

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE MICROBIOLÓGICA E DA PRODUÇÃO  
DE ALFACE AMERICANA (*Lactuca sativa* L.) SOB DIFERENTES  
SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO, UTILIZANDO ÁGUAS RESIDUÁRIAS.**

**LEONARDO PRETTO DE AZEVEDO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de concentração em Irrigação e Drenagem.

BOTUCATU – SP  
Junho de 2004

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE MICROBIOLÓGICA E PRODUÇÃO DE  
ALFACE AMERICANA (*Lactuca sativa* L.) SOB DIFERENTES  
SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO, UTILIZANDO ÁGUAS RESIDUÁRIAS.**

**LEONARDO PRETTO DE AZEVEDO**

Orientador: Prof. Dr. João Carlos Cury Saad

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de concentração em Irrigação e Drenagem.

BOTUCATU – SP  
Junho de 2004

*"O homem precisa viajar. Por sua conta, não por meio de histórias, imagens, livros ou tv. Precisa viajar por si, com seus olhos e pés, para entender o que é seu. Para um dia plantar as suas próprias árvores e dar-lhes valor. Conhecer o frio para desfrutar do calor. E o oposto. Sentir a distância e o desabrigo para estar bem sob o próprio teto. Um homem precisa viajar para lugares que não conhece para quebrar essa arrogância que nos faz ver o mundo como o imaginamos, e não simplesmente como é ou pode ser. Que nos faz professores e doutores do que não vimos, quando deveríamos ser alunos, e simplesmente ir ver. O mundo na tv é lindo, mas serve para pouca coisa. É preciso questionar o que se aprendeu. É preciso ir tocá-lo."*

*Amyr Klink*

*Aos meus pais Delias e Iliane, minha avó Irene e aos meus irmãos Daniela e Marcus Vinícius, que são o que eu tenho de mais importante na vida. Em cada caminho escolhido, tantos outros são deixados pra trás. Estudando longe de casa, tive de abdicar do direito de estar dia a dia com vocês, mas só fisicamente. Em mim, não nos separamos nem um minuto, e todos os meus passos foram para vocês. Obrigado por existirem, e por serem a minha Família!*

*À Deus, que sempre esteve presente em minha vida, e que tem me dado provas cada vez mais claras de sua existência.*

*Ofereço,*

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. João Carlos Cury Saad. Mais que um orientador, procurei uma pessoa em quem pudesse me espelhar, profissionalmente e pessoalmente. Encontrei serenidade, competência e caráter.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, por acreditar em nosso projeto e pela concessão da bolsa de estudos.

À todos os funcionários que me auxiliaram durante a pesquisa, não apenas pelos serviços prestados, mas pela convivência e amizade. Meus sinceros agradecimentos a Gilberto Winckler, Israel, Rosângela, José Carlos, Niltom, Pedro, Sílvio, Rita e Fátima.

Ao amigo Aparecido Agostinho Arruda, o “Dicão”, e toda sua família, pela ajuda na condução do experimento, e pelo exemplo de pessoas que são.

Aos funcionários da biblioteca, seção de pós-graduação e Fazenda São Manuel, pela atenção demonstrada quando necessário.

À todos os Professores que de alguma maneira contribuíram para minha formação, nas disciplinas ministradas, na convivência e experiências transmitidas. Em especial aos Professores Raimundo Leite Cruz e Antônio de Pádua Sousa, pela confiança que demonstraram em meu trabalho.

Aos Professores Roberto Lyra Villas Boas e Romy Goto, pelas valiosas informações e conselhos.

Aos Professores Hélio Grassi Filho e Sérgio Nascimento Duarte, membros da banca examinadora, pelas contribuições valiosas e pela maneira com que conduziram a defesa desta dissertação.

Ao Professor e amigo Eduardo Luiz de Oliveira, um exemplo de profissional com quem iniciei a carreira acadêmica e que foi fundamental na decisão de cursar o Mestrado. Muito obrigado por todos os conselhos e pela atenção especial que sempre teve comigo.

À minha namorada Renata Rocha de Oliveira, que esteve comigo desde o início do trabalho, me mostrando que uma verdadeira relação é construída com amor, amizade e compreensão. Sou abençoado por ter uma pessoa tão especial ao meu lado.

À família Oliveira, especialmente à Leila e José Olinto, pelo carinho demonstrado.

Aos amigos da “República Vila Velha”, Fábio Catulé e Gustavo Bertoncini, que me mostraram que uma república é mais que um lugar onde se divide um teto. É uma segunda família, onde se dividem experiências de vida, respeito e amizade. Muito obrigado!

Aos amigos de Guarulhos, em especial ao Érico e Fabrício Brunhari, Fábio Romano, Paulo Futami, Leonardo Parussolo, Fernanda Turri e Fernão Porto. Aos amigos de longe, Marcelo Passos, Débora Trevisan e Thaís Borges. Vocês provaram que a distancia é incapaz de mudar uma amizade de verdade.

Ao Professor Carlos Antônio Gamero e família, que mesmo de longe esteve atento aos meus passos, com conselhos que valem para uma vida. Sempre foi um amigo especial.

Aos amigos de Botucatu, especialmente ao Rodrigo Barbosa, Amanda Cristobal, e Juliana Rigotto e república. Obrigado por terem me acompanhado em todos estes anos.

À minha segunda irmã Priscilla Rocha, por tudo que já fez por mim, e pela competência e altruísmo que demonstra com as pessoas a tua volta.

E a todas as pessoas não citadas que de alguma maneira contribuíram para minha formação e realização deste projeto.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
1 RESUMO.....	01
2 SUMMARY.....	03
3 INTRODUÇÃO.....	05
4 OBJETIVOS.....	07
5 REVISÃO.....	08
5.1 Situação da água no mundo.....	08
5.2 A carência de infra-estrutura sanitária no mundo.....	09
5.3 Aplicação de águas residuárias na agricultura.....	10
5.4 Qualidade microbiológica dos alimentos irrigados com efluentes.....	13
5.5 Os sistemas de irrigação.....	14
5.6 A cultura da alface americana.....	17
5.7 Teor de nitrato na folha da alface.....	18
6 MATERIAL E MÉTODOS.....	20
6.1 Área experimental.....	20
6.2 Características e condução da cultura.....	22
6.3 Delineamento estatístico.....	23
6.4 Estação experimental de tratamento de efluente doméstico do Lageado (ETL).....	24
6.5 Caracterização do efluente utilizado.....	27
6.6 Sistemas e Manejo da Irrigação.....	27
6.6.1 Gotejamento superficial e enterrado.....	28
6.6.2 Microaspersão.....	28
6.6.3 Sulcos.....	31
6.6.4 Ensaios para determinação de C.U.C e C.U.D.....	32
6.7 Parâmetros avaliados.....	32
6.7.1 Componentes da produção.....	32
6.7.2 Qualidade microbiológica.....	33
6.7.3 Avaliações paralelas.....	33

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
7.1 Valores de peso de massa fresca e peso de massa seca.....	36
7.1.1 Avaliação da produção de alface, considerando-se o tipo de água de abastecimento e o sistema de irrigação utilizado.....	36
7.1.2 Avaliação da produção de alface irrigada com água Sabesp, em relação ao tipo de sistema utilizado.....	40
7.1.3 Avaliação da produção de alface irrigada com água residuária, em relação ao tipo de sistema utilizado.....	41
7.1.4 Avaliação da produção de alface irrigada por gotejo superficial, em relação ao tipo de água de abastecimento.....	43
7.1.5 Avaliação da produção de alface irrigada por gotejo enterrado (subsuperficial), em relação ao tipo de água de abastecimento.....	44
7.1.6 Avaliação da produção de alface irrigada por sulcos, em relação ao tipo de água de abastecimento.....	45
7.1.7 Avaliação da produção de alface irrigada por microaspersão, em relação ao tipo de água de abastecimento.....	46
7.1.8 Avaliação da produção de alface, considerando-se apenas o tipo de água de abastecimento .....	48
7.2 Qualidade microbiológica da alface produzida.....	50
7.3 Avaliação do teor de nitrato nas folhas de alface.....	53
7.4 Análise de macro e micronutrientes do solo.....	55
8 CONCLUSÕES .....	58
9 CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	59
9.1 Sistemas de irrigação .....	59
9.1.1 Gotejamento superficial .....	59
9.1.2 Gotejamento enterrado .....	60
9.1.3 Sulcos.....	60
9.1.4 Microaspersão.....	60
9.2 Problemas na realização do experimento.....	60

9.3 Sugestões para trabalhos futuros.....	61
10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62

## 1 RESUMO

A crescente expansão demográfica, o aumento da demanda por água potável, a elevação dos índices de poluição, o manejo inadequado de solos e florestas, e a contaminação de rios e lençóis freáticos têm causado sérios problemas ambientais, indisponibilizando grande porcentagem da água doce existente para utilização direta.

Estima-se que apenas metade da população da América Latina seja beneficiada com redes de coleta de esgoto e que 90% deste volume coletado esteja sendo despejado em algum corpo de água superficial sem tratamento prévio.

Como alternativa para este problema, grande quantidade de águas residuárias tem sido utilizada na agricultura, tornando imprescindível o desenvolvimento de novas tecnologias e métodos de aplicação segura destes efluentes na irrigação de produtos para consumo humano.

Visando a necessidade de desenvolver técnicas seguras de aplicação de águas residuárias na agricultura, buscou-se no presente trabalho comparar parâmetros de produção, qualidade microbiológica e acúmulo de nitrato na cultura da alface americana, submetida à irrigação com água potável e com efluente de tratamento de esgoto doméstico, nos sistemas de irrigação por gotejo (superficial e enterrado), sulcos e microaspersão.

A alface foi cultivada a campo, na Fazenda Experimental Lageado, da Faculdade de Ciências Agrônômicas, localizada no município de Botucatu. As irrigações foram realizadas a cada 48 horas, durante os últimos trinta dias da cultura, repondo a lâmina evapotranspirada neste período.

Verificou-se neste trabalho que os maiores valores de produção foram obtidos na irrigação por gotejo superficial, com águas residuárias. Quando comparada a influência do tipo de água utilizada em cada sistema, os valores de produção obtidos também foram maiores para a irrigação com águas residuárias no gotejo superficial, gotejo enterrado e irrigação por sulcos.

Quanto à qualidade microbiológica, apenas as alfaces irrigadas por gotejo enterrado e sulcos apresentaram valores seguros quanto à contaminação por coliformes fecais e *Salmonella*, dentro do permitido pela Legislação Brasileira.

Os valores de acúmulo de nitrato na alface não diferiram entre si, estando abaixo do recomendado pela Organização das Nações Unidas e pela Comunidade Européia.

---

Palavras-chave: sistemas de irrigação, *Lactuca sativa* L., reuso de águas residuárias, análise microbiológica, teor de nitrato.

**MICROBIOLOGICAL QUALITY AND AMERICAN LETTUCE PRODUCTION (*Lactuca sativa* L.) WITH DIFFERENT IRRIGATION SYSTEMS, REUSING WASTEWATER. Botucatu, 2004. 68f. Dissertation (Master Degree in Agronomy / Irrigation and Drainage)– Agronomical Sciences College, São Paulo State University.**

**Author: Leonardo Pretto de Azevedo**

**Adviser: João Carlos Cury Saad**

## **2 SUMMARY**

The demographic expansion, the demand increase by potable water, the increase on pollution rates, the unsuitable soil and forests management, and the contamination of rivers and subsurface water have caused serious environment problems, and it became unavailable a high percentage of water for direct use.

Only 49% of Latin American population has a sewer net; from this number, it was estimated that 90% hasn't been treated before being thrown away in a surface water source, causing more problems.

A high quantity of wastewater has been used in agriculture as an alternative to this problem, what attracts the attention to the need of more researches about the development of a new technology and secure methods to apply effluents on irrigated crops to human consume.

Counting on the possibility of develop secure techniques to apply wastewater in agriculture, this work had the aim of comparing American lettuce production, microbiological quality and nitrate level, using irrigation with potable water and domestic sewer treatment effluent, under drip (surface and subsurface), furrow and sprinklers irrigation systems.

Lettuce was planted in a field, on Lageado Experimental Farm, Agronomical Sciences College, São Paulo State University, in Botucatu / SP, Brazil. The irrigations were carried out each 48 hours, during the last thirty days of the crop, adding the water rates lost in this period.

It was verified in this work that higher production values were obtained with wastewater applied with surface drip irrigation. When comparing the influence of the kind of water used in each system, the production values also were higher on wastewater irrigation with drip irrigation (surface and subsurface) and furrows.

On microbiological quality, only the lettuce irrigated by subsurface drip irrigation and furrows showed safe contamination values to fecal coliform and *Salmonella*, according to Brazilian Legislation.

The nitrate levels in lettuce weren't significantly different, and they were lower than the maximum level recommended by World Health Organization and European Community.

---

Keywords: Irrigation system, *Lactuca sativa* L., wastewater reuse, microbiological analysis, nitrate level.

### 3 INTRODUÇÃO

A expansão demográfica, a elevação dos índices de poluição, o manejo inadequado de solos e florestas, e a contaminação de rios e lençóis freáticos têm causado sérios danos à natureza, diminuindo a quantidade de água doce disponível para utilização direta. Como consequência, torna-se cada vez mais evidente a preocupação com o manejo e a correta utilização de um recurso natural ameaçado, e ainda pouco valorizado por grande parte da sociedade: a água.

O aumento da demanda por água potável, muitas vezes em regiões onde já é escassa, fez surgir um problema de solução complexa: como suprir a necessidade de um bem finito, na medida em que a população mundial cresce de maneira desgovernada? Quais as alternativas para o melhor aproveitamento deste recurso?

Uma possível solução seria o tratamento e reutilização de águas residuárias, domésticas e municipais, em situações mais tolerantes quanto à sua qualidade. Estas poderiam ser utilizadas na agricultura, um dos segmentos que mais consome água neste país, fornecendo água e nutrientes para as culturas ao mesmo tempo em que disponibiliza a utilização da água doce de boa qualidade para o abastecimento das cidades.

Esta prática já tem sido utilizada por muitos produtores que visam economizar água e fertilizantes, mas que no entanto não têm tomado as devidas precauções quanto à qualidade dos alimentos produzidos. A produção de alimentos saudáveis, livres de qualquer tipo de contaminação por patógenos, deve ser vista como prioridade na aplicação de

águas residuárias na agricultura, uma vez que pode causar sérias doenças aos consumidores destes produtos.

Torna-se imprescindível, portanto, o desenvolvimento de novas tecnologias para a reutilização desta água e o manejo eficiente dos recursos hídricos, como a única maneira de assegurar-se o desenvolvimento econômico e social em bases sustentáveis.

A necessidade de maiores estudos sobre métodos de aplicação segura de efluentes na irrigação de produtos para consumo humano desperta questões indispensáveis na continuação desta linha de pesquisa: que alimentos podem ser produzidos? Qual o melhor sistema de irrigação para aplicação destas águas em cada alimento? Quais os efeitos desta aplicação na cultura e no meio ambiente? Quais os riscos desta técnica para trabalhadores rurais e consumidores?

Este trabalho foi proposto no intuito de definir os melhores métodos para reutilização destas águas na cultura da alface, uma hortaliça importante pela área cultivada e pelo que representa no cenário socio-econômico do Brasil. Desta maneira, pretendeu-se avaliar os efeitos desta prática na produção, qualidade microbiológica e acúmulo de nitrato na alface americana, bem como seus efeitos na fertilidade do solo, observando-se quais os métodos de irrigação mais seguros quanto à contaminação dos alimentos por patógenos.

#### 4 OBJETIVOS

Este trabalho teve por objetivos:

a) avaliar os efeitos da aplicação de águas residuárias na produção de massa fresca e seca de alface americana (*Lactuca sativa* L.), variedade “Raider”, irrigadas por quatro sistemas de irrigação diferentes: gotejo superficial, gotejo enterrado, sulcos ou microaspersão.

b) avaliar os efeitos da aplicação de águas residuárias no acúmulo de nitrato na cultura.

c) quantificar a presença de coliformes fecais e *Salmonella* ssp na alface produzida, bem como identificar os métodos de irrigação mais seguros para utilização deste tipo de água.

d) observar as mudanças químicas ocorridas no solo no período em que foram realizadas as irrigações com águas residuárias.

## 5 REVISÃO DE LITERATURA

### 5.1 Situação da água no mundo

A água constitui o recurso natural mais importante para o desenvolvimento da agricultura no mundo, uma vez que as novas tecnologias para aumento de produtividade das áreas agrícolas são dependentes da disponibilidade de água para as culturas.

A água não se distribui de maneira uniforme pelo globo terrestre: dos  $1,36 \times 10^{18} \text{ m}^3$  de água disponível no planeta, 97% constituem os mares; 2,2% compõem as geleiras e somente 0,8% correspondem às águas doces. Destes 0,8%, apenas 3% apresentam-se de forma superficial, de fácil extração (Von SPERLING, 1995). Mesmo países em que os recursos hídricos são abundantes, como o Brasil, podem apresentar sérios problemas de distribuição desta água. Segundo Macedo (2001), estima-se que 80% do volume total de água disponível no país encontra-se na Amazônia, onde apenas 5% da população vive. Já no Nordeste do país, onde vivem cerca de 1/3 da população brasileira, encontra-se apenas 3,3% das disponibilidades hídricas do país.

Segundo Papadopoulos (1999) e Brown *et al.* (2000), apenas no século passado a densidade demográfica triplicou, enquanto a demanda por água potável aumentou em seis vezes. Isto indicaria que o consumo de água no planeta poderia dobrar nos próximos 25 anos, tornando a situação muito crítica. Considerando que nossos recursos hídricos são finitos, e que a expansão de terras cultiváveis é limitada, o aumento de

produtividade e o uso de equipamentos de irrigação de alta eficiência na aplicação de água podem tornar-se a única alternativa para atender a demanda de alimentos no futuro.

A importância destes fatores reflete-se nos altos índices de produtividade de áreas irrigadas quando comparadas às regiões desprovidas de tal tecnologia, onde apenas 18% do total de áreas agrícolas correspondem a aproximadamente 40% da produção agrícola mundial (Brown *et al.*, 2000).

Segundo dados do Ministério da Agricultura, citados por Pinazza e Alimandro (1999), o Brasil possuía em 1999 uma área irrigada de aproximadamente 2,7 milhões de hectares, correspondendo a 6% da área cultivada do país e 25% do valor bruto da produção.

Apesar de sua importância, o recurso água apresenta-se de maneira cada vez mais escassa, representando um problema ambiental de solução complexa. A crescente expansão demográfica, o aumento da demanda por água potável, a elevação dos índices de poluição, o manejo inadequado de solos e florestas, e a contaminação de rios e lençóis freáticos têm sido apontados pela FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (1992) - como os principais causadores desta escassez, muitas vezes indisponibilizando a pequena porcentagem de água doce disponível para utilização direta.

Torna-se imprescindível, portanto, o desenvolvimento de novas tecnologias e o manejo eficiente dos recursos hídricos, como a única maneira de assegurar-se o desenvolvimento econômico e social em bases sustentáveis.

## **5.2 A carência de infra-estrutura sanitária**

A necessidade de desenvolvimento de técnicas para reutilização desta água torna-se ainda mais evidente quando avaliada a deficiente infra-estrutura sanitária existente no mundo, principalmente nos países em desenvolvimento, como o Brasil. A ausência de um sistema adequado de saneamento básico relaciona-se com o processo de urbanização acelerada, sofrido nas últimas décadas, principalmente nas periferias das grandes cidades.

Segundo León e Cavallini (1999), estima-se que apenas 49% da população da América Latina seja beneficiada com redes de esgoto, gerando diariamente cerca de 40 milhões de m<sup>3</sup> de águas residuárias. Deste volume coletado, estima-se que apenas

10% receba tratamento prévio antes de ser despejado em algum corpo de água superficial ou antes de ser usado na irrigação direta de culturas agrícolas, numa área estimada de 500.000 ha.

Esta descarga, quando realizada sem tratamento prévio, contamina as águas de rios e mares, causando impacto ecológico e econômico. O despejo em mananciais superficiais pode afetar seu uso posterior, colocando em risco os consumidores desta água, ou ainda, os consumidores dos produtos por ela irrigados. Neste contexto, vale ressaltar que 16 rios da América Latina já superam os 1000 CF 100 mL<sup>-1</sup>, valor limite para a prevenção de possíveis contaminações à população que se utilize desta água ou alimentos irrigados pela mesma. Este dado torna-se ainda mais grave considerando-se que, para a América Latina e México, apenas 50% dos serviços de tratamento de água potável produzem água desinfetada.

### **5.3 Aplicação de águas residuárias na agricultura**

Segundo Mara e Cairncross (1989), a aplicação no solo constitui uma das formas mais antigas de disposição final de esgotos sanitários. Surgiu como forma de tratamento de esgoto, mas despertou o interesse de agricultores para sua aplicação na agricultura. No entanto, o advento da microbiologia sanitária em meados deste século despertou a preocupação com a saúde pública, tornando a prática desaconselhada.

Os problemas de escassez de água e o aumento das pesquisas sobre técnicas de aplicação segura e controlada de águas residuárias na agricultura, fizeram ressurgir o interesse pelo assunto. Desta forma, muitos estudos têm sido desenvolvidos para provar a eficiência desta prática, principalmente em países ou regiões onde o recurso água encontra-se de forma escassa.

Vale ressaltar que não existem dados oficiais para o uso de águas residuárias na agricultura, na maioria dos países em que esta prática ocorre. No entanto, León e Cavallini (1999) apresentam as estimativas dos países que contam com as maiores superfícies agrícolas irrigadas com este tipo de água (Quadro 1).

No Brasil, segundo Azevedo e Oliveira (2001), a aplicação de efluentes de tratamento de esgoto doméstico numa cultura de pepino (*Cucumis sativus* L.) aumentou em 47% a produtividade quando comparada às plantas controle, irrigadas com água potável. Não se verificou diferença significativa no solo irrigado, porém esta produtividade

refletiu no aumento da concentração de nutrientes da solução retida na matriz do solo. Neste mesmo experimento, irrigado por sistema de gotejamento subsuperficial, não se constatou a contaminação dos frutos por microorganismos patogênicos, tornando o método viável e seguro.

**Quadro 1** Área irrigada com águas residuárias em diferentes países.

<b>País</b>	<b>Área Irrigada com águas residuárias (ha)</b>
China	1.330.000
México	250.000
Índia	73.000
Chile	16.000
Estados Unidos	13.500
Kuwait	12.000
Austrália	10.000
Israel	8.800
Tunísia	7.400
Alemanha	6.800
Peru	5.500
Argentina	3.700
Arábia Saudita	2.900
Sudão	2.800
África do Sul	1.800
Bahrein	800
<b>TOTAL:</b>	<b>1.745.000</b>

Fonte: León e Cavallini (1999)

Nos Estados Unidos, região da Flórida, verifica-se o reuso e aplicação no solo de efluentes de tratamento de esgoto doméstico desde 1960. Swartz (1999) constatou que 451 instalações de tratamento de esgoto forneciam água reciclada para um ou mais usos, num total de aproximadamente 878 mgd (milhões de galões por dia).

Segundo Papadopoulos e Stylianou (1988), a aplicação de efluentes de tratamento de esgoto municipal em culturas de algodão, via sistema localizado por gotejamento, deve ser considerada com uma alternativa para fontes de água e nutrientes na agricultura, destacando-se o aumento dos níveis de nitrogênio do solo.

Estudos recentes também destacam a capacidade de extração de nutrientes que alguns vegetais apresentam quando irrigados por águas residuárias. Boyden e Rababah (1996) ressaltaram uma cultura de alface hidropônica como capaz de extrair aproximadamente 77% do fósforo e 80% do nitrogênio contidos na solução de efluentes de

tratamento de esgoto urbano, mostrando que além de presentes na solução, estes nutrientes também estão disponíveis para serem absorvidos.

Na cidade de Fresno, Califórnia, tratam-se  $1,5 \times 10^5 \text{ m}^3$  de águas residuárias por dia, destinadas à irrigação de 2625 ha, onde são cultivados algodão, cevada, alfafa, amendoim, uva, milho, aveia, sorgo e feijão. Nestas propriedades, a aplicação de efluentes no solo constitui a única fonte de nutrientes da cultura, não havendo necessidade de complementação com fertilizantes químicos (CITY OF FRESNO, 1980; STATE WATER RESOURCES CONTROL BOARD, 1981).

Na cidade de Santa Rosa, também na Califórnia, cerca de 1600 ha são irrigados com águas residuárias, no cultivo de milho para ensilagem, aveia e capim. Neste caso, a aplicação de efluentes supre cerca de 2/3 da necessidade de nutrientes das culturas, resultando em considerável economia para os produtores (BAIN; ESMAILI, 1976; STATE WATER RESOURCES CONTROL BOARD, 1981).

Além de recuperar os nutrientes que seriam perdidos, a utilização de efluentes na agricultura favorece a estabilização microbiana do efluente, a adsorção e a imobilização de metais e sais dissolvidos (DE LUCA, 1999).

Segundo Campos *et al.* (1999), o Brasil oferece condições favoráveis para a reutilização de esgotos por aplicação nos solos, tanto pela disponibilidade de área como pelas condições climáticas adequadas.

Scaloppi e Baptistella (1989) também afirmam que as condições climáticas têm efeito direto sobre a velocidade das reações químicas e biológicas responsáveis pela degradação do efluente no solo. Segundo Parr (1975), as máximas taxas de decomposição de resíduos e efluentes aplicados no solo ocorrem em faixas de temperatura da ordem de 30 a 35 °C. Esta taxa de decomposição aumenta em média de dias a três vezes para cada incremento de 10°C entre a temperatura mínima e a temperatura ótima. Portanto, quando se estuda a decomposição de substratos orgânicos, deve-se sempre levar em consideração a temperatura, pois ela é um dos principais fatores que atuam neste processo.

#### 5.4 Qualidade microbiológica dos alimentos irrigados com efluentes

Apesar das vantagens apresentadas pela aplicação de efluentes de tratamento de esgoto na agricultura, deve-se levar em consideração que se trata de um material, em sua grande maioria, contaminado por microorganismos causadores de doenças em humanos, animais e algumas espécies de plantas. Desta forma, grande parte dos estudos em reuso de efluentes enfocam a qualidade microbiológica destes alimentos, e não apenas os aspectos agrônômicos, para que o tratamento e aplicação destes efluentes sejam realizados com critérios, garantindo a segurança de trabalhadores rurais e consumidores.

Para assegurar esta garantia e minimizar os riscos de contaminação, recomenda-se que o efluente utilizado seja compatível com parâmetros pré-estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde (OMS). Dentre estes parâmetros, destaca-se o número mais provável de coliformes fecais em 100 mL de água – NMP (100 mL)<sup>-1</sup>. Na prática, estes coliformes atuam como indicadores razoavelmente confiáveis dos microorganismos patogênicos bacterianos, pois suas características de sobrevivência no meio ambiente e índice de eliminação nos processos de tratamento são similares.

Segundo Bísaro (2003), vários estudos foram idealizados para a obtenção de índices aceitáveis, até que em 1985, no documento conhecido como Relatório de Engelberg, a OMS passou a recomendar um padrão de qualidade bacteriológica de 1000 CFU 100 mL<sup>-1</sup>, para irrigações sem restrições. León e Cavallini (1999) afirmam que este valor torna-se ainda mais seguro considerando-se a inativação de microorganismos patogênicos por meio de raios ultravioletas, dessecação e predadores biológicos naturais, que em poucos dias causariam uma redução suplementar de até 90%.

No Brasil, a legislação em vigor para alimentos é regulamentada pela RDC nº 12, de 2 de Janeiro de 2001. Para hortaliças frescas, “in natura”, selecionadas ou não, estabelece-se apenas a ausência de *Salmonella* ssp em 25 gramas de produto. O cumprimento da legislação vigente e das recomendações da OMS visam ao estabelecimento de parâmetros para que alimentos produzidos via irrigação com águas residuárias sejam obtidos de maneira segura.

Segundo Arman *et al.* (1994), plantas de alface, salsa, repolho, cebola, cenoura e erva-doce apresentaram altos índices de contaminação por microorganismos indicadores, após terem sido irrigadas com diferentes tipos de efluentes de

esgoto, através do sistema de irrigação por aspersão. A contagem destes microorganismos variou conforme a contaminação da água utilizada, porém esteve presente em todas as amostras avaliadas.

Na cidade de Marrakesh, em Marrocos, a freqüente utilização de águas residuárias brutas na agricultura, sem tratamento prévio, tem levado à contaminação de lavouras de alface e salsa irrigadas por este sistema, detectando-se indivíduos de *Salmonella* ssp (MELLOUL *et al.*, 2001).

### 5.5 Os sistemas de irrigação

Segundo Olitta (1984), a escolha de um sistema de irrigação apropriado deve levar em consideração a cultura, o solo, o clima, a disponibilidade de água, o manejo e operação do sistema, bem como os fatores econômicos. No entanto, quando se utilizam águas residuárias, outros fatores de igual importância devem ser considerados, como o risco de contaminação de trabalhadores e alimentos produzidos.

Vale destacar que os métodos escolhidos para a aplicação de águas residuárias na agricultura, bem como o tipo de cultura e manejo utilizado, podem exercer papel fundamental na qualidade microbiológica final destes alimentos (EL-HAMOURI *et al.*, 1996).

Segundo a FAO (1992), sempre que águas residuárias forem consideradas como fonte de irrigação, a escolha de um sistema adequado poderá ser decisivo na produtividade, diminuição de contaminação da produção, do ambiente, exposição dos trabalhadores rurais, salinidade e riscos de toxicidade.

Culturas de milho doce (*Zea mays*), tomate (*Lycopersicon esculentum*) e melancia (*Citrullus lanatus*) foram submetidas à irrigação com efluentes de tratamento de esgoto hospitalar sob dois sistemas distintos, sulcos e gotejamento. No primeiro caso, a contaminação bacteriológica de todas as culturas foi superior se comparada às plantas irrigadas pelo sistema por gotejamento, comprovando a importância da escolha de um sistema de irrigação adequado (BATARSEH *et al.*, 1989).

Léon e Cavallini (1999) comentam algumas vantagens e desvantagens para cada sistema de irrigação, considerando os riscos da utilização de águas residuárias:

**a. Irrigação por inundação:** apresenta risco potencial de contaminação de culturas de pequeno porte e tubérculos, bem como elevado risco de contaminação para os trabalhadores expostos. Trata-se, portanto, de um método pouco satisfatório para irrigação com águas residuárias.

**b. Irrigação por sulcos:** reduzido potencial de contaminação da cultura, uma vez que esta não entra em contato direto com a água. No entanto, mantêm-se os riscos de contaminação dos trabalhadores expostos.

**c. Irrigação por aspersão:** Quando manejada de forma inadequada, pode contaminar a cultura, incluindo as plantas de maior porte, como as fruteiras. Além disso, os microorganismos patogênicos podem ser transportados pelo vento até as zonas urbanas. Além disso, este tipo de irrigação requer a remoção prévia de grande parte dos sólidos em suspensão, para evitar o entupimento dos aspersores.

**d. Irrigação localizada (gotejamento ou microaspersão):** é reconhecidamente o método que gera o menor risco de contaminação de trabalhadores e alimentos produzidos. No entanto, recomenda-se uma concentração de sólidos menor que  $50 \text{ mg L}^{-1}$ , para evitar obstrução dos emissores. Isto a torna cara, uma vez que se faz necessária a instalação de um sistema de tratamento com alta capacidade de remoção de matéria orgânica e, conseqüentemente, de nutrientes que seriam aproveitados pela cultura.

Tratando-se de irrigação com efluentes de tratamento de esgoto municipal, devem-se também considerar fatores essenciais para a manutenção da viabilidade prática do sistema, dentre eles: a aplicação da água na parte aérea da cultura, distribuição de água, sais e contaminantes no solo, eficiência de aplicação, facilidade de manutenção do teor de água no solo, e potencial de contaminação de trabalhadores rurais e do ambiente.

Neste aspecto, Kandiah (1990) avaliou alguns destes fatores na aplicação de águas residuárias por três sistemas distintos, destacando:

**a. Irrigação por sulcos:** não apresentou injúrias causadas por excesso de umidade na parte aérea; existe a tendência de acúmulo de sais, podendo prejudicar a produção; plantas estão sujeitas ao stress entre irrigações; com bom manejo do sistema pode-se obter níveis aceitáveis de produtividade.

**b. Irrigação por aspersão:** danos severos causados às folhas podem levar a perdas de produtividade; menor tendência de acúmulo de sais; dificuldades na manutenção do potencial de água no solo durante a fase de crescimento.

**c. Irrigação localizada por gotejamento:** sem danos causados às folhas; ocorrência de acúmulo de sais entre os pontos de gotejamento; possibilidade de manutenção do potencial de água no solo durante a fase de crescimento, minimizando problemas de salinidade; obtenção dos melhores índices de produtividade entre os sistemas avaliados.

Mara e Cairncross (1990) também avaliaram alguns fatores que afetam a seleção do método de irrigação e os cuidados necessários para cada sistema, quando se utilizam águas residuárias. Se a água utilizada for compatível com a qualidade recomendada pelos padrões da OMS, a escolha do sistema poderia considerar apenas a análise técnico-financeira. Caso contrário, dever-se-ia considerar os riscos citados anteriormente para cada sistema, bem como os devidos cuidados descritos no Quadro 2.

**Quadro 2** Fatores que afetam a seleção do método de irrigação e medidas necessárias quando se utilizam águas residuárias.

Método de irrigação	Fatores que afetam a seleção	Medidas especiais para água residuárias
<b>Irrigação por inundação</b>	Custo mínimo, não requer a sistematização do terreno.	Proteção completa para os trabalhadores rurais, para os que manipulam as colheitas e os consumidores.
<b>Irrigação por sulcos</b>	Custo reduzido, às vezes requer nivelamento do terreno.	Proteção para os trabalhadores rurais e, às vezes, para os que manipulam as colheitas e os consumidores.
<b>Irrigação por aspersão</b>	Aproveitamento médio da água, não requerendo a sistematização do terreno.	Não devem ser cultivados alguns produtos da categoria B, sobretudo fruteiras. A distância mínima é de 50 a 100 m para vilas e estradas públicas. Não devem ser utilizados resíduos anaeróbios, devido ao mau odor.
<b>Irrigação subterrânea e localizada</b>	Custo elevado, com maior aproveitamento de água e colheitas com maiores produtividades.	Deve-se filtrar a água para evitar obstrução nos emissores.

Fonte: Adaptado de Mara e Cairncross (1990)

## 5.6 A cultura da Alface Americana

A alface (*Lactuca sativa* L.), pertencente à família *Asteraceae*, é uma planta originária de espécies silvestres da Ásia Ocidental e Europa, trazida para o país pelos portugueses, no século XVI (CEAGESP, 2004; FILGUEIRA, 2000). Trata-se de uma planta herbácea, de caule diminuto, ao qual se prendem as folhas amplas, em forma de roseta, podendo estas serem lisas ou crespas, verdes ou roxas, formando ou não uma “cabeça”. O sistema radicular é muito ramificado e superficial, explorando apenas os primeiros 25 cm de solo, quando a cultura é transplantada, prática mais comum entre os produtores (FILGUEIRA, 2000).

Trata-se da hortaliça folhosa de maior consumo no Brasil. Cada paulistano consome quase dois quilos por ano e 40% dos seus gastos totais com verduras, são destinados à compra da alface. No Estado de São Paulo, a alface ocupa 7859 hectares, produz 137 mil toneladas/ano e gera 6367 empregos. Os principais municípios fornecedores são Piedade (18%), Mogi das Cruzes (14%) e Suzano (11%). A cultura da alface apresenta alto grau tecnológico, sendo comuns as práticas de produção em estufa, hidroponia e cultivo orgânico, que permitem obter verduras de qualidade durante o ano todo (CEAGESP, 2004).

Em termos nutritivos, a Alface é uma excelente fonte de vitamina A, possuindo ainda as vitaminas B1, B2, B5 e C, bem como os minerais Ca, Fe, Mg, P, K, e Na (CAMARGO, 1992).

Segundo Filgueira (2000) a cultura da alface pode ser subdividida em seis grupos ou tipos: Repolhuda-Manteiga, Repolhuda-Crespa ou Americana, Solta-Lisa, Solta-Crespa, Mimosa e Romana. O tipo Americana apresenta folhas crespas, bem consistentes, com nervuras destacadas, formando uma cabeça compacta. É uma alface resistente ao transporte e recomendada para o preparo de sanduíches, por manter suas características mesmo em contato com alimentos quentes.

Bueno (1998) afirma que nos Estados Unidos são plantados cerca de 80.000 ha de alface anualmente, sendo em sua maioria do tipo americana. No Brasil, este tipo de alface tem sido cultivado para atender a demanda das redes “Fast-Food”, devido às suas características.

Vale ressaltar que a escolha da cultura também exerce fundamental importância sobre a qualidade do produto obtido, quando se considera a irrigação com águas

residuárias. Neste caso, vários aspectos devem ser considerados: resposta da cultura em relação aos constituintes do efluente, morfologia, manejo da cultura e forma de consumo do produto.

Acredita-se que plantas desenvolvidas rente à superfície do solo estejam mais sujeitas à contaminação por microorganismos presentes no efluente de irrigação. Em culturas irrigadas por águas residuárias brutas, vegetais como a salsa (*Petroselinum crispum*) e a alface (*Lactuca sativa* L.), ambos desenvolvidos nestas condições, apresentaram índices de contaminação bacteriológica muito superiores aos vegetais como o tomate (*Lycopersicon esculentum*) e o pimentão (*Capsicum annuum*), onde os frutos não se desenvolviam em contato com a superfície, em experimento conduzido por Melloul *et al.* (2001).

Quanto à forma de consumo, a OMS – Organização Mundial de Saúde (1989) - insere a alface no grupo A de vegetais, consumidos “in natura”, e que, portanto, necessitariam de maior controle na qualidade da água e manejo de irrigação com águas residuárias.

Devido à tendência de obtermos maiores índices de contaminação em plantas rasteiras, optou-se pela escolha da cultura da alface (*Lactuca sativa*, L.) no projeto proposto, com o intuito de testar -se a viabilidade da condução de uma cultura considerada altamente suscetível à contaminação por microorganismos, e geralmente consumida “in natura”. Esta avaliação dos níveis de contaminação da cultura, aliados ao comportamento e conseqüências de cada um dos sistemas de irrigação escolhidos, poderá conferir dados essenciais para a utilidade prática do reuso de efluentes na agricultura.

### **5.7 Teor de nitrato na folha da alface**

Segundo Santamaria (1997), as hortaliças são responsáveis por até 94% da ingestão diária de nitrato pelo ser humano. Isto porque, nos vegetais, o nitrogênio é dirigido preferencialmente para as partes fotossinteticamente mais ativas (ANDRIOLO, 1999), se acumulando na forma de nitrato em raízes e na parte aérea quando a absorção excede as suas necessidades metabólicas (MAYNARD *et al.*, 1976).

A cultura da alface possui grande habilidade em acumular nitrato em suas folhas, justamente a parte consumida da planta, o que tem despertado o interesse pelo

monitoramento dos teores de nitrato nesta hortaliça (ROORDA Van EYSINGA, 1984). Dentre outros fatores, este acúmulo de nitrogênio depende do manejo, quantidade e fonte de fertilizantes nitrogenados (GUNES *et al.*, 1994). Maynard *et al.* (1976) afirmam que além do fornecimento de nitrato via fertilizante, este acúmulo pode ter origem no nitrato formado no substrato, pela mineralização ou nitrificação.

A ingestão diária máxima recomendada pela OMS é de 3,65 mg N-NO<sub>3</sub> / kg de peso vivo. Na Europa, permite-se um limite de nitrato de 2500 mg.kg<sup>-1</sup> de massa fresca nas hortaliças cultivadas no verão e 4500 mg.kg<sup>-1</sup> de massa fresca nas hortaliças cultivadas no inverno (ESCOÍN-PEÑA *et al.*, 1998), ou ainda, 3000 mg.kg<sup>-1</sup> de massa seca (MCCALL e WILLUMSEN, 1998). Estes limites foram estabelecidos para que se evitem os riscos causados pela ingestão excessiva de nitrato. Segundo Matias (2000), o nitrato ingerido nos alimentos pode ser reduzido a nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) no trato digestivo, que ao chegar à corrente sanguínea oxida o ferro (Fe<sup>2+</sup>? Fe<sup>3+</sup>) da hemoglobina produzindo metahemoglobina. Esta é incapaz de transportar oxigênio para respiração celular, causando a metahemoglobinemia, também conhecida como “doença do sangue azul”. O nitrato ingerido também pode combinar-se com aminas formando nitrosaminas, que se caracterizam por ser cancerígenas e mutagênicas.

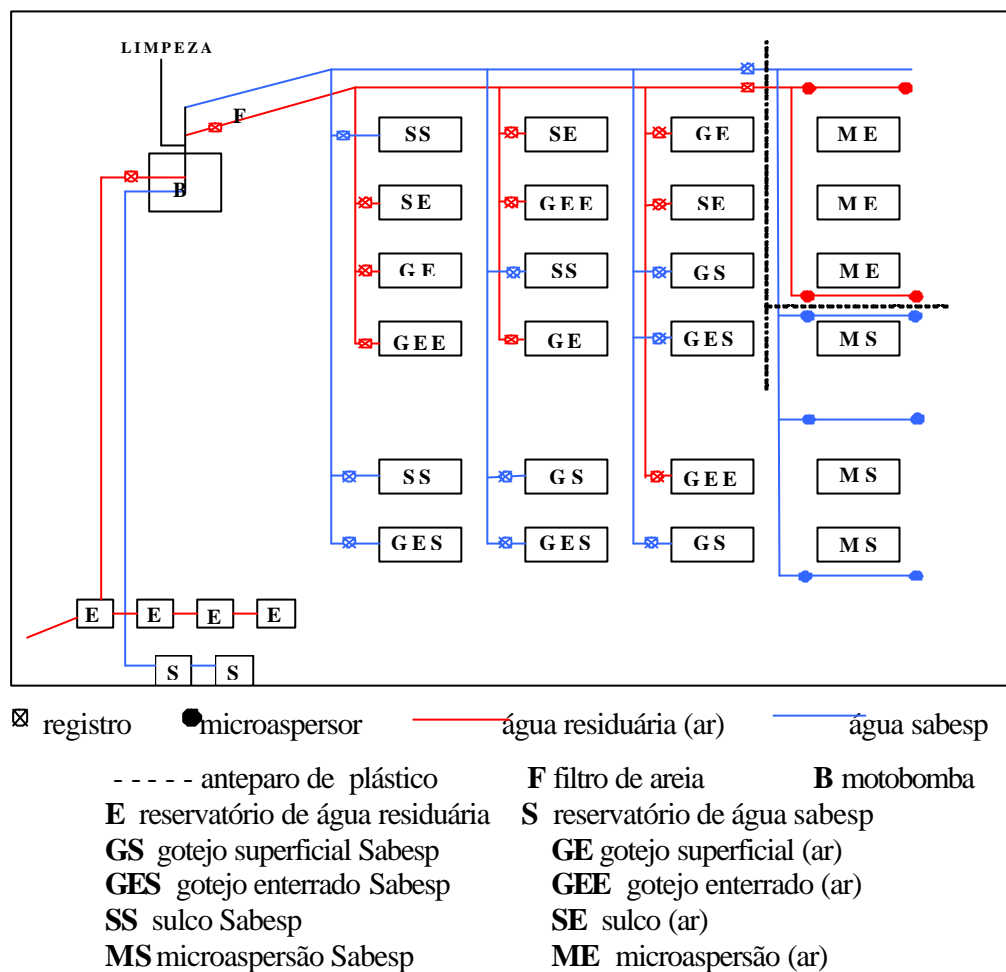
## 6 MATERIAL E MÉTODOS

### 6.1 Área experimental

O experimento foi conduzido a campo, em área experimental do Departamento de Engenharia Rural, da Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, em Botucatu, (SP), cujas coordenadas geográficas são: 22° 51' de latitude sul e 48° 26' de longitude oeste, em relação a Greenwich, com altitude de 786 m, durante o período de setembro de 2003 a janeiro de 2004.

Dispôs-se de uma área total de aproximadamente 1800 m<sup>2</sup>, delimitada em uma de suas laterais pelo Rio Lavapés. Dentro desta área foram instalados: um abrigo para o conjunto motobomba e material de trabalho; seis caixas d'água com capacidade de 1000 L cada, sendo duas para o armazenamento de água limpa (fornecida pela rede pública - Sabesp) e quatro para o armazenamento de águas residuárias (efluente de tratamento de esgoto doméstico); um filtro de areia; e toda tubulação de recalque e distribuição. A disposição geral da área pode ser observada na Figura 1.

O clima do município de Botucatu foi classificado segundo o sistema Köppen como Cwa: clima quente (mesotérmico), com chuvas no verão e seca no inverno, sendo a temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C (CUNHA *et. al.*, 1999). O Quadro 3 apresenta valores das normais da região, relativo a dados médios dos últimos 30 anos.



**Figura 1** Esquema da área experimental.

**Quadro 3** Valores das normais da região, relativo a dados de 30 anos.

Dados de clima	Normais da Região	
	Seca	Chuvosa
Temperatura mínima ( $^{\circ}\text{C dia}^{-1}$ )	14,2	18
Temperatura máxima ( $^{\circ}\text{C dia}^{-1}$ )	23,9	27,5
Temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C dia}^{-1}$ )	18,6	22,4
Pluviosidade média ( $\text{mm mês}^{-1}$ )	66,8	188,7
Umidade Relativa do ar (%)	68,8	73,8
Evaporação Classe A ( $\text{mm dia}^{-1}$ )	4,2	5,7

Fonte: CUNHA et al. (1999).

Uma amostra inicial de solo foi coletada para determinação de suas características físicas e químicas (macro e micronutrientes), referentes à profundidade de 0-20 cm. A análise química foi realizada pelo Laboratório de Fertilidade do Solo, do Departamento de Recursos Naturais da FCA/UNESP, segundo metodologia proposta por Raij *et al.* (2001); a análise física foi realizada pelo Laboratório de Física do Solo, segundo metodologia proposta pela EMBRAPA (1999); o resultado das análises podem ser observados nos Quadros de 4 a 6.

**Quadro 4** Resultado das análises físicas do solo da área experimental.

Profundidade (cm)	Granulometria ( $\text{g kg}^{-1}$ )			Textura do solo
	Areia	Silte	Argila	
0-20	548	139	313	Média

**Quadro 5** Resultado das análises químicas do solo da área experimental (macronutrientes).

pH	M.O.	P <sub>resina</sub>	H + Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%
CaCl <sub>2</sub>	$\text{g dm}^{-3}$	$\text{mg dm}^{-3}$	$\text{mmol dm}^{-3}$						
6,0	28	117	20	3,1	65	27	95	115	82

**Quadro 6** Características químicas do solo da área experimental (micronutrientes).

Boro	Cobre	Ferro	Magnésio	Zinco
$\text{mg dm}^{-3}$				
0,52	9,4	60	10,3	11,5

## 6.2 Características e condução da cultura

Utilizou-se a cultura da alface, cultivar Raider, classificada por Figueira (2000) como pertencente ao grupo Repolhuda-Crespa ou Americana, de ciclo total de até 90 dias.

A produção de mudas foi desenvolvida em um viveiro da Fazenda Experimental São Manuel, pertencente a FCA/UNESP, localizada na cidade de São Manuel, SP.

A semeadura foi realizada em bandejas de isopor, de 128 células, utilizando-se substrato comercial *Plantmax-HT*. Foram utilizadas sementes peletizadas da empresa Seminis Vegetable Seeds, para cultivo de verão, com apenas 1 semente por célula.

A semeadura ocorreu no dia 20 de outubro de 2003, permanecendo as mudas no viveiro durante 25 dias. O transplante destas mudas para os canteiros definitivos ocorreu dia 15 de novembro de 2003, quando a maioria das plantas apresentava quatro folhas definitivas (Filgueira, 2000), no espaçamento de 0,35 m entre plantas e 0,35 m entre linhas, condizente com as medidas utilizadas por produtores para esta cultivar.

A adubação foi realizada segundo recomendação do Prof. Dr. Roberto Lyra Villas Boas, baseado na metodologia proposta no Boletim técnico 100, de Raij *et al.* (1997). Foram aplicados 500 kg/ha de Termo Yorin boro zinco, incorporados ao solo, e 180 kg/ha de nitrato de cálcio, parcelados em quatro aplicações de cobertura, durante o período em que a cultura esteve no campo.

O solo foi preparado com o auxílio de uma enxada rotativa, também utilizada por Andrade Jr. (1994) e Gomes (2001), revolvendo a camada superficial em aproximadamente 20 cm. A formação dos canteiros foi realizada através de um roto-encanteirador, também utilizado na incorporação de adubos.

A escarificação dos canteiros e o controle de ervas daninhas foram realizados manualmente, sempre que necessários. Todos os cuidados fitossanitários foram devidamente tomados e não se observou o estabelecimento de quaisquer tipos de pragas ou doenças na cultura, tornando-se desnecessário, portanto, a utilização de defensivos químicos.

A colheita foi realizada no dia 10 de janeiro de 2004, aos 56 dias após o transplante, quando mais de 50% das plantas apresentavam a “cabeça” bem formada.

### **6.3 Delineamento estatístico**

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com 8 tratamentos e 3 repetições, totalizando 24 parcelas. Foram avaliados quatro sistemas de irrigação: gotejamento enterrado, gotejamento superficial, microaspersão e sulcos. Cada

sistema utilizou duas fontes de água: água limpa (Sabesp) e água residuária (efluente de tratamento de esgoto doméstico).

Desta forma, obteve-se oito tratamentos, sendo eles:

- **T1:** gotejamento superficial, abastecido por água Sabesp.
- **T2:** gotejamento superficial, abastecido por efluente.
- **T3:** gotejamento enterrado, abastecido por água Sabesp.
- **T4:** gotejamento enterrado, abastecido por efluente.
- **T5:** sulcos, abastecido por água Sabesp.
- **T6:** sulcos, abastecido por efluente.
- **T7:** microaspersão, abastecido por água Sabesp.
- **T8:** microaspersão, abastecido por efluente.

Cada parcela foi composta por um canteiro de 1,2 m de largura por 6 m de comprimento, contendo 3 fileiras de plantas espaçadas de 0,35 m entre linhas e 0,35 m na linha, totalizando aproximadamente 51 plantas para cada parcela de 7,2 m<sup>2</sup>. Os canteiros foram espaçados por 0,6 m de rua, para facilitar o manejo da cultura.

Foram consideradas como plantas úteis, para efeito das análises de produtividade e microbiológica, apenas aquelas da fileira central de plantas, descartando-se ainda a primeira e última planta desta fileira. Portanto, cada parcela contou com aproximadamente 15 plantas úteis, sendo as demais consideradas como bordadura.

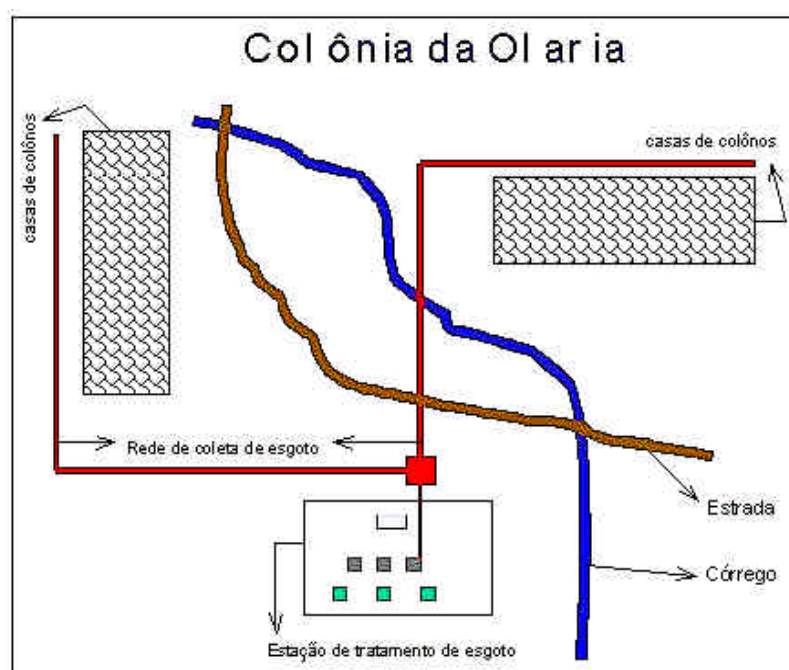
#### **6.4 Estação experimental de tratamento de efluente doméstico do Lageado (ETL)**

O efluente utilizado durante as irrigações da cultura foi proveniente da Estação Experimental de Tratamento de Efluente Doméstico do Lageado, que se encontra nas proximidades da Colônia da Olaria e Chafariz, constituída por 15 casas habitadas aproximadamente por 60 pessoas, estando em funcionamento desde 1996 (Figura 2).

Todo esgoto produzido nas referidas colônias é coletado e conduzido até a estação de tratamento em duas redes coletoras, compostas por tubulação de PVC de 100 mm de diâmetro e aproximadamente 150 m de extensão cada.

Primeiramente ocorre o encontro dos despejos trazidos pelas duas redes, que são conduzidos para o sistema de decantação, composto por três caixas de cimento amianto com capacidade de 1000L cada; nestas caixas ocorre a separação das fases líquida e sólida do esgoto. A fase sólida, também chamada lodo de esgoto, é retirada periodicamente para secagem e posterior utilização como fonte de nutrientes para plantas de interesse agrícola, conforme pesquisa realizada por Breda (2003).

A fase líquida segue para leitos de pedra britada, também implantados em caixas de cimento amianto de 1000 L de capacidade, e posteriormente para o sistema fitopedológico, composto por macrófitas aquáticas implantadas em substrato filtrante, responsáveis pela depuração do efluente. Neste sistema, utiliza-se plantas de Junco (*Juncus sellovianus*) em substrato composto por 1 parte de solo médio e 3 partes de casca de arroz in natura.

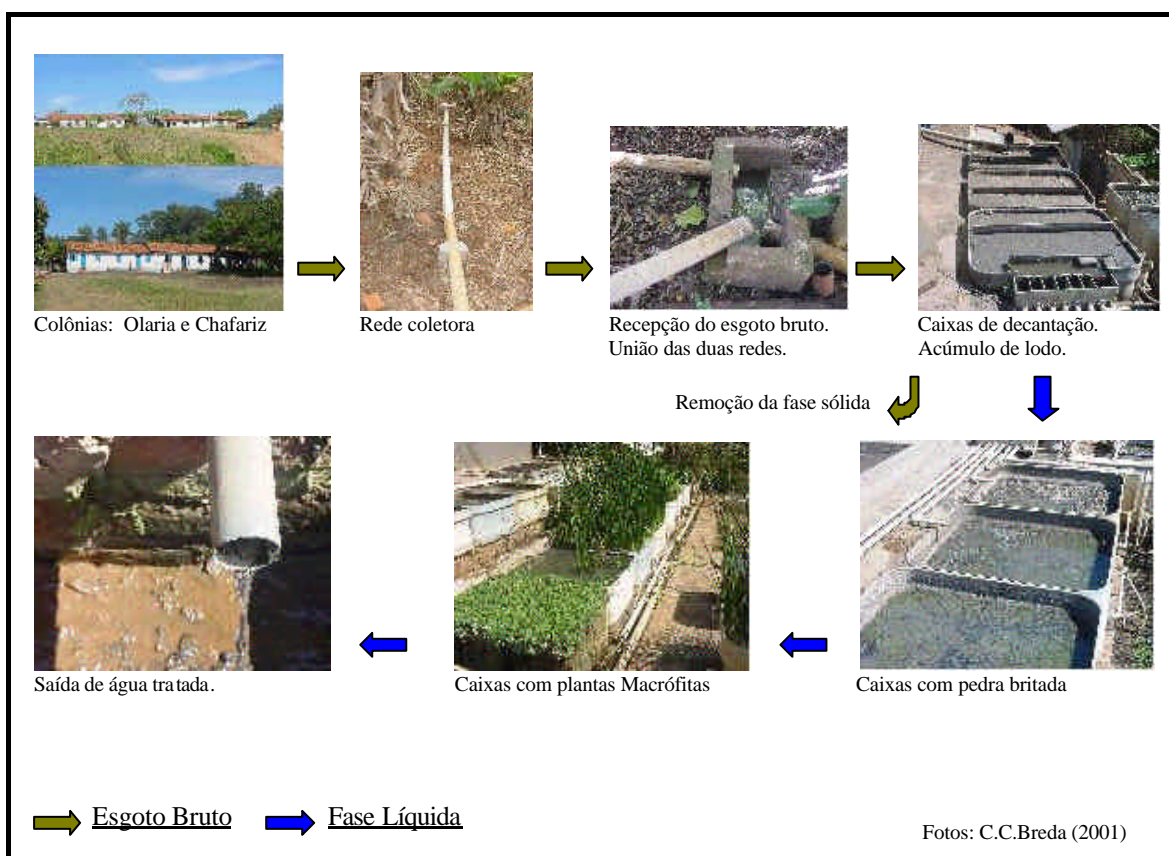


**Figura 2** Localização das colônias Olaria e Chafariz e da Estação experimental de tratamento de efluente doméstico do Lageado.

Apesar desse tratamento proporcionar melhorias consideráveis na qualidade do efluente, o mesmo passa ainda por mais uma etapa, constituída por 5 valas de alvenaria, onde são cultivadas plantas de uma espécie aguapé (*Eicchornia spp*), aumentando a eficácia do tratamento.

O efluente segue para um reservatório de 5000L, de onde é bombeado para os reservatórios da área experimental, a uma distância de aproximadamente 500m de distância.

As etapas do tratamento de efluentes realizado pela Estação experimental de tratamento de efluentes doméstico do Lageado podem ser observadas na Figura 3.



**Figura 3** Esquema resumido e ilustrado do sistema de tratamento de esgoto empregado na ETL (Fonte: BREDA 2003)

### 6.5 Caracterização do efluente utilizado

A composição do efluente utilizado na irrigação da cultura sofre variação de acordo com os hábitos dos moradores das colônias. Desta forma, optou-se por privilegiar os dados médios para a caracterização físico-química e análise de nutrientes da água utilizada (Quadros 7 e 8).

As amostras para análise foram retiradas semanalmente, a partir do início das irrigações, sempre coletadas nos emissores de cada sistema. Desta forma, pôde-se avaliar as características desta água após ter sido bombeada e após ter passado pelo filtro de areia. As análises de nutrientes da água foram realizadas no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Recursos Naturais, FCA/UNESP. O teor de nitrogênio foi determinado por destilação, e os teores de potássio, cálcio e magnésio foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica. As análises físico-químicas e a colimetria da água foram realizadas no Laboratório de Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Rural, FCA/UNESP.

**Quadro 7** Características físico-químicas do efluente utilizado na irrigação da cultura.

pH	CE uS/cm	OD mg L <sup>-1</sup>	DBO mg L <sup>-1</sup>	Coliformes NMP		Sólidos voláteis mg 100 mL <sup>-1</sup>	Sólidos totais mg 100 mL <sup>-1</sup>
				Total	Fecal		
7,96	405	3,26	49,7	2,54E+5	1,4E+4	8	23

**Quadro 8** Análise de nutrientes presentes na água de irrigação.

N	K	Ca	Mg
-----mg L <sup>-1</sup> -----			
159	17,4	11,2	2,9

### 6.6 Sistemas e Manejo da Irrigação

Durante o experimento, foram avaliadas quatro formas de aplicação de água à cultura: gotejamento superficial, gotejamento enterrado, microaspersão e sulcos de infiltração.

### 6.6.1 Gotejamento superficial e enterrado

Nos sistemas por gotejamento superficial e enterrado, utilizou-se um tubogotejador da empresa *Scarcelli*, modelo *Golden Tree*, com vazão nominal de  $1,45 \text{ L h}^{-1}$ /saída na carga hidráulica de 8 m.c.a. Foram instaladas duas linhas de irrigação em cada canteiro, situadas a 15 cm de cada um dos lados da fileira central de plantas, como pode ser observado na Figura 4. No sistema enterrado, estas linhas foram dispostas a 15 cm de profundidade. Para este tipo de irrigação, adotou-se uma carga hidráulica de trabalho na saída da bomba de 8 m.c.a. para a irrigação com água Sabesp, e 9 m.c.a para a irrigação com água residuária. Esta diferença considerou a perda de carga ocorrida no filtro de areia, necessário apenas para a irrigação com águas residuárias. Desta maneira, a pressão de trabalho na entrada do gotejador manteve-se a mesma nos dois tipos de água utilizada, em torno de 7 m.c.a.

No manejo de irrigação dos canteiros irrigados por gotejamento (superficial ou enterrado), optou-se por realizar a irrigação conjunta dos tratamentos que apresentavam mesma fonte de água. Desta maneira, as parcelas irrigadas por gotejamento enterrado e abastecidas por efluente, eram irrigadas junto às parcelas irrigadas por gotejamento superficial e abastecidas pelo mesmo efluente. O mesmo acontecia para parcelas que utilizaram água de qualidade Sabesp. Desta forma, poder-se-ia irrigar dois tratamentos ao mesmo tempo, já que a pressão de serviço e o tipo de água utilizada eram os mesmos.

O manejo da irrigação foi realizado através do taque Classe A, devidamente instalado nas proximidades do experimento. As leituras foram realizadas diariamente, sempre pela manhã. Considerando as condições climáticas do local, conforme instruções citadas em Tubelis (2001), adotou-se um coeficiente de tanque ( $K_p$ ) de 0,80. Para determinação do coeficiente da cultura ( $K_c$ ), foram adotados dois valores distintos, segundo Bastos (1994): 0,80 na primeira quinzena de irrigação e 0,88 durante os últimos quinze dias.

Foram realizados ensaios a campo para determinação da real vazão dos emissores em cada tipo de água utilizada, obtendo-se os valores de 1 e  $1,27 \text{ L h}^{-1}$ , respectivamente para irrigação com água Sabesp e efluente. Desta forma, foram calculadas 2 taxas de aplicação distintas na irrigação por gotejamento, de  $11,1 \text{ mm h}^{-1}$  nas parcelas que utilizaram água Sabesp e 14,1 nas parcelas que utilizaram efluente. Adotou-se, ainda, um

índice de eficiência de aplicação de água de 90% e o manejo de irrigação pelo tempo, calculado na seguinte equação:

$$\underline{Etm} = \text{Tempo de irrigação em horas}$$

*I. Ef*

Em que:

*Etm*: Evapotranspiração máxima da cultura (mm)

*I*: Taxa de aplicação de água de cada emissor ( $\text{mm h}^{-1}$ )

*Ef*: índice de eficiência de aplicação (0,90)



**Figura 4** Disposição das linhas de gotejamento sobre o canteiro.

### 6.6.2 Microaspersão

Na irrigação por microaspersão foram utilizados microaspersores da marca *Dan Sprinklers*, modelo *Mamkad/Ball-Driven*, com vazão nominal de  $120 \text{ L h}^{-1}$ , a uma pressão de serviço de 16 m.c.a., e diâmetro molhado de 12 m. Os microaspersores foram instalados em um espaçamento de 6 m, recomendado pelo fabricante, numa área efetiva de aplicação de  $36 \text{ m}^2$  por aspersor. Para realização dos cálculos, considerou-se uma eficiência de aplicação de água de 85%.

Os tratamentos irrigados pelo sistema de microaspersão foram devidamente protegidos por anteparos, visando impedir a contaminação dos demais tratamentos por deriva pelo vento. Estes anteparos foram construídos com bambu e lona

plástica de estufa, montados apenas no momento de cada irrigação por microaspersão, para que não influenciasse a radiação solar e quantidade de ventos recebida pela cultura nestes tratamentos, como pode ser observado nas Figuras 5 e 6.

Para efeito de cálculo do tempo de irrigação, utilizou-se a seguinte equação:

$$\underline{Etm} = \text{Tempo de irrigação em horas}$$

$$I \cdot Ef$$

Em que:

*Etm*: Evapotranspiração máxima da cultura (mm)

*I*: Taxa de aplicação de água de cada emissor (mm h<sup>-1</sup>)

*Ef*: índice de eficiência de aplicação (0,85)



**Figura 5** Vista parcial dos canteiros, com anteparo de proteção abaixado.



**Figura 6** Vista parcial dos canteiros, com anteparo de proteção levantado.

### 6.6.3 Sulcos

A disposição dos sulcos de irrigação dentro das parcelas foi a mesma adotada para o gotejamento: foram instalados dois sulcos em cada parcela, espaçados em cerca de 15 cm da linha central de plantas. Estes sulcos possuíam um perímetro molhado de aproximadamente  $1,8 \text{ m}^2$ , e considerou-se uma eficiência de aplicação de água de 70%.

Os sulcos apresentaram vazões médias de  $680 \text{ L h}^{-1}$  e  $590 \text{ L h}^{-1}$ , respectivamente, para as parcelas irrigadas com água Sabesp e efluente. Esta diferença na vazão dos sulcos deve-se principalmente à localização de cada parcela, já que algumas parcelas estavam em pontos mais elevados. No entanto, o adotou-se o manejo de irrigação por tempo, aplicando-se a lâmina necessária em todas as parcelas, porém com tempos de irrigação diferentes.

Para efeito de cálculo do tempo de irrigação, utilizou-se a seguinte equação:

$$\frac{E_{tm}}{I \cdot Ef} = \text{Tempo de irrigação em horas}$$

Em que:

*E<sub>tm</sub>*: Evapotranspiração máxima da cultura (mm)

*I*: Taxa de aplicação de água no sulco (mm h<sup>-1</sup>)

*E<sub>f</sub>*: índice de eficiência de aplicação (0,70)

#### 6.6.4 Ensaios para determinação de C.U.C e C.U.D

Foram realizados ensaios para a determinação do coeficiente de uniformidade de Christiansen (C.U.C) e do coeficiente de uniformidade de distribuição de água (C.U.D), para os sistemas de irrigação por gotejamento (enterrado e superficial) e microaspersão. Os sistemas de gotejamento enterrado e gotejamento superficial foram avaliados em conjunto, uma vez que operavam ao mesmo tempo. Os ensaios foram realizados a campo, no final do experimento, simulando uma irrigação nas condições em que esta ocorria, e os resultados obtidos podem ser observados no Quadro 9. Para obtenção dos resultados, utilizou-se a metodologia descrita pela ABNT (1985).

**Quadro 9** Coeficientes de Christiansen e de uniformidade dos sistemas de irrigação.

Tratamento	C.U.C (%)	C.U.D (%)
Gotejamento + água Sabesp	93,9	92,3
Gotejamento + água residuária	96,5	95,7
Microaspersão + água Sabesp	86,3	79,3
Microaspersão + água Residuária	86,8	76,0

### 6.7 Parâmetros avaliados

#### 6.7.1 Componentes da produção

Para cada tratamento, foram avaliados os valores médios de peso de massa fresca e peso de massa seca de toda parte aérea da planta, coletada rente ao solo. Foram avaliadas todas as plantas úteis de cada parcela, à exceção de uma única planta útil, utilizada na análise microbiológica. Devido à perda de algumas plantas durante o ciclo, nem todas as parcelas apresentaram o mesmo número de plantas úteis no momento da colheita. Desta

maneira, optou-se pelo valor de peso fresco e peso seco médios, dividindo-se a soma dos pesos obtidos pelo número de plantas avaliadas, para cada parcela.

Foram realizadas 8 avaliações de produção de massa fresca e de massa seca, considerando-se o tipo de água de abastecimento e/ou o sistema de irrigação utilizado:

1. Avaliação da produção de alface, considerando-se tanto o tipo de água de abastecimento como o sistema de irrigação utilizado;
2. Avaliação da produção de alface, considerando-se apenas o tipo de água de abastecimento;
3. Avaliação da produção de alface irrigada apenas com água Sabesp, em relação ao sistema de irrigação utilizado;
4. Avaliação da produção de alface irrigada apenas com água residuária, em relação ao sistema de irrigação utilizado;
5. Avaliação da produção de alface irrigada por gotejo superficial, em relação ao tipo de água de abastecimento;
6. Avaliação da produção de alface irrigada por gotejo subsuperficial, em relação ao tipo de água de abastecimento;
7. Avaliação da produção de alface irrigada por sulcos, em relação ao tipo de água de abastecimento;
8. Avaliação da produção de alface irrigada por microaspersão, em relação ao tipo de água de abastecimento.

As plantas foram colhidas e imediatamente pesadas para a determinação da matéria fresca, utilizando-se uma balança digital com precisão de dois dígitos, instalada no próprio local. Após a determinação do peso fresco, as plantas foram acondicionadas em sacos de papel devidamente identificados, e colocadas em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C, durante uma semana, para a determinação do peso seco.

### **6.7.2 Qualidade microbiológica**

De acordo com o Ministério da Saúde, RDC 12 da legislação brasileira em vigor, apenas o teste de contaminação por Salmonela (ausência em 25g) seria necessário para atestar a qualidade de uma hortaliça consumida “in natura”. No entanto, também foram avaliados os níveis de contaminação por Coliformes Fecais (NMP), uma vez que a ausência de

coliformes fecais (*Escherichia coli*) indicaria a ausência de protozoários e enteroparasitas, também veiculados pelas fezes humanas. Como referência para a comparação da quantidade de coliformes obtidos, considerou-se a Portaria 451 da Secretaria da Vigilância Sanitária / Ministério da Saúde, de 19 de Setembro de 1997, por considerar-se a legislação atual muito branda. Segundo esta Portaria, já revogada pela RDC 12, seria necessária a ausência de *Salmonella* em 25 g e a presença de no máximo de 200 coliformes fecais por grama de produto.

As amostras foram coletadas e manipuladas com instrumentos esterilizados, e imediatamente encaminhadas para análise. Para cada parcela coletou-se uma planta inteira, localizada no centro do canteiro, totalizando 24 amostras, 3 para cada tratamento.

As amostras foram analisadas no Laboratório de Microbiologia do Instituto de Biociências, UNESP, Botucatu, sob orientações da Profa. Dra. Vera Rall, segundo metodologia descrita por Downes & Ito (2001).

### 6.7.3 Avaliações paralelas

O enfoque principal da pesquisa recai sobre a influência do tipo de sistema de irrigação e tipo de água de abastecimento utilizados sobre os componentes de produção e qualidade microbiológica das plantas, como citado anteriormente. No entanto, esteve-se atento a outros parâmetros que podem ser limitantes para escolha de um ou outro tratamento, sendo eles:

**a. Análise do teor de nitrato nas folhas:** para cada parcela avaliada coletou-se apenas uma planta, escolhida ao acaso. As amostras foram secas em estufa a 65°C, moídas e acondicionadas em sacos de papel devidamente identificados. As análises foram realizadas no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Recursos Naturais, FCA/UNESP, segundo metodologia descrita em Vitti *et al.* (1994).

**b. Monitoramento da fertilidade do solo:** as amostras de solo da área experimental foram coletadas no início e no final do período de irrigações com águas residuárias. Para análise inicial, coletou-se apenas uma amostra de solo para todos os tratamentos, no dia 19 de setembro de 2003. Ao término do experimento, foram coletadas oito amostras compostas, uma para cada tratamento, em 9 de janeiro de 2004. As análises de macro

e micronutrientes foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo, do Departamento de Recursos Naturais, FCA/UNESP, segundo metodologia descrita em Rajj *et al.*(2001).

**c. Comportamento dos sistemas de irrigação:** as observações referentes ao desempenho dos sistemas de irrigação apenas citam as experiências vividas em campo durante a realização do experimento. Neste aspecto, podem-se acrescentar dados relevantes em relação aos problemas de manutenção, dificuldades de instalação, e exposição do trabalhador rural ao efluente utilizado, de acordo com o sistema considerado. No entanto, trata-se de dados meramente observados, sem nenhuma avaliação estatística que comprove maior ou menor eficiência de cada um dos sistemas utilizados.

## **7 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **7.1 Valores de peso de massa fresca e peso de massa seca.**

O experimento realizado permitiu a análise da produção de alface americana sob diferentes aspectos. Foram obtidos os valores médios de peso de massa fresca e seca da cultura nos oito tratamentos mencionados, ainda com a possibilidade de avaliar-se individualmente cada sistema e cada tipo de água utilizada, como pode ser observado nos itens a seguir.

Vale ressaltar que os valores médios de peso de massa fresca e seca foram obtidos a partir da soma da pesagem de todas as plantas úteis de cada parcela, dividindo-se respectivamente pelo número de planta úteis em cada uma.

#### **7.1.1 Avaliação da produção de alface considerando-se o tipo de água de abastecimento e o sistema de irrigação utilizado.**

Os Quadros 10 e 11 apresentam os valores médios de peso de massa fresca e seca de alface americana, considerando-se o tipo de água de abastecimento (água Sabesp ou residuária) e o sistema de irrigação utilizado (gotejamento superficial, gotejamento enterrado, sulcos ou microaspersão).

**Quadro 10** Valores médios de peso de massa fresca de alface americana, considerando-se o tipo de água de abastecimento e o sistema de irrigação utilizado.

Tratamentos	Peso fresco por planta (gramas)
	<i>Sistema de irrigação + Tipo de água utilizada</i>
T1 (Gotejamento superficial + Sabesp)	217,97 bc
T2 (Gotejamento superficial + Água residuária)	486,72 a
T3 (Gotejamento enterrado + Sabesp)	170,45 c
T4 (Gotejamento enterrado + Água residuária)	373,60 ab
T5 (Sulco + Sabesp)	349,90 abc
T6 (Sulco + Água residuária)	408,91 a
T7 (Microaspersão + Sabesp)	408,39 a
T8 (Microaspersão + Água residuária)	326,02 abc
Valor de F	8,00**
C.V. (%)	18,61

Médias seguidas de letras iguais na vertical não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey a 5%.

\*\* , significativo a 1%.

**Quadro 11** Valores médios de peso de massa seca de alface americana, considerando-se o tipo de água de abastecimento e o sistema de irrigação utilizado.

Tratamentos	Peso seco por planta (gramas)
	<i>Sistema de irrigação + Tipo de água utilizada</i>
T1 (Gotejamento superficial + Sabesp)	15,38 cd
T2 (Gotejamento superficial + Água residuária)	28,17 a
T3 (Gotejamento enterrado + Sabesp)	13,01 d
T4 (Gotejamento enterrado + Água residuária)	21,72 b
T5 (Sulco + Sabesp)	19,81 bc
T6 (Sulco + Água residuária)	22,27 b
T7 (Microaspersão + Sabesp)	23,33 b
T8 (Microaspersão + Água residuária)	14,75 d
Valor de F	30,84**
C.V. (%)	8,07

Médias seguidas de letras iguais na vertical não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey a 5%.

\*\* , significativo a 1%.

Os resultados observados no Quadro 10 indicam que os tratamentos T2, T6, T7, T4, T5 e T8 apresentaram os melhores resultados para produção de massa fresca

de alface, não diferindo significativamente entre si. Já os tratamentos T1 e T3 foram os que apresentaram os menores valores de produção, estatisticamente iguais. Vale ressaltar que o tratamento T3 não diferiu significativamente de T5, T8 e T1, e que o tratamento T1 não diferiu significativamente de T5 e T8.

De acordo com o Quadro 11, o tratamento T2 (Gotejamento superficial + Água residuária) apresentou os melhores resultados para produção de massa fresca de alface, diferindo significativamente dos outros tratamentos propostos. Já os tratamentos T1, T8 e T3 foram os que apresentaram os menores valores de produção, não diferindo entre si. Vale ressaltar que o tratamento T1 também não diferiu significativamente de T5.

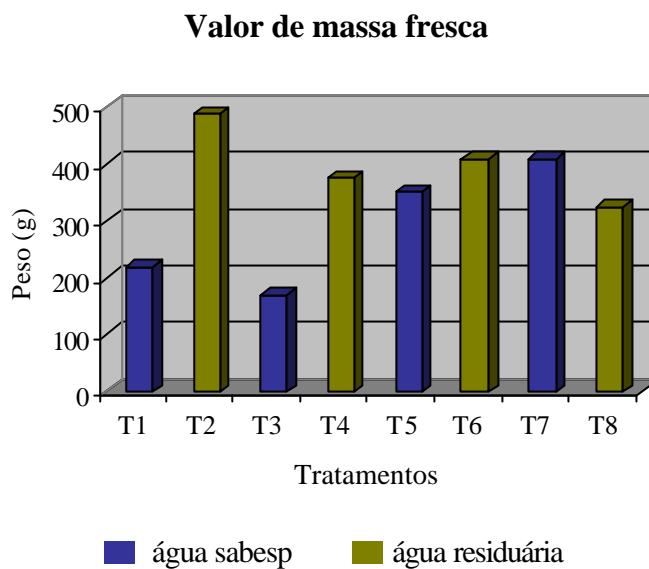
Os Quadros 10 e 11 indicam que o tratamento T2 (gotejamento superficial + água residuária) foi o único tratamento que obteve os maiores valores médios de peso de massa fresca e de massa seca. Para os outros tratamentos, no entanto, não se observou uma correlação entre os valores de peso de massa fresca com os valores de peso de massa seca.

Esta falta de correlação entre os dados pode ter sido causada pela diferença de tempo entre a colheita de uma planta e outra, já que as plantas que foram colhidas por último podem ter perdido mais água por evapotranspiração, afetando seu peso de massa fresca.

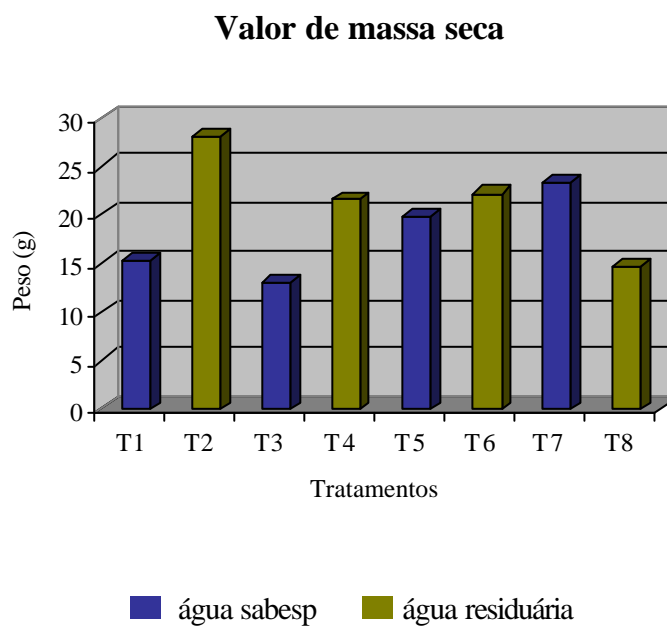
Todos os cuidados, no entanto, foram tomados para que se anulasse este fator, uma vez que todas as parcelas foram colhidas e imediatamente pesadas, em um período de aproximadamente 5 horas.

Os resultados apresentados nos Quadros 10 e 11 podem ser melhor visualizados nas Figuras 7 e 8, respectivamente para produção de massa fresca e seca de alface americana.

**Figura 7** Valores médios de peso de massa fresca de alface americana, considerando-se o tipo de água de abastecimento e o sistema de irrigação utilizado.



**Figura 8** Valores médios de peso de massa seca de alface americana, considerando-se o tipo de água de abastecimento e o sistema de irrigação utilizado.



### 7.1.2 Avaliação da produção de alface irrigada com água Sabesp, em relação ao tipo de sistema utilizado.

Os Quadros 12 e 13 apresentam os valores médios de peso de massa fresca e peso de massa seca de alface americana em relação ao sistema de irrigação utilizado. Nesta avaliação, foram consideradas apenas as parcelas abastecidas com água Sabesp. Desta maneira, pôde-se avaliar se o tipo de sistema de irrigação utilizado, no abastecimento por água Sabesp, influenciou a produção da cultura.

**Quadro 12** Valores médios de peso de massa fresca de alface americana em relação ao tipo de sistema de irrigação utilizado, abastecido por água de qualidade Sabesp.

Tratamentos	Peso fresco por planta (gramas)
	<i>Sabesp</i>
T1 (Gotejamento superficial)	217,97 b
T3 (Gotejamento enterrado)	170,45 b
T5 (Sulco)	349,90 a
T7 (Microaspersão)	408,39 a
Valor de F	38,83**
C.V. (%)	10,77

Médias seguidas de letras iguais na vertical não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey a 5%.

\*\* , significativo a 1%.

**Quadro 13** Valores médios de peso de massa seca de alface americana em relação ao tipo de sistema de irrigação utilizado, abastecido por água de qualidade Sabesp.

Tratamentos	Peso seco por planta (gramas)
	<i>Sabesp</i>
T1 (Gotejamento superficial)	15,38 b
T3 (Gotejamento enterrado)	13,01 b
T5 (Sulco)	19,81 a
T7 (Microaspersão)	23,33 a
Valor de F	34,68**
C.V. (%)	7,56

Médias seguidas de letras iguais na vertical não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey a 5%.

\*\* , significativo a 1%.

Para as parcelas irrigadas com água de qualidade Sabesp, observaram-se maiores valores de peso de massa fresca para os tratamentos T7 e T5, respectivamente para irrigação por microaspersão e sulcos. Os tratamentos T1 e T3, respectivamente irrigados por gotejamento superficial e enterrado, apresentaram os menores valores de produção, diferindo significativamente dos tratamentos T7 e T5.

No Quadro 13, referente aos valores médios de peso de massa seca, observou-se maiores valores para os tratamentos T7 e T5, respectivamente para irrigação por microaspersão e sulcos. Estes valores apresentaram correlação com os resultados obtidos no Quadro 12, para peso de massa fresca. Isto sugere que, na avaliação de sistemas abastecidos por água Sabesp, os sistemas de microaspersão e sulcos seriam os mais indicados para aumento da produção.

Já os tratamentos T1 e T3, respectivamente irrigados por gotejamento superficial e enterrado, apresentaram os menores valores de produção, não diferindo entre si, mas diferentes significativamente de T7 e T5.

### **7.1.3 Avaliação da produção de alface irrigada com água residuária, em relação ao tipo de sistema utilizado**

Os Quadros 14 e 15 apresentam os valores médios de peso de massa fresca e de massa seca de alface americana em relação ao sistema de irrigação utilizado. Nesta avaliação, no entanto, foram consideradas apenas as parcelas abastecidas com água residuária. Desta maneira pôde-se avaliar se o tipo de sistema de irrigação utilizado, na irrigação com água residuária, influenciou a produção da cultura.

Os tratamentos T2, T4, T6 e T8 não apresentaram diferenças significativas na produção de massa fresca, como pode ser observado no Quadro 14. No entanto, o mesmo não ocorreu para os valores de peso de massa fresca, observados a seguir no Quadro 15. Nesta avaliação, constatou-se que o tratamento T2 (gotejamento superficial) obteve um melhor desempenho que os tratamentos T6 e T4 (que não diferiram significativamente) e que o tratamento T8, neste caso o que apresentou menor produção.

**Quadro 14** Valores médios de peso de massa fresca de alface americana em relação ao tipo de sistema de irrigação utilizado, abastecido por água residuária.

Tratamentos	<b>Peso fresco por planta (gramas)</b>
	<i>Água residuária</i>
T2 (Gotejamento superficial)	486,72 a
T4 (Gotejamento enterrado)	373,60 a
T6 (Sulco)	408,91 a
T8 (Microaspersão)	326,02 a
Valor de F	1,92 ns
C.V. (%)	21,25

Médias seguidas de letras iguais na vertical não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey a 5%.  
ns, não significativo.

**Quadro 15** Valores médios de peso de massa seca de alface americana em relação ao tipo de sistema de irrigação utilizado, abastecido por água residuária.

Tratamentos	<b>Peso seco por planta (gramas)</b>
	<i>Água residuária</i>
T2 (Gotejamento superficial)	28,17 a
T4 (Gotejamento enterrado)	21,72 b
T6 (Sulco)	22,27 b
T8 (Microaspersão)	14,75 c
Valor de F	27,66**
C.V. (%)	8,33

Médias seguidas de letras iguais na vertical não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey a 5%.  
\*\*, significativo a 1%.

Os Quadros 14 e 15 indicam que o tratamento T2 (gotejamento superficial) foi o único que obteve maiores valores médios de peso de massa fresca e de massa seca. Pode-se afirmar, portanto, que este seria o melhor sistema de aplicação de água residuária na cultura de alface, considerando-se apenas produção de massa fresca e seca. O sistema de irrigação por gotejamento superficial também apresentou os melhores índices de produção em trabalho realizado por Kandiah (1990), quando comparado aos sistemas de irrigação por sulcos e por aspersão, na aplicação de águas residuárias.

#### 7.1.4 Avaliação da produção de alface irrigada por gotejamento superficial, em relação ao tipo de água de abastecimento.

Os Quadros 16 e 17 apresentam os valores médios de peso de massa fresca e de massa seca de alface americana irrigada através do sistema de gotejamento superficial, em relação ao tipo de água de abastecimento. Desta maneira pôde-se avaliar se o tipo de água utilizada influenciou a produção da cultura, dentro destes tratamentos.

**Quadro 16** Valores médios de peso de massa fresca de alface americana em relação ao tipo de água de abastecimento, em gotejamento superficial.

Tratamentos	<b>Peso fresco por planta (gramas)</b>
	<i>Gotejamento superficial</i>
T1 (Sabesp)	217,97 b
T2 (Água residuária)	486,72 a
Valor de F	12,60*
C.V. (%)	26,32

Médias seguidas de letras iguais na vertical não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey a 5%.

\* , significativo a 5%.

**Quadro 17** Valores médios de peso de massa seca de alface americana em relação ao tipo de água de abastecimento, em gotejamento superficial.

Tratamentos	<b>Peso seco por planta (gramas)</b>
	<i>Gotejamento superficial</i>
T1 (Sabesp)	15,38 b
T2 (Água residuária)	28,17 a
Valor de F	74,74**
C.V. (%)	8,33

Médias seguidas de letras iguais na vertical não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey a 5%.

\*\* , significativo a 1%.

Nas parcelas irrigadas por gotejamento superficial, observou-se uma maior produção de massa fresca e de massa seca no tratamento T2, abastecido com água residuária. Neste caso, acredita-se que a maior quantidade de nutrientes presente neste tipo de água possa ter contribuído para o melhor desenvolvimento e produção das plantas de alface, principalmente pelo nitrogênio presente, responsável pelo crescimento das folhas, e encontrado em altas quantidades na água residuária utilizada, como pode ser observado no

Quadro 8. Resultado semelhante pode ser observado em pesquisa conduzida na cidade de Fresno, Califórnia, onde a irrigação com águas residuárias constitui a única fonte de nutrientes necessários às culturas de algodão, cevada, alfafa, amendoim, uva, milho, aveia sorgo e feijão, sem a necessidade de complementação com fertilizantes químicos (BAIN; ESMAILI, 1976; STATE WATER RESOURCES CONTROL BOARD, 1981).

### 7.1.5 Avaliação da produção de alface irrigada por gotejamento enterrado (subsuperficial), em relação ao tipo de água de abastecimento.

Os Quadros 18 e 19 apresentam os resultados de peso fresco e peso seco médios de alface americana irrigada através do sistema de gotejamento enterrado (subsuperficial), em relação ao tipo de água de abastecimento.

**Quadro 18** Valores médios de peso de massa fresca de alface americana em relação ao tipo de água de abastecimento, em gotejamento enterrado (subsuperficial).

Tratamentos	Peso fresco por planta (gramas)
	<i>Gotejamento enterrado</i>
T3 (Sabesp)	170,45 b
T4 (Água residuária)	373,60 a
Valor de F	100,25*
C.V. (%)	9,14

Médias seguidas de letras iguais na vertical não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey a 5%.

\*, significativo a 5%.

**Quadro 19** Valores médios de peso de massa seca de alface americana em relação ao tipo de água de abastecimento, em gotejamento enterrado (subsuperficial).

Tratamentos	Peso seco por planta (gramas)
	<i>Gotejamento enterrado</i>
T3 (Sabesp)	13,01 b
T4 (Água residuária)	21,72 a
Valor de F	67,83**
C.V. (%)	7,46

Médias seguidas de letras iguais na vertical não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey a 5%.

\*\* , significativo a 1%.

Nas parcelas irrigadas por gotejamento enterrado, assim como anteriormente constatado para o gotejamento superficial, observou-se maiores valores médios de produção de massa fresca e de massa seca de alface para o tratamento abastecido por água residuária. Observa-se, portanto, nos Quadros 18 e 19, que o tratamento T4 difere significativamente do tratamento T3, sugerindo que o tipo de água de abastecimento influenciou a produção de massa fresca e de massa seca de alface, nesta avaliação. Este resultado reforça o que foi sugerido pelo State Water Resources Control Board (1981) e por Bain e Esmaili (1976), que a irrigação com águas residuárias foi responsável por 2/3 dos nutrientes necessários ao cultivo de milho, aveia e capim na cidade de Santa Rosa, Califórnia. Neste caso, o tipo de água utilizada supre não só a quantidade de água necessária, como também contribui para a fertilidade do solo e consequente aumento de produção.

#### **7.1.6 Avaliação da produção de alface irrigada por sulcos, em relação ao tipo de água de abastecimento.**

Os Quadros 20 e 21 apresentam os valores médios de peso de massa fresca e peso de massa seca de alface americana irrigada através do sistema de sulcos, em relação ao tipo de água de abastecimento.

**Quadro 20** Valores médios de peso de massa fresca de alface americana em relação ao tipo de água de abastecimento, em irrigação por sulcos.

Tratamentos	Peso fresco por planta (gramas)
	<i>Sulco</i>
T5 (Sabesp)	349,90 a
T6 (Água residuária)	408,91 a
Valor de F	2,85 ns
C.V. (%)	11,28

Médias seguidas de letras iguais na vertical não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey a 5%. ns, não significativo.

**Quadro 21** Valores médios de peso de massa seca de alface americana em relação ao tipo de água de abastecimento, em irrigação por sulcos.

Tratamentos	Peso seco por planta (gramas)
	<i>Sulco</i>
T5 (Sabesp)	22,27 a
T6 (Água residuária)	19,81 b
Valor de F	10,69*
C.V. (%)	4,39

Médias seguidas de letras iguais na vertical não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey a 5%.

\*, significativo a 5%.

Na irrigação com sulcos, o tipo de água de abastecimento também influenciou a produção de massa fresca e de massa seca de alface americana, como constatado nas irrigações por gotejamento superficial e enterrado. Observou-se maiores produções nas parcelas do tratamento T6 (água residuária), que diferiu significativamente do tratamento T5 (Sabesp).

#### 7.1.7 Avaliação da produção de alface irrigada por microaspersão, em relação ao tipo de água de abastecimento.

Os Quadros 22 e 23 apresentam os valores médios de peso de massa fresca e massa seca de alface americana irrigada através do sistema de microaspersão, em relação ao tipo de água de abastecimento.

**Quadro 22** Valores médios de peso de massa fresca de alface americana em relação ao tipo de água de abastecimento, em microaspersão.

Tratamentos	Peso fresco por planta (gramas)
	<i>Microaspersão</i>
T7 (Sabesp)	408,39 a
T8 (Água residuária)	326,02 a
Valor de F	1,95 ns
C.V. (%)	19,68

Médias seguidas de letras iguais na vertical não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey a 5%.

ns, não significativo.

**Quadro 23** Valores médios de peso de massa seca de alface americana em relação ao tipo de água de abastecimento, em microaspersão.

Tratamentos	Peso seco por planta (gramas)
	<i>Microaspersão</i>
T7 (Sabesp)	23,33 a
T8 (Água residuária)	14,75 b
Valor de F	25,17**
C.V. (%)	11,01

Médias seguidas de letras iguais na vertical não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey a 5%.

\*\* , significativo a 1%.

Nesta avaliação, o tratamento abastecido por água de qualidade Sabesp (T7) foi superior ao tratamento abastecido por água residuária (T8) na produção de massa seca, diferindo significativamente entre si. Na produção de massa fresca, apesar de não apresentar diferença significativa, constata-se que o tratamento T7 também foi superior ao tratamento T8.

Esta avaliação da produção em microaspersão não apresenta resultados compatíveis com os observados nos outros sistemas de irrigação, uma vez que para todos os outros sistemas obteve-se melhores resultados nos tratamentos irrigados com água residuária. A primeira hipótese levantada considera a questão da uniformidade de irrigação por microaspersão, que poderia ter sido afetada pela constante descarga de água residuária por seus emissores. No entanto, acredita-se que este não seja o motivo destes resultados adversos, uma vez que foi realizada uma análise de uniformidade para estes emissores no final do experimento, e que não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos T7 e T8.

Uma outra hipótese, mais coerente com o que foi observado, considera a posição dos canteiros na área experimental e a consequente quantidade de luz recebida em cada um deles. Como citado em Material e Métodos, as parcelas irrigadas por microaspersão foram instaladas separadamente das outras parcelas, para que não houvesse deriva da água de aspersão e consequente contaminação dos outros tratamentos. Nesta separação optou-se por colocar as parcelas que utilizavam microaspersão com água residuária em um extremo da área, como pôde ser observado na Figura 1. Com o desenvolver do experimento, percebeu-se que esta região sofria sombreamento pela vegetação nativa em volta da área, em boa parte do dia. Este sombreamento pode ter interferido na produção de matéria

fresca e seca da cultura, mascarando o desempenho esperado para estes canteiros, irrigados com água residuária.

O problema ocorrido com a microaspersão fica mais evidente comparando-se os oito tratamentos propostos. Se os tratamentos utilizando microaspersão (água Sabesp e água residuária) fossem desprezados, ter-se-ia nos Quadros 10 e 11 resultado mais condizente com o esperado. Nestes quadros, os melhores valores de produção seriam das parcelas irrigadas com água residuárias, justamente as que estariam recebendo maior quantidade de nutrientes à cultura, principalmente o nitrogênio.

#### **7.1.8 Avaliação da produção de alface, considerando-se apenas o tipo de água de abastecimento.**

Nesta avaliação foram consideradas apenas as fontes de abastecimento de água. Desta forma, o tratamento “água residuária” inclui os valores médios de peso de massa fresca e de massa seca de todos os tratamentos que utilizaram este tipo de água (T2, T4, T6 e T8), o que também foi considerado para o tratamento “Sabesp”.

Os Quadros 24 e 25 apresentam o resultados de peso de massa fresca e de massa seca em relação ao tipo de água de abastecimento. Desta forma, foi possível identificar se o tipo de água utilizada influenciou a produção de alface.

**Quadro 24** Valores médios de peso de massa fresca de alface americana em relação ao tipo de água de abastecimento, considerando-se todos os sistemas de irrigação utilizados.

Tratamentos	<b>Peso fresco por planta (gramas)</b>
	<i>Água de abastecimento</i>
T1+T3+T5+T7 (Sabesp)	286,68 b
T2+T4+T6+T8 (Água residuária)	398,81 a
Valor de F	7,63*
C.V. (%)	29,01

Médias seguidas de letras iguais na vertical não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey a 5%.

\* , significativo a 5%.

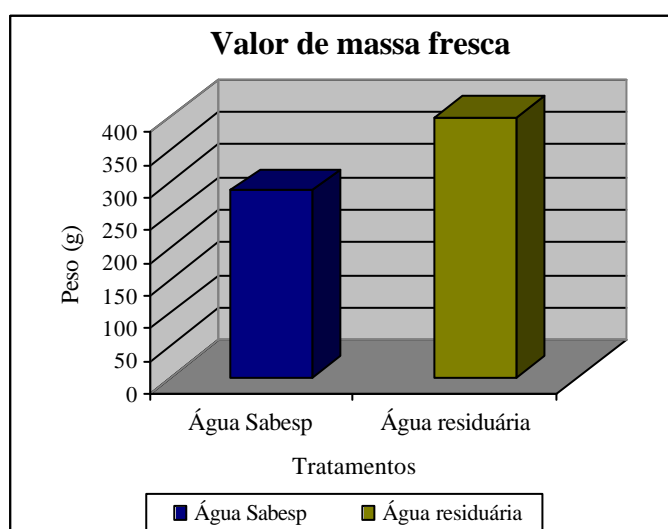
**Quadro 25** Valores médios de peso de massa seca de alface americana em relação ao tipo de água de abastecimento, considerando-se todos os sistemas de irrigação utilizados.

Tratamentos	Peso seco por planta (gramas)
	Água de abastecimento
T1+T3+T5+T7 (Sabesp)	17,88 a
T2+T4+T6+T8 (Água residuária)	21,73 a
Valor de F	3,89 ns
C.V. (%)	24,14

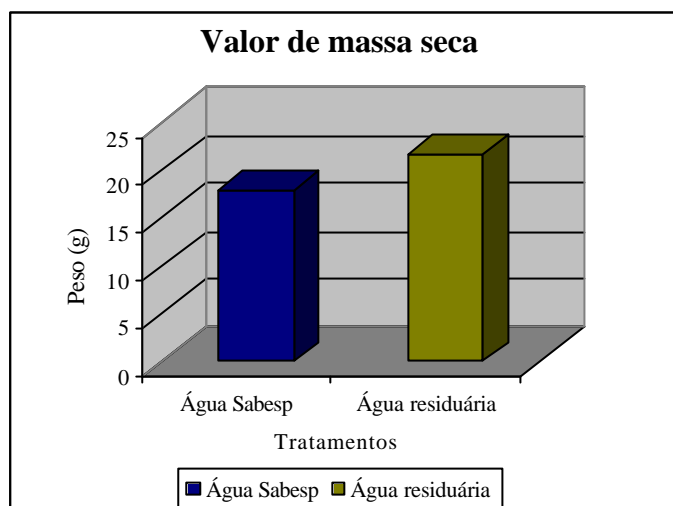
Médias seguidas de letras iguais na vertical não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey a 5%. ns, não significativo.

De acordo com os Quadros 24 e 25, os tratamentos irrigados com água residuária apresentaram os maiores valores de produção, ainda que esta diferença tenha sido significativa apenas na produção de massa fresca. Mesmo com os problemas ocorridos na microaspersão, percebe-se a influência do tipo de água de abastecimento na produção de massa fresca e seca, já que esta foi superior ao considerarmos todos os sistemas envolvidos. O mesmo resultado foi obtido por Azevedo e Oliveira (2001), quando se constatou um aumento de 47% em peso de massa fresca para uma cultura de pepino, irrigada apenas com águas residuárias. Os resultados obtidos podem ser mais bem observados nas Figuras 9 e 10.

**Figura 9** Valores médios de peso de massa fresca de alface americana em relação ao tipo de água de abastecimento, considerando-se todos os sistemas de irrigação utilizados.



**Figura 10** Valores médios de peso de massa fresca de alface americana em relação ao tipo de água de abastecimento, considerando-se todos os sistemas de irrigação utilizados.



## 7.2 Qualidade microbiológica da alface produzida

Como citado anteriormente, as amostras foram coletadas e manipuladas com instrumentos esterilizados, e imediatamente encaminhadas para análise no Laboratório de Microbiologia do Instituto de Biociências, UNESP, Botucatu-SP.

Para esta análise foram consideradas as três repetições de cada tratamento, ou seja, foi coletada uma amostra de cada uma das 24 parcelas experimentais. Nesta avaliação seria impossível a análise de valores médios, pois o objetivo seria verificar as possíveis contaminações existentes em cada canteiro.

Foram realizadas duas análises para este material: *Salmonella* ssp e coliformes fecais (NMP g<sup>-1</sup>). Foi constatada a ausência de *Salmonella* ssp em 25 gramas de produto em todos os tratamentos propostos. Já os resultados obtidos para análise de coliformes fecais (NMP g<sup>-1</sup>) podem ser observados no Quadro 26.

**Quadro 26** Resultado das análises de coliformes fecais (NMP.g<sup>-1</sup>) para a alface produzida.

Tratamentos	Coliformes Fecais (NMP.g <sup>-1</sup> )		
	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3
T1. gotejamento superficial + água Sabesp	11	<3*	<3
T2. gotejamento superficial + água residuária	2400**	2400	2400
T3. gotejamento enterrado + água Sabesp	<3	11	<3
T4. gotejamento enterrado + água residuária	<3	150	11
T5. sulcos + água Sabesp	<3	<3	<3
T6. sulcos + água residuária	150	<3	150
T7. microaspersão + água Sabesp	<3	<3	150
T8. microaspersão + água residuária	2400	2400	2400

\* ausente

\*\* leitura máxima do equipamento

Observa-se no Quadro 26 que existe uma variação dos valores de coliformes fecais dentro de cada tratamento. Esta variação, no entanto, pode ser explicada pela metodologia utilizada na análise das plantas. Em cada tratamento foram avaliados três canteiros distintos, localizados em locais diferentes. De cada canteiro foi coletada apenas uma planta, embalada e encaminhada inteira ao laboratório para análise. No laboratório, esta planta foi triturada, e coletou-se uma pequena amostra de cada planta, com cerca de 25 g, retirada de forma aleatória. Desta maneira podem ocorrer variações no valor de coliformes fecais até mesmo dentro de cada planta, uma vez que as amostras retiradas das folhas mais externas das plantas apresentam maior probabilidade de contaminação. Isto porque a contaminação por coliformes fecais ocorre apenas por contato; não ocorre absorção deste coliforme pela planta, de maneira que as folhas internas da “cabeça” da alface apresentam pequena probabilidade de estarem contaminadas.

Como citado em Material e Métodos (página 33), a Portaria 451 da Secretaria da Vigilância Sanitária / Ministério da Saúde foi adotada como referência para comparação da quantidade de coliformes verificados, por considerar-se a legislação em vigor muito branda. Segundo esta Portaria, já revogada pela RDC 12, seria necessária a ausência de Salmonela em 25 g e a presença de no máximo de 200 coliformes fecais por grama de produto, para hortaliças frescas, refrigeradas ou congeladas, consumidas diretamente, como a alface americana.

Considerando-se esta portaria, e de acordo com o Quadro 26, apenas as alfaces produzidas nos tratamentos T8 e T2 estariam impróprias para o consumo,

respectivamente nos tratamentos que utilizaram microaspersão e gotejamento superficial abastecidos por água residuária.

Durante a microaspersão, a água é fornecida à cultura em forma de chuva, molhando toda a planta. Durante o gotejamento superficial, apesar de mais seguro, ocorre o umedecimento da superfície do solo, que começa na forma de pequenos bulbos que se unem com o passar do tempo, formando uma faixa contínua. Desta forma, a parte consumível da planta entra em contato com a água utilizada, em ambos os sistemas.

Na irrigação por sulcos, a água caminha por sulcos localizados ao lado das plantas, molhando apenas a região próxima às raízes, sem atingir a superfície. Durante a irrigação por gotejamento enterrado ocorre o mesmo processo mencionado para irrigação por gotejamento superficial; no entanto, a quantidade de água que atinge a superfície do solo é muito baixa, minimizando o contato da água contaminada com as plantas. O mecanismo de irrigação que envolve estes dois sistemas dificulta o contato direto da água com as folhas da cultura, diminuindo os riscos de contaminação desta em índices não permitidos pela Legislação.

Na utilização de águas residuárias para irrigação de alface, portanto, os sistemas de microaspersão e gotejamento superficial não podem ser considerados métodos seguros de aplicação, para o experimento avaliado. Quanto ao sistema de irrigação por aspersão, Arman *et al.* (1994) também comenta a suscetibilidade deste método na contaminação de culturas irrigadas por águas residuárias. Já León e Cavallini (1999) apresentam a irrigação por gotejamento superficial e microaspersão como os métodos mais seguros de aplicação de águas residuárias na agricultura, contrariando o que foi constatado neste experimento.

Os sistemas de irrigação por gotejamento enterrado e sulcos seriam os mais recomendados para aplicação deste tipo de água na cultura de alface, considerando-se apenas o aspecto de qualidade microbiológica. Batarseh *et al.* (1998) apresenta a mesma opinião para o sistema de irrigação por gotejamento enterrado; no entanto, este autor obteve resultados discordantes com os constatados para a irrigação por sulcos neste experimento: segundo o autor, a irrigação por sulcos seria considerada como um método muito suscetível à contaminação da cultura na aplicação de águas residuárias. Já León e Cavallini (1999)

afirmam que o sistema de irrigação por sulcos mantém riscos de contaminação ao trabalhador exposto, mas consideram um método seguro em relação à contaminação da cultura.

Os resultados obtidos para irrigação por sulcos e irrigação por gotejamento enterrado, em relação à qualidade microbiológica dos alimentos produzidos, destacam-se principalmente pela qualidade da água utilizada. Segundo a OMS, recomenda-se que água de irrigação tenha um padrão de qualidade bacteriológica de até 1000 CF 100mL<sup>-1</sup>, para irrigações sem restrições, como é o caso da alface (hortaliça consumida *in natura*). Segundo o Quadro 7, a água utilizada nesta pesquisa não apresentava qualidade compatível com a recomendada para uma aplicação segura. Os índices de coliformes fecais foram muito superiores ao recomendados, mas ainda assim obteve-se um produto próprio para o consumo nas irrigações por gotejamento enterrado e sulcos. Nestas condições, resta avaliar se o padrão exigido pela OMS é elevado, ou se a Legislação Brasileira para consumo de alimentos consumidos *in natura* ainda é muito branda.

### **7.3 Avaliação do teor de nitrato nas folhas de alface**

Foram coletadas amostras para determinação do teor de nitrato (N-NO<sub>3</sub>) e nitrogênio total nas folhas da cultura. As análises foram realizadas no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Recursos Naturais, FCA/UNESP, onde se obteve os resultados apresentados no Quadros 27 e 28.

Os tratamentos propostos não apresentaram diferença significativa, sendo que para esta pesquisa o tipo de água de abastecimento (água residuária ou água tratada da Sabesp) não teve influência sobre os teores de nitrato e nitrogênio total acumulados nas folhas da cultura. No entanto, estes dados foram obtidos em apenas um ciclo, período em que a aplicação de nitrogênio via adubação de cobertura, realizada durante a pesquisa, pode ter inibido os efeitos da adição de nitrogênio pela água residuária utilizada na irrigação. Vale lembrar que adubação de nitrogênio em cobertura realizada em todas as parcelas já fornecia a quantidade adequada para o desenvolvimento da cultura, sendo que os nutrientes fornecidos pela irrigação com águas residuárias apenas complementavam esta adubação (ver item 7.4). Acredita-se, portanto, que os teores de nitrato e nitrogênio total acumulados na folha da cultura poderiam ter sido significativos se o experimento fosse conduzido por mais alguns

ciclos, e se o fornecimento de nitrogênio à cultura fosse realizado exclusivamente pelo nitrogênio presente na água residuária.

**Quadro 27** Teor de nitrato ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) em folha de alface americana.

Tratamentos	Teor de <b>nitrato</b> na folha ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	
	Sistema de irrigação + Tipo de água utilizada	
T1. Gotejamento superficial + Sabesp	448,00	a
T2. Gotejamento superficial + Água residuária	177,33	a
T3. Gotejamento enterrado + Sabesp	140,00	a
T4. Gotejamento enterrado + Água residuária	270,67	a
T5. Sulco + Sabesp	168,00	a
T6. Sulco + Água residuária	242,67	a
T7. Microaspersão + Sabesp	130,67	a
T8. Microaspersão + Água residuária	597,33	a
Valor de F	1,73	ns
C.V. (%)	80,91	

Médias seguidas de letras iguais na vertical não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey a 5%.  
ns, não significativo

**Quadro 28** Teor de nitrogênio total em folha de alface americana.

Tratamentos	Teor de <b>nitrogênio total</b> na folha ( $\text{g kg}^{-1}$ )	
	Sistema de irrigação + Tipo de água utilizada	
T1. Gotejamento superficial + Sabesp	23,3	a
T2. Gotejamento superficial + Água residuária	25,0	a
T3. Gotejamento enterrado + Sabesp	25,3	a
T4. Gotejamento enterrado + Água residuária	26,3	a
T5. Sulco + Sabesp	25,7	a
T6. Sulco + Água residuária	26,0	a
T7. Microaspersão + Sabesp	24,7	a
T8. Microaspersão + Água residuária	24,3	a
Valor de F	0,37	ns
C.V. (%)	11,42	

Médias seguidas de letras iguais na vertical não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey a 5%.  
ns, não significativo

Observa-se no Quadro 27 que os teores de nitrato variaram de 177,33 a 597,33  $\text{mg kg}^{-1}$  de massa seca para os tratamentos que utilizaram águas residuárias, e de 130,67 a 448  $\text{mg kg}^{-1}$  para os tratamentos que utilizaram água Sabesp. A maior parte destes valores encontra-se abaixo dos 538  $\text{mg kg}^{-1}$  obtidos por Bonnacarrère *et al.* (2000). Cavarianni

*et al.*(2000) também encontrou valores superiores aos obtidos neste experimento, entre 1030 e 1965 mg kg<sup>-1</sup> para alface americana. Krohn *et al.* (2003) encontrou valores médios de até 2319 mg kg<sup>-1</sup> de massa seca em alface americana. Estes valores, ainda que muito superiores aos obtidos nesta pesquisa, obedecem ao limite de 3000 mg de N-NO<sub>3</sub> kg<sup>-1</sup> de massa seca estabelecido pela comunidade européia.

Considerando que a ingestão máxima diária de nitrato recomendada pela OMS é de 3,65 mg dia<sup>-1</sup> para cada quilograma de peso vivo, veremos que o maior teor de nitrato encontrado, de 597,33 mg kg<sup>-1</sup> para o tratamento T8, oferece total segurança para os consumidores. Para uma pessoa de 70 kg, teríamos um limite diário de ingestão de nitrato de 255,5 mg. O teor de 597,33 mg kg<sup>-1</sup> de massa seca obtido no tratamento T8 pode ser convertido para 29,87 mg kg<sup>-1</sup> de massa fresca, considerando-se uma composição média de 95% de água na cultura. Desta maneira, uma pessoa de 70 kg precisaria comer aproximadamente 8,5 kg de alface americana por dia para atingir o limite de ingestão diária de nitrato recomendado pela OMS, valor este muito superior ao consumo médio anual de um paulistano, que é de aproximadamente 6 gramas.dia<sup>-1</sup> (CEAGESP, 2004).

#### **7.4 Análise de macro e micronutrientes do solo**

As amostras de solo foram coletadas antes e após o período de irrigação da cultura. Nos Quadros 29 e 30, o tratamento “solo inicial” refere-se ao solo no momento do transplante das mudas de alface. A análise correspondente aos demais tratamentos (T1 a T8) corresponde à análise de solo após a colheita, ao término do experimento.

Quanto aos macronutrientes do solo, nota-se no Quadro 29 um pequeno aumento nos teores de matéria orgânica, para os tratamentos que utilizaram águas residuárias (T2, T4, T6 e T8). Nestes tratamentos também ocorrem os maiores valores de CTC, quando comparados aos tratamentos irrigados com água Sabesp. Para os demais parâmetros, no entanto, não se observaram mudanças agronomicamente significativas; estes valores mantiveram-se dentro das mesmas classes de teores apresentadas no Boletim Técnico 100 (RAIJ *et al.*,1997), o que não proporcionaria alteração na recomendação de adubação da cultura.

**Quadro 29** Características químicas do solo da área experimental (macronutrientes), antes e depois das irrigações.

Tratamento	pH	M.O.	P <sub>resina</sub>	H + Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%
	CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>						
Solo inicial	6,0	28	117	20	3,1	65	27	95	115	82
T1	6	27	79	24	2,7	67	29	98	122	81
T2	6,3	36	103	19	1,9	78	29	109	128	85
T3	5,8	25	56	24	1,9	50	18	69	93	75
T4	6,1	28	87	21	2,3	62	23	88	109	80
T5	6,3	28	116	19	1,6	65	25	92	111	83
T6	6,1	34	81	25	1,8	71	27	100	125	80
T7	6	28	108	19	1,9	55	20	77	96	80
T8	6,2	38	145	22	3	82	32	117	140	84

**Quadro 30** Características químicas do solo da área experimental (micronutrientes), antes e depois das irrigações

Tratamento	Boro	Cobre	Ferro	Magnésio	Zinco
	mg dm <sup>-3</sup>				
Solo inicial	0,52	9,4	60	10,3	11,5
T1	0,36	8,1	55	14,9	10,5
T2	0,45	9,5	43	14,1	10,3
T3	0,40	8,2	60	13,1	8,1
T4	0,35	8,8	43	14,7	10,0
T5	0,43	8,6	44	14,1	10,8
T6	0,48	10,0	41	12,3	7,8
T7	0,32	7,1	48	13,9	10,5
T8	0,44	9,8	49	17,4	13,2

Quanto aos micronutrientes do solo (Quadro 30), ocorre comportamento parecido com o observado para os macronutrientes; os valores encontrados também se mantiveram dentro das mesmas classes de teores, sendo que os teores de cobre,

ferro, magnésio e zinco foram muito elevados para todos os tratamentos, independente da água de abastecimento ou do sistema de irrigação utilizado.

Acredita-se que o prazo em que ocorrem as irrigações, durante apenas um ciclo da cultura, não tenha sido suficiente para que ocorressem grandes alterações na composição química do solo, que fossem relevantes para o aumento de produção.

Para as avaliações em que se constatou maior produção nos tratamentos abastecidos por água residuária (avaliação individual das parcelas irrigadas com gotejamento enterrado, gotejamento superficial ou sulcos), o aumento de produção pode ser explicado pelos nutrientes presentes na água de irrigação, que apesar de não terem causado consideráveis mudanças na composição do solo, podem ter sido absorvidos direto da matriz, como relatado por Azevedo e Oliveira (2001).

Dos nutrientes presentes na água residuária (Quadro 8), destaca-se o teor elevado de nitrogênio, justamente um dos principais responsáveis pelo aumento de massa na cultura. Se considerarmos uma aplicação total de água residuária durante o ciclo de aproximadamente 80 mm (ou 80 L por m<sup>2</sup>), e o teor de N presente na água de 159 mg L<sup>-1</sup>, significa que estaríamos adicionando ao solo cerca 13 g de N por metro quadrado, ou aproximadamente 130 kg ha<sup>-1</sup>. Este valor supre a necessidade da cultura em N, recomendada pelo Boletim Técnico 100 (RAIJ *et al.*,1997), que seria de 40 kg/ha no plantio e 60-90 kg/ha em cobertura. A necessidade da cultura em N já era suprida pela adubação de cobertura realizada em todas as parcelas. Mas no caso da irrigação com águas residuárias, este nutriente estaria sendo aplicado junto com a água, em pequenas parcelas e de maneira constante, o que seria favorável para seu melhor aproveitamento pela planta.

## 8 CONCLUSÕES

Nas condições e no período de tempo em que o presente trabalho que foi realizado, pode-se concluir que:

- A aplicação de águas residuárias aumentou a produção de massa fresca e massa seca da cultura de alface, irrigadas por gotejamento (superficial e enterrado) e por sulcos, quando comparada aos tratamentos irrigados com água potável.
- A aplicação de águas residuárias não proporcionou mudanças significativas na fertilidade do solo da área experimental.
- A aplicação de águas residuárias não ocasionou aumentos no acúmulo de nitrato na parte aérea da cultura.
- As plantas produzidas nos tratamentos irrigados com água residuária por gotejamento enterrado e sulcos apresentaram valores de contaminação por coliformes fecais abaixo do tolerado pela Legislação Brasileira; portanto, trata-se de métodos seguros para aplicação de águas residuárias nesta cultura.
- Nenhum dos tratamentos propostos apresentou contaminação das folhas por *Salmonella* ssp.

## **9 CONSIDERAÇÕES GERAIS**

Este item apresenta observações e experiências do autor durante a realização do experimento, não constituindo, portanto, caráter científico. No entanto, acrescenta informações importantes sobre as condições em que o trabalho foi desenvolvido e as propostas para realização de novos projetos nesta linha de pesquisa.

### **9.1 Sistemas de irrigação**

A utilização de quatro sistemas de irrigação diferentes em uma mesma área experimental parece complexa à primeira vista, mas trata-se de um procedimento viável para pesquisas. Durante a pesquisa observou-se algumas vantagens e desvantagens na instalação e manejo destes sistemas, dentre elas:

#### **9.1.1 Gotejamento superficial**

É o sistema de mais fácil instalação e manutenção. Possíveis vazamentos na fita gotejadora são facilmente detectados e a substituição das fitas pode ser feita na hora. Na irrigação com águas residuárias não foram observados problemas de obstrução dos emissores, mesmo não sendo utilizados filtros de tela ou de discos, recomendados para este sistema. O risco de contaminação de trabalhadores rurais é baixo, pois o contato direto com o efluente praticamente não existe. Além disso o sistema opera com baixa pressão, possibilitando a irrigação com bombas de pequeno porte. Outro fato importante

é a economia de água do sistema: as perdas de água são mínimas, necessitando de pequenas quantidades de efluente para reposição da lâmina evapotranspirada.

### **9.1.2 Gotejamento enterrado**

Apresentou todas as vantagens citadas para o item anterior, à exceção da instalação e manutenção mais trabalhosas. No entanto, o contato do trabalhador rural e da própria cultura com efluentes são mínimos, o que diminui ainda mais as chances de contaminação. Mesmo enterrado, o mau funcionamento da fita gotejadora pode ser observado claramente.

### **9.1.3 Sulcos**

Apresenta a vantagem de ter baixo custo, mas é um sistema de difícil manutenção. Mesmo em pequenas distâncias, o sulco perde a forma com facilidade, o que requer manutenção constante durante todo o experimento. Em períodos chuvosos o problema se agrava, merecendo uma atenção especial. Além disso, a exposição de trabalhadores e animais ao efluente de irrigação é muito grande, aumentando os riscos de contaminação. Quanto ao consumo de água, foi o sistema que precisou de maiores vazões, justificando a instalação dos tanques para armazenamento de efluentes.

### **9.1.4 Microaspersão**

A construção de um anteparo de proteção (isolamento) para este sistema foi trabalhosa, mas totalmente viável. Este sistema, no entanto, oferece grandes riscos de contaminação da cultura e de trabalhadores rurais expostos, uma vez o vento pode arrastar partículas de efluente a longas distâncias. Uma vantagem do sistema é que facilita a realização de tratamentos culturais, já que o canteiro fica livre de canos ou sulcos.

## **9.2 Problemas na realização do experimento**

Durante a realização de um experimento, deve-se contar com todos os tipos de imprevistos possíveis, de modo que se tenha solução rápida para qualquer problema. Pensamos na doença da cultura, no adubo ideal, na época de plantio, no manejo da irrigação. No entanto, dificilmente contamos com a possibilidade de furtos dentro de uma Universidade

como a UNESP. Durante a pesquisa, tivemos que lidar com constantes furtos de fios da rede elétrica que conduzia energia à área. Pior que isso, o furto de um conjunto motobomba responsável pelo bombeamento do efluente da estação de tratamento para as caixas de armazenamento. Infelizmente, a reposição deste material ocorria de maneira lenta, causando interrupção no experimento e a necessidade de se reiniciar um novo ciclo, somente após o material ser repostado. A Universidade tomou todas as providências cabíveis para que estes problemas não ocorram outras vezes, mas devemos estar atentos para o fato de que, às vezes, podem-se enfrentar problemas inesperados que atrasem a conclusão da pesquisa, mesmo em Universidades com a infra-estrutura que a UNESP-Botucatu apresenta.

### **9.3 Sugestões para trabalhos futuros**

Acredita-se que alguns parâmetros avaliados não apresentaram diferenças entre os tratamentos pelo curto período de tempo em que o experimento foi realizado. Alterações na fertilidade do solo, bem como o acúmulo de nitrato nas folhas, são parâmetros importantes que deveriam ser avaliados durante um período maior de tempo, para que possa se verificar os efeitos de aplicação de efluentes de esgoto no solo e na cultura ao longo do tempo. Seria interessante, portanto, o desenvolvimento de trabalhos nesta linha de pesquisa que durassem períodos maiores, durante vários ciclos consecutivos da cultura.

## 10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE JUNIOR, A.S. **Manejo da irrigação na cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) através do tanque de classe A.** 1994. 132p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1994.

ANDRIOLO, J. L. **Fisiologia das culturas protegidas.** Santa Maria : Universidade Federal de Santa Maria, 1999. 142 p.

ARMAN, R. et al. Residual contamination of crops irrigated with effluent of different qualities: a field study. **Water Science and Technology**, v.30, n.9, p.239-248, 1994.

AZEVEDO, L. P.; OLIVEIRA, E. L. Reutilização de efluente de tratamento de esgoto na agricultura: uma alternativa para a economia de água e fertilizantes. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNESP, 13., 2001, Bauru. **Anais...** São Paulo: Universidade Estadual Paulista, 2001.

BAIN, R. C.; ESMAILI, H. Santa Rosa effluent irrigation study. s.l., Final Report by Brown and Caldwell Engineers, 1976.

BASTOS, E. A. **Determinação dos coeficientes de cultura da alface (*Lactuca sativa* L.).** 1994. 101f. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1994.

BATARSEH, L.I., RUIRAWI, O.M., SALAMEH, E. **Treated wastewater reuse in agriculture. Part 1: Hussein Medical Center Project.** Amman (Jordan): Water Reseach and Study Center, Jordan University, 1989. 54p.

BONNECARRÈRE, R.A.G. et al. Teores de nitrato em cultivares de alface em hidroponia. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 18, suplemento, p.288-289, 2000.

BOYDEN, B. H.; RABABAH, A. A. Recycling nutrients from municipal wastewater. **Desalination**, v.106, n.1-3, p.241-246, 1996.

BREDA, C. C. **Utilização de lodo de efluente doméstico: efeitos na produtividade agrícola e em alguns aspectos ambientais.** 2003. 143f. Tese (Doutorado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

BROWN, L.R.; RENNER, M.; HALWEIL, B. **Sinais Vitais 2000:** as tendências ambientais que determinarão nosso futuro. Salvador: UMA, 2000. 196p.

CAMARGO, L. S. **As hortaliças e seu cultivo.** 3 ed. Campinas: Fundação Cargill, 1992. 252p.

CAVARIANNI, R.L. et al. Acúmulo de nitrato em cultivares de alface, cultivadas na primavera, em função do ambiente de cultivo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.18, suplemento, p.324-325, 2000.

CEAGESP (Centro de Entrepasto e Armazenamento Geral do Estado de São Paulo). Classificação de Alface. Disponível em <<http://www.ceagesp.gov.br>>. Acesso em maio de 2004.

DOWNES, F.P., ITO, K. Compendium of methods for the **Microbiological examination of foods**. Whashington: APHA, 2001. 600p.

BUENO, C. R. **Adubação nitrogenada em cobertura via fertirrigação por gotejamento para alface americana em ambiente protegido**. 1998. 54 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1998.

CAMPOS, J. R. et al. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. São Paulo: 1999. 464 p. (Projeto PROSAB).

CITY of FRESNO. City of Fresno industrial pretreatment programme. Report by the City of Fresno, California, 1980.

CUNHA, A. R. et al. Classificação climática para o município de Botucatu, SP, segundo Köppen. In: SIMPÓSIO EM ENERGIA NA AGRICULTURA, 1., 1999, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Universidade Estadual Paulista, 1999. p.487-491.

DE LUCA, S. J. Alternativas de controle da poluição. In: BRANCO, S. M. et al. **Hidrologia Ambiental**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1999. p.331-339.

EI-HAMOURI, B. et al. Use of wastewater for crop production under arid and saline conditions: yield and hygienic quality of the crop and soil contaminations. **Water Science and Technology**, v.33, n.10-11, p.327-334, 1996.

ESCOÍN-PEÑA, M.C. Contenido de nitratos en lechugas y espinacas frescas. **Alimentaria**, n.298, p.37-41, 1998.

FAO. **Wastewater treatment and use in agriculture**. Irrigation and Drainage Paper no. 47.

Roma, Itália: FAO, 1992. 125p.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura**: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2000. 402p.

GOMES, E.P. **Produtividade de alface (*Lactuca sativa* L.) sob diferentes lâminas de água aplicadas por meio de irrigação superficial e subsuperficial**. 2001. 70p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

GUNES, A. Influence of partial replacement of nitrate by amino acid nitrogen or urea in the nutrient medium on nitrate accumulation in NFT grown winter lettuce. **Journal of Plant Nutrition**, v.17, n.11, p.1929-1938, 1994.

MAYNARD, D.N. Nitrate accumulation in vegetables. **Advances in Agronomy**, v.28, p.71-118, 1976.

KANDIAH, A. **Criteria and classification of saline water**: water, soil and crop management practices relating to the use of saline water. Roma, Itália: FAO, 1990. p.34-51.

KROHN, N.G. et al. Teores de nitrato em folhas de alface em função do horário de coleta e do tipo de folha amostrada. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.21, n.2, p.216-219, 2003.

LÉON, G.S., CAVALLINI, J.M. **Tratamento e uso de águas residuárias**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1999. 110p.

MELLOUL, A.AIT, HASSANI, L., RAFOUK, L. Salmonella contamination of vegetables irrigated with untreated wastewater. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**. v.17, n.2, p.207-209, 2001.

MACEDO, J. A. B. **Águas e águas**. São Paulo: Varela, 2001. 505p.

MARA, D.; CAIRNCROSS, S. **Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture**: measures for public health protection. Geneva: WHO, 1989. 187 p.

MARA, D. ;CAIRNCROSS, S. **Directrices para el uso sin riesgos de aguas residuales y excretas em agricultura y acuicultura**. Ginebra: WHO, 1990.

MATIAS, G. C. S; FERNANDES, M. S.; COMETTI, N. N. Teor de nitrato nas várias partes da alface. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFRRJ, 10., 2000, Seropédica. **Anais...** Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2000. p.117-118.

McCALL, D.; WILLUMSEN, J. Effects of nitrate, ammonium and chloride application on the yield and nitrate content of soil-grown lettuce. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v.37, n.5, p.698-703, 1998.

MELLOUL, A.; HASSANI, L.; RAFOUK, L. Salmonella contamination of vegetables irrigated with untreated wastewater. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v.17, n.2, p. 207-209, 2001.

OLITTA, A. F. L. **Os métodos de irrigação**. São Paulo: Livraria Nobel, 1984. 267p.

OMS (Organização Mundial de Saúde). **Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture**. Technical Report No. 778. Geneva: WHO, 1989. 74p.

PAPADOPOULOS, I, STYLIANOU, Y. Trickle irrigation of cotton with treated sewage effluent. **Journal of Environmental Quality**, v.17, n.4, p.574-580, 1988.

PAPADOPOULOS, I. Fertirrigação: situação atual e perspectivas para o futuro. In: FOLEGATTI, M. V. **Fertirrigação**: citrus, flores, hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 1999. p.11-84.

PARR, J. F. Chemical and biological considerations for land application of agricultural and municipal wastes. In: FAO. **Organic materials as fertilizers**. Roma: FAO, 1975. Soils Bulletin, 27, p.227-251.

PINAZZA, L.A.; ALIMANDRO, R. **Reestruturação do agribusiness brasileiro**: agronegócios no terceiro milênio. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Agribusiness, 1999. 280p.

RAIJ, B. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1997. 285 p. (Boletim Técnico 100).

RAIJ, B. et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 2001. 285 p.

ROORDA VAN EYSINGA, J.P.N.L. Nitrate and glasshouse vegetables. **Fertilizer Research**, v.5, p.149-156, 1984.

SANTAMARIA, P. Contributo degli ortaggi all' assunzione giornaliera di nitrato – nitrito e nitrosamina. **Industrie-Alimentari**, v.36, n.364, p.1329-1334, 1997.

SCALOPPI, E. J.; BAPTISTELLA, J. R. Considerações sobre a aplicação de efluentes ao solo. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 1989. **Anais...**v.7, p. 1049-1066, 1989.

STATE WATER RESOURCES CONTROL BOARD. Evaluation of agricultural irrigation projects using reclaimed water. Report prepared by Boyle Engineering Corporation of the Office of the Water Recycling, Sacramento, California, 1981.

SWARTZ, J. S. A. computer water balance model for the evaluation of slow-rate land application systems in Florida. Disponível em <[http://www2.dep.state.fl.us/water/wf/](http://www2.dep.state.fl.us/water/wf/dom/landap98.htm)  
<[dom/landap98.htm](http://www2.dep.state.fl.us/water/wf/dom/landap98.htm)>. Acesso em: 20 de jan. 1999.

TUBELIS, A. Conhecimentos práticos sobre **Clima e irrigação**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2001. 215 p.

VITTI, G. C.; FERREIRA, A. C.; MANARIN, C. A. **Métodos de análise de elementos em material vegetal**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 1994. 28 p.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1995. 240 p.