redução de 47,1% e 66,7%, respectivamente. No 2º ciclo, houve elevação de 26,3% (TABELA 31) na camada de 0,00-0,10 m no gotejamento subterrâneo, enquanto que no superficial, manteve praticamente o mesmo valor. Já na aspersão, em ambas as camadas de solo, assim como no gotejamento subterrâneo na camada de 0,10-0,20 m, houve redução da condutividade elétrica.

Tabela 31. Resultados da análise da condutividade elétrica do solo irrigado por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária e do depósito de fonte superficial durante o 1º e 2º ciclo nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.

Tratamentos	Condutividade elétrica (dS.m <sup>-1</sup> )							
	Início	Meio	Final	Variação	Início	Meio	Final	Variação
	0,00-0,10				0,10-0,20			
				(%)				(%)
<b>1º ciclo</b>								
AR	0,16	0,15	0,22	37,50	0,14	0,19	0,18	28,60
AD	0,15	0,17	0,19	26,70	0,25	0,26	0,24	-4,20
GSbR	0,19	0,19	0,20	5,30	0,25	0,15	0,17	-47,10
GSbD	0,13	0,12	0,19	46,20	0,30	0,18	0,19	-57,90
GSpR	0,20	0,21	0,27	35,00	0,35	0,17	0,21	-66,70
GSpD	0,13	0,13	0,18	38,50	0,20	0,18	0,20	0,00
<b>2º ciclo</b>								
AR	0,24	0,28	0,22	-9,10	0,24	0,27	0,20	-20,00
AD	0,17	0,28	0,14	-21,40	0,24	0,25	0,15	-60,00
GSbR	0,19	0,22	0,24	26,30	0,28	0,25	0,22	-27,30
GSbD	0,16	0,18	0,23	43,80	0,19	0,19	0,23	21,10
GSpR	246,70	227,00	247,30	0,20	342,70	245,30	242,30	-41,40
GSpD	0,15	0,17	0,21	40,00	0,22	0,21	0,22	0,00

JNAD *et al.* (2001a) constatou que o movimento dos íons no solo da maioria dos parâmetros analisados, foi maior no sentido paralelo a linha de gotejadores que no sentido perpendicular a esta, atribuindo a desestruturação do solo por ocasião da abertura da vala para colocação da linha de gotejadores. Neste trabalho no entanto, as linhas de gotejadores foram enterradas logo após a confecção dos canteiros, onde o solo ainda estava desestruturado, por este motivo, acredita-se que o movimento dos nutrientes tenha ocorrido de forma semelhante

em todas as direções em volta do emissor. Este autor constatou ainda que em todo o perfil de solo analisado, a condutividade elétrica foi maior na área irrigada com efluente, sendo a alteração diretamente relacionada com os valores de condutividade elétrica do efluente aplicado.

Aplicando água do depósito durante o 1º ciclo, observou-se elevação da CE no final em relação ao início do ciclo de 26,7%, 46,2% e 38,5% (TABELA 31), respectivamente para a aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial, na camada de solo de 0,00-0,10 m. Na camada 0,10-0,20 m, por outro lado, houve redução da condutividade elétrica de 4,2% na aspersão e de 57,9% no gotejamento subterrâneo, enquanto que no gotejamento superficial permaneceu o mesmo valor observado no início do ciclo. No 2º ciclo observou-se redução de 21,4% e 60,0% (TABELA 31), respectivamente para as camadas de solo de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m na aspersão, enquanto que no gotejamento subterrâneo, houve elevação de 43,8% e 21,1%, respectivamente para as camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m. No gotejamento superficial a elevação foi de 40,0% na camada de 0,00-0,10 m e permaneceu a mesma na camada mais profunda.

Os solos irrigados com água residuária mostraram elevação na concentração da maioria dos parâmetros como matéria orgânica, fósforo, nitrogênio, enxofre, sódio, manganês, magnésio e C.T.C. Destes, o fósforo, potássio, manganês e magnésio, apresentaram elevação na medida do meio do ciclo, diminuindo no final do mesmo, devido ao consumo pela planta, que foi maior do que a capacidade de reposição pela água de irrigação. Este fato foi mais evidente no 1º ciclo, uma vez que no 2º ciclo, em decorrência de chuvas que ocorreram no período, encontrou-se maior dificuldade em relacionar a influência da qualidade da água sobre a alteração na composição dos elementos químicos do solo. Dentre os parâmetros analisados, o sódio foi o que apresentou maior elevação no teor do solo.

Outros resultados obtidos da análise do solo irrigado com água residuária e do depósito de fonte hídrica superficial, no início (6 DAT), meio (26 DAT) e final (46 DAT) no 1º ciclo e no início (7 DAT), meio (27 DAT) e final (49 DAT) no 2º ciclo da cultura, como  $pH_{CaCl_2}$ ,  $pH_{H_2O}$ ,  $pH_{SMP}$ , hidrogênio + alumínio, fósforo (Mehlich), carbono, soma de bases, saturação de bases, cálcio/magnésio, relação C/N, potássio (% da C.T.C.), cálcio (% da C.T.C.), magnésio (% da C.T.C.), hidrogênio (% da C.T.C.), ferro, zinco, cobalto e molibdênio, podem ser observados nas TABELAS 46 a 57 do ANEXO 1.

### 5.3. Análise da solução do solo

Na seqüência será apresentado uma discussão dos elementos químicos: cálcio, magnésio, potássio, sódio e condutividade elétrica, analisados na solução dos solos irrigados com água residuária e do depósito de fonte hídrica superficial, nas camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m, no início (6 DAT), meio (26 DAT) e final (46 DAT) no 1º ciclo e início (7 DAT), meio (27 DAT) e final (49 DAT) no 2º ciclo da cultura.

A concentração de potássio na solução do solo irrigado com água residuária no 1º ciclo, apresentou elevação no meio do ciclo na camada de 0,00-0,10 m, enquanto que no final houve redução na concentração, atingindo valores de 71,3%, 30,0% e 2,4% (TABELA 32), respectivamente para a aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial. Na camada de solo de 0,10-0,20 m, houve uma redução progressiva do início para o final do ciclo nos três sistemas de irrigação.

Tabela 32. Resultados da análise do potássio da solução solo irrigado por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária e do depósito de fonte superficial durante o 1º e 2º ciclo nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.

	Potássio (mg.dm <sup>-3</sup> )							
	Início	Meio	Final	Variação (%)	Início	Meio	Final	Variação (%)
<b>1º ciclo</b>	0,00-0,10				0,10-0,20			
AR	13,7	14,1	8,0	-71,3	12,7	11,3	8,3	-53,0
AD	6,3	18,9	15,3	142,9	10,0	29,8	21,7	117,0
GSbR	13,0	34,2	10,0	-30,0	18,0	11,8	7,8	-130,8
GSbD	7,7	11,2	11,7	51,9	12,0	16,1	12,0	0,0
GSpR	13,0	15,4	12,7	-2,4	19,0	16,5	11,2	-69,6
GSpD	13,7	10,7	10,3	-33,0	16,3	17,0	12,8	-27,3
<b>2º ciclo</b>								
AR	8,7	9,7	3,0	-190,0	9,2	9,0	5,7	-61,4
AD	13,7	19,3	6,0	-128,3	18,5	20,5	8,2	-125,6
GSbR	9,0	11,7	7,2	-25,0	11,0	11,2	4,8	-129,2
GSbD	9,7	10,5	5,5	-76,4	10,0	10,8	6,7	-49,3
GSpR	11,3	10,0	7,8	-44,9	14,5	11,0	7,5	-93,3
GSpD	10,2	10,8	6,7	-52,2	14,0	12,3	8,8	-59,1

No 2º ciclo, utilizando água residuária, observou-se que na camada de solo de 0,00-0,10 m, a concentração de potássio, comportou-se de forma semelhante ao 1º ciclo nos sistemas de irrigação por aspersão e gotejamento subterrâneo, ou seja, elevação no meio do ciclo e redução no final do mesmo de 190,0%, 25,0% e 44,9% (TABELA 32),

respectivamente para a aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial, enquanto que no gotejamento superficial, na camada de 0,10-0,20 m, nos três sistemas de irrigação, houve redução progressiva do início para o final do ciclo.

Observou-se que a concentração de potássio na solução do solo, teve comportamento semelhante a análise do solo, porém, as reduções foram maiores em praticamente todas as amostras de solo, em ambos os ciclos da cultura, conforme a TABELAS 32.

Nos tratamentos aplicando água do depósito no 1º e 2º ciclo, houve elevação da concentração de potássio no meio do ciclo, reduzindo no final do mesmo, nas duas camadas de solo e nos três sistemas de irrigação. Da mesma forma que nos tratamentos utilizando água residuária, observou-se maior redução de potássio na solução do solo em relação a análise do solo em praticamente todas as análises.

A concentração de magnésio na solução do solo irrigado com água residuária durante o 1º ciclo, apresentou elevação no final em relação ao início do ciclo na camada de solo de 0,00-0,10 m, nos três sistemas de irrigação, com valores de 15,6%, 17,9% e 42,9% (TABELA 33), respectivamente para a aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial, enquanto que na camada de solo de 0,10-0,20 m, houve redução na concentração de magnésio no final do ciclo nos três sistemas de irrigação, sendo de 35,7%, 60,0% e 136,0%, respectivamente para a aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial. No 2º ciclo, aplicando água residuária na aspersão, observou-se que nas duas camadas de solo, a maior concentração de magnésio foi verificada na análise do meio do ciclo, diminuindo no final do ciclo a valores de 23,3% na camada de solo de 0,10-0,20 m, enquanto que na de 0,00-0,10 m, permaneceu o mesmo valor. No gotejamento subterrâneo houve elevação progressiva do início em direção ao final do ciclo, atingindo 40,0% (TABELA 33) na camada de solo de 0,00-0,10 m, enquanto que na camada de 0,10-0,20 m, houve redução no final do ciclo de 42,9%. No gotejamento superficial a concentração de magnésio foi a mesma no início e final do ciclo para a camada de solo de 0,00-0,10 m, enquanto que na camada de 0,10-0,20 m, houve redução no final do ciclo de 52,6% (TABELA 33).

Tabela 33. Resultados da análise do magnésio da solução do solo irrigado por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária e do depósito de fonte superficial durante o 1º e 2º ciclo nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.

	Magnésio (mg.dm <sup>-3</sup> )							
	Início	Meio	Final	Variação	Início	Meio	Final	Variação
<b>1º ciclo</b>	0,00-0,10				0,10-0,20			
				(%)				(%)
AR	3,2	3,1	3,7	15,6	3,8	3,3	2,8	-35,7
AD	2,2	2,2	2,5	13,6	3,3	3,7	3,5	6,1
GSbR	2,8	3,7	3,3	17,9	4,0	2,8	2,5	-60,0
GSbD	1,3	2,1	3,0	130,8	2,5	3,3	3,2	28,0
GSpR	3,5	3,3	5,0	42,9	7,8	3,6	3,3	-136,4
GSpD	1,3	1,8	2,7	107,7	3,5	2,9	3,0	-16,7
<b>2º ciclo</b>								
AR	3,2	3,5	3,2	0,0	3,7	4,8	3,0	-23,3
AD	2,2	4,3	1,8	-22,2	3,2	3,2	2,0	-60,0
GSbR	3,0	3,7	4,2	40,0	5,0	4,7	3,5	-42,9
GSbD	2,3	2,3	3,7	60,9	3,3	2,5	4,0	21,2
GSpR	3,8	3,0	3,8	0,0	5,8	3,3	3,8	-52,6
GSpD	2,0	1,7	3,5	75,0	3,8	5,3	3,8	0,0

A concentração de magnésio na solução do solo irrigado com água do depósito no 1º ciclo, apresentou elevação no final em relação ao início do ciclo de 13,6% e 6,1% (TABELA 33), respectivamente para as camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m para a aspersão. No gotejamento subterrâneo, houve elevação de 130,8% (TABELA 33) na camada de 0,00-0,10 m, enquanto que na de 0,10-0,20 m foi de 28,0%. No gotejamento superficial também houve elevação na concentração de magnésio, sendo de 107,7% na camada de solo de 0,00-0,10 m, enquanto que na de 0,10-0,20 m houve redução de 16,7%.

No 2º ciclo houve redução na concentração de magnésio, nas duas camadas de solo para a aspersão, sendo de 22,2% e 60,0% (TABELA 33), respectivamente para as camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m. No gotejamento subterrâneo e superficial, houve elevação nas duas camadas de solo, porém, mais acentuada na de 0,00-0,10 m, sendo de 60,9% e 75,0%, respectivamente. Observa-se que de forma geral, o magnésio na solução do solo, apresentou maior elevação em relação a análise do solo.

Observou-se que a concentração de sódio da solução do solo durante o 1º ciclo, utilizando água residuária, elevou-se no final do ciclo em 43,5%, 25,0% e 200,0% (TABELA 34), respectivamente para a aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial, na camada de

0,00-0,10 m, porém, na de 0,10-0,20 m, houve redução na concentração de sódio de 152,4% e 22,2%, respectivamente para a aspersão e gotejamento superficial, enquanto que no gotejamento subterrâneo houve elevação de 56,0%. Observou-se que a concentração de sódio na solução do solo na camada de 0,00-0,10 m, apresentou comportamento semelhante a análise realizada no solo, com elevação progressiva do início para o final do ciclo (TABELA 34), porém com maiores reduções nos teores de sódio, com exceção da aspersão e gotejamento superficial, que ao contrário da análise do solo, tiveram redução nos teores na solução solo ao invés de elevação.

Tabela 34. Resultados da análise do sódio da solução do solo irrigado por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária e do depósito de fonte superficial durante o 1º e 2º ciclo nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.

	Sódio (mg.dm <sup>-3</sup> )							
	Início	Meio	Final	Variação (%)	Início	Meio	Final	Variação (%)
<b>1º ciclo</b>	0,00-0,10				0,10-0,20			
AR	2,3	6,8	3,3	43,5	5,3	5,8	2,1	-152,4
AD	1,7	1,0	0,8	-52,9	2,0	1,3	1,3	-53,8
GSbR	2,0	2,2	2,5	25,0	2,0	3,1	3,3	65,0
GSbD	2,0	0,7	1,1	-81,8	2,3	1,8	1,0	-130,0
GSpR	1,7	1,9	3,4	100,0	3,3	2,4	2,7	-22,2
GSpD	2,7	0,7	1,0	-170,0	6,3	1,3	1,1	-472,7
<b>2º ciclo</b>								
AR	2,0	2,2	2,8	40,0	2,0	2,3	2,3	15,0
AD	0,5	0,8	0,5	0,0	0,5	0,7	0,5	0,0
GSbR	1,2	1,7	0,8	-50,0	1,3	1,7	1,7	30,8
GSbD	0,5	0,7	0,5	0,0	0,5	0,8	0,5	0,0
GSpR	1,3	2,3	1,2	-8,3	1,8	2,8	1,7	-5,9
GSpD	0,5	0,7	0,5	0,0	0,5	1,0	0,5	0,0

No 2º ciclo utilizando água residuária, observou-se elevação na concentração de sódio na solução do solo irrigado por aspersão, sendo de 40,0% e 15,0% (TABELA 34), respectivamente para as camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m. No entanto, para a camada de solo de 0,00-0,10 m, para o gotejamento subterrâneo e superficial, houve redução de 50,0% e 8,3%, respectivamente, reduções estas maiores que a observada na análise do solo.

Nos tratamentos utilizando água do depósito durante o 1º ciclo, observou-se redução da concentração de sódio nas duas camadas de solo e nos três sistemas de irrigação.

Constatou-se ainda que na camada de solo de 0,00-0,10 m, a redução foi de 52,9%, 81,8% e 170,0% (TABELA 34), enquanto que para a camada de 0,10-0,20 m foi de 53,8%, 13,8% e 472%, respectivamente para a aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial. A concentração de sódio no 2º ciclo, apresentou o mesmo índice no início e final do ciclo, nas duas camadas de solo e nos três sistemas de irrigação, embora na medida do meio do ciclo, houve pequena elevação do teor de sódio. A concentração de sódio na solução do solo apresentou redução nos tratamentos utilizando água do depósito, em ambos os ciclos, ao contrário da análise do solo, que mostrou elevação no teor do sódio.

A concentração de cálcio na solução do solo no 1º ciclo, utilizado água residuária, para o sistema de irrigação por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial, mostraram redução progressiva do início para o final do ciclo, na camada de solo de 0,00-0,10 m, com a maior redução de 77,0%, (TABELA 35) no gotejamento subterrâneo. Na camada de solo de 0,10-0,20 m, observou-se redução mais acentuada na concentração de cálcio, que na camada de solo mais superficial, com valores de 150,0%, 175,0% e 300,0% (TABELA 35), respectivamente para a aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial. Essa redução na concentração de cálcio na solução do solo, foi maior que a obtida na análise do solo.

Tabela 35. Resultados da análise do cálcio da solução do solo irrigado por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária e do depósito de fonte superficial durante o 1º e 2º ciclo nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.

	Cálcio (mg.dm <sup>-3</sup> )							
	Início	Meio	Final	Variação (%)	Início	Meio	Final	Variação (%)
<b>1º ciclo</b>	0,00-0,10				0,10-0,20			
AR	20,3	11,0	11,7	-73,5	20,0	11,7	8,0	-150,0
AD	9,8	7,0	7,0	-40,0	15,5	12,9	10,0	-55,0
GSbR	17,7	11,3	10,0	-77,0	18,7	9,4	6,8	-175,0
GSbD	9,3	6,3	7,8	-19,2	15,7	9,8	8,3	-89,2
GSpR	20,7	10,5	13,5	-34,8	38,8	12,0	9,7	-300,0
GSpD	10,3	5,4	6,7	-53,7	19,0	9,0	7,8	-143,6
<b>2º ciclo</b>								
AR	9,8	15,0	10,2	4,1	10,3	19,3	7,6	-35,5
AD	5,2	17,5	4,8	-8,3	8,0	12,3	5,7	-40,4
GSbR	7,8	15,0	12,7	62,8	14,0	19,2	10,5	-33,3
GSbD	6,5	7,7	11,7	80,0	8,7	8,3	11,4	31,0
GSpR	10,2	13,8	12,7	24,5	15,8	15,0	11,2	-41,1
GSpD	5,2	4,5	10,0	92,3	9,0	17,3	9,5	5,6

No 2º ciclo utilizando água residuária, a concentração de cálcio elevou-se no meio do ciclo, diminuindo no final do mesmo, porém, a valor maior que no início do ciclo na camada de solo de 0,00-0,10 m para os três sistemas de irrigação, enquanto que na camada de solo de 0,10-0,20 m, a concentração de cálcio foi menor que no início do ciclo.

Aplicando água do depósito durante o 1º ciclo, observou-se que a concentração de cálcio foi semelhante ao verificado nos tratamentos com água residuária, ou seja, redução nos três sistemas de irrigação e nas duas camadas de solo. No 2º ciclo houve redução na concentração de cálcio apenas nas duas camadas de solo na aspersão, enquanto que no gotejamento subterrâneo e superficial, a concentração de cálcio elevou-se, sendo mais acentuada na camada de solo de 0,10-0,20 m.

A condutividade elétrica da solução do solo determinada pelo extrato solo:água 1:2, tanto para o solo irrigado com a água residuária, como com água do depósito de fonte superficial, foram sempre abaixo dos limites máximos, conforme descrito por TRANI (2001). Este autor recomenda que os valores máximos, pela relação solo:água 1:2, devem estar entre 0,5 a 1,5 dS.m<sup>-1</sup>. Desta forma, observou-se que no 1º ciclo utilizando água residuária, na camada de 0,00-0,10 m, a CE na solução foi a mesma, tanto na medida do início como no final do ciclo da cultura, com uma pequena elevação no meio do ciclo, para os três sistemas de irrigação, acompanhando o comportamento de alguns elementos químicos do solo, como o fósforo, manganês, magnésio e enxofre. Na análise da solução do solo, porém, foi observado elevação nos três sistemas de irrigação, para camada de solo de 0,00-0,10 m. Porém na camada de solo de 0,10-0,20 m, houve uma redução na solução do solo de 50,0%, 64,3% e 138,9% (TABELA 36), respectivamente para a aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial. Na análise do solo, nos sistemas de irrigação por gotejamento subterrâneo e superficial, também houve redução da CE, porém, a índices menores que o observado na solução do solo (TABELA 36). No 2º ciclo, na camada de solo de 0,00-0,10 m, observou-se redução na solução de 5,6%, 61,5% e 4,8% (TABELA 36), respectivamente para a aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial. Na camada de solo 0,10-0,20, a exemplo do que ocorreu no 1º ciclo, houve redução nos três sistemas de irrigação, sendo de 35,3%, 27,8% e 42,9%, respectivamente para a aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial.

Tabela 36. Resultados da análise química da condutividade elétrica da solução solo irrigado por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária e do depósito de fonte superficial durante o 1º e 2º ciclo nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.

	Condutividade elétrica (dS.m <sup>-1</sup> )							
	Início	Meio	Final	Variação	Início	Meio	Final	Variação
<b>1º ciclo</b>	0,00-0,10				0,10-0,20			
				(%)				(%)
AR	0,20	0,18	0,20	0,00	0,24	0,18	0,16	-50,00
AD	0,09	0,12	0,15	66,70	0,17	0,20	0,21	23,50
GSbR	0,20	0,16	0,20	0,00	0,23	0,14	0,14	-64,30
GSbD	0,11	0,10	0,14	27,30	0,19	0,15	0,16	-18,80
GSpR	0,23	0,15	0,23	0,00	0,43	0,17	0,18	-138,90
GSpD	0,14	0,09	0,13	-7,70	0,25	0,14	0,15	-66,70
<b>2º ciclo</b>								
AR	0,19	0,20	0,18	-5,60	0,23	0,22	0,17	-35,30
AD	0,12	0,24	0,08	-50,00	0,20	0,20	0,11	-81,80
GSbR	0,13	0,20	0,21	61,50	0,23	0,22	0,18	-27,80
GSbD	0,11	0,14	0,20	81,80	0,16	0,16	0,20	25,00
GSpR	0,21	0,19	0,22	4,80	0,30	0,21	0,21	-42,90
GSpD	0,12	0,13	0,18	50,00	0,19	0,18	0,18	-5,60

Utilizando água do depósito no 1º ciclo, houve elevação da CE na solução do solo na aspersão e gotejamento subterrâneo e redução no gotejamento superficial na camada de solo de 0,00-0,10 m. No 2º ciclo na camada de 0,00-0,10 m, houve redução de 50,0% (TABELA 36) na CE na solução do solo irrigado por aspersão, elevação de 81,8% no gotejamento subterrâneo e 50,0% no gotejamento superficial.

Os índices obtidos de CE, foram abaixo dos considerados prejudiciais para as culturas e para o solo, o que segundo TAVEIRA (1997), estão entre 1,80 a 2,23 dS.m<sup>-1</sup>, quando determinados pela relação substrato:água 1:2, sendo este intervalo ligeiramente alto para a maioria das culturas e somente aceitável para espécies muito vigorosas. Para a alface, a salinidade máxima tolerada é de 1,3 dS.m<sup>-1</sup>, quando determinado pelo extrato de saturação, podendo haver redução de 13% na produtividade da cultura para cada unidade de salinidade acima deste nível (MAAS & HOFFMAN, 1977).

#### 5.4. Dados climatológicos medidos e estimados

Os dados climatológicos foram obtidos de um posto meteorológico, situado no campo experimental da FEAGRI, a aproximadamente 100 metros dos tratamentos com água residuária e 250 metros dos tratamentos com água do depósito.

##### 5.4.1. Temperatura ar e umidade relativa do ar

Os valores médios diários da temperatura e umidade relativa do ar em porcentagem ocorridos durante o período do 1º e 2º ciclos da cultura da alface estão apresentados nas FIGURAS 6 e 7.

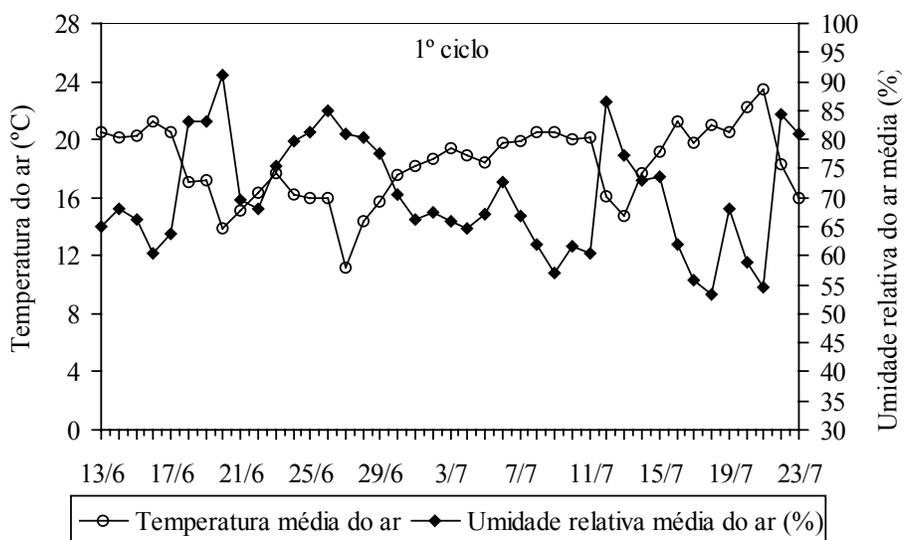


Figura 6. Valores diários da temperatura média do ar e umidade relativa do ar durante o período do 1º ciclo da cultura da alface realizado de junho a julho de 2001, em Campinas, SP.

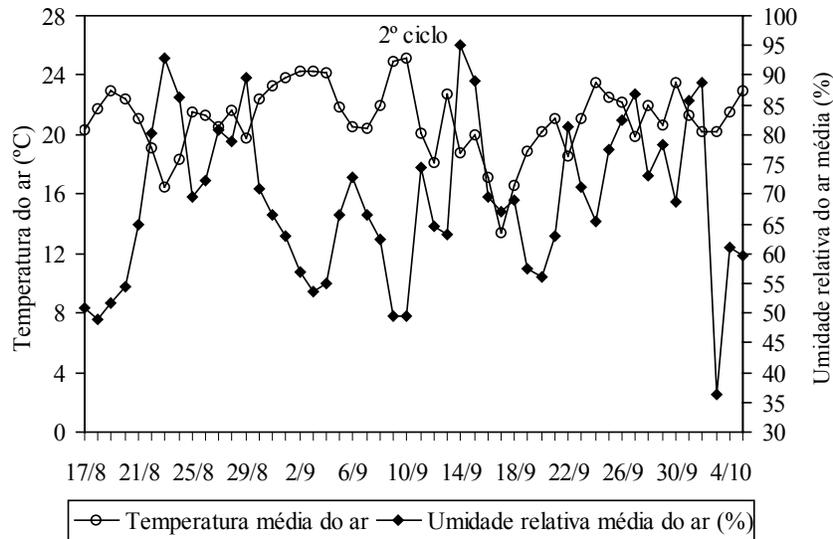


Figura 7. Valores diários da temperatura média do ar e umidade relativa do ar durante o 2º ciclo da cultura da alface realizado de agosto a setembro de 2001, em Campinas, SP.

Analisando os dados médios diários durante o 1º ciclo da cultura (40 dias), observa-se que a temperatura do ar média, máxima e mínima, respectivamente, em graus centígrados foram de 18,3 °C, 25,0 °C e 12,6 °C. Enquanto, no 2º ciclo (48 dias), a temperatura do ar média, máxima e mínima, foram de 21,0 °C, 27,4 °C e 15,7 °C, respectivamente.

Observou-se que no 1º ciclo os valores médios de umidade relativa do ar no período foi 70,5%, enquanto que a média dos maiores valores foi de 92,8%, já os menores valores tiveram média de 43,1%. No 2º ciclo, os valores médios, máximo e mínimo de umidade relativa do ar foram de 69,0%, 90,7 e 41,90%, respectivamente.

#### 5.4.2. Precipitação e radiação solar global

As FIGURAS 8 e 9 apresentam os valores médios diários de precipitação (mm) e de radiação solar global (kw.m<sup>2</sup>) observados durante o 1º e 2º ciclo da cultura.

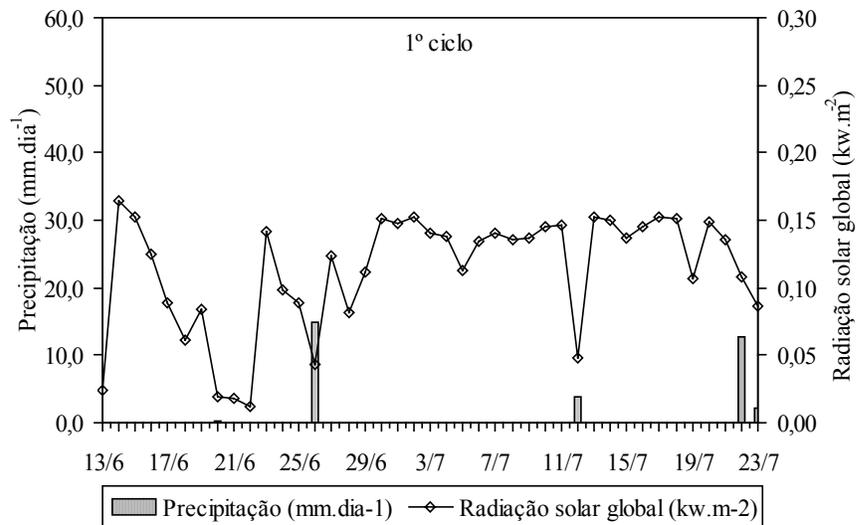


Figura 8. Valores diários de precipitação (mm) e radiação solar global (kw.m<sup>-2</sup>) durante o 1º ciclo da cultura da alface realizado de agosto a setembro de 2001, em Campinas, SP.

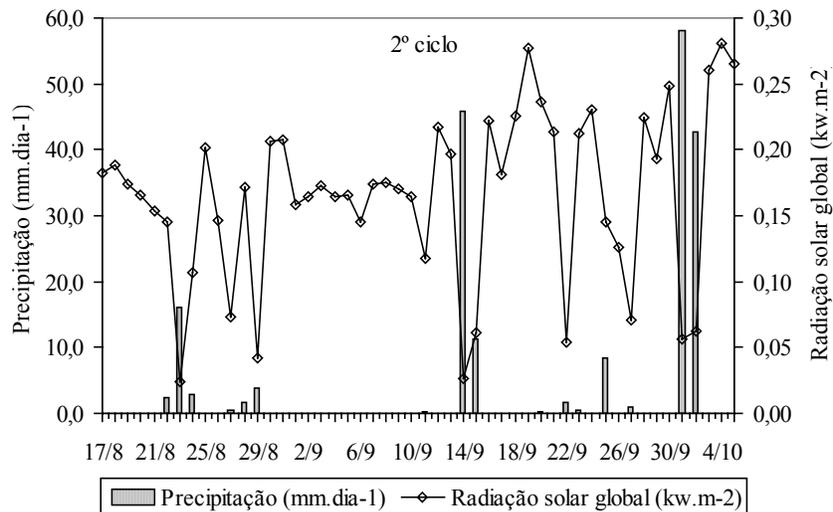


Figura 9. Valores diários de precipitação (mm) e radiação solar global (kw.m<sup>-2</sup>) durante o 2º ciclo da cultura da alface realizado de agosto a setembro de 2001, em Campinas, SP.

A radiação solar global foi mais elevada no 2º ciclo em relação ao 1º, apresentando também maior oscilação entre os dias durante o período do experimento. No 2º ciclo as oscilações foram decorrentes das condições climáticas, que nesta época do ano, existe a tendência de ocorrer chuvas mais intensas, sendo verificado durante todo o 2º ciclo uma precipitação de 197,0 mm, concentrada principalmente no final do ciclo, onde em apenas dois dias ocorreu 100,8 mm de precipitação, ou seja, 51% do total do período, como pode ser observado no gráfico da FIGURA 9. No período do 1º ciclo por outro lado, houve precipitação de apenas 33,9 mm, sendo que desse total, 14,9 mm ou 44% do total de precipitação ocorreu na data de 26/06/02.

### 5.4.3. Evapotranspiração da cultura

Durante os dois ciclos da cultura, os valores de evapotranspiração de referência, foram fornecidos por uma estação meteorológico automática, estimados pela equação de Penman Monteith. Este método é uma adaptação do método original de Penman (MONTEITH, 1965). Os valores diários, de evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) e a evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ), para os dois ciclos, podem ser vistos nas FIGURAS 10 e 11, respectivamente.

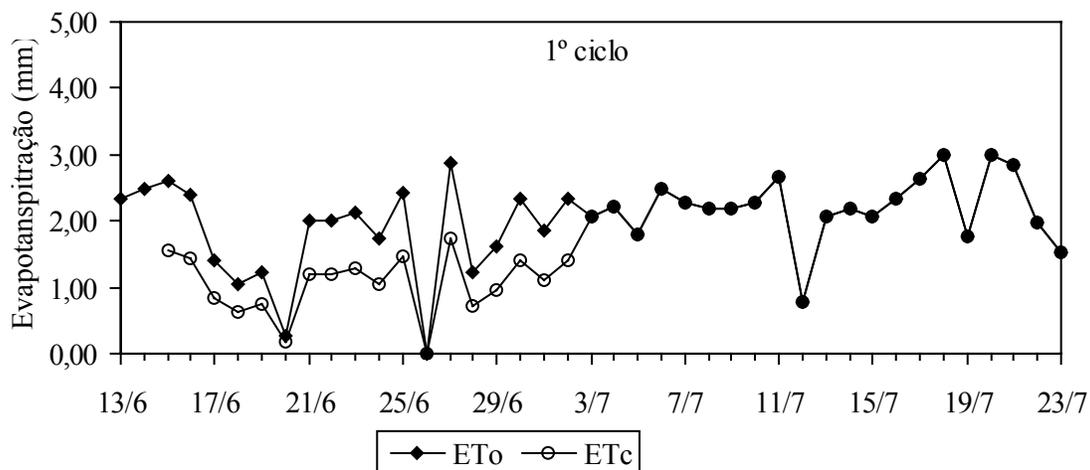


Figura 10. Valores diários de evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) e evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) durante o 1º ciclo realizado de junho a julho de 2001, em Campinas, SP.

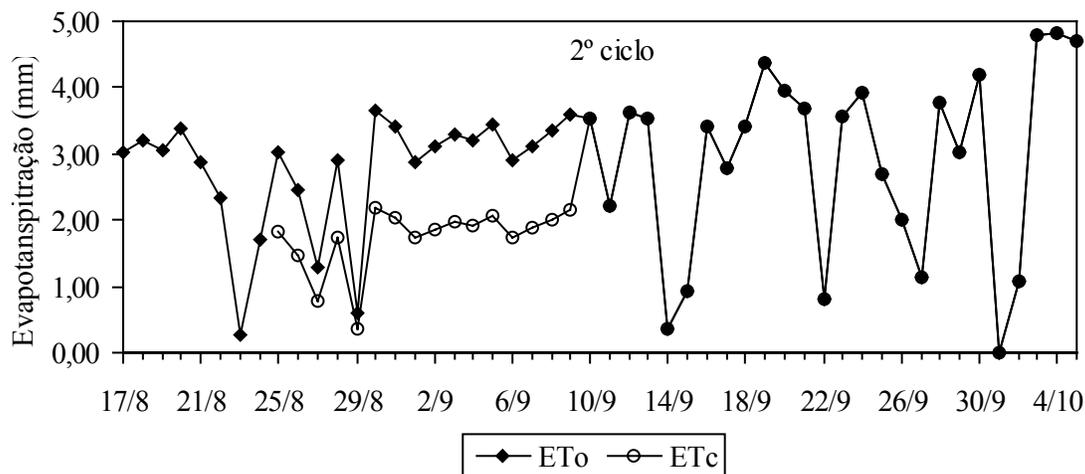


Figura 11. Valores diários de evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) e evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) durante o 2º ciclo realizado de agosto a setembro de 2001, em Campinas, SP.

Observa-se nos gráficos das FIGURAS 10 e 11, que a partir do início da irrigação utilizando  $K_c$  igual a 1,0, a  $ET_o = ET_c$ . A evapotranspiração de referência fornecida pela estação climática e por consequência a evapotranspiração da cultura são influenciadas pelas condições climáticas locais. No 2º ciclo, embora ocorrendo maior precipitação, a temperatura e a evapotranspiração foram mais elevadas, resultando na necessidade de maior lâmina de irrigação.

## **5.6. Manejo da irrigação**

O manejo da irrigação foi acompanhado através do monitoramento do potencial matricial da água no solo, em cada tratamento, por meio da leitura de tensiômetros instalados nas profundidades de 0,10 e 0,20 m da superfície do solo. Na FIGURA 12 estão apresentados os valores de tensão de água no solo, obtidos durante o período do experimento dos dois ciclos da cultura da alface, compreendido entre os meses de junho a setembro de 2001, para o 1º ciclo, FIGURA 12 (A, B e C) e para o 2º ciclo, FIGURA 12 (D, E e F), para os diferentes tratamentos, ou seja, AR - aspersão utilizando água residuária, AD - aspersão utilizando água do depósito, GSbR - gotejamento subterrâneo utilizando água residuária, GSbD - gotejamento subterrâneo utilizando água do depósito, GSpR - gotejamento superficial utilizando água residuária e GSpD - gotejamento superficial utilizando água do depósito.

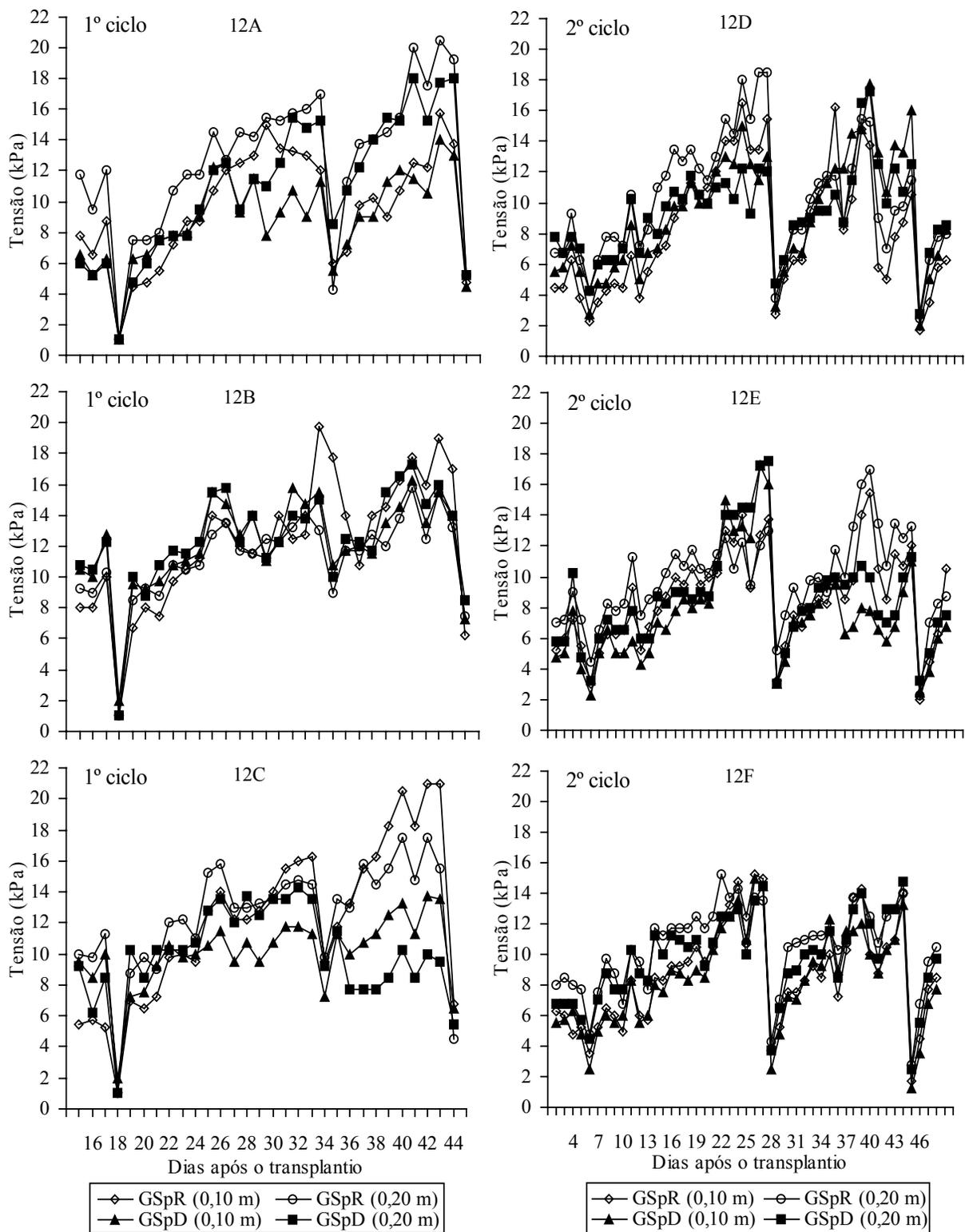


Figura 12. Valores diários de tensão de água no solo, em kPa, medido por tensiômetros instalados nas profundidades de 0,10 e 0,20 m para os tratamentos, AR, AD, GSbR, GSbD, GSpR e GSpD durante o 1º (12 A, B e C) e 2º ciclo (12 D, E e F) da cultura.

Como podem ser visualizados na FIGURA 12 (A, B, C, D, E e F) durante todo o período do experimento, em todos os tratamentos nos dois ciclos da cultura, os níveis de tensão de água no solo variaram de 1 a 21 kPa durante o 1º ciclo e de 2 a 18 kPa durante o 2º ciclo. A maior precipitação durante o 2º ciclo, manteve o solo com umidade mais elevada que durante o 1º ciclo. A maioria das leituras estão dentro da faixa desejável para hortaliças como a alface, durante os dois ciclos, como recomendado por MAROUELLI *et al.* (1998). Este resultado está associado ao fato de que a irrigação foi feita diariamente e também a influência de chuvas, que mantiveram o solo em níveis mais elevados de umidade em alguns períodos durante o experimento, principalmente no 2º ciclo.

Observou-se que aos 18 dias após o transplante do 1º ciclo, ocorreu uma chuva, diminuindo a tensão de água do solo em todos os tratamentos, voltando a aumentar a tensão progressivamente até os 34 dias, momento em que ocorreu uma nova chuva, diminuindo novamente a tensão de água no solo. Estas observações nos levam a crer que o fornecimento de água pelos sistemas de irrigação, calculado a partir da evapotranspiração de referência, fornecido pela estação climática automática, não foi capaz de manter a umidade do solo em níveis de tensão constantes. Este mesmo fato ocorreu durante o 2º ciclo, porém, em outro momento, como mostra a FIGURA 12 (D, E e F). O potencial matricial nas profundidades de 0,10 e 0,20 m foi praticamente o mesmo, embora na profundidade de 0,20 m as tensões foram levemente superiores, mostrando que a lâmina aplicada não provocou percolação profunda.

## **5.6. Análises de entupimento dos gotejadores**

### **5.6.1. Qualidade e quantidade de água utilizada no gotejamento**

A água do reservatório, não apresentou problemas quanto a presença de substâncias químicas, a ponto de interferir no funcionamento dos emissores do sistema de irrigação por gotejamento, tanto superficial como o subterrâneo. No entanto, por ser um reservatório com água de pouca movimentação, pode haver o desenvolvimento biológico, principalmente algas.

Os valores médios dos parâmetros analisados na água residuária e do depósito de fonte hídrica superficial, utilizadas na irrigação por gotejamento subterrâneo e superficial, durante o 1º e 2º ciclo da cultura da alface, antes e após a passagem pelos filtros de areia e tela, podem ser vistos na TABELA 37.

Tabela 37. Valores médios da qualidade da água residuária e do depósito de fonte hídrica superficial analisadas antes e após a passagem pelo filtro de areia e tela, utilizada na irrigação por gotejamento subterrâneo e superficial no 1º e 2º ciclo da cultura.

Parâmetros	Água residuária				Água do depósito			
	1º ciclo		2º ciclo		1º ciclo		2º ciclo	
	Antes	Após	Antes	Após	Antes	Após	Antes	Após
Cálcio (mg.L <sup>-1</sup> )	32,7	32,0	29,7	29,7	5,0	6,7	3,7	4,3
Ferro (mg.L <sup>-1</sup> )	1,00	0,87	0,73	0,80	0,57	0,67	0,73	0,73
Potássio (mg.L <sup>-1</sup> )	9,7	9,3	10,3	11,0	0,80	0,8	0,7	0,7
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (mg.L <sup>-1</sup> )	37,33	37,08	44,67	46,42	0,00	0,00	0,00	0,00
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (mg.L <sup>-1</sup> )	1,17	1,63	2,67	2,83	1,07	1,10	1,23	1,10
Sól. suspensos totais (mg.L <sup>-1</sup> )	11,7	20,3	5,0	4,7	2,3	2,3	7,7	5,0
Total sól. dissolvidos (mg.L <sup>-1</sup> )	315,3	313,4	347,7	359,7	29,6	31,4	30,3	33,3
Dureza da água	91,2	88,2	83,7	85,1	20,0	24,2	17,4	19,0
pH	7,3	7,3	7,3	7,3	6,8	7,0	6,7	7,1
Turbidez (FAU)	20,7	35,0	6,3	8,0	4,7	3,7	11,7	9,0

Comparando os dados obtidos no experimento, com os valores de potencial de risco de entupimento descrito por NAKAYAMA & BUCKS (1991), tanto na água residuária como na água do depósito de fonte hídrica superficial, foi observado que o ferro e o pH, possivelmente foram os fatores que mais influenciaram no entupimento, mostrando médio risco deste problema.

Durante todo o ensaio, a concentração de sólidos suspensos foi baixa para ambas as qualidades de água e ciclo da cultura, não apresentando nenhum risco de entupimento. Observou-se ainda que o valor de sólidos suspensos nas amostras de água residuária analisadas após a passagem pelos filtros de areia, foi um pouco superior as amostras analisadas antes do mesmo, o mesmo não ocorrendo com a água do depósito superficial. Fato semelhante ocorreu com a turbidez, que segundo estudos conduzidos por ADIN *et al.* (1991); RAVINA *et al.* (1992), é devido ao crescimento de microrganismos e acúmulo de partículas que desenvolvem-se no interior dos filtros, principalmente no de areia e na tubulação e posteriormente são transportados pela água das irrigações subsequentes.

A turbidez analisada na água residuária apresentou valores médios de 20,7 FAU antes do filtro e de 35 FAU após o filtro de areia durante o 1º ciclo (TABELA 37). No 2º ciclo, os valores médios também foram menores antes do filtro de areia que depois do mesmo, com valores médios de 6,3 e 8,0 FAU, respectivamente, porém bem menores em relação ao 1º ciclo. As variações que ocorreram entre os dois ciclos, deve-se principalmente, ao tempo de

retenção hidráulica da água residuária no sistema de tratamento, sendo elevado de 4 dias no 1º ciclo, para cerca de 5 dias no 2º ciclo. Acredita-se ainda que as condições ambientais, (temperatura) e conseqüentemente a atividade microbiana, assim como a qualidade do esgoto, contribuíram para que houvesse variação dos valores de turbidez e sólidos suspensos. Utilizando água do depósito superficial, tanto no 1º como no 2º ciclo, a turbidez diminuiu após a passagem pelo filtro de areia, ao contrário do que aconteceu com a água residuária. No entanto, antes e após este filtro, os valores de turbidez foram bem menores que os encontrados na água residuária no 1º ciclo, porém, próximos aos encontrados na água residuária no 2º ciclo (TABELA 37). Os valores médios de turbidez encontrados antes do filtro de areia foram de 4,7 e 11,7 FAU, no 1º e 2º ciclos, respectivamente.

Quanto ao teor de manganês, verificou-se que em todas as amostras analisadas, a concentração foi abaixo do nível de detecção do equipamento utilizado ( $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ ), isenta de qualquer risco de entupimento dos gotejadores.

O cálcio apresentou concentrações distintas na qualidade de água para os dois ciclos, com valores próximos a  $32 \text{ mg.L}^{-1}$  no 1º ciclo e  $30 \text{ mg.L}^{-1}$  no 2º ciclo nos tratamentos utilizando água residuária. Quanto a água do depósito, os valores médios foram sempre abaixo de  $7,0 \text{ mg.L}^{-1}$  em ambos os ciclos, com valores mais baixos no 2º ciclo. De acordo com AYRES & WESTCOT (1991), o cálcio em concentrações superiores a  $6,0 \text{ mg.L}^{-1}$ , pode provocar precipitados e obstruir os emissores. Este fato pode ter ocorrido nos gotejadores utilizando água residuária, uma vez que os valores encontrados são cerca de 5 vezes maior do que o mínimo definido por estes autores para que o processo de precipitação ocorra.

A concentração do total de sólidos dissolvidos totais variou de 315,3 a 332,8  $\text{mg.L}^{-1}$  nas análises da água residuária do 1º ciclo da cultura, com valor médio de  $315,3 \text{ mg.L}^{-1}$  antes do filtro e de  $313,4 \text{ mg.L}^{-1}$  depois dos filtros de areia e tela. No 2º ciclo, os valores foram entre 325,1 a 409,6  $\text{mg.L}^{-1}$ , com valores médios de  $347,7 \text{ mg.L}^{-1}$  antes do filtro de areia e  $359,7 \text{ mg.L}^{-1}$  depois do filtro de areia e tela. Na água do depósito de fonte superficial, os valores foram inferiores, variando entre 24,3 a 34,6  $\text{mg.L}^{-1}$  no 1º ciclo e de 28,8 a 33,3  $\text{mg.L}^{-1}$  no 2º ciclo, com médias próximas a  $30 \text{ mg.L}^{-1}$  em ambos os ciclos. Para AYRES & WESTCOT (1991), os valores encontrados de sólidos dissolvidos totais na água do depósito são consideradas de baixíssimo risco de entupimento. Resultado bastante semelhante foi encontrado por RIBEIRO *et al.* (2002), trabalhando com água neste mesmo período e depósito. As concentrações de sólidos totais dissolvidos na água residuária, também não

apresentaram nenhum risco quanto ao grau de entupimento, uma vez que não chegou à 500 mg.L<sup>-1</sup>, a partir do qual poderá haver o início de problemas de entupimento.

Durante todo o ensaio, a dureza da água foi baixa para ambas as qualidades de água e ciclo da cultura, apresentando reduzido risco de entupimento, segundo Todd (1980) *apud* PITTS et al. (1990). Observou-se que o valor médio durante todo o ciclo a dureza nas amostras de água residuária foram entre 83,7 e 91,2 sendo maior que a água do depósito superficial que variou entre 17,4 e 24,2.

O nitrogênio amoniacal, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, na água residuária variou entre 33,1 a 41,7 mg.L<sup>-1</sup> durante o 1º ciclo, com valor médio de 37,3 mg.L<sup>-1</sup> (TABELA 37). No 2º ciclo variou entre 42,0 a 51,5 mg.L<sup>-1</sup>, com valor médio de 44,7 mg.L<sup>-1</sup> antes do filtro de areia e tela e de 46,4 mg.L<sup>-1</sup> após os mesmos. O nitrogênio nitrato por sua vez, não ultrapassou de 2,8 mg.L<sup>-1</sup> em nenhuma das amostras de água residuária. Na água do depósito superficial, os valores médios de nitrato não passaram de 1,23 mg.L<sup>-1</sup>. Não se tem valores declarados em literatura de qual a influência deste parâmetro no grau de entupimento dos gotejadores, no entanto, sabe-se que a sua presença em maior quantidade, como é o caso da água residuária, favorece o desenvolvimento de microrganismos, influenciando no processo de entupimento de gotejadores (TROOIEN *et al.* 2000).

Os valores médios de potássio na água residuária foram no máximo 9,7 no 1º e de 11,0 mg.L<sup>-1</sup> 2º ciclo. Na água do depósito superficial não passou de 0,8 mg.L<sup>-1</sup> no 1º e de 0,7 no 2º ciclo. A concentração média de potássio, a exemplo de outros nutrientes, como o nitrogênio, também não é definido em literatura o efeito sobre o entupimento de gotejadores, (TROOIEN *et al.* 2000).

O volume total de água, em litros, aplicado nos sistemas de irrigação por gotejamento subterrâneo e superficial, utilizando água residuária e água do depósito superficial, durante o 1º e 2º ciclo da cultura da alface é apresentado na TABELA 38.

Tabela 38. Volume total (L) de água aplicado durante o 1º e 2º ciclo da alface.

Tratamentos	Água residuária		Água do depósito superficial	
	Got. subterrâneo	Got. superficial	Got. Subterrâneo	Got. superficial
1º ciclo (L)	2729,0	2597,0	2690,0	2628,0
2º ciclo (L)	4841,4	4577,6	4724,0	4603,1
Volume total aplicado (L)	7570,4	7174,6	7414,0	7231,1

O volume de água aplicado pode influenciar no entupimento dos gotejadores, ou seja, quanto maior o volume de água aplicado, mais exposto ao entupimento estão sujeitos os emissores. O total de volume aplicado em ordem crescente é o gotejamento subterrâneo com água residuária, gotejamento subterrâneo com água do depósito, gotejamento superficial com água do depósito e gotejamento superficial com água residuária.

### 5.6.2. Vazão dos gotejadores

Os valores médios da vazão dos emissores utilizando água residuária, no início do 1º ciclo, no intervalo dos dois ciclos e no final do 2º, no sistema de irrigação por gotejamento subterrâneo e superficial, podem ser observados na TABELA 39.

Tabela 39. Valores médios das vazões dos emissores no gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária no início do 1º ciclo, no intervalo dos dois ciclos e no final do 2º ciclo e variação total no final em relação ao início do ciclo.

Tratamentos	Vazão média (L.h <sup>-1</sup> )			Redução (%)
	Início do 1º ciclo	Intervalo dos ciclos	Final do 2º ciclo	
GSbR	2,34	2,25	2,17	8,10
GSpR	2,32	2,25	2,19	5,90
GSbD	2,34	2,31	2,28	2,50
GSpD	2,33	2,32	2,31	1,10

Analisando os dados médios de vazão dos 150 emissores em cada tratamento, considerando a água residuária e a água do depósito superficial, durante os dois ciclos da cultura da alface, pode-se observar que a redução de vazão foi diferente entre os tratamentos utilizando água residuária e água do depósito de fonte hídrica superficial. A redução de vazão utilizando água residuária no gotejamento subterrâneo foi de 3,7% durante o 1º ciclo e de 4,5% no 2º ciclo da cultura da alface, totalizando uma redução de vazão durante os dois ciclos de 8,1%. Se compararmos estes resultados, onde a vazão nominal do gotejador utilizado era de 2,3 L.h<sup>-1</sup>, com os resultados obtidos por TROOIJEN *et al.* (2000) para o gotejador de mesma vazão nominal inicial, verificamos que neste trabalho a redução de vazão foi maior proporcionalmente ao volume de água aplicado e ao tempo de uso do gotejador. Estes autores, utilizaram gotejadores tipo labirinto em irrigação subterrânea com água residuária de lagoa de estabilização, estudaram o grau de entupimento dos mesmos, em função do tamanho do

orifício, durante dois anos. No primeiro ano (1998), aplicaram 530 mm e no segundo (1999) 390 mm, constatando 15% de redução de vazão no primeiro ano e 22% no segundo, no emissor de vazão inicial de 0,57 L.h<sup>-1</sup>. No emissor de vazão inicial de 0,91 L.h<sup>-1</sup>, a redução foi de 11% no primeiro ano e de 14% no segundo. Já para os emissores de vazão inicial de 1,5, 2,3 e 3,5 L.h<sup>-1</sup>, a redução de vazão foi de 4% ou menos nos dois anos estudados.

No gotejamento superficial utilizando água residuária durante os dois ciclos, foi observado reduções menos acentuadas, sendo de 2,5% no 1º ciclo e de 3,4% no 2º, totalizando uma redução de vazão de 5,9% em relação aos valores iniciais de vazão (gotejadores novos). A redução da vazão pode estar associada não somente com os parâmetros isolados, principalmente sólidos suspensos, turbidez, pH ou nutrientes, mas também pela combinação destes parâmetros, principalmente quando não se utiliza tratamento adequado para todos os parâmetros envolvidos no processo de entupimento dos gotejadores. Um dos indícios, é que pode ter ocorrido atividade microbiana favorecendo o processo de entupimento, observações estas, também realizadas por (AYRES & WESTCOT, 1991; RAVINA *et al.* 1992; TROOIJEN *et al.* 2000).

Utilizando água do depósito de fonte hídrica superficial no gotejamento subterrâneo, foi provocada uma redução de vazão de 1,5% no 1º ciclo e de 1,0% no 2º. Somando a redução de vazão obtidos em cada um dos dois ciclos a redução foi de 2,5%. No gotejamento superficial, a exemplo do que ocorreu nos gotejadores utilizando água residuária, durante os dois ciclos, as reduções foram menos acentuadas no gotejamento superficial, sendo de 0,6% no 1º ciclo e 0,5% no 2º, totalizando uma redução de vazão de 1,1% em relação aos valores de vazão dos gotejadores novos. A redução de vazão no gotejamento subterrâneo utilizando água residuária foi 5,7% maior que na água do depósito de fonte superficial, para este mesmo sistema de irrigação.

O entupimento dos gotejadores foi mais acentuado no tratamento utilizando água residuária, quando comparada a água do depósito de fonte superficial, tanto no gotejamento subterrâneo como superficial, sendo os principais responsáveis os sólidos suspensos, precipitados de cálcio e microrganismos, que apareceram em maiores proporções na água residuária que na água do depósito, como podemos observar por meio da presença de coliformes totais e *E. coli* na água residuária (TABELA 12 e 13). Trabalho realizado por RAVINA *et al.* (1992), utilizando água residuária por gotejamento, constataram que o

principal responsável pelo entupimento foram colônias de protozoários que desenvolveram-se dentro das tubulações do sistema de irrigação.

As FIGURAS 13 e 14 mostram o comportamento da vazão média dos 150 gotejadores testados em cada tratamento. Os gráficos das FIGURA 13 (A e B) apresentam o comportamento dos valores de vazão média dos 150 gotejadores testados, referente as linhas utilizadas no sistema de irrigação por gotejamento subterrâneo e superficial, no início do 1º ciclo, no intervalo dos dois ciclos e no final do 2º ciclo, utilizando água residuária.

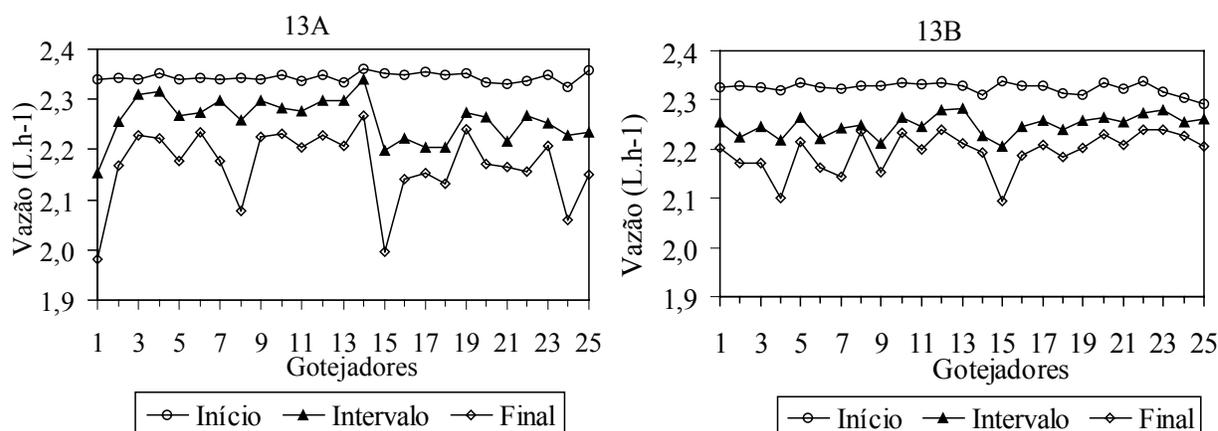


Figura 13. Vazão média dos gotejadores no sistema de irrigação por gotejamento subterrâneo (13A) e superficial (13B) utilizando água residuária, no início do 1º ciclo, no intervalo dos dois ciclos e final do 2º ciclo.

Observa-se nos gráficos das FIGURA 13 (A e B), que a vazão praticamente não variou entre os emissores no início do 1º ciclo (gotejadores novos), porém, diminuiu com o tempo de uso, sendo este fato mais acentuado no gotejamento subterrâneo. Observou-se que alguns emissores no gotejamento subterrâneo foram mais susceptíveis ao entupimento que no gotejamento superficial, apresentando conseqüentemente menores vazões. O efeito combinado do uso de linhas de gotejadores enterradas com a utilização de água residuária, resultou em maior entupimento. No início do 1º e 2º ciclos em todos os tratamentos, a vazão dos gotejadores medidos em campo foram superiores a vazão nominal que era de  $2,3 \text{ L.h}^{-1}$ .

Os gráficos da FIGURA 14 (A e B) apresentam o comportamento dos valores de vazão média das linhas de gotejadores utilizadas no sistema de irrigação por gotejamento subterrâneo e superficial, no início do 1º ciclo, no intervalo dos dois ciclos e no final do 2º ciclo utilizando água do depósito superficial.

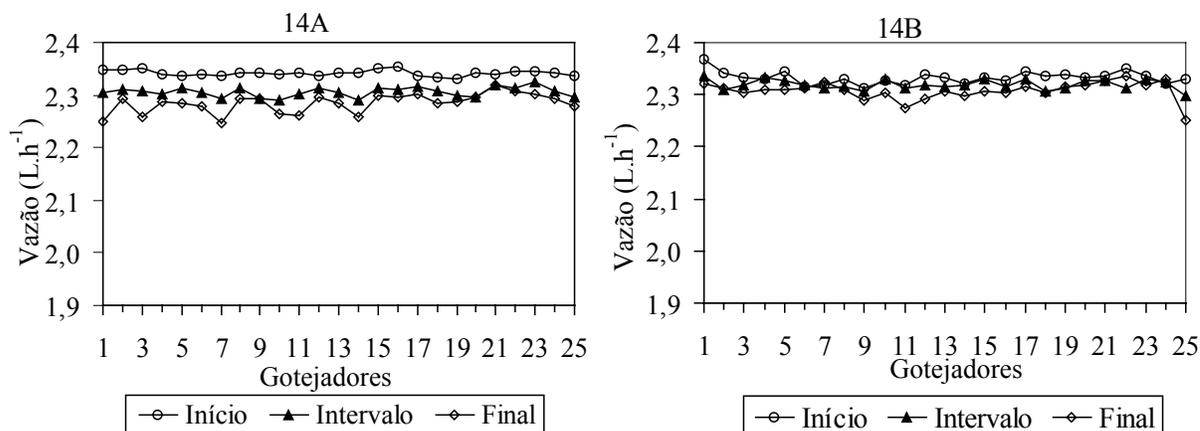


Figura 14. Gráfico da vazão média dos gotejadores no sistema de irrigação por gotejamento subterrâneo (14A) e superficial (14B) utilizando água do depósito superficial, no início do 1º ciclo, no intervalo dos dois ciclos e final do 2º ciclo.

Pelos resultados apresentados na FIGURA 14A, representando as linhas utilizadas no gotejamento subterrâneo, observou-se maior redução de vazão em relação ao gotejamento superficial, FIGURA 14B. Comparando os dois sistemas de irrigação, utilizando água residuária e do depósito superficial, observa-se que o gotejamento subterrâneo apresentou maior redução de vazão média que o tratamento utilizando água do depósito.

Segundo RAVINA *et al.* (1992); TROOIJEN *et al.* (2000), um dos principais indícios responsável pelo entupimento dos emissores é a presença e proliferação de biomassa de protozoários, onde o entupimento parcial dos emissores ocorre de forma semelhante em todos, não constatando entupimento total dos mesmos. Mesmo que os microrganismos estejam presentes em pequenas quantidades na água, podem multiplicar-se rapidamente, caso encontrem condições adequadas em locais como filtros e tubulações. Provavelmente, este pode ser um dos fatores que influenciou na obstrução dos emissores estudados neste trabalho.

Neste sentido, a capacidade de obstrução dos emissores pela água residuária pode ser efetivamente reduzida através do manejo apropriado do sistema de irrigação, porém, estudos futuros mais detalhados devem ser realizados afim de conhecer melhor o comportamento deste tipo de água no entupimento dos mesmos.

### 5.6.3. Coeficientes de uniformidade do sistema de irrigação

Os valores do coeficiente de variação de fabricação, calculados em laboratório a partir de três amostras de linhas de gotejadores novas com 10,0 m de comprimento e com pressão variando de 49 a 245 kPa, foi observado um valor médio de CVf de 0,93%, segundo ASAE (1992), o material apresenta excelente qualidade de fabricação. Segundo ABREU *et al.* (1987) até 10% de CVf, o tubo gotejador ou mangueira de gotejadores pode ser considerada de boa qualidade.

Para análise estatística dos resultados entre a água residuária, água do depósito e os métodos de irrigação por gotejamento superficial e subterrâneo, determinou-se a porcentagem de redução de vazão em relação ao valor de vazão médio dos gotejadores no início do 1º ciclo (gotejadores novos).

Na TABELA 40, são mostrados os valores médios de uniformidade de distribuição estatística ( $U_s$ ), uniformidade de emissão (EU), desvio padrão (S), coeficiente de variação de fabricação (CVf), índice da relação das vazões médias dos gotejadores ( $D_{ra}$ ), no início do 1º ciclo (gotejadores novos), no intervalo dos dois ciclos e no final do 2º ciclo e a redução de vazão dos gotejadores considerando os dados do final do 2º ciclo em relação ao início do 1º ciclo (gotejadores novos).

Tabela 40. Valores da uniformidade estatística de emissão ( $U_s$ ), uniformidade de emissão (EU), desvio padrão (S), coeficiente de variação (CV), índice da relação das vazões médias dos gotejadores ( $D_{ra}$ ) e redução da vazão das linhas de gotejadores no final em relação ao início do ciclo, no sistema de irrigação subterrâneo e superficial, utilizando água residuária e água do depósito de fonte superficial.

Índices	Água Residuária - Got. subterrâneo				Água Residuária - Got. superficial			
	Início do 1º ciclo	Intervalo dos ciclos	Final do 2º ciclo	Redução (%)	Início do 1º ciclo	Intervalo dos ciclos	Final do 2º ciclo	Redução (%)
EU (%)	98,7	93,6	90,8	7,9	98,7	96,8	94,9	3,8
$U_s$ (%)	99,0	95,2	92,9	6,1	99,0	97,7	96,5	2,5
$D_{ra}$ (%)	101,5	97,8	93,9	-	100,6	98,2	95,0	-
S	0,02	0,11	0,15	-	0,02	0,05	0,08	-
CV (%)	1,00	4,79	7,07	-	1,01	2,34	3,48	-
	Água do depósito - Got. subterrâneo				Água do depósito - Got. superficial			
EU (%)	99,0	98,7	98,0	1,0	98,6	98,3	98,3	0,3
$U_s$ (%)	99,2	99,0	98,5	0,7	98,9	98,7	98,7	0,2
$D_{ra}$ (%)	101,4	99,8	98,9	-	101,0	100,4	99,9	-
S	0,02	0,02	0,03	-	0,02	0,03	0,03	-
CV (%)	0,82	0,99	1,52	-	1,07	1,27	1,30	-

Observa-se na TABELA 40 que as linhas de gotejadores utilizadas na irrigação subterrânea e superficial, apresentaram valores de EU e Us muito próximos no início do 1º ciclo, aumentando a diferença com o tempo de uso, porém, sendo mais acentuada nas linhas utilizando a irrigação subterrânea em relação a superficial. Considerando a classificação do índice de Us, proposto pela American Society of Agricultural Engineers (ASAE, 1997), foi verificado que as linhas de gotejadores podem ser consideradas de excelente qualidade.

No final do 2º ciclo da cultura utilizando água residuária os valores de Us foram reduzidos em 6,1% no gotejamento subterrâneo e 2,5% no gotejamento superficial. O gotejamento com água residuária para os dois sistemas de irrigação mostraram maiores reduções nos valores de EU e Us, em relação as medidas dos gotejadores estudados com uso de água do depósito superficial. No gotejamento utilizando água do depósito, nenhum tratamento apresentou valores de EU e Us com redução maior que 1,0%, mostrando que a água do depósito superficial apresentou baixo risco de entupimento, ao contrário dos tratamentos utilizando água residuária, que mostraram maior entupimento, provavelmente devido ao agravante da proliferação de microrganismos, como verificado por outros pesquisadores (RAVINA *et al.* 1992; TROOIEN *et al.* 2000).

Com o tempo de uso e diminuição dos coeficientes de uniformidade EU e Us, o valor do CV aumentou. Ao mesmo tempo, conforme a vazão média foi diminuindo com o tempo de uso dos gotejadores, o CV aumentou. Esta mesma observação foi feita por NAKAYAMA & BUCKS (1981), desconsiderando as variações de vazão devido à hidráulica do sistema.

A comparação do índice de uniformidade de emissão (EU), entre o início do 1º ciclo, intervalo dos dois ciclos e final do 2º, tanto no gotejamento subterrâneo como superficial utilizando água residuária, mostrou diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade para o teste de Tukey. Comparando o gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária, constatou-se que houve diferença significativa entre o intervalo do 1º para o 2º ciclo e final do 2º ciclo. A comparação entre os índices de EU do 1º para o 2º ciclo e final do 2º ciclo, no gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária, mostrou diferença significativa em relação a todos os índices de EU levantados nos tratamentos utilizando água do depósito de fonte hídrica superficial.

Os valores de  $D_{ra}$  de acordo com CAPRA & SCICOLONE (1998), tanto no gotejamento subterrâneo como no superficial é considerada alta, ou seja, foi sempre acima de 79%. Os índices de  $D_{ra}$  foram sempre maiores em relação a EU em todos os tratamentos ensaiados e em ambos os ciclos da cultura. Nas situações em que  $D_{ra}$  foi maior que 100%

(TABELA 40), indica que a vazão média dos gotejadores em campo foi maior que os valor estimado pela equação de regressão ajustada de pressão x vazão dos gotejadores. Nas demais situações, em que  $D_{ra}$  foi menor que 100%, indica que efetivamente houve entupimento dos gotejadores. Segundo CAPRA & SCICOLONE (1998), o índice  $D_{ra}$  é mais representativo do entupimento dos gotejadores, por que além de mostrar a uniformidade de distribuição do sistema de irrigação, indica também o grau de redução de vazão em relação ao valor inicial do gotejador.

### 5.7. Avaliação da uniformidade de distribuição da umidade na superfície e no interior do solo

A uniformidade de distribuição da umidade no perfil do solo dos canteiros, com base volume, determinada no 2º ciclo, foi avaliada através da técnica da TDR (Reflectometria no Domínio do Tempo), utilizando a equação de calibração do solo desenvolvida por (SOUZA, 2002).

Os resultados de uniformidade obtidos no perfil do solo foram comparados a uniformidade das lâminas de água na superfície, nos sistemas de irrigação por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial. Os coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e Davis (CUD) são apresentados na TABELA 41.

Tabela 41. Valores dos coeficientes de uniformidade de CUC e CUD obtidos na superfície e no perfil do solo para a aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial.

Coeficientes	Aspersão		Gotejamento subterrâneo		Gotejamento superficial	
	Superfície do solo	perfil do solo	Superfície do solo	perfil do solo	Superfície do solo	perfil do solo
CUC (%)	80,1	97,7	99,0	97,7	99,0	98,4
CUD (%)	68,9	92,1	98,7	92,0	98,7	94,9

Observa-se na TABELA 41, que o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), foi maior que o coeficiente de distribuição de Davis (CUD), tanto na superfície como no interior do solo nos três sistemas de irrigação. Na aspersão, o CUC na superfície do solo foi menor que no gotejamento subterrâneo e superficial, porém dentro dos níveis aceitáveis, segundo (BERNARDO, 1989). No interior do solo, os valores obtidos de CUC e CUD na aspersão, foram maiores que na superfície, uma vez que a uniformidade de distribuição da

lâmina de água está relacionada às condições de velocidade do vento e ao desempenho do equipamento.

O comportamento encontrado neste trabalho nas condições de irrigação por aspersão, também foi constatado por ROCHA et al. (1998) e por RODRIGUES et al. (2001), que também encontraram um coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) no perfil do solo maior que na superfície. Os coeficientes de uniformidade obtidos no interior do solo foram praticamente iguais nos três sistemas de irrigação, reflexo da boa uniformidade de distribuição de água apresentada pelos sistemas de irrigação na superfície do solo, o que permitiu uma boa redistribuição de água no interior do mesmo dentro do tempo de oportunidade oferecido pelo ensaio. Nos dois sistemas de gotejamento, a uniformidade na superfície foi ligeiramente superior ao interior do solo. Desta forma, recomenda-se para trabalhos futuros, analisar diferentes tempos de oportunidade de redistribuição de água, permitindo conhecer o momento em que o bulbo de umedecimento atinja a área efetiva de concentração do sistema radicular. Observou-se ainda que a técnica da TDR mostrou-se adequada para avaliação da distribuição da água no perfil do solo, podendo ser utilizada para esta finalidade.

## **5.8. Análise da alface**

### **5.8.1. Parâmetros de crescimento**

Os dados experimentais médios e a análise de variância em todos os tratamentos, referente a altura, massa total seca e fresca, número de folhas e área foliar da planta, nas cinco datas de amostragem, ou seja, 13, 25, 33, 39 e 45 dias após o transplante no 1º ciclo e aos 14, 25, 33, 41 e 47 dias após o transplante no 2º ciclo, são apresentados nas TABELAS 58 a 77 do ANEXO 3.

A discussão dos resultados obtidos dos parâmetros de crescimento analisados são apresentadas a seguir.

## **Altura**

Os dados de altura nas cinco datas de amostragem ao longo do 1º e 2º ciclos da alface, são apresentados na FIGURA 15. Observa-se que a altura entre os tratamentos, teve pouca variação, indicando que a qualidade da água residuária não apresentou efeito diferenciado da água do depósito. Resultado semelhante foi obtido por HAMADA (1993) testando diferentes lâminas de irrigação. Este parâmetro embora na maioria dos trabalhos é analisado, principalmente pela facilidade de obtenção, a maioria dos autores são unânimes em considerar a altura como um parâmetro pouco relacionado à produção da alface.

A análise de variância dos valores médios da altura da alface durante o 1º ciclo, mostrou que ao nível de 5% de probabilidade para o teste de Tukey, houve diferença significativa aos 25 DAT entre a água residuária e do depósito aplicadas na aspersão. Também diferiu entre si, os três sistemas de irrigação utilizando água residuária, enquanto que utilizando água do depósito, a aspersão diferiu do gotejamento superficial. No 2º ciclo, utilizando água residuária, constatou-se que aos 14 DAT, a aspersão diferiu do gotejamento subterrâneo e superficial. Nesta data de amostragem, também houve diferença significativa entre os tratamentos GSpR e GSpD. DEMATTÊ (1972); HAMADA (1993), observaram em seus estudos com alface, que a altura da planta não esteve diretamente relacionada com a sua produção, não encontrando diferença significativa em nenhuma das datas de amostragem.

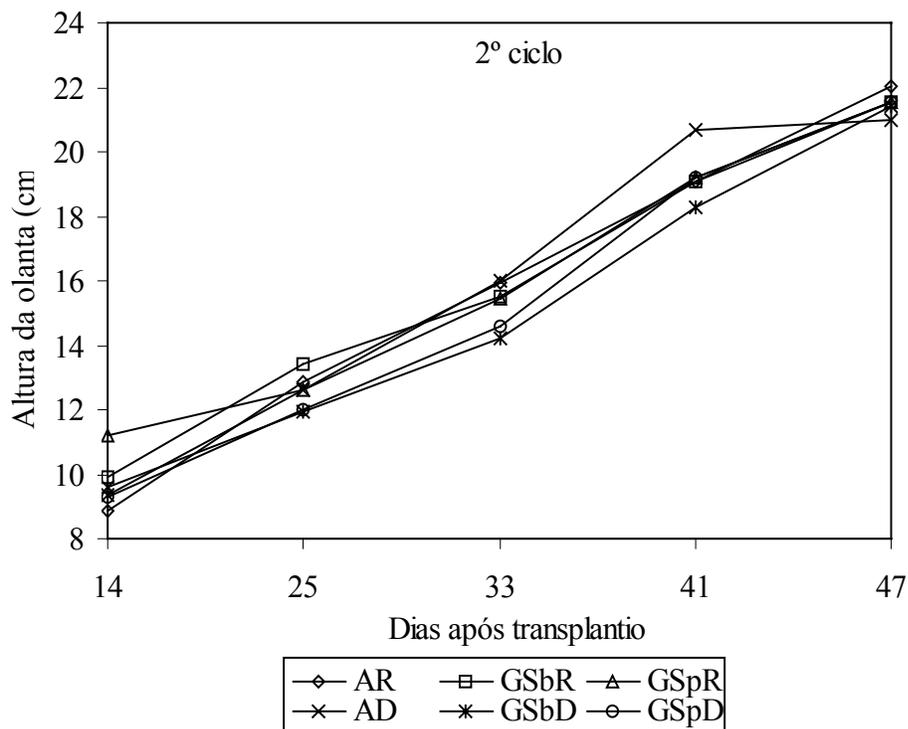
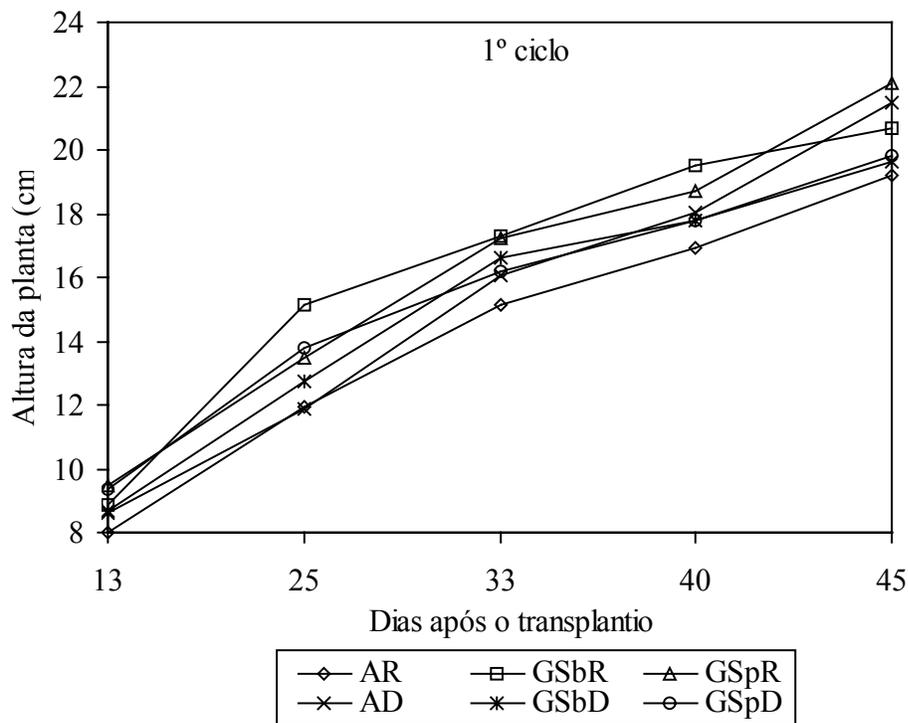


Figura 15. Curva de crescimento da altura da alfaca no 1º e 2º ciclo para as cinco datas de amostragem e nos seis tratamentos.

## **Número de folhas**

Os dados médios de número de folhas por planta, nas cinco amostragens no 1º e 2º ciclos da cultura pode ser visto na FIGURA 16.

No 1º ciclo, houve diferença significativa a nível de 5% de probabilidade, no número de folhas, entre as plantas irrigadas com água residuária e água do depósito no gotejamento superficial, aos 33 DAT, enquanto que aos 39 e 45 DAT, a diferença ocorreu no gotejamento subterrâneo, entre as duas águas. Já aos 45 DAT as médias diferiram tanto na aspersão, como no gotejamento subterrâneo. Por outro lado, aos 33, 39 e 45 DAT, houve diferença entre a aspersão e o gotejamento subterrâneo utilizando água residuária. No 2º ciclo, observou-se diferença significativa entre a água residuária e a água do depósito, tanto no gotejamento subterrâneo como no superficial aos 33 e 41 DAT. A aspersão e o gotejamento subterrâneo diferiram do gotejamento superficial aos 33 DAT utilizando água residuária, enquanto que aos 41 DAT, a aspersão diferiu tanto do gotejamento subterrâneo como do superficial. HAMADA (1993) por sua vez, mostrou não haver diferença significativa entre os tratamentos, para diferentes lâminas de água aplicada, mostrando que a mesma tem pouca influência sobre o número de folhas.

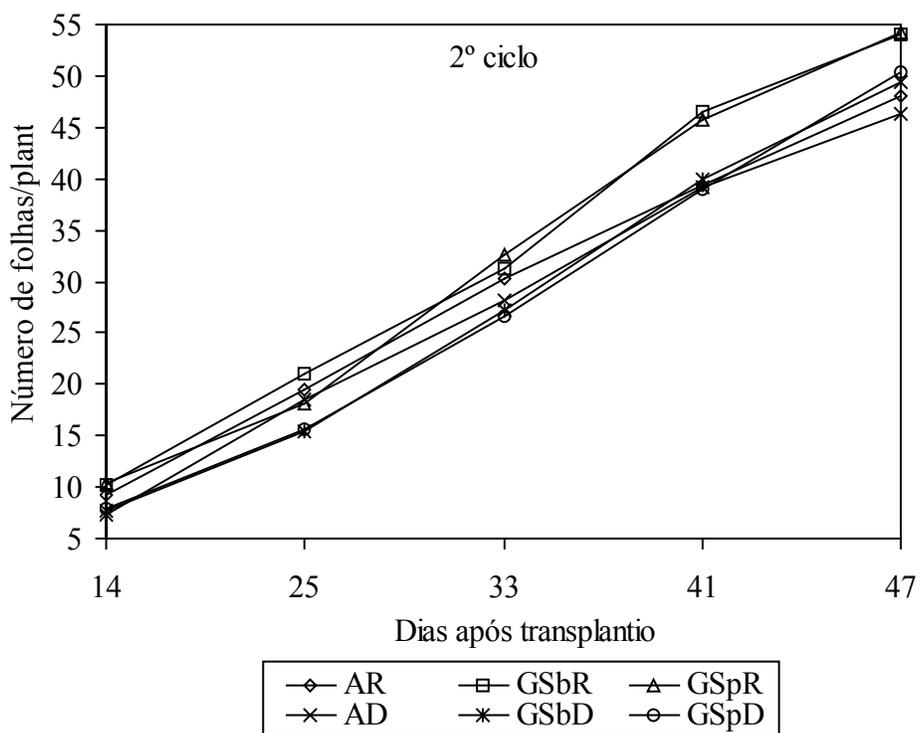
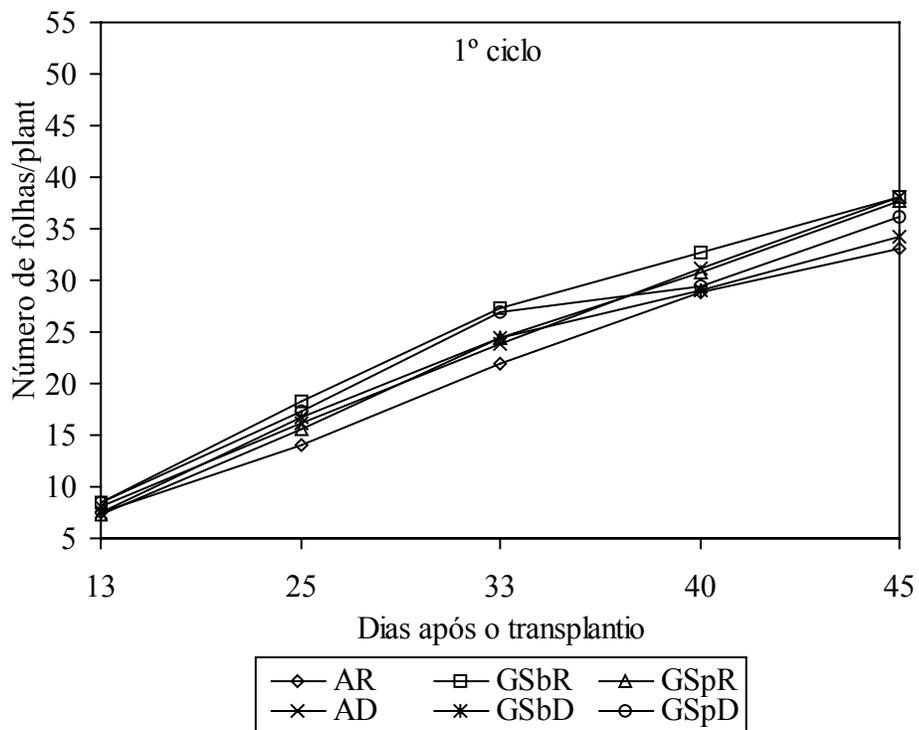


Figura 16. Curva de crescimento do número de folhas por planta de alface ao longo do 1º e 2º ciclo para as cinco datas de amostragem e nos seis tratamentos.

O número médio de folhas por planta aos 45 DAT no 1º ciclo utilizando água residuária, foi menor na aspersão com 33 folhas e maior no gotejamento subterrâneo com 38 folhas, enquanto que nos tratamentos utilizando água do depósito de fonte superficial os valores médios foram menores com 34 folhas no gotejamento subterrâneo e de 38 folhas na aspersão. No 2º ciclo, aos 47 DAT, os valores médios utilizando água residuária foram de 45 na aspersão e de 57 no gotejamento subterrâneo, seguindo a mesma seqüência do 1º ciclo. Já utilizando água do depósito, os menores valores médios foram de 44 folhas/planta no gotejamento subterrâneo e maiores de 51 no gotejamento superficial, sendo maior o número de folhas por planta no 2º ciclo em todos os tratamentos.

Pela FIGURA 16, observa-se que o aumento do número de folhas por planta foi praticamente constante em todos as datas de amostragem, tratamentos e ciclo da cultura. Entretanto, o número de folhas para os tratamentos utilizando água residuária, tanto no gotejamento subterrâneo como no superficial no 2º ciclo, mostrou um aumento mais acentuado em relação aos tratamentos utilizando água do depósito, principalmente a partir dos 33 DAT até o final do ciclo.

### **Massa fresca total**

Os dados médios de massa fresca total, nas cinco datas de amostragem e nos dois ciclos para todos os tratamentos, são apresentados na FIGURA 17. O comportamento das curvas são típicas da cultura, com crescimento lento no início do ciclo e elevado no final do mesmo, sendo similares ao acúmulo de massa seca total. Os tratamentos podem ser divididos em três distintos comportamentos, ou seja, similares entre os tratamentos AR e AD, entre GSbR e GSpR e entre GSbD e GSpD, ficando mais evidente principalmente no 2º ciclo, enquanto que no 1º, ocorreu uma pequena alternância entre os tratamentos.

Durante o 1º ciclo da cultura do alface, utilizando-se água residuária e água do depósito superficial, houve diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade, no massa fresca total, no gotejamento subterrâneo a partir dos 33 DAT até o final do ciclo, enquanto que no gotejamento superficial, a diferença significativa ocorreu na última data de amostragem. Houve diferença da massa fresca, entre a aspersão e o gotejamento subterrâneo utilizando água residuária a partir dos 25 DAT, enquanto que em relação ao gotejamento superficial a aspersão diferiu nas datas de amostragem de 33 e 45 DAT.

No 2º ciclo houve diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade entre a água residuária e do depósito, tanto no gotejamento subterrâneo como no superficial nas amostragens de 25, 33 e 41 DAT, enquanto que aos 47 DAT as médias se igualaram. Aos 33 DAT, ocorreu diferença significativa entre a aspersão e o gotejamento superficial utilizando água residuária. Por outro lado, utilizando água do depósito, houve diferença da aspersão, tanto em relação ao gotejamento subterrâneo como no superficial.

Observou-se ainda que nas duas primeiras datas de amostragem, tanto no 1º como no 2º ciclo, o ganho de massa fresca foi pequena comparado as datas de amostragens até o final do ciclo. Na última data de amostragem a curva de crescimento foi mais lenta em relação ao período intermediário do ciclo, principalmente no 2º ciclo, com exceção do tratamento AR que manteve o mesmo ritmo de crescimento até a última data de amostragem.

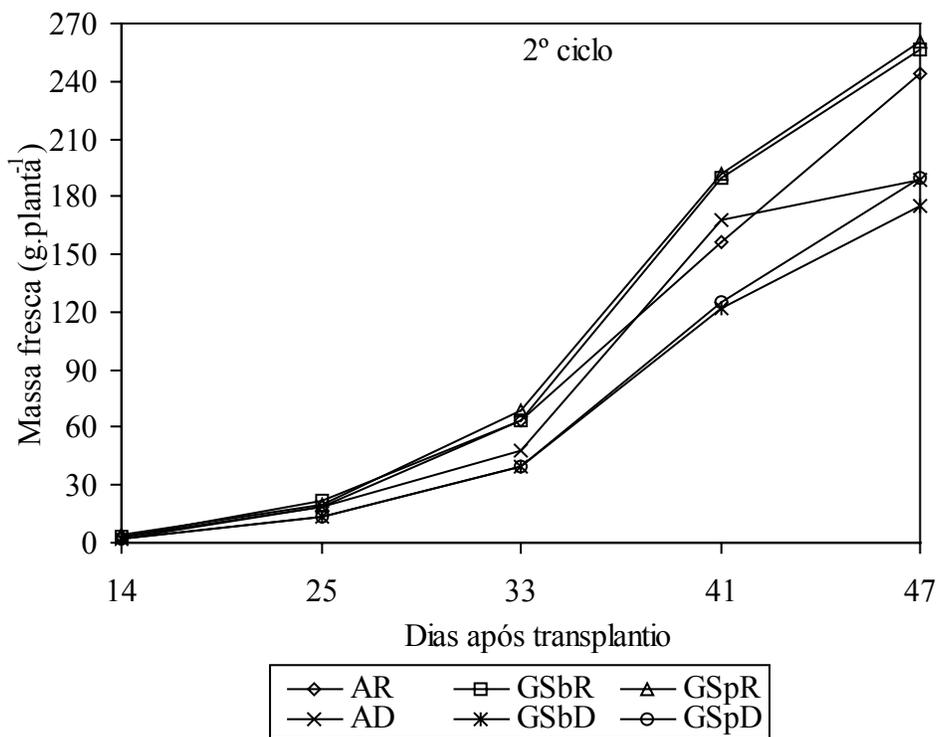
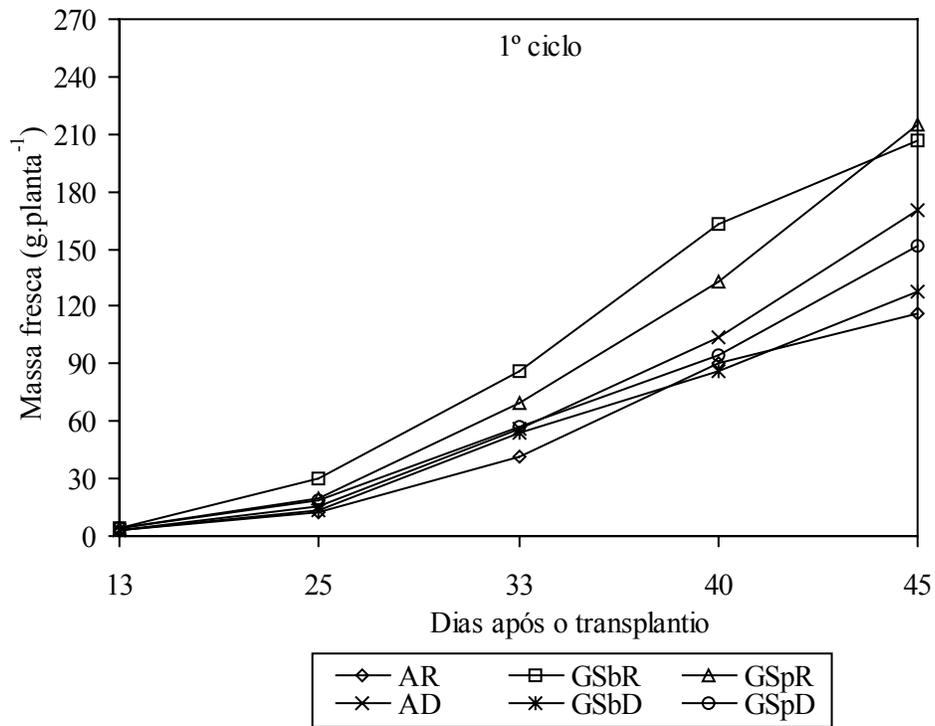


Figura 17. Curva de crescimento da massa fresca total ao longo do 1º e 2º ciclo para as cinco datas de amostragem e nos seis tratamentos.

Observa-se que o maior valor de massa fresca total ocorreu no gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária, tanto no 1º como no 2º ciclo. Este fato deve-se ao melhor aproveitamento dos nutrientes existentes na água residuária, que estavam prontamente disponíveis para as plantas. No 2º ciclo a produção de massa fresca entre o gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária foram praticamente idênticos quanto a produção de massa fresca em todas as datas de amostragem e ao mesmo tempo, maiores em relação a todos os demais tratamentos. Este fato pode ser atribuído a pronta disponibilidade de nutrientes, já que a lâmina de água aplicada foi semelhante em todos os tratamentos. HAMADA (1993) encontrou que os tratamentos que receberam maior lâmina de água foram os que apresentaram também maior produção de massa fresca total. Embora verificou-se diferença de massa fresca entre as plantas, não encontrou diferença significativa entre os tratamentos.

De maneira geral, durante o 1º ciclo, aproximadamente 75 a 80% da massa fresca total final foi produzida nas duas últimas datas de amostragem, ou seja, 12 dias antes da colheita, para todos os tratamentos, mostrando que o efeito cumulativo de massa fresca total, se deve mais ao comportamento do crescimento da própria cultura do que o efeito da presença de nutriente. No 2º ciclo, estes índices foram mais elevados, mas com pequena alteração, estando entre 80 e 85% da massa fresca total produzida nas duas últimas datas de amostragem, o que corresponde a 14 dias antes da colheita em todos os tratamentos. Resultado este, com uma pequena diferença dos encontrados por HAMADA (1993), onde verificou que aproximadamente 80 a 90% de toda a massa fresca foi produzida nas duas últimas semanas antes da colheita, sendo as maiores porcentagens obtidas pela maiores lâminas de água.

A massa fresca total no final do 1º ciclo variou entre 116 a 215 g por planta nos tratamentos com água residuária e de 129 a 171 g por planta nos tratamentos com água do depósito superficial, ou seja, o uso de água residuária mostrou maior produção de massa fresca quando comparada a água do depósito de fonte superficial. No 2º ciclo, a produção de massa fresca total foi maior em relação ao 1º em todos os tratamentos, variando de 244 a 261 g por planta nos tratamentos utilizando água residuária e de 175 a 190 g por planta utilizando água do depósito. O bom desempenho na produção de massa fresca, mostrou que a tensão de água no solo esteve dentro de intervalos adequados para a alface, comprovando ainda, que o manejo adotado foi adequado ao bom desenvolvimento da cultura.

### **Massa seca total**

Os dados médios de massa seca total, no 1º e 2º ciclos, nas cinco datas de amostragem e nos seis tratamentos podem ser observados na FIGURA 18.

Observou-se que no 1º ciclo, houve diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade, entre a água residuária e água do depósito aplicadas na aspersão, aos 25 e 45 DAT. As duas qualidade de água diferiram também no gotejamento subterrâneo aos 25, 33 e 45 DAT. Quanto ao gotejamento superficial as médias de massa seca total diferiram somente aos 45 DAT. Utilizando água residuária a aspersão diferiu do gotejamento subterrâneo e superficial aos 45 DAT, enquanto que aos 25 e 33 DAT os três sistemas de irrigação diferiram entre si.

No 2º ciclo, observou-se diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade entre a água residuária e do depósito, no gotejamento subterrâneo e também no superficial aos 41 DAT, enquanto que aos 33 DAT diferiu somente no gotejamento superficial. Também, aos 33 DAT a aspersão e o gotejamento subterrâneo diferiram do gotejamento superficial utilizando água residuária.

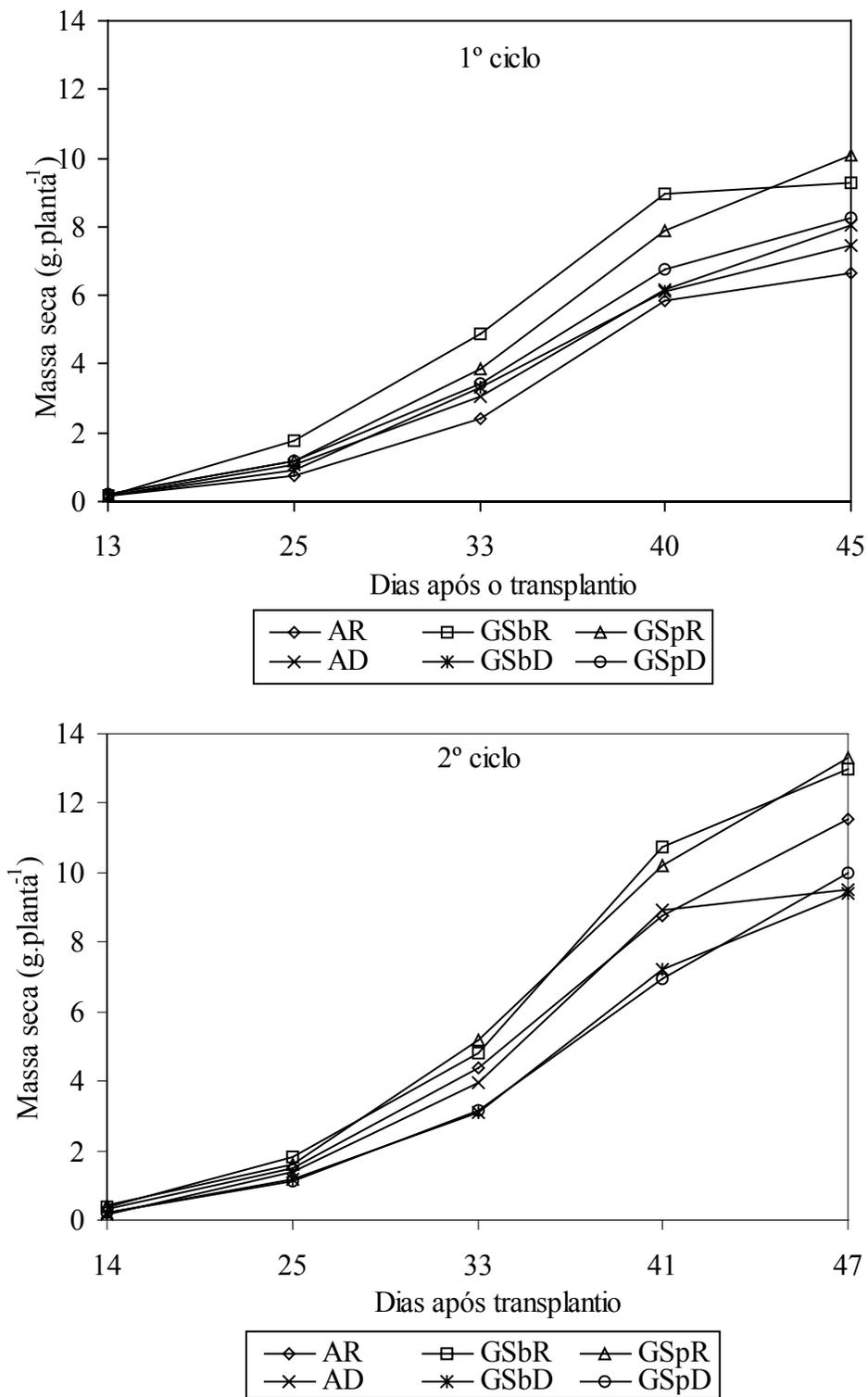


Figura 18. Curva de crescimento da massa seca total da alfafa ao longo do 1º e 2º ciclo para as cinco datas de amostragem e nos seis tratamentos.

O acúmulo de massa seca foi pequeno na fase inicial de crescimento (até 25 DAT) em ambos os ciclos da cultura. A partir desta data até aos 40 e 41 DAT no 1º e 2º ciclos, respectivamente, houve ganho acentuado de massa seca total. A partir dos 40 DAT no 1º ciclo, a taxa de ganho de massa seca foi praticamente constante, em relação ao período anterior, com exceção dos tratamentos AR e GSbR, que mostram menores ganhos de massa seca em relação ao período anterior. Este mesmo comportamento foi verificado no 2º ciclo, porém, somente no tratamento AD que mostrou menor ganho de massa seca.

O gotejamento subterrâneo e o superficial utilizando água residuária, tanto no 1º como o 2º ciclo, em praticamente todas as datas de amostragem, mostraram maiores valores de massa seca total, sendo no 1º ciclo, os maiores valores obtidos foram no GSbR, enquanto que no 2º ciclo os valores médios foram praticamente iguais em todas as datas de amostragem entre o GSbR e GSpR.

De maneira geral, a partir dos 25 DAT, os valores médios de massa seca total, foram maiores durante todo o 2º ciclo, sendo este comportamento claramente evidenciado também em todos os outros parâmetros analisados. Este comportamento pode estar relacionado as condições ambientais verificadas neste período, apresentando temperaturas mais elevadas e maior precipitação, favorecendo o desenvolvimento da alface.

A massa seca total aos 45 DAT no 1º ciclo utilizando água residuária, variou de 6,62 a 10,08 g por planta, enquanto que nos tratamentos irrigados com água do depósito superficial variou de 7,43 a 8,29 g por planta. No 2º ciclo, utilizando água residuária, a massa seca variou entre 11,52 e 13,30 g por planta, enquanto que nos tratamentos com água do depósito superficial variou entre 9,52 a 9,98 g por planta.

Os valores de massa seca total no 1º ciclo obtidos na última amostragem, apresentou a seguinte ordem dos tratamentos em termos de maiores valores: GSpR, GSbR, GSpD, AD, GSbD e AR. É importante lembrar que, a aspersão utilizando água residuária, embora contenha nutriente em maior proporção que os tratamentos utilizando água do depósito, houve uma queda acentuada no crescimento da alface desde o início do ciclo, provavelmente devido modificações nas propriedades do solo, como a compactação, decorrente da elevada umidade do solo, na ocasião em que os mesmos foram confeccionados.

### **Área foliar**

Os dados médios de área foliar por planta, no 1º e 2º ciclos, nas cinco datas de amostragem e nos seis tratamentos, são apresentados na FIGURA 19.

Na amostragem aos 33 e 45 DAT, no 1º ciclo, observou-se diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade, na área foliar das plantas irrigadas com água residuária e do depósito superficial na aspersão. Já no gotejamento subterrâneo, as diferenças de área foliar, entre a água residuária e a água do depósito, foi observado a partir dos 25 DAT até o final do ciclo, mostrando que neste sistema de irrigação, comparado ao gotejamento superficial, o uso de água residuária, provocou maior ganho de área foliar, principalmente do início do ciclo até 40 DAT. A partir dos 25 DAT até o final, houve diferença significativa, ao nível de 5%, entre as plantas do gotejamento subterrâneo e a aspersão utilizando água residuária, enquanto que aos 33 e 45 DAT, o gotejamento superficial diferiu da aspersão, com maiores ganhos de área foliar no gotejamento.

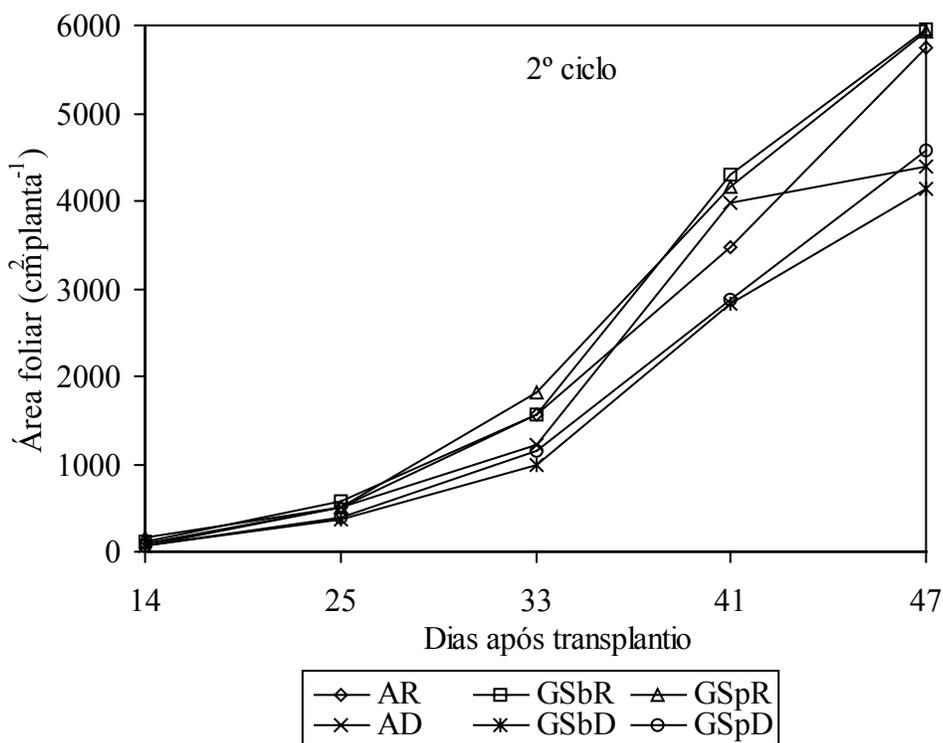
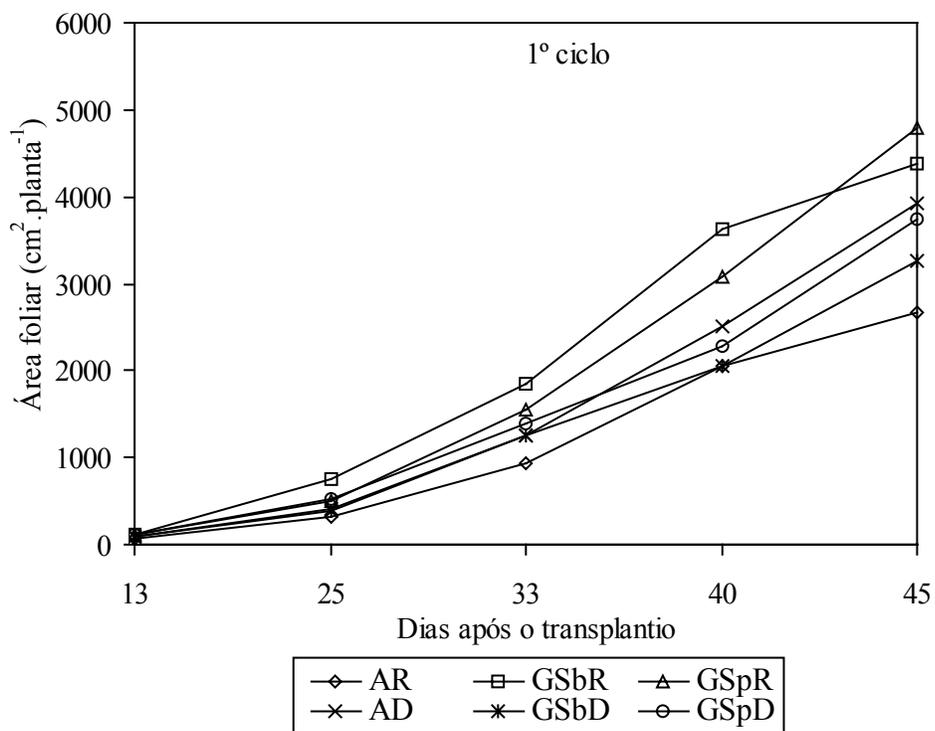


Figura 19. Curva de desenvolvimento da área foliar da alface ao longo do 1º e 2º ciclo para as cinco datas de amostragem e os seis tratamentos.

Observou-se que no 2º ciclo, houve diferença significativa de área foliar ao nível de 5% para o teste de Tukey, entre os tratamentos utilizando água residuária e água do depósito, nas datas de amostragem aos 25, 33 e 41 DAT, tanto no gotejamento subterrâneo como no superficial. Uma diminuição da área foliar foi verificada na aspersão na última data de amostragem, diferindo do gotejamento subterrâneo e superficial, quando do uso de água residuária. Este fato, provavelmente está associado a não homogeneidade da parcela onde foram retiradas as amostras. É importante destacar três comportamentos distintos de ganho de área foliar entre os tratamentos, a partir dos 25 DAT, divididos em ordem de máximos valores, na seguinte ordem: GSbR e GSpR, AR e AD, GSbD e GSpD. Exceção a este comportamento foi observado em relação a aspersão utilizando água do depósito, que mostrou uma elevação acentuada no ganho de área foliar aos 41 DAT, diminuindo também de forma acentuada aos 47 dias. Este fato é atribuído a não uniformidade entre as parcelas nestas datas de amostragem. HAMADA (1993), não encontrou diferença significativa entre os tratamentos, para as diferentes lâminas de água aplicadas por gotejamento, com exceção aos 11 DAT, entre o tratamento utilizando 60% da evaporação do tanque “Classe A” em relação aos demais tratamentos, também atribuindo esta diferença a não uniformidade entre as parcelas, nesta data de amostragem.

Na FIGURA 19 pode-se observar entre os tratamentos comportamento típico de crescimento ao longo do ciclo, concordante com HAMADA (1993), porém, não tão pronunciado como encontrado por esta autora, em que constatou um crescimento mais constante, que poderá estar associado a características da variedade de alface.

O ganho de área foliar, no início do ciclo (até 25 DAT), foi pequeno comparado ao período entre 25 até o final, em ambos os ciclos, porém com pequena redução na última data de amostragem em praticamente todos os tratamentos, exceção a aspersão com água residuária que mostrou ganho de área foliar constante até o final do ciclo. A partir de aproximadamente os 25 DAT, os maiores valores de área foliar foram obtidos no gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária, embora no início do ciclo estes tratamentos já mostravam este comportamento, no entanto, pouco pronunciado.

A área foliar por planta no final do 1º ciclo, utilizando água residuária variou entre 2669,3 e 4790,6 cm<sup>2</sup> por planta, enquanto que nos tratamentos utilizando água do depósito, variou entre 3263,9 e 3922,6 cm<sup>2</sup> por planta. No 2º ciclo utilizando água residuária, a exemplo

de todos os outros parâmetros analisados, a área foliar mostrou maiores valores na colheita, estando entre 5748,9 e 5948,4 cm<sup>2</sup> por planta, enquanto que nos tratamentos utilizando água do depósito variou entre 4148,8 e 4582,5 cm<sup>2</sup> por planta.

É aconselhável que a colheita da alface seja realizada quando atingir a máxima área foliar (HAMADA 1993). Neste sentido, observou-se neste experimento, que em todos os tratamentos e em ambos os ciclos, as plantas ainda estavam desenvolvendo-se, o que supõe, que poderíamos esperar mais tempo, aumentando desta forma a área foliar.

Os tratamentos GSbR e GSpR em ambos os ciclos da cultura e em praticamente todas as datas de amostragem, foram os que apresentaram os maiores valores em todos os parâmetros analisados, com exceção da altura da planta, em que mostrou alternância entre os tratamentos entre os dois ciclos.

### **5.8.2. Análise da produtividade e eficiência do uso de água**

Na TABELA 42 são apresentados a lâmina de irrigação acumulada, massa fresca total e eficiência do uso de água no final do 1º e 2º ciclo para cada tratamento. Na FIGURA 20 são apresentados os dados de produtividade e eficiência do uso de água. Observa-se que os maiores valores de produtividade média no 1º ciclo, foram obtidos com os tratamentos utilizando água residuária e irrigação por gotejamento subterrâneo. Porém, a maior eficiência do uso de água foi obtida no tratamento GSpR. O tratamento AR, apresentou problemas no momento da confecção do canteiro, em função da umidade excessiva decorrente de ensaios de uniformidade da aspersão realizados neste local, provocando compactação do solo e resultando no decréscimo da produtividade. Nos tratamentos utilizando água do depósito de fonte superficial, a maior produção foi obtida no gotejamento superficial, seguido pelo gotejamento subterrâneo, enquanto que a maior eficiência do uso de água foi obtido no tratamento GSpD.

No 2º ciclo, observamos que o valor médio de produção foi superior aos obtidos no 1º ciclo, com exceção do tratamento GSpD. Os tratamentos GSbR e GSpR, apresentaram maiores valores médios de produção que a AR, a exemplo do que ocorreu no 1º ciclo, porém, estas diferenças foram menos acentuadas. A eficiência do uso de água foi igual nos tratamentos GSbR e GSpR e menor na AR. Enquanto que nos tratamentos utilizando água do depósito a maior eficiência do uso de água foi na AD. A eficiência de uso de água no 2º ciclo é

considerada baixa, possivelmente devido a incidência de chuvas que ocorreram no período, onde as mesmas não foram consideradas no cálculo deste índice.

A diferença nos valores de produção entre a aspersão e o gotejamento subterrâneo e superficial no 1º ciclo, foram de 64 e 59%, respectivamente utilizando água residuária. Valores estes menores que os encontrados por BUREAU *et al.* (1987), que encontrou diferença significativa devido ao tipo de água aplicada na produção de algumas culturas, entre elas a alface.

Tabela 42. Lâmina de irrigação, massa fresca total e eficiência do uso de água para os seis tratamentos no final do 1º e 2º ciclo da cultura.

Tratamento	1º ciclo			2º ciclo		
	Lâmina aplicada	Massa fresca final	Eficiência do uso de água	Lâmina aplicada	Massa fresca final	Eficiência do uso de água
	mm	g.m <sup>-2</sup>	g.L <sup>-1</sup>	mm	g.m <sup>-2</sup>	g.L <sup>-1</sup>
GSpR	72,1	3934,6	54,5	127,2	4528,5	35,6
GSpD	73,0	3290,0	45,1	127,9	3274,4	25,6
GSbD	74,7	2848,0	38,1	131,2	3021,2	23,0
GSbR	75,8	4055,6	53,5	134,5	4792,2	35,6
AR	79,5	2472,5	31,1	142,7	4238,2	29,7
AD	80,6	2383,3	29,6	143,2	3751,6	26,2

A produção da alface no final do 1º ciclo, utilizando água residuária, apresentou diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade para o teste de Tukey, entre a aspersão e os sistemas de gotejamento subterrâneo e superficial. Também houve diferença significativa entre os tratamentos irrigados com água residuária dos utilizando água do depósito, com maior a produção de massa fresca nos primeiros utilizando água residuária. Os três sistemas de irrigação utilizando água do depósito também diferiram entre si. No 2º ciclo, houve diferença significativa entre o tratamento GSbR e GSbD e entre o GSpR e GSpD.

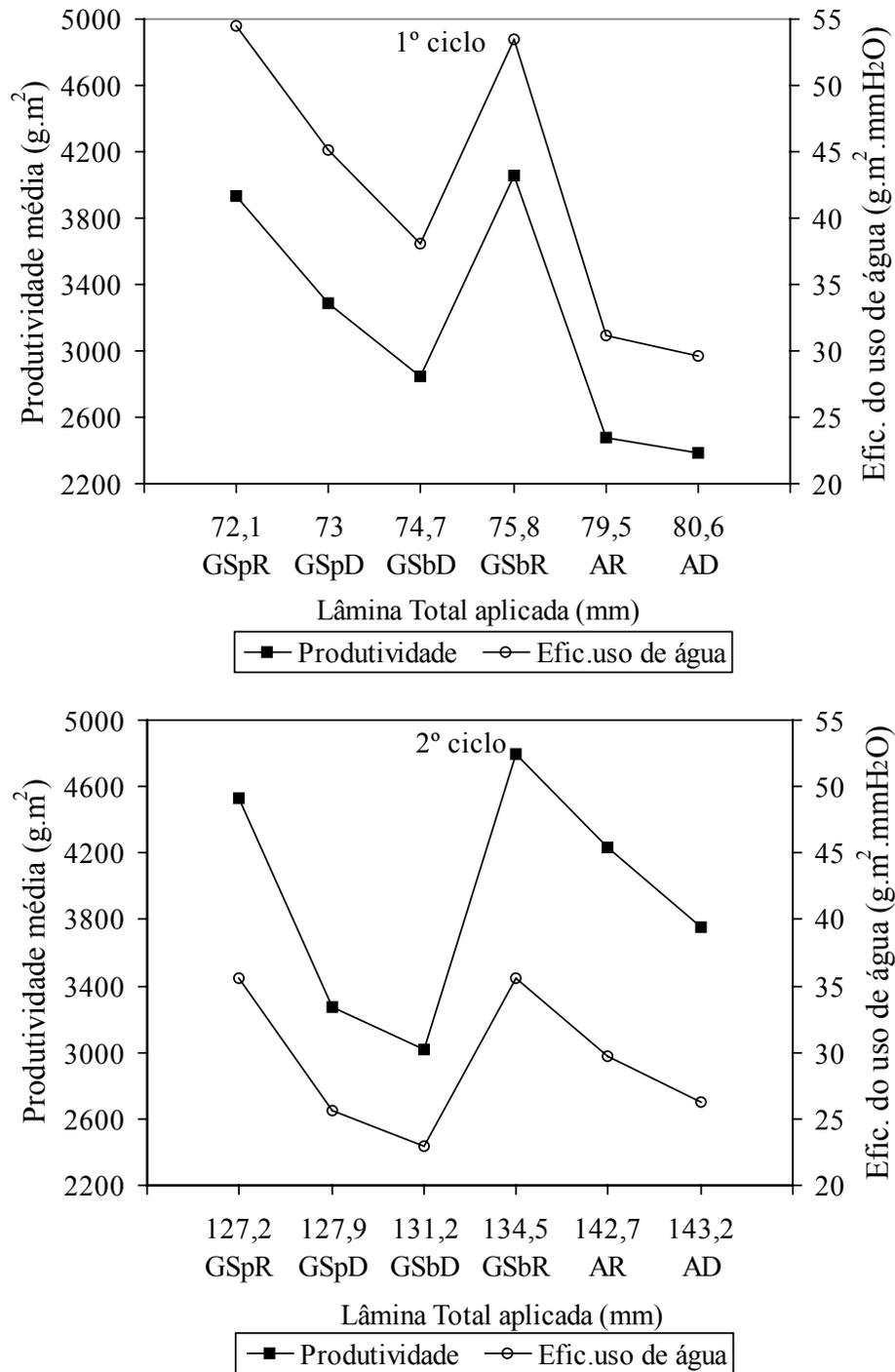


Figura 20. Produtividade e eficiência do uso de água, obtidas nos diferentes tratamentos.

A produtividade versus lâmina de irrigação mostrou baixa linearidade entre os tratamentos, porém, observa-se que a qualidade da água influenciou na produtividade da alfaca. Observou-se maior produtividade nos tratamentos irrigados com água residuária em relação aos tratamentos com água do depósito principalmente no gotejamento. Este fato é

devido a disponibilidade de nutrientes, principalmente nitrogênio, fósforo e potássio na água residuária que é melhor aproveitado, quando do uso do gotejamento, que são fundamentais ao desenvolvimento das plantas (MIRANDA, 1995).

Em relação a eficiência do uso de água, houve mudança de comportamento entre os ciclos, ou seja, no 1º ciclo todos os tratamentos foram mais eficientes no uso de água que no 2º. Este fato deve-se provavelmente a maior incidência de chuva durante o 2º ciclo, influenciando na eficiência do uso de água, já que a lâmina de água aplicada em ambos os ciclos foi sempre relacionado a um valor de  $ET_0$ . HAMADA (1995), encontrou também que a menor lâmina de água aplicada foi a que apresentou maior eficiência no uso de água. Observou também que a maior produtividade foi obtida com a maior lâmina de água, porém, houve pequena diferenciação da eficiência do uso de água nestes tratamentos.

A produtividade em todos os tratamentos foram inferiores aos obtidos por JUCHEN (2000), com a cultivar “Americana”, nas condições da região de Cascavel, PR, utilizando água residuária de laticínio e frigorífico. O autor obteve, respectivamente, produção de  $5960 \text{ g.m}^{-2}$  e  $7040 \text{ g.m}^{-2}$  no sistema de irrigação por gotejamento.

### **5.8.3. Análise da qualidade comercial**

Alternativamente a classificação tradicional com engradados, a CEAGESP (Cia. de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo), juntamente com a Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, sugerem uma proposta de participação voluntária para a classificação da alface, dentro do programa paulista para a melhoria dos padrões comerciais e embalagens de hortigranjeiros. Tendo por objetivo definir as características de identidade, qualidade, embalagem, acondicionamento e apresentação da alface, destinada ao consumo “in natura” no mercado atacadista interno.

Na TABELA 43, é apresentado a classificação da alface segundo o peso da massa fresca proposto pela CEAGESP.

Tabela 43. Classificação da alface segundo a massa fresca sugerido pela CEAGESP.

Limite de peso inferior (g)	Classe	Limite de peso superior (g)	Limite de peso inferior (g)	Classe	Limite de peso superior (g)
Sem limite	5	< 100	≥ 550	55	< 600
≥ 100	10	< 150	≥ 600	60	< 650
≥ 150	15	< 200	≥ 650	65	< 700
≥ 200	20	< 250	≥ 700	70	< 750
≥ 250	25	< 300	≥ 750	75	< 800
≥ 300	30	< 350	≥ 800	80	< 850
≥ 350	35	< 400	≥ 850	85	< 900
≥ 400	40	< 450	≥ 900	90	< 950
≥ 450	45	< 500	≥ 950	95	< 1000
≥ 500	50	< 550	≥ 1000	100	sem limite

OBS.: É tolerado uma mistura de 10% de pés de alface de classes diferente da especificada no rótulo, desde que pertencentes às classes imediatamente superior e/ou inferior.

A análise da classificação da alface em porcentagem em cada uma das classes, segundo definição da CEAGESP, para o 1º e 2º ciclos da cultura e para os seis tratamentos utilizados, podem ser vistos na TABELA 44.

Tabela 44. Análise da classificação da alface em porcentagem, segundo definição da CEAGESP para os dois ciclos da cultura e para os seis tratamentos.

Classificação			Tratamento <sup>1</sup>					
Limite de peso inferior (g)	Classe	Limite de peso superior (g)	AR	GSbR	GSpR	AD	GSbD	GSpD
1º ciclo								
≥ 100	10	< 150	60,0	-	-	63,3	33,3	3,3
≥ 150	15	< 200	23,3	23,3	20,0	26,7	40,0	50,0
≥ 200	20	< 250	10,0	26,7	33,3	10,0	16,7	30,0
≥ 250	25	< 300	6,7	26,7	33,3	-	10,0	10,0
≥ 300	30	< 350	-	16,6	13,4	-	-	6,7
≥ 350	35	< 400	-	6,7	-	-	-	-
2º ciclo								
≥ 150	15	< 200	-	-	-	16,7	76,7	56,7
≥ 200	20	< 250	43,3	23,3	40,0	50,0	23,3	33,3
≥ 250	25	< 300	46,7	36,7	26,7	30,0	-	10,0
≥ 300	30	< 350	10,0	23,3	13,3	3,3	-	-
≥ 350	35	< 400	-	10,0	20,0	-	-	-
≥ 400	40	< 450	-	6,7	-	-	-	-

<sup>1</sup> Análise de 30 plantas por tratamento

Obs.: A Classe segue a sugestão da CEAGESP

Constatamos que para os tratamentos AR e AD, durante o 1º ciclo, a maior porcentagem, 60,0% e 63,3% do total de plantas, respectivamente, esteve na classe 10. No 2º ciclo, as classes foram alteradas, ou seja, para o tratamento AR, a maior porcentagem das plantas ficou nas classes 20 e 25, com valores de 43,3 e 46,7%, respectivamente. Enquanto que no tratamento AD, 50,0% das plantas esteve concentrada na classe 20 e 30,0% na classe 25.

Analisando o tratamento GSbR no 1º ciclo, verificou-se que 26,7% das plantas de alface encontrava-se na classe 20 e o mesmo índice na classe 25, somando 53,4%, enquanto no tratamento GSbD, 73,3% concentrou-se nas classes de 10 e 15. Já no 2º ciclo no GSbR, 83,3% ficou entre as classes de 20 a 30 com maior parte das plantas na classe 25, enquanto que no tratamento GSbD, 76,7% encontrava-se na classe 15 e o restante na classe 20. Quanto ao tratamento GSpR no 1º ciclo, as classes que tiveram maior porcentagem de plantas foram as de 20 a 25 com total de 66,9%, enquanto que no tratamento GSpD, 50,0% do total de plantas encontrou-se nas classes 15 e 30,0% na classe 20, somando 80,0%.

No 1º ciclo, observa-se que os tratamentos GSbR e GSpD foram os que mostraram maior variação entre as classes, onde houve plantas distribuídas em cinco diferentes classes, no entanto, como mostra a TABELA 44, a maior proporção de plantas em cada tratamento, ficou concentrada em classes diferentes, ou seja, no tratamento GSbR, a maior parte das plantas concentrou-se em classes de maior peso, indicando maior produção de massa fresca. No 2º ciclo, o tratamento GSbR, foi o que apresentou distribuição em maior número de classe. Por outro lado, o tratamento GSbD foi o que apresentou menor número de classes, distribuindo-se em apenas duas, no entanto, concentrou-se em classes de menor peso, em relação aos demais tratamentos, mostrando menor produção de massa fresca. No 1º ciclo, o tratamento AD, apresentou distribuição em menor número de classes, concentrando-se em apenas 3 classes.

#### 5.8.4. Análise química do tecido vegetal

A análise química do tecido vegetal da alface, foi realizada somente no final do 2º ciclo (47 DAT). Os resultados obtidos nos seis tratamentos são apresentados na TABELA 45.

Tabela 45. Teores de macro e micronutrientes nas folhas de alface no final do 2º ciclo.

Parâmetros	Tratamento					
	AR*	GSbR*	GSpR*	AD*	GSbD*	GSpD*
<b>Macronutrientes</b>	----- g.kg <sup>-1</sup> -----					
Nitrogênio, N	31,6	33,4	35,7	31,8	33,8	31,3
Fósforo, P	4,7	4,8	4,1	4,5	4,6	5,0
Potássio, K	49,7	50,1	52,3	54,3	52,7	50,9
Cálcio, Ca	12,2	13,1	13,2	11,9	11,4	11,8
Magnésio, Mg	3,0	3,5	3,0	2,5	3,0	3,2
Enxofre, S	3,7	3,7	4,3	4,2	4,6	4,2
<b>Micronutrientes</b>	----- mg.kg <sup>-1</sup> -----					
Ferro, Fe	325,0	286,7	257,3	155,0	361,7	296,7
Manganês, Mn	104,7	62,3	61,7	72,3	88,3	61,7
Cobre, Cu	17,0	19,0	18,0	14,7	16,3	15,7
Zinco, Zn	50,0	55,3	46,7	44,7	48,7	45,0
Sódio, Na	985,0	675,7	616,7	106,7	111,0	113,3
Boro, B	38,3	35,7	33,7	35,6	33,5	32,4
Cobalto, Co	1,7	1,3	1,7	2,0	2,0	2,0
Molibdênio, Mo	2,7	3,3	2,7	3,0	4,0	4,3
Nitrato, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N	109,0	1053,0	1382,0	250,7	514,7	351,7

\* Média de 3 amostras, cada uma composta por folhas de 12 plantas

#### Nitrogênio total e nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - N)

Observou-se que os teores médios obtidos de nitrogênio total nas folhas de alface foram de 31,6, 33,4 e 35,7 g.kg<sup>-1</sup>, respectivamente para os tratamentos AR, GSbR e GSpR e de 31,8, 33,8 e 31,3 g.kg<sup>-1</sup>, respectivamente para AD, GSbD e GSpD, onde observou-se que o tratamento GSpR foi o que apresentou maior teor de nitrogênio. Os teores obtidos de nitrogênio, foram dentro do intervalo considerado adequado para a alface, situando-se próximo ao limite inferior, que é de 30 a 50 g.kg<sup>-1</sup> (TRANI & RAIJ, 1997).

A concentração média de nitrato na folhas de alface variaram consideravelmente entre os tratamentos, onde nos sistemas de irrigação por GSbR e GSpR com água residuária, o teor médio foi pouco acima de 1000 mg.kg<sup>-1</sup> (TABELA 45), porém, na aspersão o valor foi de apenas 109,0 mg.kg<sup>-1</sup>. Valores semelhantes foram obtidos por KIRKHAM (1986), em alface, irrigando com água residuária municipal, onde verificou que o nitrato não provocou nenhum dano as plantas, ao contrário, foi benéfico para o desenvolvimento das mesmas.

Nas amostras de folhas de alface irrigadas com água do depósito, o teor de nitrato foi consideravelmente inferiores ao encontrado nas amostras irrigadas com água residuária, com valores médios de 250,7, 515,7 e 351,7 mg.kg<sup>-1</sup>, respectivamente para a AD, GSbD e GSpD. A variação entre os tratamentos, possivelmente foi devido a concentração deste nutriente na água de irrigação.

O sistema de cultivo também é um fator determinante no teor de nitrato em folhas da alface, conforme relatam MIYAZAWA *et al.* (2001), mostrando que o teor de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - N na alface cultivada em sistema orgânico variaram entre 250,0 a 6570,0 mg.kg<sup>-1</sup>, sendo que metade das amostras de alface, apresentaram concentração menor que 1,000 mg.kg<sup>-1</sup> e 2/3 com teor inferior a 500 mg.kg<sup>-1</sup>. Por outro lado, as plantas cultivadas em sistema hidropônico apresentaram maior teor de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - N, sendo que 70% das amostras tinham entre 6,000 e 12,000 mg.kg<sup>-1</sup>. Na alface cultivada em sistema convencional, o teor de nitrato foi intermediário entre o cultivo orgânico e hidropônico, com 85,2% das amostras apresentando concentração entre 1,000 e 9,000 mg.kg<sup>-1</sup>.

Podemos observar que o teor de nitrato obtido nos tratamentos irrigados com água residuária equipararam-se aos obtidos no sistema convencional destes autores, enquanto que na água do depósito, foram semelhantes aos menores valores obtidos no sistema de cultivo orgânico.

LARA & TAKAHASHI (1982) avaliaram o teor de nitrato da alfaces adquirida na feiras livre de São Paulo e constataram que 20% das amostras apresentaram teor inferior a 1,000 mg.kg<sup>-1</sup> deste íon e 10% das amostras apresentaram-se superiores a 10,000 mg.kg<sup>-1</sup>.

Trabalho semelhante foi realizado por RATH *et al.* (1994) em alface produzidas no Distrito Federal, onde encontraram que 22% das amostras apresentaram teor inferior a 3,000 mg.kg<sup>-1</sup> e 55% das mesmas acima de 6,000 mg.kg<sup>-1</sup> de nitrato.

Com relação ao índice da ingestão diária admissível (IDA) de nitrato, limitado no máximo em 5,0 mg.kg<sup>-1</sup> de peso vivo, conforme definido pela FAO, onde uma pessoa de 70 kg poderá consumir até 350,0 mg de nitrato por dia. Observa-se que mesmo as plantas do sistema de irrigação com água residuária, poderá ser consumida sem perigo de causar danos a saúde, sendo necessário o consumo correspondente a aproximadamente 0,5 kg ou 100 folhas por dia para atingir o IDA.

## **Fósforo**

O fósforo em todos os tratamentos apresentou níveis dentro do intervalo adequado para a cultura da alface, conforme recomendação de TRANI & RAIJ (1997). A concentração deste parâmetro foi mais próxima ao limite inferior do intervalo mencionado por estes autores que é de 4,0 a 7,0 g.kg<sup>-1</sup>.

O tratamento GSpD foi o que apresentou maior valor médio, sendo de 5,0 g.kg<sup>-1</sup> de alface, mostrando que embora a água residuária utilizada na irrigação, apresentava maior concentração de fósforo em relação a do depósito, não influenciou de forma significativa na elevação deste nutriente no tecido vegetal da alface.

As variações foram pequenas entre os tratamentos, não apresentando diferenças significativas, concordando com GARCIA (1982), definindo como níveis normais de plantas bem nutridas de 4,4 g.kg<sup>-1</sup>, com exceção do GSpR que foi acima deste valor com 4,1 g.kg<sup>-1</sup>. ALVARENGA (1999) verificou que as doses de nitrogênio, os níveis de cálcio e as épocas ao longo do ciclo da cultura, mostraram possuir efeito significativo em todas as fontes de variação analisadas, justificando que o fósforo teve efeito cumulativo ao longo do ciclo da cultura e que mais da metade deste nutriente foi absorvido nas duas semanas que antecederam a colheita em todos os tratamentos. Contudo, ao 56 DAT verificou que com o aumento dos níveis de cálcio, diminuiu a quantidade de fósforo na parte aérea da planta. Neste trabalho, porém, mesmo havendo níveis de fósforo, nitrogênio, potássio, cálcio e sódio, mais elevado na água residuária, não apresentou efeito cumulativo diferenciado com os tratamentos irrigados com água do depósito.

## **Potássio**

Observou-se que o potássio apresentou teor normal no tecido vegetal da planta em todos os tratamentos, não havendo diferença significativa ao nível de 5% entre os tratamentos, mesmo havendo maior concentração deste íon na água residuária em relação a do depósito superficial, como apresentado nas TABELAS 14, 15, 16 e 17. Os valores obtidos nos tratamentos utilizando água residuária foram de 49,7, 50,1 e 52,3 g.kg<sup>-1</sup> (TABELA 45), enquanto que nos tratamentos com água do depósito foram de 54,3, 52,7 e 50,9 g.kg<sup>-1</sup>, respectivamente para a aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial. Estes teores são muito abaixo dos observados por ALVARENGA (1999), que encontrou valores entre 25,0 a 27,0 g.kg<sup>-1</sup> aos 56 DAT para a variedade de alface americana. Ainda segundo este autor, a extração dos nutrientes acompanha o crescimento das plantas, mostrando que o cálcio influenciou significativamente no acúmulo de potássio na parte aérea da planta, constatando ainda que o

alto teor de cálcio no solo pode interferir negativamente na disponibilidade de potássio na parte aérea da planta. Por outro lado, os valores obtidos foram concordantes com os teores de potássio encontrado por NAKAGAWA *et al.* (1992); RICCI (1995), que variaram de 41,7 e 91,0 g.kg<sup>-1</sup>.

### **Cálcio**

Observou-se na análise do teor de cálcio, considerando os índices adequados sugeridos por TRANI & RAIJ (1997), que todos os tratamentos apresentaram níveis adequados nas folhas de alface, onde segundo este autor, o máximo normalmente encontrado na alface é de até 15 g.kg<sup>-1</sup>. Neste trabalho os teores encontrados foram entre 12,2 a 13,2 g.kg<sup>-1</sup> nos tratamentos utilizando água residuária e entre 11,2 a 11,8 g.kg<sup>-1</sup> nos tratamentos com água do depósito de fonte superficial, mostrando que a disponibilidade do cálcio no solo, influenciou no acúmulo deste íon na planta, ao contrário do que ocorreu com o N, P e K. Porém, não houve diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade para o teste de Tukey. De qualquer forma, todos os tratamentos que utilizaram água residuária, mostraram maiores valores que os tratamentos utilizando água do depósito. Para Kirkby *apud* ALVARENGA (1999), a absorção de cálcio é estimulada pelo nitrato e dificultada pelo amônio. Do ponto de vista de teor de cálcio, este autor observou uma tendência de incremento do mesmo até os 28 DAT em todos os níveis de cálcio aplicados (0, 0,5, 1,0 e 1,5%), após o que assinalou uma tendência de decréscimo de acordo com a idade da planta, observando teores variando entre 14,7 a 15,5 g.kg<sup>-1</sup>, portanto, superiores aos obtidos neste trabalho.

### **Magnésio**

Observou-se que o teor de magnésio encontrado é menor que o adequado para a alface, conforme apresentado por TRANI & RAIJ (1997), que recomenda entre 4 a 6 g.kg<sup>-1</sup>. Todos os tratamentos mostraram níveis abaixo dos adequados para as folhas da alface possivelmente devido a baixa concentração deste íon na água de irrigação, não havendo também, diferença significativa entre os tratamentos ao nível de 5% de probabilidade para o teste de Tukey. O magnésio já existente no solo, assim como a relação cálcio/magnésio, não foram suficientes para atender a necessidade da planta e conseqüentemente manter a concentração considerada adequada de magnésio.

Os teores de magnésio observados neste trabalho variaram de 2,5 g.kg<sup>-1</sup> na aspersão utilizando água residuária, até 3,5 g.kg<sup>-1</sup> no gotejamento subterrâneo utilizando esta mesma

água. Nos tratamentos irrigados com água do depósito, a maior concentração de magnésio foi verificada na AD com  $2,5 \text{ g.kg}^{-1}$ . Para GARCIA (1982), uma planta de alface bem nutrida apresenta cerca de  $3,5 \text{ g.kg}^{-1}$ . ALVARENGA (1999) por sua vez, verificou que os teores de magnésio nas folhas de alface foram influenciadas significativamente pelos níveis de cálcio (0,0, 0,5, 1,0 e 1,5%) aplicados via foliar e também pela idade da planta (14, 21, 28, 35, 42, 49 e 56 DAT). Porém aos 56 DAT, houve apenas uma discreta tendência de redução do magnésio na parte aérea da planta com o aumento dos níveis de cálcio.

### **Enxofre**

Ao contrário do que ocorreu com os demais parâmetros, onde encontraram-se em níveis adequados para a alface, conforme recomendado pela literatura, os teores de enxofre em todos os tratamentos apresentaram valores acima do recomendável para a alface, que deverá ser de 1,5 a  $2,5 \text{ g.kg}^{-1}$ . No entanto, neste experimento o maior teor foi  $4,6 \text{ g.kg}^{-1}$  no tratamento GSbD e o menor de  $3,7 \text{ g.kg}^{-1}$ , nos tratamentos AR e GSbR. Esses índices mostram que embora a água residuária tenha apresentado maior concentração de enxofre, não resultou em acúmulo significativo nas folhas da planta. ALVARENGA (1999), por sua vez, verificou que as doses de nitrogênio aplicadas no solo influenciaram significativamente no acúmulo de enxofre na parte aérea da mesma, apenas nas três últimas semanas antes da colheita, sendo este fato, porém, decorrente da aplicação de sulfato de amônio como fonte de nitrogênio de forma complementar.

### **Sódio**

O sódio foi o micronutriente que apresentou a maior elevação no tecido vegetal da alface, sendo que os tratamentos com água residuária foram superiores (6 vezes maior) aos irrigados com água do depósito. Este comportamento, é inerente as plantas de alface, que tem grande capacidade de reter tal íon em grandes quantidades em seus tecidos. Os teores foram de 985,0, 675,7, 616,7, 106,7, 111,0 e  $113,3 \text{ mg.kg}^{-1}$  (TABELA 45), respectivamente para os tratamentos AR, GSbR, GSpR, AD, GSbD e GSpD. O alto teor de sódio observado na parte aérea da alface, foi influenciado pela concentração deste nutriente na água residuária, sendo possivelmente o maior responsável em todos os sistema de irrigação, devido a sua disponibilidade no solo, decorrente da aplicação da água residuária, conforme apresentado no item 5.5. Observou-se que houve diferença significativa, ao nível de 1% de probabilidade para

o teste de Tukey, entre os tratamentos com água residuária e do depósito superficial nos três sistemas de irrigação. Constatou-se também que a aspersão diferiu do gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária.

A exemplo do que ocorreu com os teores de ferro, manganês e zinco, o sódio mostrou teores mais elevados quando utilizou-se água residuária aplicada por aspersão, o que nos leva a crer que a aplicação desta água sobre as folhas das plantas de alface, facilitou a absorção dos mesmos, principalmente do sódio. Este comportamento não foi verificado para os macronutrientes, que embora estivessem em maiores concentrações na água residuária, apresentou teores próximos entre os tratamentos, independente do tipo de água utilizada.

### **Cobre**

Observou-se que os teores de cobre foram de 17,0, 19,0 e 18,0 mg.kg<sup>-1</sup>, respectivamente para os tratamentos AR, GSbR e GSpR, enquanto que para a AD, GSbD e GSpD foram de 14,7, 16,3 e 15,7 mg.kg<sup>-1</sup> (TABELA 45), respectivamente, mostrando que de forma geral, o teor de cobre nos tratamentos irrigados com água residuária, foram maiores que os irrigados com água do depósito. Os valores encontrados foram superiores aos observados por ALVARENGA *et al.* (2000), observando aos 56 DAT, média de 8,4 mg.kg<sup>-1</sup> para a alface americana. Comparando os resultados obtidos com outros autores (TABELA 3), verificou-se que de acordo com SANCHES *et al.* (1991) e ADAMS *et al.* (1986), a concentração obtida foi acima dos níveis adequados para a alface e adequados para TRANI & RAIJ (1997); JANES Jr. *et al.* (1991).

As variações observadas entre os autores pode ser explicada pelas diferentes variedades de cultivares estudadas, condições de clima, solo e disponibilidade de nutrientes na água de irrigação e solo, disponibilizando ou interferindo negativamente na absorção dos nutrientes pelas plantas.

### **Boro**

Observou-se que os teores de boro foram de 39,3, 35,7 e 33,7 mg.kg<sup>-1</sup>, respectivamente para os tratamentos AR, GSbR e GSpR, enquanto que para a AD, GSbD e GSpD foram de 36,6, 33,5 e 32,4 mg.kg<sup>-1</sup> (TABELA 45), não apresentando diferença significativa entre os tratamentos. Os teores de boro apresentaram níveis adequados conforme TRANI & RAIJ (1997); SANCHES *et al.* (1991). Segundo estes autores, a faixa em que a concentração deste nutriente pode ser encontrada nas folhas de alface é bastante ampla,

variando entre 20 e 60 mg.kg<sup>-1</sup>. No trabalho realizado por ALVARENGA *et al.* (2000), os teores de boro foram em média entre 26,69 e 29,22 mg.kg<sup>-1</sup> para a alface americana, inferiores aos encontrados neste trabalho.

### **Zinco**

Os teores de zinco encontrados podem ser considerados adequados para a alface, variando entre 44,7 a 55,7 mg.kg<sup>-1</sup>, que de acordo com TRANI & RAIJ (1997); SANCHES *et al.* (1991); ADAMS *et al.* (1986), abrangem a faixa de 25 a 250 mg.kg<sup>-1</sup>. Outros autores como ALVARENGA *et al.* (2000), encontraram valores médios de 47,47 mg.kg<sup>-1</sup> para a alface americana, portanto semelhante aos encontrados neste trabalho. Estes autores verificaram ainda que com o aumento da concentração de cálcio aplicado via foliar, reduziu o aumento de zinco, provavelmente, porque o cálcio tenha concorrido em espaço nas folhas, impedindo a ocupação pelo zinco.

### **Manganês**

O teor de manganês apresentou níveis adequados para plantas bem nutridas, indicando que o solo não sofreu deficiência em função da necessidade da cultura. A absorção de manganês é prejudicada pela alta concentração de potássio, cálcio, magnésio, cobre, zinco e sódio. A exemplo de outros micronutrientes, SANCHES *et al.* (1991); TRANI & RAIJ (1997); JANES Jr. *et al.* (1991), definem uma faixa ampla, variando entre 15 e 250 mg.kg<sup>-1</sup>, sendo que para ADAMS *et al.* (1986), o nível adequado em plantas de alface é de 51 mg.kg<sup>-1</sup>, assim, observou-se que todas as amostras apresentaram níveis acima do definido por este autor. Os níveis de manganês apresentaram variações entre os tratamentos, com o máximo teor obtido de 104,7 mg.kg<sup>-1</sup> na AR e o mínimo de 61,7 mg.kg<sup>-1</sup>, tanto no GSbR como no GSbD. ALVARENGA *et al.* (2000), constataram que no início do ciclo da cultura, o teor médio foi de 107,5 mg.kg<sup>-1</sup> e no final de 28,6 mg.kg<sup>-1</sup>, atribuindo esta diminuição, ao teor de manganês que esta relacionado a matéria seca, que decresce com a idade da planta, em razão do aumento de seu tamanho. Observaram ainda uma nítida redução do manganês com o aumento da concentração de cálcio aplicado via foliar, supondo que o cálcio prejudicou sua absorção pela planta.

## **Ferro**

Observou-se que os teores de ferro foram de 325,0, 286,7 e 257,3 mg.kg<sup>-1</sup>, respectivamente para os tratamentos AR, GSbR e GSpR, enquanto que para a AD, GSbD e GSpD foram de 155,0, 361,7 e 296,7 mg.kg<sup>-1</sup> (TABELA 45), apresentando diferença significativa a nível de 5% de probabilidade para o teste de Tukey, entre o ferro presente na água residuária e água do depósito superficial, no sistema de irrigação por aspersão. Utilizando água do depósito, a aspersão diferiu dos sistemas de gotejamento subterrâneo e superficial.

Os resultados obtidos para o tratamento AD, encontram-se na faixa adequada para alface segundo SANCHES *et al.* (1991), porém acima das indicações de outros autores como TRANI & RAIJ (1997); JANES Jr. *et al.* (1991); ADAMS *et al.* (1986). Os teores acima dos níveis ideais para a alface também se repetiram para todos os outros tratamentos, atingindo o maior índice na AR.

TRANI (2001) relata que são poucas as informações na literatura sobre deficiência de ferro em alface, resumindo-se à descrição da típica clorose internerval, com retículo fino, das folhas mais jovens. O mesmo ocorre com relação aos níveis adequados no solo para a mesma, já que a maioria dos solos contém esses micronutrientes em quantidades suficientes para suprir a demanda da cultura.

## **Cobalto e Molibdênio**

O cobalto praticamente não é discutido em literatura quanto ao seu teor adequado em alface. Talvez seja devido a sua menor importância em termos nutricionais que os demais micronutrientes e também por estar presente no solo em quantidades suficientes para atender a demanda da cultura, a exemplo do que ocorre com o ferro. Os valores encontrados foram de 2,0 mg.kg<sup>-1</sup> nos tratamentos com água do depósito e de 1,3 a 1,7 mg.kg<sup>-1</sup> em água residuária.

O molibdênio também praticamente não é discutido, porém alguns autores como TRANI & RAIJ (1997) citam como nível adequado para a alface a faixa de 0,8 a 1,4 mg.kg<sup>-1</sup>. ADAMS *et al.* (1986) porém, relatam que o nível adequado é de 1,5 mg.kg<sup>-1</sup>. De qualquer forma, neste trabalho, com exceção do GSbR, os demais tratamentos mostraram níveis mais elevados aos definidos pelos autores acima. Estes níveis mais altos, devem-se possivelmente a presença deste elemento químico no solo, em quantidades suficientes para atender as necessidades da alface, tanto do cobalto como do molibdênio, uma vez que em ambos os tipos de água utilizada, as concentrações foram sempre abaixo do limite de detecção do equipamento utilizado para análise deste nutriente.

## 6. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, pode-se afirmar que:

- A utilização dos sistemas de irrigação por gotejamento subterrâneo e superficial, pode ser uma técnica viável para aplicação de água residuária tratada com leitos cultivados com macrófitas, para controlar ou evitar a contaminação da cultura da alface.
- A irrigação por gotejamento subterrâneo e superficial não mostraram risco de contaminação nas folhas da alface, podendo esta técnica ser utilizada para aplicação de água residuária tratada com leitos cultivados de macrófitas. A aspersão ao contrário, mostrou contaminação acima dos limites permissíveis pela legislação vigente, não sendo recomendada para aplicação deste tipo de água em culturas consumidas cruas.
- A composição química do solo e solução do mesmo apresentaram algumas mudanças, nos dois ciclos da cultura da alface, sendo que o sódio foi o elemento químico que mostrou maior acúmulo no solo em relação aos demais parâmetros. O fósforo, manganês, magnésio e enxofre, tiveram suas concentrações elevadas no meio do ciclo, diminuindo na análise do final do mesmo, sendo o acúmulo atribuído a aplicação de água residuária e a sua diminuição, principalmente ao consumo pelas plantas e lixiviação no solo.
- A condutividade elétrica da solução do solo determinada pela extração aquosa  $CE_{1:2}$ , tanto para o solo irrigado com a água residuária, quanto com água do depósito de fonte superficial, foram sempre abaixo dos níveis considerados prejudiciais, onde os valores máximos pela relação solo:água 1:2 deve estar entre 0,5 a 1,5  $dS.m^{-1}$ .
- O maior entupimento dos emissores e conseqüente diminuição de vazão, ocorreu nos sistemas aplicando água residuária tratada com leitos cultivados com macrófitas, comparada ao uso de água do depósito de fonte hídrica superficial, mostrando a necessidade de um melhor tratamento da água e manejo do sistema de irrigação, para a utilização na irrigação por gotejamento. Verificou-se ainda que o entupimento dos emissores com água residuária, mostrou ser um processo progressivo e não um entupimento total.
- O uso do sistema de irrigação por gotejamento subterrâneo foi mais propenso ao entupimento que o gotejamento superficial, tanto com água residuária como com água do depósito de fonte hídrica superficial.

- A produtividade da alface nos dois ciclos, foi mais elevada nos sistemas de irrigação por gotejamento subterrâneo e superficial utilizando água residuária, quando comparada ao uso de água do depósito, mostrando que a presença de nutrientes na água residuária influenciou no maior desenvolvimento da alface.
- A concentração dos elementos químicos analisados na parte aérea da alface, foi considerada normal e adequada, estando dentro dos padrões normais de plantas bem nutridas, não sendo afetada pela qualidade da água, com exceção ao sódio, que mostrou ser influenciado significativamente pela concentração deste íon na água residuária.
- Os resultados obtidos demonstram a possibilidade do uso de água residuária, como fonte de nutrientes para as plantas, podendo substituir ou diminuir significativamente as adubações químicas com fertilizantes comerciais, reduzindo assim os custos de produção.

## 7. RECOMENDAÇÕES

- Para atender aos padrões microbiológicos de qualidade da água utilizado na agricultura, principalmente para a irrigação de culturas consumidas cruas, recomenda-se que seja feito um tratamento complementar ao secundário (químico ou semelhante) para desinfecção do efluente.
- Com relação ao entupimento dos emissores em sistemas de irrigação localizada, recomenda-se estudos para identificar e controlar os parâmetros responsáveis por este processo, utilizando diferentes produtos químicos adicionados à água e processos físicos, aliados a um manejo apropriado, que proporcionem melhores resultados econômicos e sejam mais eficientes para melhoria da qualidade deste efluente.
- Sabendo que um dos maiores inconvenientes da aplicação de água residuária através dos sistemas de irrigação localizada, é o entupimento dos gotejadores, recomenda-se avaliar emissores mais adequados, quanto ao tamanho e tipo dos mesmos.
- Recomenda-se analisar o solo nos sistemas de irrigação por gotejamento subterrâneo e superficial, à distâncias conhecidas em relação a posição dos emissores, considerando diferentes tempos de aplicação dos efluentes, visando identificar o movimento dos nutrientes essenciais às plantas e efeito cumulativo no solo.
- Estudos em relação ao suprimento de nutrientes em diferentes culturas, considerando efluentes de diferentes origens, face a peculiaridade dos mesmos e característica fisiológica de cada cultura.

## ANEXO 1. Dados experimentais do solo

Tabela 46. Resultados da análise química do solo e variação em porcentagem da medida final em relação a inicial para a irrigação por aspersão utilizando água residuária durante o 1º ciclo da cultura nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.

Parâmetros	Aspersão utilizando água residuária							
	0,00-0,10				0,10-0,20			
	Início	Meio	Final	Variação (%)	Início	Meio	Final	Variação (%)
pH <sub>CaCl2</sub>	5,7	5,3	5,4	-5,6	5,8	5,2	5,4	-7,4
pH <sub>H2O</sub>	6,4	5,9	6,0	-6,7	6,4	5,9	6,0	-6,7
pH <sub>SMP</sub>	6,28	6,25	6,18	-1,6	6,32	6,27	6,20	-1,9
Hidro+Alum (cmol.dm <sup>-3</sup> )	3,2	3,3	3,5	9,4	3,0	3,2	3,4	13,3
P (Mehlich) (mg.dm <sup>-3</sup> )	25,0	26,0	21,7	-15,2	20,7	25,0	19,7	-5,1
Carbono (g.dm <sup>-3</sup> )	19,0	20,0	23,3	22,6	18,0	17,7	21,0	16,7
S. Bases (cmol.dm <sup>-3</sup> )	6,0	5,9	5,9	-1,7	5,7	5,6	5,8	1,8
Saturação de Bases (%)	65,36	64,40	62,83	-4,0	65,35	63,47	62,71	-4,2
Cálcio/Magnésio	3,7	3,2	3,5	-5,7	3,4	3,1	3,5	2,9
Relação (C/N)	11/1	8/1	9/1	-	12/1	6/1	6/1	-
Potássio ( % da C.T.C.)	4,1	4,0	3,5	-17,1	3,9	4,6	4,2	7,7
Cálcio (% da C.T.C.)	48,1	45,8	46,1	-4,3	47,5	44,6	45,5	-4,4
Magnésio (% da C.T.C.)	13,1	14,6	13,2	0,8	14,0	14,4	13,0	-7,7
Hidrogênio (% da C.T.C.)	34,6	35,6	37,2	7,5	34,7	36,5	37,3	7,5
Ferro (mg.dm <sup>-3</sup> )	23,7	21,8	22,2	-6,8	21,8	22,4	21,7	-0,5
Zinco (mg.dm <sup>-3</sup> )	5,5	3,6	4,3	-27,9	5,6	3,3	5,3	-5,7
Cobalto (mg.dm <sup>-3</sup> )	0,1	0,1	*	-	0,1	0,1	0,1	0,0
Molibdênio (mg.dm <sup>-3</sup> )	0,1	0,1	*	-	*	0,1	0,1	-

\* Abaixo do limite de detecção

Extratores: Água quente = boro; KCl 1N 1:10 = alumínio, cálcio e magnésio; Mehlich 1:10 = potássio, sódio, ferro, manganês, cobre e zinco; Fósforo Monocálcico = enxofre.

Tabela 47. Resultados da análise química do solo e variação em porcentagem da medida final em relação a inicial para a irrigação por aspersão utilizando água do depósito de fonte superficial durante o 1º ciclo da cultura nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.

Parâmetros	Aspersão utilizando água do depósito de fonte superficial							
	Início	Meio	Final	Variação	Início	Meio	Final	Variação
	0,00-0,10				0,10-0,20			
			(%)				(%)	
pH <sub>CaCl2</sub>	5,7	5,7	5,6	-1,8	5,6	5,7	5,6	0,0
pH <sub>H2O</sub>	6,0	6,4	6,3	5,0	6,3	6,4	6,2	-1,6
pH <sub>SMP</sub>	6,37	6,55	6,43	0,9	6,37	6,60	6,40	0,5
Hidro+Alum (cmol.dm <sup>-3</sup> )	2,9	2,4	2,7	-7,4	2,9	2,2	2,8	-3,6
P (Mehlich) (mg.dm <sup>-3</sup> )	17,0	25,7	28,3	66,5	15,7	21,7	28,7	82,8
Carbono (g.dm <sup>-3</sup> )	17,3	19,0	24,0	38,7	17,3	17,7	21,7	25,4
S. Bases (cmol.dm <sup>-3</sup> )	5,36	6,86	6,77	26,3	5,41	6,45	6,99	29,2
Saturação de Bases (%)	65,17	74,25	71,71	10,0	65,36	74,21	71,36	9,2
Cálcio/Magnésio	3,0	2,8	3,0	0,0	3,2	2,8	3,2	0,0
Relação (C/N)	11/1	6/1	10/1	-	11/1	6/1	9/1	-
Potássio ( % da C.T.C.)	5,9	7,8	7,4	25,4	5,4	7,5	7,4	37,0
Cálcio ( % da C.T.C.)	44,6	49,1	48,4	8,5	45,5	49,0	48,7	7,0
Magnésio ( % da C.T.C.)	14,6	17,3	15,9	8,9	14,5	17,7	15,3	5,5
Hidrogênio ( % da C.T.C.)	34,8	25,8	28,3	-23,0	34,6	25,8	28,6	-21,0
Ferro (mg.dm <sup>-3</sup> )	22,8	27,4	30,4	33,3	21,7	27,5	28,3	30,4
Zinco (mg.dm <sup>-3</sup> )	3,0	4,0	6,4	113,3	3,1	3,9	6,1	96,8
Cobalto (mg.dm <sup>-3</sup> )	*	0,0	0,1	-	0,1	0,1	0,1	0,0
Molibdênio (mg.dm <sup>-3</sup> )	*	*	*	-	*	0,1	0,1	-

\* Abaixo do limite de detecção

Extratores: Água quente = boro; KCl 1N 1:10 = alumínio, cálcio e magnésio; Mehlich 1:10 = potássio, sódio, ferro, manganês, cobre e zinco; Fósforo Monocálcico = enxofre.

Tabela 48. Resultados da análise química do solo e variação em porcentagem da medida final em relação a inicial para a irrigação por gotejamento subterrâneo utilizando água residuária durante o 1º ciclo da cultura nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.

Parâmetros	Gotejamento subterrâneo utilizando água residuária							
	Início	Meio	Final	Variação	Início	Meio	Final	Variação
	0,00-0,10				0,10-0,20			
			(%)				(%)	
pH <sub>CaCl2</sub>	5,9	5,6	5,6	-5,4	6,0	5,5	5,5	-9,1
pH <sub>H2O</sub>	6,5	6,3	6,2	-4,8	6,7	6,2	6,2	-8,1
pH <sub>SMP</sub>	6,47	6,43	6,42	-0,8	6,55	6,38	6,40	-2,3
Hidro+Alum (cmol.dm <sup>-3</sup> )	2,6	2,7	3,0	15,4	2,3	2,8	3,1	34,8
P (Mehlich) (mg.dm <sup>-3</sup> )	28,3	30,7	36,0	27,2	25,3	30,0	24,0	-5,4
Carbono (g.dm <sup>-3</sup> )	19,7	21,0	22,7	15,2	17,7	19,0	20,3	14,7
S. Bases (cmol.dm <sup>-3</sup> )	7,0	6,7	6,5	-7,7	6,6	7,0	5,9	-11,9
Saturação de Bases (%)	73,02	71,33	68,23	-6,6	73,71	71,18	65,31	-12,9
Cálcio/Magnésio	3,2	2,6	3,4	6,2	2,6	3,8	3,3	26,9
Relação (C/N)	10/1	8/1	9/1	-	7/1	10/1	7/1	-
Potássio ( % da C.T.C.)	5,2	4,6	3,8	-36,8	6,3	4,2	4,3	-46,5
Cálcio (% da C.T.C.)	51,8	48,0	49,5	-4,6	48,3	52,0	46,9	-3,0
Magnésio (% da C.T.C.)	16,1	18,7	15,0	-7,3	19,1	14,9	14,2	-34,5
Hidrogênio (% da C.T.C.)	26,9	28,7	31,8	18,2	26,3	28,8	34,7	31,9
Ferro (mg.dm <sup>-3</sup> )	26,0	23,7	25,6	-1,6	26,6	23,5	25,2	-5,6
Zinco (mg.dm <sup>-3</sup> )	6,8	6,4	9,9	45,6	7,1	6,4	8,8	23,9
Cobalto (mg.dm <sup>-3</sup> )	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	*	0,1	0,0
Molibdênio (mg.dm <sup>-3</sup> )	0,1	0,2	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0

\* Abaixo do limite de detecção

Extratores: Água quente = boro; KCl 1N 1:10 = alumínio, cálcio e magnésio; Mehlich 1:10 = potássio, sódio, ferro, manganês, cobre e zinco; Fósforo Monocálcico = enxofre.

Tabela 49. Resultados da análise química do solo e variação em porcentagem da medida final em relação a inicial para a irrigação por gotejamento subterrâneo utilizando água do depósito de fonte superficial durante o 1º ciclo da cultura nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.

Parâmetros	Gotejamento subterrâneo utilizando água do depósito							
	Início	Meio	Final	Variação	Início	Meio	Final	Variação
	0,00-0,10			(%)	0,10-0,20			(%)
pH <sub>CaCl2</sub>	5,5	5,3	5,2	-5,8	5,4	5,2	5,3	-1,9
pH <sub>H2O</sub>	6,2	6,0	5,9	-5,1	6,1	5,9	5,9	-3,4
pH <sub>SMP</sub>	6,32	6,33	6,15	-2,8	6,27	6,30	6,17	-1,6
Hidro+Alum (cmol.dm <sup>-3</sup> )	3,0	3,0	3,6	20,0	3,2	3,1	3,5	9,4
P (Mehlich) (mg.dm <sup>-3</sup> )	15,7	17,3	16,0	1,9	19,0	13,7	17,3	-9,8
Carbono (g.dm <sup>-3</sup> )	17,7	17,7	21,3	20,3	17,3	15,7	19,7	13,9
S. Bases (cmol.dm <sup>-3</sup> )	5,12	5,77	5,18	1,2	5,39	5,00	5,17	-4,3
Saturação de Bases (%)	63,67	65,83	59,61	-6,8	62,71	61,81	59,41	-5,6
Cálcio/Magnésio	2,8	2,5	3,1	10,7	2,8	2,4	3,1	10,7
Relação (C/N)	10/1	7/1	8/1	-	7/1	5/1	6/1	-
Potássio ( % da C.T.C.)	5,5	5,0	4,6	-19,6	5,3	5,5	5,1	-3,9
Cálcio (% da C.T.C.)	42,1	43,7	41,0	-2,7	42,3	39,8	41,0	-3,2
Magnésio (% da C.T.C.)	15,1	17,2	13,3	-13,5	15,0	16,5	13,4	-11,9
Hidrogênio (% da C.T.C.)	37,3	34,2	41,0	9,9	37,3	38,2	40,6	8,8
Ferro (mg.dm <sup>-3</sup> )	28,0	22,8	25,3	-10,7	29,8	24,5	25,5	-16,9
Zinco (mg.dm <sup>-3</sup> )	2,9	4,0	5,6	93,1	3,7	4,2	4,8	29,7
Cobalto (mg.dm <sup>-3</sup> )	*	*	0,1	-	0,1	0,1	0,1	0,0
Molibdênio (mg.dm <sup>-3</sup> )	*	0,1	*	-	*	0,1	0,1	-

\* Abaixo do limite de detecção

Extratores: Água quente = boro; KCl 1N 1:10 = alumínio, cálcio e magnésio; Mehlich 1:10 = potássio, sódio, ferro, manganês, cobre e zinco; Fósforo Monocálcico = enxofre.

Tabela 50. Resultados da análise química do solo e variação em porcentagem da medida final em relação a inicial para a irrigação por gotejamento superficial utilizando água residuária durante o 1º ciclo da cultura nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.

Parâmetros	Gotejamento superficial utilizando água residuária							
	Início	Meio	Final	Variação	Início	Meio	Final	Variação
	0,00-0,10			(%)	0,10-0,20			(%)
pH <sub>CaCl2</sub>	5,6	5,5	5,5	-1,8	5,6	5,5	5,5	-1,8
pH <sub>H2O</sub>	6,2	6,1	6,1	-1,6	6,2	6,2	6,1	-1,6
pH <sub>SMP</sub>	6,32	6,37	6,25	-1,1	6,30	6,38	6,25	-0,8
Hidro+Alum (cmol.dm <sup>-3</sup> )	3,0	2,9	3,3	10,0	3,1	2,9	3,2	3,2
P (Mehlich) (mg.dm <sup>-3</sup> )	24,3	20,0	32,3	32,9	20,3	27,7	20,0	-1,5
Carbono (g.dm <sup>-3</sup> )	21,7	20,7	24,0	10,6	20,3	18,7	21,0	3,4
S. Bases (cmol.dm <sup>-3</sup> )	6,2	6,6	6,2	0,0	6,3	6,5	6,3	0,0
Saturação de Bases (%)	67,09	69,33	65,53	-2,4	66,94	69,18	66,00	-1,4
Cálcio/Magnésio	3,2	2,8	3,2	0,0	3,0	2,9	3,4	13,3
Relação (C/N)	12/1	8/1	8/1	-	12/1	6/1	7/1	-
Potássio ( % da C.T.C.)	4,7	5,3	4,8	2,1	4,6	5,5	4,7	2,2
Cálcio ( % da C.T.C.)	47,6	47,2	46,4	-2,6	46,1	47,2	47,4	2,8
Magnésio ( % da C.T.C.)	14,8	16,8	14,4	-2,8	16,2	16,4	13,9	-16,5
Hidrogênio ( % da C.T.C.)	32,9	30,7	34,5	4,9	33,1	30,8	34,0	2,7
Ferro (mg.dm <sup>-3</sup> )	26,5	25,5	25,0	-6,0	27,6	23,8	23,7	-16,5
Zinco (mg.dm <sup>-3</sup> )	4,1	4,3	7,2	75,6	4,3	4,5	6,8	58,1
Cobalto (mg.dm <sup>-3</sup> )	0,1	0,1	0,1	0,0	0,2	0,1	0,2	0,0
Molibdênio (mg.dm <sup>-3</sup> )	0,1	0,1	*	-	0,1	0,1	*	-

\* Abaixo do limite de detecção

Extratores: Água quente = boro; KCl 1N 1:10 = alumínio, cálcio e magnésio; Mehlich 1:10 = potássio, sódio, ferro, manganês, cobre e zinco; Fósforo Monocálcico = enxofre.

Tabela 51. Resultados da análise química do solo e variação em porcentagem da medida final em relação a inicial para a irrigação por gotejamento superficial utilizando água do depósito de fonte superficial durante o 1º ciclo da cultura nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.

Parâmetros	Gotejamento superficial utilizando água do depósito							
	Início	Meio	Final	Variação	Início	Meio	Final	Variação
	0,00-0,10				(%)	0,10-0,20		
pH <sub>CaCl2</sub>	6,0	5,4	5,4	-11,1	6,0	5,4	5,4	-11,1
pH <sub>H2O</sub>	6,8	6,0	6,1	-11,5	6,8	6,0	6,1	-11,5
pH <sub>SMP</sub>	6,58	6,33	6,23	-5,6	6,58	6,33	6,27	-4,9
Hidro+Alum (cmol.dm <sup>-3</sup> )	2,3	3,0	3,3	43,5	2,3	3,0	3,4	47,8
P (Mehlich) (mg.dm <sup>-3</sup> )	21,3	31,3	23,3	9,4	19,0	25,0	26,0	36,8
Carbono (g.dm <sup>-3</sup> )	17,0	19,3	21,7	27,6	15,7	16,7	19,3	22,9
S. Bases (cmol.dm <sup>-3</sup> )	6,30	5,63	5,37	-17,3	6,43	5,39	5,64	-14,0
Saturação de Bases (%)	73,43	65,17	61,69	-19,0	73,86	64,26	62,32	-18,5
Cálcio/Magnésio	2,9	2,5	2,9	0,0	2,9	2,5	3,2	10,3
Relação (C/N)	9/1	6/1	7/1	-	8/1	5/1	6/1	-
Potássio ( % da C.T.C.)	7,3	5,4	5,0	-46,0	7,2	5,9	5,3	-35,8
Cálcio ( % da C.T.C.)	49,0	42,8	42,1	-16,4	49,4	41,7	43,4	-13,8
Magnésio ( % da C.T.C.)	17,1	17,0	14,5	-17,9	17,2	16,7	13,6	-26,5
Hidrogênio ( % da C.T.C.)	26,6	34,8	38,3	44,0	26,1	35,7	37,7	44,4
Ferro (mg.dm <sup>-3</sup> )	30,0	22,7	24,7	-21,5	30,7	23,7	25,7	-19,5
Zinco (mg.dm <sup>-3</sup> )	3,4	3,8	5,7	67,6	3,9	4,5	5,5	41,0
Cobalto (mg.dm <sup>-3</sup> )	0,1	*	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0
Molibdênio (mg.dm <sup>-3</sup> )	*	0,1	*	-	*	0,1	*	-

\* Abaixo do limite de detecção

Extratores: Água quente = boro; KCl 1N 1:10 = alumínio, cálcio e magnésio; Mehlich 1:10 = potássio, sódio, ferro, manganês, cobre e zinco; Fósforo Monocálcico = enxofre.

Tabela 52. Resultados da análise química do solo e variação em porcentagem da medida final em relação a inicial para a irrigação por aspersão utilizando água residuária durante o 2º ciclo da cultura nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.

Parâmetros	Aspersão utilizando água residuária							
	Início	Meio	Final	Variação	Início	Meio	Final	Variação
	0,00-0,10			(%)	0,10-0,20			(%)
pH <sub>CaCl2</sub>	5,3	5,2	5,1	-3,9	5,3	5,3	5,3	0,0
pH <sub>H2O</sub>	6,0	5,8	5,8	-3,4	6,0	5,9	5,9	-1,7
pH <sub>SMP</sub>	6,2	6,2	6,2	0,0	6,2	6,2	6,2	0,0
Hidro+Alum (cmol.dm <sup>-3</sup> )	3,60	3,47	3,60	0,0	3,50	3,37	3,37	-3,7
P (Mehlich) (mg.dm <sup>-3</sup> )	22,67	28,67	20,67	-9,7	27,67	24,33	26,67	-3,7
Carbono (g.dm <sup>-3</sup> )	20,7	21,0	28,0	35,3	19,3	19,3	24,7	28,0
S. Bases (cmol.dm <sup>-3</sup> )	6,0	6,3	6,3	5,0	6,2	6,1	6,8	9,7
Saturação de Bases (%)	62,3	64,4	63,6	2,1	63,7	64,5	66,8	4,9
Cálcio/Magnésio	3,1	3,2	3,1	0,0	3,0	3,1	2,6	-15,4
Relação (C/N)	7/1	18/1	8/1	-	10/1	21/1	8/1	-
Potássio ( % da C.T.C.)	3,4	3,1	1,7	-100,0	3,5	3,1	2,8	-25,0
Cálcio ( % da C.T.C.)	44,7	46,6	46,8	4,7	45,1	46,3	46,3	2,7
Magnésio ( % da C.T.C.)	14,3	14,7	15,1	5,6	15,1	15,1	17,7	17,2
Hidrogênio ( % da C.T.C.)	37,7	35,6	36,4	-3,6	36,3	35,5	33,2	-9,3
Ferro (mg.dm <sup>-3</sup> )	29,4	23,0	20,2	-45,5	28,7	23,0	20,3	-41,4
Zinco (mg.dm <sup>-3</sup> )	3,7	2,5	4,5	17,8	5,2	4,4	5,1	-2,0
Cobalto (mg.dm <sup>-3</sup> )	0,1	0,1	0,1	0,0	*	0,1	0,1	-
Molibdênio (mg.dm <sup>-3</sup> )	0,1	0,2	0,2	100,0	0,2	0,2	0,1	-100,0

\* Abaixo do limite de detecção

Extratores: Água quente = boro; KCl 1N 1:10 = alumínio, cálcio e magnésio; Mehlich 1:10 = potássio, sódio, ferro, manganês, cobre e zinco; Fósforo Monocálcico = enxofre.

Tabela 53. Resultados da análise química do solo e variação em porcentagem da medida final em relação a inicial para a irrigação por aspersão utilizando água do depósito de fonte superficial durante o 2º ciclo da cultura nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.

Parâmetros	Aspersão utilizando água do depósito							
	Início	Meio	Final	Variação	Início	Meio	Final	Variação
	0,00-0,10				(%)	0,10-0,20		
pH <sub>CaCl2</sub>	5,53	5,50	5,43	-1,8	5,57	5,57	5,63	1,1
pH <sub>H2O</sub>	6,18	6,20	6,10	-1,3	6,20	6,27	6,27	1,1
pH <sub>SMP</sub>	6,43	6,43	6,35	-1,3	6,47	6,47	6,45	-0,3
Hidro+Alum (cmol.dm <sup>-3</sup> )	2,67	2,67	2,93	9,7	2,60	2,57	2,63	1,2
P (Mehlich) (mg.dm <sup>-3</sup> )	25,7	26,0	20,3	-26,6	20,3	21,0	24,3	19,7
Carbono (g.dm <sup>-3</sup> )	21,3	21,0	26,0	22,1	19,0	18,7	23,3	22,6
S. Bases (cmol.dm <sup>-3</sup> )	7,2	7,5	7,1	-1,4	7,2	7,2	7,2	0,0
Saturação de Bases (%)	73,1	73,6	70,8	-3,2	73,5	73,6	73,3	-0,3
Cálcio/Magnésio	2,97	2,97	2,73	-8,8	2,90	2,87	2,63	-10,3
Relação (C/N)	8/1	9/1	8/1	-	11/1	12/1	8/1	-
Potássio ( % da C.T.C.)	6,8	5,6	4,1	-65,9	6,5	6,0	5,5	-18,2
Cálcio ( % da C.T.C.)	49,4	47,6	48,8	-1,2	49,8	50,3	49,3	-1,0
Magnésio ( % da C.T.C.)	16,8	16,9	17,9	6,5	17,3	17,5	18,6	7,5
Hidrogênio ( % da C.T.C.)	26,93	26,40	29,20	8,4	26,50	26,37	26,70	0,8
Ferro (mg.dm <sup>-3</sup> )	29,3	29,7	24,3	-20,6	28,9	29,9	24,7	-17,0
Zinco (mg.dm <sup>-3</sup> )	6,9	4,3	4,6	-50,0	5,4	4,3	5,9	9,3
Cobalto (mg.dm <sup>-3</sup> )	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0
Molibdênio (mg.dm <sup>-3</sup> )	0,1	0,2	0,1	0,0	0,1	0,1	0,2	100,0

Extratores: Água quente = boro; KCl 1N 1:10 = alumínio, cálcio e magnésio; Mehlich 1:10 = potássio, sódio, ferro, manganês, cobre e zinco; Fósforo Monocálcico = enxofre.

Tabela 54. Resultados da análise química do solo e variação em porcentagem da medida final em relação a inicial para a irrigação por gotejamento subterrâneo utilizando água residuária durante o 2º ciclo da cultura nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.

Parâmetros	Gotejamento subterrâneo utilizando água residuária							
	0,00-0,10				0,10-0,20			
	Início	Meio	Final	Variação (%)	Início	Meio	Final	Variação (%)
pH <sub>CaCl2</sub>	5,4	5,4	5,2	-3,8	5,4	5,4	5,4	0,0
pH <sub>H2O</sub>	6,1	6,1	5,9	-3,4	6,1	6,1	6,1	0,0
pH <sub>SMP</sub>	6,28	6,33	6,23	-0,8	6,32	6,35	6,30	-0,3
Hidro+Alum (cmol.dm <sup>-3</sup> )	3,1	3,0	3,3	6,5	3,0	2,9	3,1	3,3
P (Mehlich) (mg.dm <sup>-3</sup> )	30,3	31,7	30,0	-1,0	29,3	28,0	30,7	4,8
Carbono (g.dm <sup>-3</sup> )	21,3	22,0	25,3	18,8	19,7	19,3	23,3	18,3
S. Bases (cmol.dm <sup>-3</sup> )	6,7	6,6	6,2	-8,1	7,0	6,9	6,5	-7,7
Saturação de Bases (%)	68,0	68,5	65,1	-4,5	69,6	70,0	67,5	-3,1
Cálcio/Magnésio	2,8	2,9	2,6	-7,7	2,8	2,9	2,6	-7,7
Relação (C/N)	8/1	12/1	5/1	-	11/1	17/1	5/1	-
Potássio ( % da C.T.C.)	4,0	4,2	3,2	-25,0	3,7	4,1	2,5	-48,0
Cálcio ( % da C.T.C.)	46,9	47,7	44,3	-5,9	48,3	48,9	46,7	-3,4
Magnésio ( % da C.T.C.)	17,1	16,6	17,6	2,9	17,7	17,0	18,3	3,4
Hidrogênio ( % da C.T.C.)	31,9	31,5	34,9	9,4	30,4	30,1	32,5	6,9
Ferro (mg.dm <sup>-3</sup> )	30,2	24,1	23,3	-35,2	28,9	25,3	19,6	-47,4
Zinco (mg.dm <sup>-3</sup> )	7,8	7,5	7,8	0,0	8,3	7,3	6,8	-22,1
Cobalto (mg.dm <sup>-3</sup> )	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0
Molibdênio (mg.dm <sup>-3</sup> )	0,2	0,2	0,2	0,0	0,1	0,2	0,2	100,0

Extratores: Água quente = boro; KCl 1N 1:10 = alumínio, cálcio e magnésio; Mehlich 1:10 = potássio, sódio, ferro, manganês, cobre e zinco; Fósforo Monocálcico = enxofre.

Tabela 55. Resultados da análise química do solo e variação em porcentagem da medida final em relação a inicial para a irrigação por gotejamento subterrâneo utilizando água do depósito de fonte superficial durante o 2º ciclo da cultura nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.

Parâmetros	Gotejamento subterrâneo utilizando água do depósito							
	Início	Meio	Final	Variação	Início	Meio	Final	Variação
	0,00-0,10				(%)	0,10-0,20		
pH <sub>CaCl2</sub>	5,13	5,13	4,93	-4,1	5,17	5,13	4,93	-4,9
pH <sub>H2O</sub>	5,83	5,80	5,60	-4,1	5,83	5,83	5,60	-4,1
pH <sub>SMP</sub>	6,22	6,20	6,08	-2,3	6,22	6,22	6,05	-2,8
Hidro+Alum (cmol.dm <sup>-3</sup> )	3,40	3,43	3,87	13,8	3,37	3,37	4,03	19,6
P (Mehlich) (mg.dm <sup>-3</sup> )	16,0	19,3	17,0	6,3	12,3	12,3	16,0	30,1
Carbono (g.dm <sup>-3</sup> )	20,7	20,0	26,0	25,6	18,0	17,7	92,7	415,0
S. Bases (cmol.dm <sup>-3</sup> )	5,5	5,4	5,7	3,6	5,2	5,3	5,3	1,9
Saturação de Bases (%)	61,2	61,1	59,7	-2,5	60,8	61,0	56,5	-7,6
Cálcio/Magnésio	2,73	2,77	2,60	-5,0	2,67	2,70	2,67	0,0
Relação (C/N)	10/1	10/1	8/1	-	17/1	21/1	9/1	-
Potássio ( % da C.T.C.)	4,4	4,1	2,3	-91,3	4,4	4,0	3,1	-41,9
Cálcio ( % da C.T.C.)	41,5	41,9	41,3	-0,5	40,8	41,6	38,8	-5,2
Magnésio ( % da C.T.C.)	15,3	15,1	16,0	4,6	15,6	15,4	14,8	-5,4
Hidrogênio ( % da C.T.C.)	38,83	38,90	40,33	3,9	39,23	38,97	43,00	9,6
Ferro (mg.dm <sup>-3</sup> )	24,4	27,3	20,5	-19,0	24,7	27,6	19,8	-24,7
Zinco (mg.dm <sup>-3</sup> )	3,1	4,7	2,8	-10,7	5,5	3,2	3,6	-52,8
Cobalto (mg.dm <sup>-3</sup> )	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	*	0,1	0,0
Molibdênio (mg.dm <sup>-3</sup> )	0,1	0,2	0,2	100,0	0,1	0,1	0,2	100,0

\* Abaixo do limite de detecção

Extratores: Água quente = boro; KCl 1N 1:10 = alumínio, cálcio e magnésio; Mehlich 1:10 = potássio, sódio, ferro, manganês, cobre e zinco; Fósforo Monocálcico = enxofre.

Tabela 56. Resultados da análise química do solo e variação em porcentagem da medida final em relação a inicial para a irrigação por gotejamento superficial utilizando água residuária durante o 2º ciclo da cultura nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.

Parâmetros	Gotejamento superficial utilizando água residuária							
	Início	Meio	Final	Variação	Início	Meio	Final	Variação
	0,00-0,10				(%)	0,10-0,20		
pH <sub>CaCl2</sub>	5,4	5,3	5,1	-5,9	5,4	5,3	5,4	0,0
pH <sub>H2O</sub>	6,0	5,9	5,8	-3,4	6,0	6,0	6,0	0,0
pH <sub>SMP</sub>	6,3	6,3	6,2	-1,6	6,3	6,3	6,3	0,0
Hidro+Alum (cmol.dm <sup>-3</sup> )	3,17	3,27	3,50	10,4	3,13	3,27	3,13	0,0
P (Mehlich) (mg.dm <sup>-3</sup> )	26,67	24,00	22,67	-17,6	17,67	19,67	28,67	62,3
Carbono (g.dm <sup>-3</sup> )	22,3	22,3	29,0	30,0	20,0	20,3	25,3	26,5
S. Bases (cmol.dm <sup>-3</sup> )	7,1	6,9	6,4	-10,9	7,5	6,7	6,6	-13,6
Saturação de Bases (%)	69,0	67,7	64,6	-6,8	70,2	67,0	67,8	-3,5
Cálcio/Magnésio	2,9	3,4	2,8	-3,6	2,8	3,1	2,6	-7,7
Relação (C/N)	9/1	11/1	8/1	-	12/1	19/1	9/1	-
Potássio ( % da C.T.C.)	4,2	3,5	3,1	-35,5	4,3	3,7	3,4	-26,5
Cálcio (% da C.T.C.)	48,3	49,4	45,1	-7,1	48,7	47,9	46,6	-4,5
Magnésio (% da C.T.C.)	16,6	14,8	16,5	-0,6	17,2	15,4	17,8	3,5
Hidrogênio (% da C.T.C.)	30,9	32,3	35,4	14,6	29,8	33,0	32,2	8,1
Ferro (mg.dm <sup>-3</sup> )	26,5	25,5	20,5	-29,3	26,9	25,5	20,5	-31,2
Zinco (mg.dm <sup>-3</sup> )	4,7	4,7	8,2	74,5	6,4	4,8	4,7	-36,2
Cobalto (mg.dm <sup>-3</sup> )	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,2	100,0
Molibdênio (mg.dm <sup>-3</sup> )	0,1	0,3	0,2	100,0	0,2	0,2	0,2	0,0

Extratores: Água quente = boro; KCl 1N 1:10 = alumínio, cálcio e magnésio; Mehlich 1:10 = potássio, sódio, ferro, manganês, cobre e zinco; Fósforo Monocálcico = enxofre.

Tabela 57. Resultados da análise química do solo e variação em porcentagem da medida final em relação a inicial para a irrigação por gotejamento superficial utilizando água do depósito de fonte superficial durante o 2º ciclo da cultura nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.

Parâmetros	Gotejamento superficial utilizando água do depósito							
	Início	Meio	Final	Variação	Início	Meio	Final	Variação
	0,00-0,10				(%)	0,10-0,20		
pH <sub>CaCl2</sub>	5,37	5,33	5,03	-6,8	5,33	5,28	5,20	-2,5
pH <sub>H2O</sub>	6,07	6,00	5,67	-7,1	6,03	5,97	5,80	-4,0
pH <sub>SMP</sub>	6,32	6,30	6,08	-3,9	6,32	6,27	6,18	-2,3
Hidro+Alum (cmol.dm <sup>-3</sup> )	3,03	4,08	3,87	27,7	3,03	3,20	3,47	14,5
P (Mehlich) (mg.dm <sup>-3</sup> )	26,3	24,0	23,3	-12,9	23,7	20,0	19,7	-20,3
Carbono (g.dm <sup>-3</sup> )	21,0	21,0	24,7	17,6	18,3	18,7	21,0	14,8
S. Bases (cmol.dm <sup>-3</sup> )	6,1	6,3	6,3	3,3	6,1	6,1	7,3	19,7
Saturação de Bases (%)	66,6	67,1	62,0	-7,4	66,7	65,5	67,7	1,5
Cálcio/Magnésio	2,87	2,90	3,03	5,6	2,60	2,80	2,73	5,0
Relação (C/N)	7/1	9/1	9/1	-	16/1	9/1	7/1	-
Potássio ( % da C.T.C.)	4,8	4,6	2,9	-65,5	5,4	4,3	3,1	-74,2
Cálcio (% da C.T.C.)	45,8	46,4	44,2	-3,6	44,2	45,1	47,2	6,8
Magnésio (% da C.T.C.)	16,0	16,0	14,7	-8,8	17,2	16,1	17,4	1,2
Hidrogênio (% da C.T.C.)	33,37	33,07	38,03	14,0	33,33	34,50	32,33	-3,1
Ferro (mg.dm <sup>-3</sup> )	24,3	26,9	18,0	-35,0	24,4	28,8	18,3	-33,3
Zinco (mg.dm <sup>-3</sup> )	4,1	3,8	3,5	-17,1	4,1	4,1	3,7	-10,8
Cobalto (mg.dm <sup>-3</sup> )	0,1	0,1	0,1	0,0	*	0,1	0,1	-
Molibdênio (mg.dm <sup>-3</sup> )	0,1	0,1	0,2	100,0	*	0,2	0,2	-

\* Abaixo do limite de detecção

Extratores: Água quente = boro; KCl 1N 1:10 = alumínio, cálcio e magnésio; Mehlich 1:10 = potássio, sódio, ferro, manganês, cobre e zinco; Fósforo Monocálcico = enxofre.

## ANEXO 2. Dados experimentais e análise de variância da alfaca

Tabela 58. Média da altura da planta (cm), para as cinco amostragens ao longo do 1º ciclo.

Tratamentos	Dias após o transplante				
	13	25	33	39	45
AR	8,0 A,a	12,0 C,a	15,1 A,a	16,9 A,a	19,2 A,a
GSbR	8,9 A,a	15,1 A,a	17,3 A,a	19,5 A,a	20,7 A,a
GSpR	9,5 A,a	13,5 B,a	17,2 A,a	18,7 A,a	22,1 A,a
AD	8,6 A,a	11,9 B,b	16,1 A,a	18,0 A,a	21,5 A,a
GSbD	8,7 A,a	12,7 AB,a	16,6 A,a	17,8 A,a	19,7 A,a
GSpD	9,4 A,a	13,8 A,a	16,2 A,a	17,8 A,a	19,8 A,a

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si no nível de 5% pelo teste de Tukey

A 1º letra compara os diferentes tipos de irrigação dentro de um mesmo tipo de água

A 2º letra compara o mesmo tipo de irrigação entre diferentes tipos de água

Tipos de irrigação: A = aspersão, GSb = gotej. Subterrâneo e GSp = gotej. Superficial

Tipos de água: R = residuária e D = depósito

Tabela 59. Análise de variância para a altura da planta (cm) no 1º ciclo para as cinco datas de amostragem após o transplante.

Causas da variação	GL	QM e F para os dias após transplante				
		13	25	33	39	45
Irrigação	2	1,93	7,18	3,13	2,13	0,94
Água	1	0,04	2,33	0,28	1,18	0,43
Irrigação x Água	2	0,32	3,30	1,64	3,14	8,20
F da Irrigação		5,50*	17,78*	5,26*	1,62ns	0,52ns
F da Água		0,05ns	5,75*	0,46ns	0,90	0,24ns
F da Irrigação x Água		1,17ns	8,17*	2,76ns	2,39ns	4,58ns
Tratamento	5	0,84	4,66	1,96	2,34	3,74
Resíduo	12	0,32	0,40	0,59	1,31	1,79
Média Geral (cm)		8,82	13,17	16,40	18,13	20,46
Desvio padrão		0,56	0,64	0,77	1,15	1,34
Coefficiente de variação (%)		8,82	4,83	16,40	6,32	6,54

\* - significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - não significativo

Tabela 60. Média do número de folhas para as cinco amostragens ao longo do 1º ciclo.

Tratamentos	Dias após o transplante				
	13	25	33	39	45
AR	8 A,a	14 A,a	22 B,a	29 B,a	33 B,b
GSbR	8 A,a	18 A,a	27 A,a	33 A,a	38 A,a
GSpR	7 A,a	16 A,a	24 AB,b	31 AB,a	38 A,a
AD	8 A,a	16 A,a	24 A,a	31 A,a	38 A,a
GSbD	8 A,a	17 A,a	24 A,a	29 A,b	34 A,b
GSpD	9 A,a	17 A,a	27 A,a	29 A,a	36 A,a

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si no nível de 5% pelo teste de Tukey

A 1º letra compara os diferentes tipos de irrigação dentro de um mesmo tipo de água

A 2º letra compara o mesmo tipo de irrigação entre diferentes tipos de água

Tipos de irrigação: A = aspersão, GSb = gotej. Subterrâneo e GSp = gotej. Superficial

Tipos de água: R = residuária e D = depósito

Tabela 61. Análise de variância do número de folhas no 1º ciclo para as cinco datas de amostragem após o transplante.

Causas da variação	GL	QM e F para os dias após transplante				
		13	25	33	39	45
Irrigação	2	0,06	9,50	15,50	1,56	3,39
Água	1	0,22	2,00	2,72	4,50	0,06
Irrigação x Água	2	2,06	6,17	13,72	16,67	35,39
F da Irrigação		0,13ns	5,52*	7,34*	0,82ns	1,09ns
F da Água		0,50ns	1,16ns	1,29ns	2,38ns	0,02ns
F da Irrigação x Água		4,63*	3,58ns	6,50*	8,83*	11,38*
Tratamento	5	0,89	6,67	12,23	8,19	15,52
Resíduo	12	0,44	1,72	2,11	1,89	3,11
Média Geral		7,89	16,33	24,83	30,28	36,06
Desvio padrão		0,67	1,31	1,45	1,37	1,76
Coefficiente de variação (%)		8,45	8,03	5,85	30,28	4,89

\* - significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - não significativo

Tabela 62. Média massa fresca (g.planta<sup>-1</sup>), para as cinco amostragens ao longo do 1º ciclo.

Tratamentos	Dias após o transplantio				
	13	25	33	39	45
AR	2,71 A,a	11,99 C,a	41,16 B,b	90,65 B,a	115,93 B,b
GSbR	3,87 A,a	29,99 A,a	85,73 A,a	163,07 A,a	207,03 A,a
GSpR	3,89 A,a	19,26 B,a	69,19 A,a	133,23 AB,a	214,81 A,a
AD	2,94 A,a	15,74 A,a	55,64 A,a	103,45 A,a	170,41 A,a
GSbD	3,21 A,a	13,98 A,b	53,60 A,b	86,58 A,b	128,00 A,b
GSpD	4,18 A,a	18,20 A,a	57,29 A,a	94,36 A,b	151,43 A,b

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si no nível de 5% pelo teste de Tukey

A 1º letra compara os diferentes tipos de irrigação dentro de um mesmo tipo de água

A 2º letra compara o mesmo tipo de irrigação entre diferentes tipos de água

Tipos de irrigação: A = aspersão, GSb = gotej. Subterrâneo e GSp = gotej. Superficial

Tipos de água: R = residuária e D = depósito

Tabela 63. Análise de variância para a massa fresca (g.planta<sup>-1</sup>) no 1º ciclo para as cinco datas de amostragem após o transplante.

Causas da variação	GL	QM e F para os dias após transplante				
		13	25	33	39	45
Irrigação	2	2,22	100,15	713,76	1270,03	2432,38
Água	1	0,01	88,58	436,60	5042,42	3864,96
Irrigação x Água	2	0,43	159,20	819,21	3165,86	7989,54ns
F da Irrigação		6,51*	9,16*	11,26*	2,99ns	4,30*
F da Água		0,03ns	8,11*	6,88*	11,87*	6,85*
F da Irrigação x Água		1,25ns	14,57*	12,91*	7,46*	14,16*
Tratamento	5	1,06	121,46	700,51	2782,09	4944,38
Resíduo	12	0,34	10,93	63,47	424,61	564,74
Média Geral (g.planta <sup>-1</sup> )		3,47	18,19	60,44	111,55	164,62
Desvio padrão		0,58	3,31	7,97	20,61	23,76
Coefficiente de variação (%)		16,86	18,17	13,18	18,47	14,44

\* - significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - não significativo

Tabela 64. Média da massa seca (g.planta<sup>-1</sup>) para as cinco amostragens ao longo do 1º ciclo.

Tratamentos	Dias após o transplântio				
	13	25	33	39	45
AR	0,16 A,a	0,73 C,b	2,44 C,a	5,82 B,a	6,62 B,b
GSbR	0,19 A,a	1,79 A,a	4,87 A,a	8,93 A,a	9,27 A,a
GSpR	0,20 A,a	1,20 B,a	3,87 B,a	7,88 AB,a	10,08 A,a
AD	0,17 A,a	1,10 A,a	3,07 A,a	6,18 A,a	8,03 A,a
GSbD	0,18 A,a	0,93 A,b	3,35 A,b	6,12 A,b	7,43 A,b
GSpD	0,22 A,a	1,18 A,a	3,43 A,a	6,76 A,a	8,28 A,b

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si no nível de 5% pelo teste de Tukey

A 1º letra compara os diferentes tipos de irrigação dentro de um mesmo tipo de água

A 2º letra compara o mesmo tipo de irrigação entre diferentes tipos de água

Tipos de irrigação: A = aspersão, GSb = gotej. Subterrâneo e GSp = gotej. Superficial

Tipos de água: R = residuária e D = depósito

Tabela 65. Análise de variância para a massa seca (g.planta<sup>-1</sup>) no 1º ciclo para as cinco datas de amostragem após o transplante.

Causas da variação	GL	QM e F para os dias após transplante				
		13	25	33	39	45
Irrigação	2	0,01	0,31	2,86	4,59	5,38
Água	1	0,01	0,13	0,88	15,74	3,85
Irrigação x Água	2	0,01	0,59	1,72	5,62	6,25
F da Irrigação		2,86ns	12,06*	20,73*	5,07*	11,38*
F da Água		0,14ns	5,28*	6,36*	8,16*	8,07*
F da Irrigação x Água		0,24ns	23,39*	12,46*	4,94*	13,19*
Tratamento	5	0,00	0,39	2,01	5,29	5,40
Resíduo	12	0,00	0,03	0,14	0,94	0,47
Média Geral (g.planta <sup>-1</sup> )		0,19	1,16	3,51	7,00	8,37
Desvio padrão		0,03	0,16	0,37	0,97	0,69
Coefficiente de variação (%)		16,95	13,76	10,59	13,84	8,21

\* - significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - não significativo

Tabela 66. Média da área foliar ( $\text{cm}^2 \cdot \text{planta}^{-1}$ ) para as cinco amostragens ao longo do 1º ciclo da alface.

Tratamentos	Dias após o transplântio				
	13	25	33	39	45
AR	78,50 A,a	325,57 C,a	944,40 B,b	2062,00 B,a	2669,25 B,b
GSbR	108,16 A,a	752,68 A,a	1852,05 A,a	3616,44 A,a	4376,73 A,a
GSpR	116,94 A,a	497,34 B,a	1558,38 A,a	3075,23 AB,a	4790,63 A,a
AD	89,50 A,a	410,88 A,a	1263,91 A,a	2517,95 A,a	3922,66 A,a
GSbD	92,30 A,a	383,39 A,b	1258,97 A,b	2057,22 A,b	3263,88 A,b
GSpD	120,30 A,a	528,43 A,a	1381,12 A,a	2292,26 A,a	3740,54 A,b

**Médias seguidas por letras distintas diferem entre si no nível de 5% pelo teste de Tukey**

A 1ª letra compara os diferentes tipos de irrigação dentro de um mesmo tipo de água

A 2ª letra compara o mesmo tipo de irrigação entre diferentes tipos de água

Tipos de irrigação: A = aspersão, GSb = gotej. Subterrâneo e GSp = gotej. Superficial

Tipos de água: R = residuária e D = depósito

Tabela 67. Análise de variância para a área foliar ( $\text{cm}^2 \cdot \text{planta}^{-1}$ ) no 1º ciclo para as cinco datas de amostragem após o transplante.

Causas da variação	GL	QM e F para os dias após transplante				
		13	25	33	39	45
Irrigação	2	1800,32	63891,5	339288,18	477538,91	1413394,29
Água	1	1,13	31978,36	97055,37	1778799,77	413619,37
Irrigação x Água	2	287,21	92472,58	306373,71	1549588,34	2727329,29
F da Irrigação		6,83*	10,82*	15,12*	1,57ns	5,15*
F da Água		0,01ns	5,41*	4,32ns	5,84*	1,51ns
F da Irrigação x Água		1,09ns	15,65*	13,65*	5,10*	9,94*
Tratamento	5	835,24	68941,31	277675,84	1166610,86	1739013,31
Resíduo	12	263,77	5907,24	22443,02	303846,44	274460,29
Média Geral ( $\text{cm}^2 \cdot \text{planta}^{-1}$ )		100,95	483,05	1374,76	2603,51	3793,95
Desvio padrão		16,24	76,86	149,81	551,22	523,89
Coefficiente de variação (%)		16,0886	15,9112	10,8971	21,1723	13,8086

\* - significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - não significativo

Tabela 68. Média da altura (cm) para as cinco amostragens durante o 2º ciclo.

Tratamentos	Dias após o transplante				
	14	25	33	41	47
AR	8,9 B,a	12,8 A,a	15,9 A,a	19,1 A,a	22,0 A,a
GSbR	9,9 AB,a	13,4 A,a	15,5 A,a	19,1 A,a	21,5 A,a
GSpR	11,2 A,a	12,6 A,a	15,4 A,a	19,2 A,a	21,5 A,a
AD	9,3 A,a	12,6 A,a	16,0 A,a	20,7 A,a	21,0 A,a
GSbD	9,6 A,a	12,0 A,a	14,2 A,a	18,3 A,a	21,4 A,a
GSpD	9,3 A,b	12,0 A,a	14,6 A,a	19,2 A,a	21,5 A,a

**Médias seguidas por letras distintas diferem entre si no nível de 5% pelo teste de Tukey**

A 1º letra compara os diferentes tipos de irrigação dentro de um mesmo tipo de água

A 2º letra compara o mesmo tipo de irrigação entre diferentes tipos de água

Tipos de irrigação: A = aspersão, GSb = gotej. Subterrâneo e GSp = gotej. Superficial

Tipos de água: R = residuária e D = depósito

Tabela 69. Análise de variância para a altura da planta (cm) no 2º ciclo para as cinco datas de amostragem após o transplante.

Causas da variação	GL	QM e F para os dias após transplante				
		14	25	33	41	47
Irrigação	2	1,89	0,27	1,99	2,11	0,01
Água	1	1,68	2,65	5,45	0,29	0,68
Irrigação x Água	2	2,07	0,55	1,88	2,29	0,47
F da Irrigação		4,70*	0,5062	3,15ns	1,32ns	0,01ns
F da Água		4,17ns	4,95*	8,59*	0,18ns	0,72ns
F da Irrigação x Água		5,13*	1,02ns	2,97ns	1,44ns	0,50ns
Tratamento	5	1,92	0,86	2,64	1,82	0,33
Resíduo	12	0,40	0,53	0,63	1,60	0,95
Média Geral (cm)		9,69	12,59	15,52	19,25	21,51
Desvio padrão		0,64	0,73	0,80	1,26	0,98
Coefficiente de variação (%)		6,55	5,80	5,13	6,56	4,54

\* - significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - não significativo

Tabela 70. Média do número de folhas para as cinco amostragens durante o 2º ciclo.

Tratamentos	Dias após o transplântio				
	14	25	33	41	47
AR	9 A,a	19 A,a	30 B,a	39 B,a	48 A,a
GSbR	10 A,a	21 A,a	31 B,a	46 A,a	54 A,a
GSpR	10 A,a	18 A,a	33 A,a	46 A,a	54 A,a
AD	7 A,a	19 A,a	28 A,a	39 A,a	46 A,a
GSbD	8 A,a	15 A,a	27 A,b	40 A,b	49 A,a
GSpD	8 A,a	16 A,a	27 A,b	39 A,b	50 A,a

**Médias seguidas por letras distintas diferem entre si no nível de 5% pelo teste de Tukey**

A 1º letra compara os diferentes tipos de irrigação dentro de um mesmo tipo de água

A 2º letra compara o mesmo tipo de irrigação entre diferentes tipos de água

Tipos de irrigação: A = aspersão, GSb = gotej. Subterrâneo e GSp = gotej. Superficial

Tipos de água: R = residuária e D = depósito

Tabela 71. Análise de variância do número de folhas no 2º ciclo para as cinco datas de amostragem após o transplante.

Causas da variação	GL	QM e F para os dias após transplante				
		14	25	33	41	47
Irrigação	2	1,06	2,67	5,39	22,89	39,39
Água	1	22,22	53,39	88,89	93,39	50,00
Irrigação x Água	2	0,06	8,22	18,06	20,22	3,50
F da Irrigação		1,90ns	1,17ns	5,12*	8,5833*	7,09*
F da Água		40,00*	23,44*	84,21*	35,02*	9,00*
F da Irrigação x Água		0,10ns	3,61ns	17,11*	7,58**	0,63ns
Tratamento	5	4,89	15,03	27,16	35,92	27,16
Resíduo	12	0,56	2,28	1,06	2,67	5,56
Média Geral		8,78	18,17	29,44	41,72	50,44
Desvio padrão		0,75	1,51	1,03	1,63	2,36
Coefficiente de variação (%)		8,49	8,31	3,49	3,91	4,67

\* - significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - não significativo

Tabela 72. Média da massa fresca (g.planta<sup>-1</sup>) para as cinco amostragens durante o 2º ciclo.

Tratamentos	Dias após o transplante				
	14	25	33	41	47
AR	2,68 B,a	19,05 A,a	64,02 A,a	155,99 A,a	244,17 A,a
GSbR	3,49 B,a	21,54 A,a	63,88 B,a	189,46 A,a	256,27 A,a
GSpR	4,57 A,a	19,32 A,a	68,97 A,a	191,38 A,a	260,48 A,a
AD	1,89 A,a	18,28 A,a	48,41 A,b	168,32 A,a	188,46 A,a
GSbD	2,00 A,b	13,10 A,b	39,43 A,b	121,51 B,b	175,36 A,a
GSpD	2,18 A,b	13,35 A,a	39,72 A,b	124,89 B,b	189,95 A,a

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si no nível de 5% pelo teste de Tukey

A 1º letra compara os diferentes tipos de irrigação dentro de um mesmo tipo de água

A 2º letra compara o mesmo tipo de irrigação entre diferentes tipos de água

Tipos de irrigação: A = aspersão, GSb = gotej. Subterrâneo e GSp = gotej. Superficial

Tipos de água: R = residuária e D = depósito

Tabela 73. Análise de variância para a massa fresca (g.planta<sup>-1</sup>) no 2º ciclo para as cinco datas de amostragem após o transplante.

Causas da variação	GL	QM e F para os dias após transplante				
		14	25	33	41	47
Irrigação	2	1,79	2,72	149,41	67,63	167,91
Água	1	10,89	170,02	3515,41	7458,68	21459,70
Irrigação x Água	2	0,96	32,72	311,81	3165,55	240,55
F da Irrigação		9,92*	0,44ns	3,10ns	0,20ns	0,33ns
F da Água		60,28*	27,33*	74,92*	22,25*	42,45*
F da Irrigação x Água		5,33*	5,26*	6,53*	9,45*	0,48ns
Tratamento	5	3,29	48,18	876,82	2785,04	4455,53
Resíduo	12	0,18	6,22	46,55	335,13	505,06
Média Geral (g.planta <sup>-1</sup> )		2,80	17,99	56,44	158,60	219,13
Desvio padrão		0,43	2,49	6,82	18,31	22,47
Coefficiente de variação (%)		15,19	13,87	12,09	11,54	10,26

\* - significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - não significativo

Tabela 74. Média da massa seca (g.planta<sup>-1</sup>) para as cinco amostragens durante o 2º ciclo.

Tratamentos	Dias após o transplante				
	14	25	33	41	47
AR	0,30 A,a	1,50 A,a	4,41 B,a	8,77 A,a	11,52 A,a
GSbR	0,36 A,a	1,83 A,a	4,80 B,a	10,72 A,a	12,98 A,a
GSpR	0,45 A,a	1,59 A,a	5,19 A,a	10,23 A,a	13,30 A,a
AD	0,17 A,a	1,38 A,a	3,95 A,a	8,93 A,a	9,53 A,a
GSbD	0,24 A,a	1,17 A,a	3,12 A,b	7,20 A,b	9,42 A,a
GSpD	0,23 A,a	1,14 A,a	3,17 A,b	6,97 A,b	9,98 A,a

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si no nível de 5% pelo teste de Tukey

A 1º letra compara os diferentes tipos de irrigação dentro de um mesmo tipo de água

A 2º letra compara o mesmo tipo de irrigação entre diferentes tipos de água

Tipos de irrigação: A = aspersão, GSb = gotej. Subterrâneo e GSp = gotej. Superficial

Tipos de água: R = residuária e D = depósito

Tabela 75. Análise de variância para a massa seca (g.planta<sup>-1</sup>) no 2º ciclo para as cinco datas de amostragem após o transplante.

Causas da variação	GL	QM e F para os dias após transplante				
		14	25	33	41	47
Irrigação	2	0,02	0,01	0,83	0,21	1,36
Água	1	0,14	1,08	13,30	21,78	42,32
Irrigação x Água	2	0,01	0,15	2,46	6,33	0,64
F da Irrigação		8,10*	0,14ns	4,25*	0,15ns	1,18ns
F da Água		61,62*	25,02*	68,51*	15,34*	32,93*
F da Irrigação x Água		1,38ns	3,57ns	12,67*	4,47*	0,38ns
Tratamento	5	0,04	0,28	3,97	6,99	8,75
Resíduo	12	0,00	0,04	0,19	1,42	1,21
Média Geral (g.planta <sup>-1</sup> )		0,28	1,48	4,27	8,80	11,13
Desvio padrão		0,05	0,21	4,27	1,19	1,10
Coefficiente de variação (%)		16,6705	14,0259	10,3102	13,5433	9,8959

\* - significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - não significativo

Tabela 76. Média da área foliar ( $\text{cm}^2 \cdot \text{planta}^{-1}$ ) para as cinco amostragens durante o 2º ciclo da alface.

Tratamentos	Dias após o transplantio				
	14	25	33	41	47
AR	92,86 C,a	499,59 A,a	1573,78 B,a	3479,62 A,a	5748,89 A,a
GSbR	123,24 B,a	575,97 A,a	1567,03 B,a	4303,76 A,a	5948,43 A,a
GSpR	152,92 A,a	507,73 A,a	1807,02 A,a	4151,49 A,a	5927,25 A,a
AD	71,46 A,a	499,21 A,a	1217,50 A,b	3980,09 A,a	4386,89 A,a
GSbD	72,16 A,b	370,29 A,b	985,88 A,b	2830,31 B,b	4148,76 A,a
GSpD	73,90 A,b	380,46 A,b	1157,90 A,b	2878,36 B,b	4582,45 A,a

**Médias seguidas por letras distintas diferem entre si no nível de 5% pelo teste de Tukey**

A 1º letra compara os diferentes tipos de irrigação dentro de um mesmo tipo de água

A 2º letra compara o mesmo tipo de irrigação entre diferentes tipos de água

Tipos de irrigação: A = aspersão, GSb = gotej. Subterrâneo e GSp = gotej. Superficial

Tipos de água: R = residuária e D = depósito

Tabela 77. Análise de variância para a área foliar ( $\text{cm}^2 \cdot \text{planta}^{-1}$ ) no 2º ciclo para as cinco datas de amostragem após o transplante.

Causas da variação	GL	QM e F para os dias após transplante				
		14	25	33	41	47
Irrigação	2	1465,01	1042,04	281481,82	75420,12	77859,04
Água	1	11474,61	85651,09	2030408,04	2522490,09	10154015,76
Irrigação x Água	2	1245,83	21297,75	204164,41	1770540,93	99697,79
F da Irrigação		9,29*	0,24ns	9,94*	0,34ns	0,29ns
F da Água		72,75*	19,50*	71,72*	11,23*	37,69*
F da Irrigação x Água		7,90*	4,85*	7,21*	7,88*	0,37ns
Tratamento	5	3379,48	26066,03	600340,10	1242882,44	2101825,89
Resíduo	12	157,73	4392,11	28310,65	224698,99	269397,61
Média Geral ( $\text{cm}^2 \cdot \text{planta}^{-1}$ )		97,76	485,63	1456,17	3603,94	5123,78
Desvio padrão		12,56	66,27	168,26	474,02	519,04
Coeficiente de variação (%)		12,8469	13,6467	11,5548	13,153	10,1299

\* - significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - não significativo

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, J.M.H.; LOPEZ, J.R.; REGALADO, A.P. & HERNANDEZ, J.F. **El riego localizado**. Madri, Espanha. Instituto Nacional de Investigações Agrárias, 1987. 317p.

ADAMS, P.; GRAVES, C.J. & WINDSON, G.W. Effects of copper deficiency and liming on the yield, quality and copper status of tomatoes, lettuce, and cucumber grown in peat. **Scientia Horticultural**, Amsterdam. v.9, n.3, p.199-205, 1979.

ADIN, A. & SACKS, M. Dripper-clogging factors in wastewater irrigation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**. New York, v.117, n.6, p 812-827, 1991.

ALVARENGA, M.A.R. **Crescimento, teor e acúmulo de nutriente em alface americana (*Lactuca sativa* L.) sob doses de nitrogênio aplicadas no solo e de níveis de cálcio aplicadas via foliar**. 117p. Tese (doutorado). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 1999.

ALVARENGA, M.A.R.; SILVA, E.C.; SOUZA, R.J. & CARVALHO, J.G. **Efeito de doses de nitrogênio aplicadas no solo e de níveis de cálcio aplicadas via foliar sobre o acúmulo de micronutrientes em alface americana**. Ciência agrotécnica. v.24, n.4, p.905-916, Lavras, 2000.

ANDRADE JÚNIOR, A.S. & KLAR, A.E. **Manejo da irrigação da cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) através do tanque “Classe A”**. Sci. agric., jan./ago. v.54, n.1-2, p.31-38, Piracicaba, SP, 1997.

ANDRADE NETO, C.O. O uso de esgotos Sanitárias e Efluentes Tratados na Irrigação. In: Cngresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 9, 1991, Natal, **Anais...** Natal: Abid, p.1961-2006, Natal, RN, 1992.

A.O.A.C. Association of Official Analytical Chemists International. **A.O.A.C. Official Method 989.13**, Motile *Salmonella* in all Foods. Immunodifusion (1-2 Test) Method, 1989.

APHA; AWWA & WPCF. Standar methods for examination of water and wastewater. 19<sup>a</sup>ed, Washinton D.C./USA, **American Public Heath Association**, 1995.

ARAÚJO, A.L.; MILANÊZ, J.G. & CEBALHOS, B.S.O. Reúso Indireto de Esgotos na Irrigação de Colunas Experimentais de Solo Cultivadas com Alface (*Lactuca Sativa* L.). In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 20, 1999, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 1999. I-119.

ARMON, R.; DOSORETZ, C.G.; AZOV, Y. & SHELEF, G. Residual Contamination os Crops Irrigated with Effluent of Different Qualities: A field Study. **Water Science and Technology**, v.30, n.9, p.239-248, 1994

ARMON, R.; GOLD, D.; BRODSKY, M. & ORON, G. Surface and subsurface irrigation with effluents of different qualities and presence of *Cryptosporidium* oocysts in soil and on crops. **Water Science and Technology**. v.46, n.3, p.115-112, 2002.

AYRES, R.S. Quality of Water for irrigation. **Journal of Irrigation and Drainage**. Div. v. 103, p.135-54, 1977.

AYRES, R.S. & WESTCOT, D.W. Tradução: GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J.F. & DAMASCENO, S.A.V. A Qualidade da água na agricultura. Campina Grande: UFPB, 1991. 218p. (**Estudos da FAO: Irrigação e Drenagem**, 29 Revisado 1).

**ASAE - American Society of Agricultural Engineers**. Field evaluation of microirrigation systems: ASAE EP458. ASAE Standards 1997. ed.44. St. Joseph , p.908-914, 1997.

**ASAE - American Society of Agricultural Engineers**. Design and installation of microirrigation system. ASAE EP405.1. St. Joseph Michigan, p.724-727, 1994.

BASTOS, R.K.X. Fertirrigação com Águas residuárias. In: FOLEGATTI, M.V. (Coord.). **I Workshop de Fertirrigação: citrus, flores e hortaliças**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), 22 a 24 de novembro de 1999. Piracicaba: Agropecuária, 1999. p. 279-291.

BENICASA, M.M.P. **Análise de crescimentos de plantas (Noções básicas)**. Jaboticabal: FUNEP, 1988. 42p.

BERTON, R.S. Adubação orgânica. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2º ed. Campinas, Instituto Agrônomo/Fundação IAC, p.30-36. 1997. 285p. (Boletim técnico 100).

BERTONE, C.R. **Waste Stabilization Ponds and Reuse of Effluents (Summary)**. In: SEMINÁRIO REGIONAL DE INVESTIGATION SOBRE LAGUNAS DE ESTABILIZATION, Lima, Peru: Centro Panamericano de Ingenieria Sanitária y Ciência del Ambiente - OMS/OPS, 1986. p.13-25.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 5ed. Viçosa: Imprensa Universitária da UFV. 1989. 596p.

BISCARO, G.A.; TRIGUEIRA, M. GRASSI FILHO, H & CRUZ, R.L. Diferentes níveis de adubação para a cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) cultivada em vasos e irrigada com água residuária – segundo ciclo. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 31, 2002, Salvador, 29 jul. a 2 de ago. de 2002. CD-Rom.

BLANCO, F.F. **Tolerância do pepino enxertado à salinidade em ambientes protegido e controle da salinização do solo**. 104p. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP, 1999.

BOMAN, B.J. Effects of size on microsprinkler clogging rates. **Transactions of the ASAE**, v.11, n.6, p.839-843, 1995.

BOUWER, H. Role of groundwater recharge in treatment and storage of wastewater for reuse. **Water Science and Technology**. Oxford, v.24, n.9, p.295-302, 1991.

BOUWER, H. Agricultural and municipal use of wastewater. **Water Science Technology**. v.26, n.7-8, p.1583-1591, 1992.

BRADY, N.C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7ª ed. 898p. Rio de Janeiro, 1989.

BUREAU, R.G.; SHEIH, B.; CORT, R.P.; COOPER, R.C. e RIRIE, D. **Reclaimed water for irrigation of vegetables eaten raw**. California Agriculture, v.41, n.7-8, p.4-7, 1987.

**BRASIL. Resolução CONAMA**, Conselho Nacional do Meio Ambiente nº. 20 de 18 de junho de 1986. Estabelece a classificação para águas doces, salobras e salinas. Diário oficial da República Federativa do Brasil, Brasília - DF, p.11-35. 1986.

**BRASIL - ANVISA - Agencia Nacional de Vigilância Sanitária**. Regulamento Técnico sobre Padrões Microbiológicos para Alimentos. Resolução RCD n.º 12, de 2 janeiro 2001.

CAMARGO, L.S. **As hortaliças e seu cultivo**. Fundação Cargill. 2.ed. Campinas, 1984. 448p.

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A. & VALADARES, J.M.A.S. **Método de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas, Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1986. 94p. (Boletim técnico 106).

CAPRA, A. & SCICOLONE, B. Water quality and distribution Uniformity in drip/trickle irrigation systems. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.70, p.355-365, 1998.

CAPRA, A. & TAMBORINO, V. Evaluation and control of distribution uniformity in farm irrigation systems. **Proceedings of 46<sup>th</sup> International Executive Council Meeting**, ACID, CIID, Special Technical Session, Rome, Italy. (1995).

CARVALHO, J.M.; BATISTA, H.S.; RODRIGUES, T.R.I.; PASSEROTTI CALHAU, F.R & MATSURA, E.E. Avaliação da uniformidade de distribuição de água na cultura do morango submetido à irrigação subterrânea. **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 29, Fortaleza: UFC, 4 a 7 de julho de 2002. CD-Rom.

**CEAGESP**. Programa paulista para melhoria dos padrões comerciais e embalagens de hortigranjeiros. **Classificação da Alface**. Programa de adesão voluntária. 2001.

CHRISTIANSEN, E.J. **Irrigation by sprinkler**. Berkeley University of California, 1942. 142p. (Bulletin, 670).

COELHO, A.F.S.; SANTOS, M.R.; SILVA, M.C.C. & GLÓRIA, M.B.A. Metodologia rápida de determinação de coliformes totais e *Escherichia coli* em alface americana minimamente processada. In: Congresso Brasileiro de microbiologia, 21, 2001, Foz do Iguaçu, **Resumos...** 2001. Trab. TL. 172.

CROOK, J. Quality criteria for reclaimed water. **Water Science Technology**. v.24, n.09, p.109-121, 1991.

CRUZ, R.L.; BISCARO, G.A.; TRIGUEIRA, M. & GRASSI FILHO, H. Diferentes níveis de adubação para a cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) cultivada em vasos e irrigada com água residuária - primeiro ciclo. **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 31, Salvador: UFBH, 29 jul. a 2 de ago. de 2002. CD-Rom.

DANTAS, R.T. & ESCOBEDO, J.F. Índices morfo-fisiológicos e rendimento da alface (*Lactuca sativa* L.) em ambientes natural e protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.2, n.1, p.27-31, 1998.

DAVIS, J.R. Measuring water distribution sprinklers. **Transaction of the de ASAE**, St. Joseph, v.9, n.1, p.94-97, 1966.

DEMATTÊ, J.B.I. **Contribuição ao estudo da sub-irrigação por tubos porosos de Stauch nas culturas de cenoura (*Daucus carota* L.), alface (*lactuca sativa* L.) e ervilha (*Pisum sativum* L.)**. 150p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1972.

DOTTO, S.E. **Índice de Qualidade de Água para Culturas Irrigadas**. 244p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Universidade estadual de Campinas. Campinas, SP, 1994.

ELMUND, G.K.; ALLEN, M.J. & RICE, E.W. Comparasion of *Escherichia coli*, total coliform, and fecal coliform populations as indicators of wastewater treatment efficiency. **Water Environmental Research**. v.71, n.3, p.332-339, 1999.

EMBRAPA. CNPS. Serviço nacional de levantamento e conservação de solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2º ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EVANS, D.R.; AHLSTROM, S.B. et al. **Water reuse**. Manual of practice. Alexandria-EUA: Water Pollution Control Federation, 1991, 243p. (Manual of Practice SM-3).

FEIGIN, A.; RAVINA, I. & SHALHEVET, J. Irrigation with treated sewage effluent. Management for environmental protection. **Adv. Ser. In Agric. Sci**. v.17. Springer-Verlag, Berlin. In: MAMEDOV, A.I., SHAINBERG, I. & LEVY, G.J. Irrigation with effluents of prewetting rate clay content on runoff and soil loss. **Journal Environmental Quality**. v.30, n.6, p.2149-2156, 2001.

FERRI, M.G. **Fisiologia Vegetal**. 2ed. São Paulo: EPU, 1979.

FILGUEIRA, F.A.R. Cichoriáceas: alface, chicórea e almeirão. In: **Manual de olericultura: cultura e comercialização de hortaliças**. 2ed. São Paulo, Agronômica Ceres. v.2, cap.3, p.77-93, 1982.

FREIRE Jr., M. **Efeito da temperatura de armazenamento e da atmosfera modificada na qualidade do alface hidropônico c.v. Regina minimamente processado**. 120p. Tese (Doutorado em ciência dos alimentos). Lavras, MG, 1999.

FRIEDLER, E. & JUNIACO, M. Treatment and Storage of Wastewater for Agricultural Irrigation. **AgriTech/1996 (Agronitech Technology Ltda.)**. Tel-Aviv, Israel, 1996.

FURTADO, S.C. **Nitrogênio e fósforo na aplicação mineral de alface americana cultivada em sucessão ao feijão após pousio da área**. 78p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Lavras. Lavras, MG, 2001.

GALLARDO, M.; JACKSON, L.E.; SCHULBACH, K.; THOMPSON, R.B. & WYLAND, L.J. Production and water use in lettuce under variable water supply. **Irrigation Science**. v.16, n.3, p.125-137, 1996.

GARCIA, L.L.C. **Absorção de macro e micronutrientes e sintomas de carência de macronutrientes em alface (*Lactuca sativa* L.), Cv. Brasil 48 e clause's aurelia**. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" Universidade do Estado de São Paulo. 78p. Dissertação (Mestrado). Piracicaba, SP, 1982.

GONAT, B. & GOLDEBERG, S.D. **El uso de tensiômetros para medir la tensión del agua del suelo y determinar el regimen de riego**. Centro Regional de Ayuda Tecnica. Agencia para el Desarrollo Internacional (A.I.D.). México/Buenos Aires. 1975. p.12.

GUSHIKEN, E.C. Irrigation with reclaimed water through permanent subsurface drip irrigation systems. **Proceeding of the Fifthly International Micoirrigation Congress**. Orlando, Florida, April 2-6, 1996.

GUSHIKEN, E.C. Water Reuse Through Subsurface Drip Irrigation Systems. Disponível na **Internet**. <http://www.geoflow.com/wastewater/waterecg.htm>. 14 fev. 1999.

HACH Company. **Spectrophotometer Instrument Manual**. Loveland. Colorado/USA, 1996.

HACH Company. **DBOTrak Instrument Manual**. 3<sup>th</sup> ed., Loveland, Colorado/USA, 1997.

HAMADA, E. **Desenvolvimento e Produtividade da Alface (*Lactuca sativa* L.), Submetida à Diferentes Lâminas de Água, Através da Irrigação por Gotejamento**. UNICAMP/FEAGRI. 103p. Dissertação (Mestre em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, SP, 1993.

HARISON, R.B.; HENRY, C.L.; COLE, D.W. **Uso de resíduos urbanos em florestas**. In: Congresso Latinoamericano de Ciência do Solo (1996: Águas de Lindóia). Solo-suelo 96: Trabalhos. Piracicaba: SBCS/SLCS, 1996.

HARUVY, N. Wastewater for Agriculture - Economic and Environmental Perspectives. Agritech/1996 (**Agronitech Technology Ltda.**). Tel-Aviv, Israel, 1996.

HESPANHOL, I. Guidelines and Integrated Measures for Public Health Protection in Agricultural Reuse Systems. W.H.O. Genebra - Suíça, **Journal Water STR - Aqua**, v.39, n.4, p.237-249, 1990.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: Agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. In: MANCUSO, P.C.S. & SANTOS, H.F. **Reúso de água**. Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, Núcleo de Informações em Saúde Ambiental. São Paulo: Manole, 2003a. p.37-95.

HESPANHOL, I. Uma saída para a crise dos mananciais. **Jornal da USP**, São Paulo, p. 14 a 20, ano XVIII, n.638, abr. 2003b.

HILLS, D.J. & BRENES, M.J. Microirrigation of wastewater effluent using drip tape. **Applied Engineering in Agricultural**. St Joseph. v.17, n.3, p.303-308, may, 2001.

HOWEL, T.A. & HANSON, E.G. **Potato and lettuce response to irrigation Methods and management**. St. Joseph: ASAE. 1976. (Paper 76-2010).

HUNT, R. **Plant growth analysis**. London. Edward Arnold, 1978. 69p.

JANES Jr., J.B. WOLF, B. & MILLS, H.A. **Plant analysis handbook**. Athens, MicroMacro Publ., 1991. 213p. (Appendix 1. Table of interpretative values: vegetables, 1991. p.177-187)

JIMÉNEZ-CISNEROS, B. Wastewater Reuse to Increase Soil Productivity. **Water Science and Technology**, v.32, n.12, p. 173-180, 1995.

JNAD, I.; LESIKAR, B.; KENIMER, A. & SABBAGH, G. Subsurface drip of residential effluent: I. soil chemical characteristics. **Transaction de ASAE**. St. Joseph. v.44, n.5, p.1149-1157, 2001a.

JNAD, I.; LESIKAR, B.; KENIMER, A. & SABBAGH, G. Subsurface drip of residential effluent: II. Soil hydraulic characteristics. **Transaction de ASAE**. St. Joseph. v.44, n.5, p.1159-1165, 2001b.

JUCKEN, C.R. **Avaliação do reúso de efluentes tratados das agroindústrias de leite e carne sobre a produção da cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) fertirrigada**. 73p. Dissertação (Mestre em sistemas agro-industriais). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Faculdade de Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Cascavel, PR, 2000.

KELLER, J. & BLIESNER, R.D. **Sprinkler and trickle irrigation**. New York, Van Nostrand Reinhold, 1990. 652p.

KIRKHAM, M.B. Problems of using wastewater on vegetable crops. **HortScience**, v.21, n.1, p.24-27, feb. 1986.

LAMM, F.R.; TROOEN, T.P. STONE, L.R.; ALAM, M.; ROGERS, D.H.; CLARK, G.A. & SCHLEGEL, A.J. **Using Beef lagoon wastewater with SDI**. Kansas State University. Disponível na Internet. <http://www.oznet.ksu.edu/sdi/Reports/2002/mw4year.pdf> 11/04/2003

LARA, W.H. & TAKAHASHI, M.Y. Níveis de nitrato em hortaliças. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**. v.42, p.53-57, 1982.

LISBÃO, R.S.; NAGAI, H. & TRANI, P.E. Alfaca. In: Campinas. Instituto Agrônomo. **Instruções agrícolas para o estado de São Paulo**. 5ed. Revisada e atualizada. (Boletim 200). Campinas, SP: Instituto Agrônomo, 233p. p.11-12, 1990.

MAAS, EV. & HOFFMAN, G.L. Crop salt tolerance - current assessment. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**. v.103, IR2, p.115-134, 1977.

MADEIRA, C.A.; PEÑA, M.R. & MARA, D.D. Microbiological quality of a waste stabilization pond effluent used for restricted irrigation in Valle Del Cauca, Colombia. **Water Science Technology**. v.45, n.1, p.139-143, 2002

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Agrônoma Seres, São Paulo, 1980, 253p.

MAMEDOV, A.I., SHAINBERG, I. & LEVY, G.J. Irrigation with effluents of prewetting rate clay content on runoff and soil loss. **Journal Environmental Quality**. v.30, n.6, p.2149-2156, 2001.

MARQUELLI, W.A.; SILVA, H.R.; CARVALHO E SILVA, W.L. e CARRIJO, O.A. **Tensiômetro para manejo da irrigação em hortaliças**. Boletim técnico. EMBRAPA/CNPQ. Brasília, dez. 1998.

MARTINS, J.P.S. **Agenda 21 municipal na região metropolitana de Campinas**. Campinas: Editora Komedi, 2002. 80p.

MEDEIROS, J.F. de. **Manejo de água de irrigação salina em estufa cultivada com pimentão**. 152p. Tese (Doutor em Agronomia). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), Piracicaba, 1998.

MEDEIROS, J.F.; SCATOLINI, M.E.; FERNANDEZ, A.L.T. & CRUCIANI, D.E. Método alternativo de campo para avaliar a salinidade do solo em estufa. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 15, 1996, Bauru. **Anais...** Bauru: Unesp, 1996. EAS 354.

MEIRELLES, J.C.S. Classificação de alface. **Ministério da Agricultura e do Abastecimento - ETSP-CEAGESP**, 1998. (Folheto Informativo).

MELO, J.A.S. **Aplicação de águas residuárias no solo como método de tratamento, disposição final e reciclagem de águas usadas**. Engenharia Sanitária, Rio de Janeiro, v.17, n.1, p.82-91, jan./mar., 1978.

MERRIAN, J.L. & KELLER, J. Farm irrigation system evaluation: a guide for management. **Utah State University**, Logan, 1978, 217p.

MIRANDA, T.L.G. **Reúso de efluente de esgoto doméstico na irrigação de alface (*Lactuca sativa* L.)**. 109p. Dissertação (Mestre em Engenharia) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 1995.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. & BLOCH, M.F.M. Determinação espectrofotométrica de nitrato em extrato de solos sem redução química. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.20, p.129-133, 1985.

MIYAZAWA, M; KHATOUNIAN, C.A. & ODENATH-PENHA, L.A. Teor de nitrato nas folhas de alface produzidas em cultivo convencional, orgânico e hidropônico. **Agropecuária hoje**. Ano II, v.7, p.23, Fev./Mar., 2001.

MONTE, H.M. & SOUZA, M.S. Effects on Crops of Irrigation with Facultative Pond Effluent. **Water Science and Technology**, v.26, n.7-8, p.1603-1613, 1992.

MONTEITH, J.L. Evaporation and environment. **Symp. Soc. Exp. Biology**. London, v.19, p.205-34, 1965.

NAKAGAWA, J.; PROCHNOW, L.I.; BULL, L.T. & BOAS, R.L.V. Efeitos de compostos orgânicos na cultura da alface (*Lactuca sativa* L.). **Crop. Científica**, n.20, p.173-180, 1992.

NAKAYAMA, F.S. & BUCKS, D.A. Emitter clogging effects on trickle irrigation uniformity. **Transaction o the ASAE**. St. Joseph, v.24, n.1, p.77-78,. 1981.

NAKAYAMA, F.S. & BUCKS, D.A. Trickle Irrigation for crop Production U. S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, U. S. **Water Conservation Laboratory**, Phoenix, Arizona - U. S. A. p.383, 1986.

NAKAYAMA, F.S. & BUCKS, D.A. Water quality in drip/trickle irrigation: A review. **Irrigation Science**. v.12, p.187-192, 1991.

NAKAYAMA, F.S.; GILBERT, R.G. &BUCKS, D.R. Water treatments in trickle irrigation systems. **Journal of Irrigation and Drainage Engineer, ASCE**, 104(IR1), p.23-34, 1978.

NEILSEN, G.H.; STEVENSON, D.S.; FITZPATRICK, J.J. & BROWNLLE, C.H. Yield and plant nutrient content of vegetables trickle-irrigated with municipal wastewater. **HortScience**. v.24, n.2, p.249-252, 1989.

ORON, G.; GEDALIAH, S. & ZUR, B. Stormwater and Reclaimed effluent for trickle irrigation. **Journal of Irrigation and Drainage Division**. v.18, n.2, p.115-126, 1979.

**Organización Mundial de la Salud (OMS)**. Guías para la calidad del agua potable. Recomendaciones, Ginebra. 2ª ed. v.1. 1995. 189p.

**Organización Mundial de la Salud (OMS)**. Evaluacion de Programas de Garantia de la Inocuidad de los Alimentos, Ginebra, 1989. 57p.

OSBURN, R. & BURKHEAD, C. Irrigating Vegetables with Reclaimed Wastewater. **Water Environmental & Technology**. Aug. 1992.

PAGANINI, W.S. (1997). **Disposição de Esgotos no Solo: Escoamento à Superfície**. São Paulo. AESABESP, 232p.

PAGANINI, W.S. Reúso de água na agricultura. In: MANCUSO, P.C.S. & SANTOS, H.F. **Reúso de água**. Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, Núcleo de Informações em Saúde Ambiental. São Paulo: Manole, 2003. p. 339-402.

PARK, S.J.; LEE, EUN-JEONG.; LEE, DONG-HUN; LEE, SEUNG-HOON & KIM, SAN-JONG. Spectrofluorometric assay for rapid detection of total and fecal coliforms from surface water. (1995). **Applied and Environmental Microbiology**, v.61, n.5, p. 2027-2029, 1995.

PATERNIANI, J.E.; ROSTON, D.M.; PAULA Jr. D.R.; MATSURA, E. E.; TESTEZLAF, R. & RIBEIRO, T.A.P. **Diagnóstico da Qualidade da Água de Pequenas Propriedades Produtoras de Hortaliças da Região de Campinas, SP**. Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP. 1992.

PEREIRA, A.R. & MACHADO, E.C. **Análise quantitativa de crescimento de comunidades vegetais**. Campinas, Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1987. 33p. (Boletim técnico 114).

PIZARRO, F. Riegos Localizados de Alta Freqüência. 3ed. **Madrid: ed. Mundi Prensa**, 1996. 513p.

PITTS, D.J.; HAMAN, D.Z. & SMAJSTRLA, A.G. Causes and prevention of emitter plugging in microirrigation systems. **Florida Cooperative Extension Service**, Bulletin 258, University of Florida, april 1990.

QUEIROZ, T.M.; CARVALHO, J.A.; SANTANA, M.J. & LED, C.A.S. Produção de alface americana (*Lactuca sativa* L.) irrigada sob diferentes tensões de água no solo. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 30, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Unioeste, 1 de jul. a 3 de ago. de 2001. EAS103. CD-Rom.

RAIJI, B. van. & QUAGGIO, J.A Correção de acidez no solo. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas, Instituto Agrônômico/Fundação IAC, 1997. 285p. (Boletim técnico 100).

RAMIREZ-FUENTES, E.; LUCHO-CONSTANTINO, C.; ESCAMILLA-SILVA, E. & DENDOOVEN, L. Characteristics, and carbon and nitrogen dynamics in soil irrigated with wastewater for different lengths of time. **Bioresource Technology**. v.85, n.2, p.179-187, 2002.

RAVINA, I.; PAZ, E.; SOFER, Z.; MARCU, A.; SCHISCHA, A. & SAGI, G. Control of emitter clogging in drip irrigation with reclaimed wastewater. **Irrigation Science**, Springer-Verlag, Berlin, v.13, p.129-139, 1992.

RAVINA, I.; PAZ, E.; SOFER, Z.; MARCU, A.; SCHISCHA, A.; SAGI, G.; YECHIALY, Z. & LEV, Y. Control of clogging in drip irrigation with stored treated municipal sewage effluent. **Agricultural Water Management**. Elsevier v.33, p.127-137, 1997.

RESENDE, R.S. **Suscetibilidade de Gotejadores ao Entupimento de Causa Biológica e Avaliação do Desentupimento via Cloração da Água de Irrigação**. 77p. ESALQ/USP. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Universidade Estadual de São Paulo. Piracicaba, SP. 1999.

RATH, S.; XIMENES, M.I.N. & REYES, F.G.R. Teor de nitrato e nitrito em vegetais cultivados no Distrito Federal: em estudo preliminar. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**. v.54, p.126-130, 1994.

RHOADES, J.D. Electrical conductivity methods for measuring and mapping soil salinity. **Advances in Agronomy**. v.49, p.201-251, 1993.

RIBEIRO, T.A.P.; PATERNIANI, J.E.S.; AIROLDI, R.P.S.; SILVA, M.J.M. & SILVA, G.E. Avaliação do desempenho de filtros de disco e manta sintética não tecida utilizados para irrigação por gotejamento quando se utiliza fertirrigação. **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 31, Salvador: UFBH. 29 de julho a 2 de agosto de 2002. Trab. EAS034. Cd-Rom.

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

RICCI, M.S.F. **Crescimento e teores de nutrientes em dois cultivares de alface (Lactuca sativa L.) adubados com vermicompostos**. 101p. Tese (doutorado). Universidade Federal de Viçosa, 1993.

ROCHA, E.M.M; MAPURANGA, S.M.S; COSTA, R.N.T. CASTRO, P.T. e AGUIAR, O.S. Uniformidade e eficiência de aplicação de água por aspersão convencional na superfície e perfil do solo. **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 27, 1998, Poços de Caldas/MG. Poços de Caldas: SBEA, 1998, p.286-288. CD-Rom.

RODRIGUES, T.R.I; BATISTA, H.S. CARVALHO, J.M.; GONÇALVES, A.O. & MATSURA, E.E. Uniformidade de distribuição de água em pivô central, com a utilização da técnica da TDR na superfície e no interior do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. V.2, n.2, p.187-191, Campina Grande, PB, 2001.

ROSTON, D.M. Uso de Várzeas artificiais para tratamento de efluentes de tanque séptico. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 23, 1994, Campinas. **Anais...** Campinas: Unicamp, jul. de 1994, n.94-7-210.

SADOVSKI, A.Y.; FATTAL, B. & GOLDBERG, D. Microbial contamination of vegetable irrigated with sewage effluent by drip method. **Journal of food protection**. v.41, n.5, p. 336-340, 1978.

SANCHEZ, C.A.; SNYDER, G.H. & BURDINE, H.W. DRIS evaluation of nutritional status of crisphead lettuce. **HortScience**, n.26, p.274-276, 1991.

SANDRI, D.; VALENTIM, M.A.A.; ROSTON, D.M.; MATSURA, E.E. & MAZZOLA, M. Tratamento e aplicação de água residuária na irrigação: implantação de um protótipo experimental. **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**. 29, Fortaleza: UFC. 4 a 7 de julho de 2000. CD-Rom.

SANTOS, H.F. & MANCUSO, P.C.S. A escassez e o reúso de água em âmbito mundial. In: MANCUSO, P.C.S. & SANTOS, H.F. **Reúso de água**. Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, Núcleo de Informações em Saúde Ambiental. São Paulo: Manole, 2003. p. 1-19.

SCALOPPI, E. J. & BAPTISTELLA, M J. R. Considerações sobre a aplicação de efluentes ao solo. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem. 12, **Anais...** Brasília, p.1049-1067, 1986.

SHANI, U.; XUE, S.; GORDIN-KATS, R. & WARRICK, A.W. **Soil-limiting flow from subsurface emitters. I: pressure measurements**. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. v.122, n.5, sep/oct, 1996.

SHELEF, G. Wastewater reclamation and water resources management in Israel. **Water Science and Technology**, v.24, n.9, p.251-265, 1991.

SILVA, N; JUNQUEIRA, V.C.A. & SILVEIRA, N.F.A. **Manual de Métodos de Análise microbiológica de Alimentos**. 2ª ed. São Paulo: Livraria Varela, 2001.

SILVA, F.B. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizante**. Embrapa Solos, Embrapa Informática Agropecuária. Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia. Brasília, 1999. 370p.

SMAJSTRIA, A.G.; BOMAN, B.J.; CLARK, G.A.; HAMAN, D.Z.; PITTS, D.J. & ZAZUETA, F.S. **Field evaluation of micro irrigation water application uniformity.** University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences. Boletim 265, março 1990.

SOLOMON, E.B.; POTENSKI, C.J & MATTHEWS, K.R. Effect of irrigation method on transmission to and persistence of *Escherichia coli* 0157:H7 on lettuce. **Journal of Food Protection.** v.65, n.4, p.673-676, 2002.

SOLOMON, K.H. & JORGENSEN, G. Subsurface Drip Irrigation. **Centro for Irrigation Technology.** April 1993. Agritech/96.

SOUSA, J.T.; ARAÚJO, H.C. & CATUNDA, P.F.C. REÚSO DE ESGOTOS SANITÁRIOS PARA A AGRICULTURA. Disponível na Internet.  
<http://www.iica.org.br/AguaTrab/Jose%20Tavares/P2TB06.htm>. Fev. de 1999.

SOUZA, C.F. **Infiltração e armazenamento da água no solo para o dimensionamento da irrigação localizada.** Tese (Doutor em Engenharia Agrícola). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2002.

STEIN, J.L. & SCHWARTZBROD, J. “Experimental Contamination of vegetables with Helminth Eggs”. **Water Science and Technology.** v.22, n.9, p.51-57, 1990.

TAYLOR, H.D.; BASTOS, R.K.X.; PEARSON, H.W. & MARA, D.D. Drip irrigation with waste stabilization pond effluents: solving the problem of emitter fouling. **Water Science and Technology,** London, v.31, n.12, p. 417-424, 1995.

TAVEIRA, J.A.M. **Salinização.** In: BLISKA Jr. A. & HONÓRIO, S.L., eds. Resumo Agriplast 97 e II Encontro de Hidroponia. Campinas, FEAGRI/UNICAMP, p.41-48, 1997.

TODD, D.K. Groundwater Hydrology. p. 282. **John Wiley and Sons,** N.Y. 1980. In: PITTS, D.J.; HAMAN, D.Z. & SMAJSTRILA, A.G. Causes and prevention of emitter plugging in microirrigation systems. **Florida Cooperative Extension Service,** Bulletin 258, University of Florida, abril 1990.

TOMÉ Jr., J.B. **Manual de interpretação de análises de solo.** Guaíba: Agropecuária, 1997. 247p.

TRANI, P.E. Hortaliças folhosas e condimentos. In: PEREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; RAIJ, B. van & ABREU, C.A. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura.** Jaboticabal: CNPq / FAPESP / POTAFOS, p.293-510, 2001.

TRANI, P.E. & RAIJ, B. van. Hortaliças. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** 2º ed. Campinas, Instituto Agrônomo/Fundação IAC, p.30-36. 1997. 285p. (Boletim técnico 100).

TROOIJEN, T.P.; LAMM, F.R.; STONE, L.R.; ALAM, M.; ROGERS, D.H.; CLARK, G.A. & SCHLEGEL, A.J. Subsurface drip irrigation using livestock wastewater: dripline flow rates. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph: ASAE, v.16, n.5, p.505-508, 2000.

U.S.E.P.A. **Design manual on constructed wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment**. EPA/625/022, CERL, Cincinnati. OH-USA, 1988. 83p.

VALENTIM, M.A.A. & ROSTON, D.M. Project of constructed wetland for Treating septic Tank Effluent. **In: 6<sup>th</sup> International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control**. v.1, p.172-178. Rio Claro: CEA-UNESP/IAWQ. Águas de São Pedro - SP, out./1998.

VALENTIM, M.A.A. **Uso de leitos cultivados no tratamento de efluente de tanque séptico modificado**. 119p. Dissertação (Mestre Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 1999.

VARGAS, S.V. Reutilização de Efluentes para a Irrigação, uma Alternativa para as zonas áridas. **In: Seminário Regional de Engenharia Civil**. Recife, p.625-37, 1990.

VAZ DA COSTA-VARGAS, S.M.; MARA, D.D. & VARGAS-LOPES, C.E. Residual faecal contamination on effluent-irrigated lettuces. **Water Science Technology**. v.24, n.09, p.89-94, 1991.

VAZ DA COSTA, S.M.; BASTOS, R.K.X. & MARA, D.D. Bacteriological Aspects of wastewater irrigation. **Research Monograph in Tropical Public Health Engineering**. v.8, p. 118, fev. /1996.

VENKATESWARAN, K.; MURAKOSHI, A. & SATAKE, M. Comparasion of commercially available kits with standard methods for the detection of coliforms and *Escherichia coli* in foods. **Applied and Environmental Microbiology**. v.62, n.7, p.2236-2243, 1996.

WARRICK, A.W. & SHANI, U. **Soil-limiting flow from subsurface emitters. I: effect on uniformity**. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. v.122, n.5, Sep/oct, 1996.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (1989). Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture. Geneva: **World Health Organization. (Technical Report) Series N<sup>o</sup> 778**).

ZOLDOSKE, D.F. & GUSHIKEN, E.C. Subsurface Drip Irrigation (SDI) on Turfgrass: A University Experience. **Center for Irrigation Technology**. Fresno , California. January, 1995.

ZOLDOSKE, D.F. Subsurface drip irrigation the future of irrigation is underground. Disponível na Internet. <http://www.geoflow.com/agriculture/zoldoske.htm>. 14 fev. 1999.