

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**VIABILIDADE DA IRRIGAÇÃO COM ÁGUA CONTAMINADA POR  
ESGOTO DOMÉSTICO NA PRODUÇÃO HORTÍCOLA**

**KAREN MARIA DA COSTA MATTOS**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP – Câmpus de  
Botucatu, para obtenção do título de Doutor  
em Agronomia – Área de Concentração em  
Irrigação e Drenagem

BOTUCATU – SP  
Agosto – 2003

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**VIABILIDADE DA IRRIGAÇÃO COM ÁGUA CONTAMINADA POR  
ESGOTO DOMÉSTICO NA PRODUÇÃO HORTÍCOLA**

**KAREN MARIA DA COSTA MATTOS**

Orientador : Prof. Dr. Raimundo Leite Cruz

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP – Câmpus de  
Botucatu, para obtenção do título de Doutor  
em Agronomia – Área de Concentração em  
Irrigação e Drenagem

BOTUCATU – SP  
Agosto - 2003

*Embora não possamos voltar agora para um novo começar,*

*Podemos começar de novo, para um novo FIM!!!*

**(Chico Xavier)**

À minha filha Beatriz, por ter me dado forças  
para terminar este trabalho e por ter me  
mostrado o verdadeiro significado  
da vida...

..***Dedico*** esta tese,

com todo o meu amor.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, pela orientação e apoio nos momentos difíceis durante a realização deste trabalho.

À minha segunda família, Katty, Bá, Giovanna e o Gabriel por terem me acolhido, me ajudado e pela paciência e carinho.

A minha irmã Kandy pelo ombro amigo e a minha avó Anna por ter me ajudado durante o primeiro ano de vida da Beatriz.

Ao meu irmão Tuca, Teresa, Amanda e a Carolina pelo apoio emocional.

Ao Prof. Dr. Raimundo Leite Cruz, meu orientador e amigo, por ter acreditado e confiado em mim, e por ter me dado todo o apoio para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao amigo Guilherme Augusto Biscaro, responsável pelo experimento de campo o qual forneceu os dados utilizados neste trabalho.

Aos professores Prof. Dr. João Carlos Cury Saad, Prof. Dr. Hélio Grassi Filho, Prof. Dr. Nilson Augusto Villa Nova e ao Prof. Dr. Marcelo Zaiat pelas valiosas contribuições.

À Prof. Dr. Tânia Ruiz pelas sugestões iniciais.

Aos sempre amigos, Evandro, Jeane, Késia, Rafael, Sylvia e Alailson pelos momentos de alegria e cumplicidade que envolvem a nossa valorosa amizade.

À amiga Luiza pelo carinho.

Aos amigos, Ivana Fúrio Batista, Marcelo Lopes, Ieoschua, Alexandre Dalri, Patrick, Marcus Vinícius, Carlos Bacca, Luciana Buccene e outros que não estão aqui citados, mas que com sua amizade contribuíram para que o período do doutorado fosse o mais agradável possível.

Aos amigos e moradores da “Casa da Barbie”, pelos momentos agradáveis que passamos durante todo o período que morei ali.

Aos amigos, Silas e Cerci pela ajuda e carinho.

À todos, que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho

***Muito obrigada !!!***

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	vi
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	ix
<b>RESUMO.....</b>	x
<b>SUMMARY.....</b>	xi
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	1
<b>2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA.....</b>	3
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	14
3.1 Breve Histórico da Utilização de Águas Residuárias na Agricultura .....	14
3.1.1 Uso Agrícola na Califórnia.....	22
3.1.2 Uso Agrícola no Vale do Mezquital, no México.....	23
3.1.3 Utilização de águas residuárias no Peru.....	24
3.1.4 Utilização de águas residuárias em Israel.....	25
3.1.5 Reuso no Brasil.....	25
3.2 Aspectos Quantitativos e Qualitativos da Água.....	29
3.3 Disposição de Esgotos no Solo Através de Escoamento Superficial .....	32
3.3.1 Remoção de microrganismos em sistemas de disposição no solo.....	34

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
3.4 GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS.....	36
3.4.1 Considerações Técnicas da Irrigação com Águas Residuárias .....	36
3.4.2 Seleção de Culturas.....	38
3.4.3 Influência dos Métodos de Irrigação Utilizando Águas Residuárias .....	39
3.4.4 Práticas De Manejo Do Sistema .....	42
3.5 ASPECTOS DE SAÚDE PÚBLICA RELACIONADOS AO REUSO DE	44
ÁGUAS RESIDUÁRIAS.....	
3.5.1 A Água E Sua Relação Com As Doenças.....	44
3.5.2 Qualidade De Água X Incidência De Doenças.....	48
3.5.3 Caracterização Parasitológica Do Esgoto.....	53
3.5.4 Contaminantes Biológicos Estudados Nas Águas Residuárias .....	57
3.5.5 Bactérias.....	59
3.5.5.1 Coliformes totais (CT).....	62
3.5.5.2 Coliformes fecais (CF).....	63
3.5.5.3 Estreptococos fecais (EF).....	66
3.5.6 Helmintos .....	69
3.5.7 Padrões Bacteriológicos Recomendados Para Irrigação .....	71

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
3.6 RISCOS DE CONTAMINAÇÃO COM A IRRIGAÇÃO .....	76
3.6.1 Riscos Reais E Riscos Potenciais.....	76
3.6.2 Avaliação Dos Riscos Reais De Saúde .....	88
3.6.3 Mitigação Dos Riscos À Saúde .....	89
3.6.4 Fator Adicional De Redução De Riscos À Saúde.....	90
3.6.5 Evidências Epidemiológicas.....	91
3.6.6 Controle De Exposição Humana.....	93
3.6.7 Sobrevivência De Microrganismos Patogênicos Em Solos E Plantas .....	94
3.6.8 Sobrevivência De Bactérias em Plantas Irrigadas Com Águas Residuárias	96
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>100</b>
4.1 Local de Montagem do Experimento.....	101
4.2 Sistema de Irrigação.....	102
4.3 O Solo e a Cultura.....	105
4.4 Análises da Alface.....	106
4.5 Metodologia Utilizada para Detecção de Coliformes Fecais.....	108



## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
4.5.1 Preparo das Amostras e Suas Diluições.....	108
4.5.2 Determinação do Número Mais Provável (NMP) de Coliformes Totais e Fecais (KORNACKI; JOHNSON, 2001).....	108
4.6 Metodologia Utilizada para Detecção de <i>Salmonella</i> spp.....	109
4.6.1 Detecção da Presença de <i>Salmonella</i> spp (ANDREWS et al., 2001).....	109
4.6.2 Metodologia Utilizada para Detecção de Parasitas.....	110
4.6.2.1 Método de Faust.....	111
4.6.2.1 Método de Hoffman.....	112
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>113</b>
5.1 Análises microbiológicas de Coliformes fecais .....	116
5.1.1 Análises do solo.....	118
5.1.2 Análise da Água.....	120
5.1.3. Análise da Alface.....	122
5.2 Análises microbiológicas de <i>Salmonella</i> spp.....	123
5.3 Análises microbiológicas da presença de Parasitos.....	124
5.3.1 Análises do solo.....	126
5.3.2 Análise da Água.....	127

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
5.3.3 Análise da Alface.....	128
<b>6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>129</b>
<b>7 RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>130</b>
<b>8 BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>131</b>
<b>ANEXO 1.....</b>	<b>150</b>
<b>ANEXO 2.....</b>	<b>151</b>

**LISTA DE TABELAS**

	<b>Página</b>
<b>Tabela 1</b> – Déficit na oferta de saneamento básico no Brasil (1998).....	6
<b>Tabela 2A</b> – Diretrizes de qualidade microbiológica recomendada para esgotos tratados utilizados para a irrigação de culturas agrícolas.....	11
<b>Tabela 2B</b> – Resolução do CONAMA destinadas às águas de irrigação.....	13
<b>Tabela 3</b> – Áreas irrigadas com esgoto nos diversos países.....	17
<b>Tabela 4</b> – Reutilização de esgotos domésticos na irrigação em zonas semi-áridas.....	18
<b>Tabela 5</b> – Qualidade microbiológica das verduras comercializadas em MG e no RN...	26
<b>Tabela 6</b> – Qualidade microbiológica de hortaliças comercializadas em São Paulo.....	27
<b>Tabela 7</b> – Algumas doenças de veiculação hídrica relacionadas com os microrganismos patogênicos presentes na água residuária.....	51
<b>Tabela 8</b> – Principais patogênicos presentes nas águas residuárias sem tratamento e as enfermidades por eles causados.....	54

## LISTA DE TABELAS

	<b>Página</b>
<b>Tabela 9</b> – Fontes de origem e tempo de sobrevivência dos patogênicos no solo e nas superfícies das plantas.....	55
<b>Tabela 10</b> – Rotas de Transmissão de patogênicos .....	56
<b>Tabela 11</b> – Percentuais Dos Gêneros De Coliformes Em Fezes Humanas E De Alguns Animais.....	67
<b>Tabela 12</b> – Estimativa do número de microrganismos indicadores por grama de fezes em alguns animais.....	68
<b>Tabela 13</b> – Quantidade de microrganismos necessária para iniciar enfermidades em seres humanos.....	68
<b>Tabela 14.A</b> – Critérios de qualidade bacteriológica de frutas e hortaliças no Brasil.....	74
<b>Tabela 14.B</b> – Presença de <i>Salmonellae</i> e organismos indicadores em hortaliças.....	75
<b>Tabela 15</b> – Remoção ou destruição de bactérias por diferentes processos de tratamento de esgotos. ....	79
<b>Tabela 16.A</b> – Classificação ambiental das infecções vinculadas a excretas. ....	82
<b>Tabela 16b</b> –Características Epidemiológicas básicas de patógenos excretados. Categoria I (não latente, baixa dose infecciosa).....	83
<b>Tabela 16c</b> –Características Epidemiológicas dos Organismos Patogênicos Categoria II (não latente, média - alta dose infecciosa, sobrevivência moderada, capacidade de multiplicação).....	84

## LISTA DE TABELAS

	<b>Página</b>
<b>Tabela 16d</b> –Características Epidemiológicas dos Organismos Patogênicos. Categoria III (latente, sobrevivência prolongada, ausência de hospedeiros intermediários).....	85
<b>Tabela 17</b> – Características Epidemiológicas dos Organismos Patogênicos .....	87
<b>Tabela 18.A</b> – Sobrevivência de Patogênicos e Coliformes em Produtos Agrícolas e Forrageiros.....	95
<b>Tabela 18.B</b> – Tempo de sobrevivência de patogênicos em solo a 20°C.....	96
<b>Tabela 19</b> – Contaminação de produtos agrícolas irrigados com águas residuárias.....	98
<b>Tabela 20</b> - Valores de Kc adotados.....	103
<b>Tabela 21</b> - Análises da presença de coliformes fecais em amostras de solo .....	116
<b>Tabela 22</b> - Análises da presença de coliformes fecais em amostras de água.....	118
<b>Tabela 23</b> - Análises da presença de coliformes fecais em amostras de alface.....	120
<b>Tabela 24</b> - Análises da presença de ovos e larvas em amostras de solo.....	124
<b>Tabela 25</b> - Presença de ovos e larvas em amostras de água.....	125
<b>Tabela 26</b> - Análises da presença de ovos e larvas em amostras de alface.....	126

**LISTA DE FIGURAS**

	<b>Página</b>
<b>Figura 1</b> – Fluxograma de propagação de doenças por excretas.....	56
<b>Figura 2</b> – Fluxograma dos riscos de transmissão de doenças via irrigação com águas residuárias.....	78

VIABILIDADE DA IRRIGAÇÃO COM ÁGUA CONTAMINADA POR ESGOTO DOMÉSTICO NA PRODUÇÃO HORTÍCOLA. Botucatu, 2003. 146 p.

Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Autora: Karen Maria da Costa Mattos

Orientador: Raimundo Leite Cruz

## RESUMO

Este trabalho teve como finalidade avaliar a viabilidade do uso da água do Ribeirão Lavapés, que recebe os esgotos doméstico e industrial não tratados da cidade de Botucatu, São Paulo, para irrigação de hortaliças. Os sistemas analisados foram os de irrigação localizada por gotejamento disposto superficialmente e subsuperficialmente. Análises de microrganismos como, os coliformes fecais, *Salmonella* spp e formas evolutivas de parasitas humanos (cistos de protozoários e ovos de helmintos), presentes no solo, na água e na cultura foram efetuadas com a finalidade de associar a possível presença destes, com a incidência de doenças, uma vez que este ribeirão é de grande importância para a cidade. Nas amostras analisadas, observa-se que as concentrações médias de coliformes fecais da água de irrigação e do ribeirão variaram entre  $1,1 \times 10^6$  e  $1,1 \times 10^9$  NMP/100ml, valores estes bem acima do limite  $< 10^3$  UFC/100ml recomendado pela WHO (1989) para irrigação irrestrita, como é o caso das alfaces, que são consumidas cruas, mostrando que realmente existe o risco de proliferação de doenças. Concluiu-se que os indicadores de poluição comprovaram que o Ribeirão Lavapés está contaminado e que a utilização de suas águas para irrigação no cinturão verde de Botucatu-SP, principalmente no caso de irrigação de hortaliças, é um grande risco à saúde da população e que a utilização dos sistemas de irrigação por aspersão ou pelo uso de mangueiras deve ser descartado, devido ao fato destes sistemas depositarem água na parte aérea das plantas causando a contaminação. Já a irrigação por gotejamento quer seja,

superficial ou subsuperficial pode evitar a contaminação das plantas, recomendando-se a utilização do sistema subsuperficial que apresenta um menor risco quando utilizado com um manejo adequado, pois este sistema deposita a água diretamente nas raízes das plantas evitando a contaminação das folhas e minimizando a contaminação do solo. Mesmo com o manejo adequado do sistema de irrigação, é importante que antes do consumo haja uma desinfecção caseira das hortaliças, principalmente as que são consumidas cruas, para evitar uma contaminação.

---

Palavras-chave: irrigação localizada, reúso de água, contaminação de hortaliças.



THE USE OF POLLUTED WATER WITH DOMESTIC SEWER IN IRRIGATION WITH THE OBJECTIVE OF THE PRODUCTION OF HORTICULTURAL AND YOUR ASSOCIATION THE INCIDENCE OF DISEASES. Botucatu, 2003. 146 p.

Thesis (Doctorate in Agronomy / Irrigation and Drainage) - University of Agronomic Sciences of UNESP - State University of São Paulo

Author: Karen Maria da Costa Mattos

Advisor: Raimundo Leite Cruz

## SUMMARY

This work has as objective to evaluate the viability of the use of Ribeirão Lavapés's water, that receives the sewers domestic and industrial, without treatment, of the city of Botucatu, São Paulo, for irrigation of vegetables. The systems of located irrigations by leak, depositing water in the soil superficially and under the surface were analyzed. Analyze of microorganisms as, the fecal coliformes, Salmonella spp and evolutionary forms of human parasites (cysts of protozoa and helmintos eggs), presents in the soil, in the water and in the culture they were made with the purpose of associating the possible presence of these with the incidence of diseases, once this course of water is of great importance for the city, because it drains the whole periphery where is used as spring of water for irrigation. In the analyzed samples, it is observed that the medium concentrations of fecal coliformes of the irrigation water and of the stream they varied between  $1,1 \times 10^6$  and  $1,1 \times 10^9$  NMP/100ml, values these well above the limit  $<10^3$  UFC/100ml recommended by WHO (1989) for unrestricted irrigation, as it is the case of the lettuces, that is consumed raw, showing, that the risk of proliferation of diseases really exists. It was concluded, that the pollution indicators proved that Ribeirão Lavapés is polluted and that the use of your waters for irrigation in the green belt of Botucatu-SP, mainly in the case of irrigation of vegetables, it is a great risk to the health of the population and that the use of the overhead irrigations for aspersion or for the use of hoses it should be discarded, due to the fact of these systems deposit water in the aerial part of the plants causing the contamination. Already the irrigation

for leak, wants it is, superficial or under thr surface it can avoid the contamination of the plants, being recommended the use of the system under the surface, that presents a smaller risk, when used with an appropriate handling, because this system deposits the water directly in the roots of the plants avoiding the contamination of the leaves and minimizing the contamination of the soil. Even with the appropriate handling of the overhead irrigation, it is important that before the consumption, there is a homelike disinfection of the vegetables, mainly the ones that are consumed raw, to avoid a contamination.

---

Word-key: located irrigation, reuso of water, contamination of vegetables.

## **1. INTRODUÇÃO**

A escolha do método de irrigação, a ser usado em uma determinada área, deve ser baseada na viabilidade técnica e econômica do projeto e nos seus benefícios sociais. Em geral, os sistemas de irrigação por superfície são os de menor custo de implantação, quando comparados aos de aspersão e aos de localizada, que tem o maior custo.

A irrigação por superfície compreende os métodos de irrigação nos quais a condução da água é feita diretamente sobre a superfície do solo até qualquer ponto de infiltração dentro da parcela irrigada e é feita diretamente sobre a superfície do solo.

A irrigação por aspersão é o método de irrigação em que a água é aspergida sobre a superfície do terreno, assemelhando-se a uma chuva, por causa do fracionamento do jato d'água em gotas.

A irrigação localizada compreende os sistemas de irrigação nos quais a água é aplicada ao solo, diretamente sobre a região radicular, em pequenas intensidades, porém com alta frequência, de modo que mantenha a umidade do solo na zona radicular próximo à “capacidade de campo”.

Os diferentes métodos de irrigação, devido as características próprias de cada um, podem levar à contaminação de toda a planta, da parte aérea ou apenas do sistema radicular, quando é utilizada na irrigação água contaminada por esgotos.

Na irrigação localizada, como a água é aplicada diretamente ao sistema radicular, a contaminação de folhas e frutos dificilmente ocorre. Na técnica de irrigação subsuperficial, uma variação da irrigação localizada, a aplicação de água é feita abaixo da superfície do solo, tendo em vista o movimento por capilaridade para a zona radicular da cultura, fazendo com que o risco de contaminação torne-se ainda menor.

Este trabalho teve por objetivo o estudo de uma área experimental irrigada com um sistema de irrigação localizada instalado à margem direita do ribeirão “Lavapés” cuja água é bastante contaminada pelo despejo do esgoto proveniente de grande parte da cidade de Botucatu, SP. Nesta área foi cultivada alface, cultivar Tainá, irrigada com o uso das duas técnicas já descritas, irrigação superficial e irrigação subsuperficial.

Análises de microrganismos presentes na água e na cultura foram efetuadas com a finalidade de associar a possível presença destes com a incidência de doenças na cidade de Botucatu, SP, considerando a importância do ribeirão para a cidade.

O Ribeirão Lavapés recebe os esgotos doméstico e industrial, sem tratamento, da cidade de Botucatu, além dos dejetos de dois curtiúmes locais o que impede que haja qualquer aproveitamento imediato de suas águas.

A bacia hidrográfica deste ribeirão foi descrita por Leopoldo (1989) e apresenta uma área de 41 km<sup>2</sup>, considerando-se a saída na FCA, cuja ocupação mostrava-se assim distribuída: 47,5 % de área urbana; 7,4 % por culturas diversas; 7,3 % por matas naturais ou reflorestamento; 37,7 % por campos e 0,1 % por outros tipos de cobertura.

Esta bacia apresenta uma densidade de drenagem de 1,36 km.km<sup>-2</sup> e declividade média de 11 %. A altitude média é de 825 metros. O Ribeirão Lavapés é o seu principal curso d'água, com 11 km de extensão e corta a cidade de Botucatu de SO para NE. Possui vários afluentes, entre os quais o Antartica, Boa Vista, Cascata, Tanquinho e Água Fria. A descarga média da bacia do Lavapés foi estimada em 0,7 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, correspondendo a uma produção diária de 60480 m<sup>3</sup>.

## **2. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA**

Quando se aborda o Ciclo Hidrológico, em suas fases básicas, tem-se a falsa idéia de que a água, sendo um recurso natural renovável, se apresenta como um produto inesgotável e, assim sendo, não haveria maiores problemas quanto a sua pronta disponibilidade para atender as mais diversas finalidades. Esse pensamento decorre do fato de que toda água existente na superfície do planeta está sujeita a evaporação e retorna em seguida na forma de chuva ou qualquer outro tipo de precipitação.

Infelizmente a realidade vem mostrando que, devido a falta de critérios definidos no seu uso, há uma tendência cada vez maior de escassez desse indispensável recurso, prevendo-se, segundo alguns pesquisadores, a possível ocorrência de conflitos mundiais, prejudicando o desenvolvimento de muitos países e desencadeando disputas entre nações instáveis da África e Oriente Médio, que se localizam em regiões menos privilegiadas. Algumas disputas já vem sendo observadas entre Egito e Etiópia (pelas águas do Rio Nilo); Iraque e Turquia (pelos rios Eufrates e Tigre) e Jordânia, Síria e Israel (pelo Rio Jordão). Estima-se, segundo a Organização das Nações Unidas (ONU) que, no mundo, já existem cerca de 70 regiões em conflitos pela posse de fontes superficiais de água potável.

Torna-se claro que esta crescente preocupação tem sérias razões de ser, fundamentando-se na presença dessas possíveis crises futuras que seriam decorrentes de sua insuficiente disponibilidade frente as necessidades de uma comunidade qualquer comprometendo, direta ou indiretamente, o seu desenvolvimento sócio-econômico.

A Terra apresenta 75% de sua superfície coberta por água, o que equivale a uma área de 372 milhões de quilômetros. Porém, 97,3% desse total são áreas oceânicas e, por serem salgadas, não permitem um imediato aproveitamento para o consumo humano. Existem ainda, 2,1% imobilizados nas geleiras e calotas polares, restando apenas 0,63% de água “doce” em estado líquido para o consumo humano. Do pequeno percentual restante, ainda há uma parte de exploração inviável, imprópria para o consumo (Breda, 1999).

Desde 1950 até os dias de hoje o consumo mundial de água triplicou e ela já se tornou recurso escasso em mais de 20 países, atingindo direta ou indiretamente, uma população de aproximadamente 230 milhões de pessoas. Além disso, do total da população mundial, 1,2 bilhão de habitantes dispõem de menos água do que o necessário. O crescimento do consumo de água no planeta tem crescido em um ritmo superior ao da população (Pereira de Brito, 2000). Há indícios, que por volta de 2025, haverá sérios problemas de escassez de água no planeta (Vomero et al, 2000).

Em função da constante expansão demográfica e da evolução tecnológica, quantidades maiores de água são exigidas, pois esse recurso é utilizado em todos os setores da economia mundial, apresentando forte ligação com o desenvolvimento dos países, em outras palavras, quanto mais desenvolvido for um país, maior será sua necessidade por água, seja para cumprir as necessidades da população (por exemplo: abastecimento, higiene e lazer), ou para o funcionamento de indústrias, usinas hidrelétricas e também para a produção de alimentos.

O desenvolvimento dos países associado ao maior consumo de água traz, de um modo geral, conseqüências muitas vezes indesejáveis, como a poluição dos cursos de água; o assoreamento dos rios (diretamente ligado a compactação e a erosão do

solo); as enchentes; além do elevado desperdício, que são marcas registradas daquelas atividades econômicas.

Todos esses problemas causam maior desorganização do ciclo natural de reposição de água nos mananciais e reservatórios, pois faz com que sejam retiradas quantidades superiores à própria capacidade de reposição por parte da natureza.

O Brasil é o país mais rico do mundo em água potável, estimando-se que possui em seus domínios cerca de 8% do total mundial desse recurso. Mas ao observar essa situação com mais cautela, nota-se que 80% de toda essa água estão concentrados na Bacia Amazônica, onde se localizam apenas 5% da população, restando para os outros 95% dos habitantes apenas 20% de toda água potável do território brasileiro (Breda, 1999).

O privilégio do Brasil quanto aos recursos hídricos não se resume apenas às águas superficiais, devem-se considerar também a significativa presença de água subterrânea. Nesse sentido destaca-se o Aquífero Guarany (no estado de São Paulo - Aquífero Botucatu) que é um dos maiores reservatórios subterrâneos do mundo, abrangendo 7 estados brasileiros, além de regiões do Uruguai, Paraguai e Argentina. No Brasil, prevê-se que cerca 40% da água destinada ao abastecimento urbano é de origem subterrânea (Breda, 1999).

Além das possíveis restrições futuras quanto a disponibilidade de água no tocante a aspectos quantitativos, há que se considerar também os aspectos qualitativos, que impedem a imediata reutilização das águas sem prévio tratamento, o qual, às vezes, pode se mostrar complexo e oneroso para o poder público ou mesmo para a iniciativa privada.

Os diversos tipos de poluição são os principais causadores da redução e pronta disponibilidade de água quando se refere aos aspectos qualitativos.

Pesquisas mostram que metade da população não dispõe de rede de esgotos, sendo que muitos ainda se encontram dispostos a “céu aberto”. De forma mais

grave ainda, sabe-se que 90% dos esgotos estão sendo despejados nos cursos de água naturais sem nenhum tratamento prévio, comprometendo a qualidade dos mesmos.

Segundo dados do INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE, 2001), cerca de 88 milhões de brasileiros vivem em domicílios desprovidos de sistemas de coleta de esgoto sanitário. Dados do Governo Federal publicados no “Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto –1988”, apontam que apenas 24% do esgoto sanitário produzido nos domicílios atendidos pelas 27 grandes companhias estaduais prestadoras de serviços de saneamento recebe tratamento.

Conforme observado na Tabela 1, a produção de esgoto sanitário ocorre em 41,8 milhões de domicílios brasileiros; desse total, 31,4 milhões produzem esgoto de forma mais intensiva, por serem atendidos por sistemas de abastecimento de água; são “mini-fábricas” de esgoto sanitário, por utilizarem a água fornecida pelas redes de abastecimento. Dessas “mini-fábricas”, 12,8 milhões despejam diariamente o esgoto sanitário à céu aberto ou em fossas sépticas, que apresentam elevado potencial de contaminação do solo, do lençol freático e dos mananciais superficiais.

**Tabela 1 – Déficit na oferta de saneamento básico no Brasil (1998)**

Área	Nº de domicílios	Domicílios não atendidos por rede geral de água		Domicílios não atendidos com coleta de esgoto sanitário		Domicílios atendidos por rede de água e não atendidos com coleta de esgoto sanitário	
	(milhões)	(milhões)	%	(milhões)	%	(milhões)	%
Urbana	34	4	11,8	16,6	48,8	12,6	37,1
Rural	7,8	6,4	82,1	6,6	84,6	0,2	2,6
<b>Total</b>	41,8	10,4	24,9	23,2	55,5	12,8	30,6

Fonte: Adaptado PESQUISA NACIONAL POR AMOSTRA DE DOMICÍLIO (PNAD) 1998, IBGE

Nota: na área rural, o déficit em esgoto é determinado pela inexistência de rede coletora e fossa séptica



Os problemas decorrentes da falta de um sistema de coleta, tratamento e disposição final do esgoto sanitário são enormemente agravados quando existe fornecimento de água tratada à população, sendo possível afirmar que para cada metro cúbico de água utilizada produz-se aproximadamente 80% de esgoto sanitário.

A situação do setor de saneamento no Brasil tem conseqüências muito graves para a qualidade de vida da população, principalmente aquela mais pobre, residente na periferia das grandes cidades ou nas pequenas e médias cidades do interior. A relação entre saúde e saneamento é, portanto, muito estreita, podendo-se dizer que o primeiro jamais poderá existir plenamente sem a presença do segundo (Esgoto É Vida, 2000).

Os dados apresentados a seguir mostram a precariedade dos serviços de saneamento no Brasil e no mundo, o que explica o agravamento de algumas enfermidades já controladas, o ressurgimento de outras que estavam erradicadas e o descompasso entre o desenvolvimento econômico e o quadro de saúde pública.

- ✓ No mundo, 8 milhões de crianças morrem anualmente em decorrência de enfermidades relacionadas à falta de saneamento, o que significa 913 crianças por hora, 15 por minuto ou 1 a cada quatro segundos (Iacomini, 1999).
- ✓ Segundo dados da ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE – OMS, cerca de 50% das internações em leitos hospitalares em países subdesenvolvidos são decorrentes de doenças transmitidas pela água e boa parte das causas da mortalidade infantil também são decorrentes desse fato (Krieger apud Campos, 1993).
- ✓ No Brasil, a falta de saneamento básico é a principal responsável pela morte por diarreia de menores de 5 anos (Falcão, 1999).
- ✓ 65% das internações hospitalares de crianças menores de 10 anos estão associadas à falta de saneamento básico (BNDES, 1998).

- ✓ Em 1997, morreram 50 pessoas por dia no Brasil vitimadas de enfermidades relacionadas à falta de saneamento básico. Destas, 40% eram crianças de 0 a 4 anos de idade ou seja, o Brasil registra a morte de 20 crianças nesta faixa etária por dia, o que significa a morte de uma criança de 0 a 4 anos de idade a cada 72 minutos em decorrência da falta de saneamento básico, principalmente de esgoto sanitário (DATASUS, 2000).
- ✓ A eficácia dos programas federais de combate à mortalidade infantil esbarra na falta de investimento em saneamento básico e quando esse é realizado, os índices de mortalidade infantil diminuem (Falcão, 1999).
- ✓ A utilização do soro caseiro, uma das principais armas para evitar a diarreia, só faz o efeito desejado se a água utilizada no preparo for limpa (Falcão, 1999).

Segundo a Fundação Nacional de Saúde, a FUNASA (2000), o investimento em saneamento básico tem efeitos múltiplos positivos e afetam diferentes aspectos em um município. Podemos destacar como os principais efeitos: a melhoria da saúde da população e a redução de recursos aplicados ao tratamento de doenças; a diminuição dos custos no tratamento de água para abastecimento; a melhoria do potencial produtivo das pessoas, a eliminação de poluição estética/visual, o desenvolvimento do turismo e a preservação ambiental.

E ainda segundo a FUNASA (2000) o investimento em saneamento tem efeito direto na redução dos gastos públicos com serviços de saúde, para cada R\$ 1,00 (um real) investido no setor de saneamento economiza-se R\$ 4,00 (quatro reais) na área de medicina curativa.

Para preservar o meio ambiente e a saúde da população, tornam-se necessários desenvolver processos para acelerar o tratamento e reduzir os contaminantes dos despejos, pois com o crescimento da população, ocorre um aumento no consumo de

água e o reuso de água cresce juntamente com a exposição da população aos agentes patogênicos.

Neste contexto, a carência desses recursos hídricos favorece a discussão sobre a necessidade da reutilização de águas de qualidade inferior em diversas atividades menos exigentes como, por exemplo, na agricultura irrigada.

Uma das formas de reutilização dessas águas na agricultura consolida-se através de esgotos tratados, o que é prática antiga em muitas partes do mundo. As chamadas “fazendas de esgotos”, na Europa, são centenárias, enquanto nos Estados Unidos essa prática aconteceu a partir de 1870 (Paganini, 1997).

Além do controle da poluição, da economia de água e de fertilizantes, da reciclagem de nutrientes e do aumento da produção agrícola, os inegáveis benefícios, o reuso planejado de efluentes também desperta cada vez mais o interesse de países com escassez de água para abastecimento público. Os exemplos a nível mundial vão desde o reuso planejado como parte de políticas governamentais para otimização dos recursos hídricos, como nos Estados Unidos e em Israel, até as práticas espontâneas por parte de pequenos agricultores como na Índia e no Peru (Bastos, 1999).

Como exemplo de reuso planejado, cabe destacar o vale do Mezquital, no México, onde se utiliza um volume de 1.356 milhões de metros cúbicos de esgotos tratados por ano, o equivalente a  $43 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Sobre uma área de 70.000 hectares assentaram-se 45.000 famílias de agricultores, e cultivam-se principalmente milho e alfafa e em menor proporção, aveia, cevada, feijão, trigo, cabaça, pimentão, tomate, etc (Léon & Cavallini, 1999).

Em se tratando de reutilização de esgotos por disposição no solo, o Brasil oferece condições excepcionalmente favoráveis, tanto pela disponibilidade de áreas como pelas condições climáticas adequadas, entre outros fatores (Campos et al., 1999). Além dessas vantagens, o reuso tem aceitação social assegurada, uma vez que no Brasil os aspectos religiosos não oferecem nenhum empecilho cultural à utilização de água residual na agricultura (König, 1999).

De acordo com Mota (1997), o reuso de águas é uma prática que deve ser incentivada, principalmente no Nordeste do Brasil, pois se constitui de uma fonte de suprimento de água, produto escasso nesta região; proporciona a liberação de água disponível, para outros fins, como por exemplo o abastecimento humano; evita o lançamento de efluentes de estações de tratamento de esgotos em corpos d'água, os quais, em grande parte, são intermitentes, com vazão nula durante certo período do ano; beneficia as culturas irrigadas, uma vez que o esgoto doméstico contém nitrogênio e fósforo, nutrientes úteis ao solo. Evidentemente, às vantagens citadas associam-se alguns inconvenientes, principalmente aqueles de ordem sanitária que provocam riscos de contaminação por organismos patogênicos, como os coliformes fecais, e os helmintos, que são de interesse especial em análise de água ou na ingestão de alimentos contaminados.

Se for constatada a contaminação por coliformes fecais na água, pode-se supor a presença de organismos patogênicos, que causam doenças como febre tifóide, febres entéricas e ainda infecções generalizadas com acesso à corrente sanguínea e a urina. Alguns organismos patogênicos podem infectar o homem a partir das fezes de outros animais, sendo de suma importância que este fator seja considerado como uma barreira sanitária específica (Paganini, 1997).

Os riscos de contaminação por helmintos, em particular os nematóides dos gêneros *Ascaris*, *Trichuris* e os *Ancilostomídeos* são significativos, uma vez que os ovos de alguns microrganismos como, por exemplo, *Ascaris*, têm um tempo de latência bastante elevado no solo (6 anos) e, nos vegetais, (27-35 dias), o que propicia a transmissão de doenças gastrointestinais.

Cabe ressaltar também, que os ovos ingeridos por um novo hospedeiro, liberam suas larvas no intestino delgado, que continuam seu ciclo normal para formar parasitos adultos (Galvan & Victorica apud Zerbini, 2000).

No entanto, para minimizar os riscos de contaminação, é necessário que se sigam determinados padrões de qualidade exigidos para às águas de irrigação.

A Organização Mundial de Saúde (OMS) recomenda que as águas utilizadas nas irrigações irrestritas tenham menos de 1 ovo de nematóide por litro e, quanto aos coliformes fecais estabeleceu um limite máximo de 1000/100 ml. A seguir são apresentadas as diretrizes para a utilização de esgotos tratados com o objetivo de irrigação de culturas agrícolas (Tabela 2A)

**Tabela 2A** – Diretrizes de qualidade microbiológica recomendada para esgotos tratados utilizados para a irrigação de culturas agrícolas

<b>Categoria</b>	<b>Condições de reuso</b>	<b>Grupo de exposição<sup>(b)</sup></b>	<b>Nematóides intestinais (ovos/l)<sup>(c)</sup></b>	<b>Coliformes fecais (nº/100ml)-</b>
<b>A</b>	Irrigação de vegetais consumidos crus, campos de esporte, parques públicos	Trabalhadores Consumidores Público	≤ 1	≤ 1000
<b>B</b>	Irrigação de culturas de cereais, culturas industriais, culturas forrageiras, pastagens e árvores <sup>(a)</sup>	Trabalhadores	≤ 1	Sem recomendação de padrão
<b>C</b>	Irrigação localizada de culturas na categoria “B” sem exposição de trabalhadores e do público em geral	Não há	Não se aplica	Não se aplica

Fonte: Bastos, 1999.

- a. Em situações específicas, fatores epidemiológicos, socioculturais e ambientais locais devem ser levados em consideração e as diretrizes são modificadas de acordo com as necessidades

- b. Espécies de *Ascaris*, *Trichuris*, *Necator* e *Ancylostoma*, média aritmética do número de ovos por litro
- c. Média geométrica do número de coliformes fecais por 100ml.
- d. Para irrigação de parques e jardins onde o acesso de público é permitido, deve-se utilizar um padrão mais restritivo ( $\leq 200$  coliformes fecais por litro)
- e. No caso de árvores frutíferas, a irrigação deve ser interrompida duas semanas antes da colheita e nenhum fruto deve ser apanhado do chão. A irrigação por aspersão não deve ser utilizada.

A Tabela 2B mostra a resolução que o CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente) estabelece as condições sanitárias destinadas à irrigação, de acordo com a resolução 20/86:

**Tabela 2B** – Resolução do CONAMA destinadas às águas de irrigação

Classe / Tipo	Condição sanitária
<p><b>Classe 1</b> – águas destinadas a irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem rente ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película.</p>	<p>As águas não devem ser poluídas por excrementos humanos, ressaltando-se a necessidade de inspeções sanitárias periódicas.</p>
<p><b>Classe 2</b> - águas destinadas a irrigação de hortaliças e plantas frutíferas</p>	<p>Não deverá ser excedido um limite de 1000 coliformes / 100ml, em 80% ou mais de, pelo menos, 5 amostras mensais colhidas em qualquer mês. No caso de não haver, na região, meios disponíveis para o exame de coliformes fecais, o índice será de até 5000 coliformes totais / 100 ml em 80% ou mais de, pelo menos, 5 amostras mensais colhidas em qualquer mês.</p>
<p><b>Classe 3</b> - águas destinadas a irrigação de culturas arbóreas, cercalíferas e forrageiras</p>	<p>Número de coliformes fecais até 4000 / 100ml, em 80% ou mais de, pelo menos, 5 amostras mensais colhidas em qualquer mês. No caso de não haver, na região, meios disponíveis para o exame de coliformes fecais, o índice será de até 20.000 coliformes totais / 100 ml em 80% ou mais de, pelo menos, 5 amostras mensais colhidas em qualquer mês.</p>

FONTE: CONAMA, 1998.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Breve Histórico da Utilização de Águas Residuárias na Agricultura**

A utilização de águas residuárias na agricultura irrigada era prática de pequenas civilizações há aproximadamente 5000 anos (Asano & Levine, 1996).

A aplicação de águas residuárias ao solo é mencionada desde tempos antes de Cristo, sendo prática em Atenas, na Grécia. O uso de efluentes com o propósito de beneficiar a agricultura, ocorria na Alemanha, já no século XVI. Desde essa época até hoje, a aplicação de efluentes no solo foi praticada em diversos países como Inglaterra, Austrália, México, França, África do Sul, Argentina, Israel, Índia, Hungria, Bélgica, Estados Unidos, entre outros (Braile & Cavalcanti, 1993).

Durante a segunda metade do século XIX, os grandes rios da Europa sofriam sérios problemas de poluição, ampliavam-se os sistemas de esgotamento sanitário,



mas a disposição dos esgotos no solo era o único sistema de tratamento então disponível. A prática de transportar esgoto bruto para as áreas rurais para disposição e irrigação nas “fazendas de esgotos” foi largamente utilizada na Europa e EUA (Bastos, 1993).

Segundo Ayres & Westcot (1991), dentre as diversas formas de reutilização da água no mundo, é na agricultura que é utilizada a maior quantidade e podem ser toleradas águas de qualidade inferior a da indústria e do uso doméstico. É, portanto, inevitável que existia crescente tendência para encontrar nessa atividade a solução dos problemas relacionados com a eliminação de efluentes.

No Nordeste, a maior parte das águas residuárias destina-se à irrigação. Isso soluciona em parte a escassez da água existente para diversas atividades e evita a elevada exploração de poços subterrâneos, mantendo o equilíbrio dos aquíferos (Pereira de Brito, 2000).

A aplicação de esgotos na agricultura vem tendo um grande avanço nas últimas décadas devido aos seguintes fatores: os benefícios econômicos são incontestáveis, referidos graças ao aumento de produtividade, dificuldades crescentes de fonte de água natural para irrigação e de impacto no solo e culturas, desde que tomadas as devidas precauções.

O uso de efluentes na agricultura não é realmente uma prática nova. Assim, Law apud Ayres & Westcot (1991) cita 99 referências sobre essa prática. Alguns países elaboraram normas para o uso de efluentes na agricultura.

No início do século XX, o medo exagerado de microrganismos levaria a uma significativa redução na prática de irrigação com esgotos, apesar do desenvolvimento dos sistemas modernos de tratamento de águas residuárias.

Após a segunda Guerra Mundial, ocorreu um aumento significativo no uso de esgotos e efluentes tratados na irrigação, principalmente nas regiões semi-áridas, em países desenvolvidos ou em processo de desenvolvimento.

Na Alemanha, após a segunda Guerra Mundial, quando havia grande falta de alimento e também de fertilizantes, foi fundada a Associação de Utilização de Esgotos da Cidade de Braunschweig, em 1954, composta pela união da cidade e aproximadamente 350 fazendeiros, englobando uma área de 4.200 ha, dos quais 3.000 eram irrigados com águas residuárias.

A crescente utilização de esgotos na irrigação não se deu contudo, somente por necessidade do pós-guerra, mas também devido ao avanço tecnológico que permitiu melhor conhecimento do assunto. Evoluíram as técnicas agrícolas de manejo do solo e da irrigação e, por outro lado, o conhecimento físico-químico e microbiológico, aplicado aos esgotos.

Nas últimas décadas, a intensificação do uso de esgotos na irrigação é evidente. Em Israel por exemplo, no ano de 1985, os efluentes de sistemas de tratamento de esgotos já representavam cerca de 7% das águas de irrigação e as previsões para o ano 2000 eram de que este valor aumentaria para 25% (Grilo Jr, 2000).

Relativo ao pós-guerra, Hespanhol (1995) apresenta os dados nos quais estão os números de hectares que são irrigados com esgotos nos seguintes países: Argentina, Austrália, Chile, China, Alemanha, Índia, Israel, Kuwait, México, Peru, Arábia Saudita, África do Sul, Sudão, Tunísia e Estados Unidos da América do Norte. Nele destaca-se a China com uma área irrigada de 1.330.000 hectares (Tabela 3).

**Tabela 3 – Áreas irrigadas com esgoto nos diversos países**

<b>País</b>	<b>Área Irrigada (ha)</b>
Argentina	3.700
Austrália	10.000
Alemanha	28.000
África do Sul	1.800
Arábia Saudita	4.400
Chile	16.000
China	1.330.000
Estados Unidos	14.000
Índia	73.000
Israel	10.000
Kuwait	12.000
México	250.000
Peru	4.300
Sudão	2.800
Tunísia	7.350

Fonte: Hespanhol, 1995.

No Brasil, segundo Carvalho (1988), os estados do Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte somados têm um potencial de 1.400.000 ha de áreas irrigáveis. Fazendo-se uma análise comparativa, as áreas irrigadas na China com águas residuárias têm aproximadamente o potencial irrigável desses três Estados nordestinos.

Bartone et al. (1994) mostram, conforme a Tabela 4, que, em algumas zonas semi-áridas, as águas residuárias contribuem com 10 a 80% da água disponível para irrigação.

**Tabela 4** – Reutilização de esgotos domésticos na irrigação em zonas semi-áridas

<b>País / Cidade</b>	<b>Volume de água reutilizada (milhões de m<sup>3</sup>)</b>	<b>Esgotos Domésticos (%)</b>	<b>Irrigação (%)</b>
Austrália	149	11	-
Alemanha	100	3	10
Jordânia	97	100	32
Índia	730	55	-
Israel	140	65	11
África do Sul	70	16	-
U.S.A.	790	-	14
Santiago	280	100	70
México	1500	100	80
Tunísia	68	75	-

Fonte: Bartoni et al., 1994.

Nos últimos tempos, o uso de esgotos e efluentes tratados na irrigação tem-se mostrado cada vez mais desejável em face do rareamento de fontes de água natural para irrigação de alto custo de adubos comerciais, das necessidades crescentes de controle da poluição ambiental e de proteção de saúde pública, mediante disposição adequada dos esgotos sanitários. Por outro lado, demonstra-se também adequado na medida em que mais se conhecem os benefícios às culturas irrigadas e constata-se que os riscos para a saúde são muito menores do que se pensava.

A partir da década de 70, principalmente após o encontro de Especialistas da Organização Mundial de Saúde em 1971, várias organizações internacionais, universidades e outras instituições, intensificaram os estudos e experimentos sobre o uso dos esgotos na irrigação.

Os anos 80 foram eleitos pela ONU como a década da água e do saneamento e a principal investigação nesse domínio foi no sentido de determinar padrões microbiológicos realmente adequados para esgotos ou efluentes a serem usados na irrigação.

Padrões mais exigentes foram sendo substituídos até que, em 1987, no Encontro Científico sobre Aspectos de Saúde Associados ao Reuso de Esgotos, realizado pela OMS, em Genebra, foram reunidas conclusões, baseadas em evidências epidemiológicas, demonstrando que o temor de riscos para a saúde era exagerado.

Bastos (1999), apresenta o caso de Israel, onde 70% do volume de águas residuárias são utilizadas para a irrigação após tratamento, principalmente no cultivo de algodão. A “Werrabee Farm”, na Austrália, em funcionamento desde 1897, que hoje opera um sistema de tratamento por escoamento superficial no solo, recebendo cerca de 250.000 m<sup>3</sup>/dia de efluentes de 5000 ha e permitindo a posterior pastagem de um rebanho de 13.000 bovinos e 3.000 ovinos.

O reuso é praticado tanto em países industrializados, quanto nos chamados países em desenvolvimento, o que desautoriza qualificações da irrigação com esgotos sanitários como “Tecnologia de Segunda” ou condenável do ponto de vista de

saúde pública. Ao contrário, experiências contemporâneas incluem diversos exemplos de reuso planejado e controlado. Em vários países, o reuso é regulamentado em legislação específica e é componente de programas governamentais de irrigação e gestão de recursos hídricos.

É de se destacar o exemplo de Israel onde, por volta de 2.010, os esgotos sanitários tratados responderão por quase 30% de toda a água disponibilizada para a agricultura. Alguns projetos são altamente tecnificados, apoiando-se em modernos métodos de irrigação, como aspersão e o gotejamento, principalmente para o cultivo de algodão (Shelef apud Leon & Cavallini, 1999). Não menos notável é a experiência da cidade do México, na qual cerca de 45m<sup>3</sup>/s de esgotos sanitários, combinados a 10m<sup>3</sup>/s de águas pluviais, são utilizados em 80.000 ha, a 60 km da região metropolitana, organizados em perímetros irrigados e abastecidos por um complexo sistema de canais e reservatórios. As principais culturas irrigadas são forrageiras e cerealíferas, não sendo oficialmente permitido o cultivo de hortaliças.

Na América Latina, Peru e Chile apresentam, também, exemplos significativos de reuso. No Peru, o Programa Nacional de Reuso de Águas Residuárias para a irrigação prevê a implantação por etapas. Entretanto, dos 4.300 ha irrigados, cerca de 70% são utilizados para o cultivo de hortaliças, em sua grande maioria com águas residuárias brutas. Enquanto no Chile, todo esgoto da cidade de Santiago (cerca de 5 milhões de habitantes) é usado para irrigação em áreas vizinhas à cidade. Teoricamente, esse seria um caso de reuso indireto, pois, em tese, a água utilizada para irrigação provém dos corpos receptores de águas residuárias. Todavia em épocas de estiagem, alguns dos corpos receptores são praticamente a céu aberto, configurado, na prática, o reuso direto para irrigação maciça de hortaliças (Léon & Cavallini, 1999).

Os poucos exemplos citados revelam que, apesar do advento do reuso controlado, ainda persistem situações não “recomendáveis”, ou de total descontrole com a imposição de sérios riscos à saúde pública. Entretanto, tais situações não podem ser creditadas ao mero descaso, pois, muitas vezes, são frutos de imposições como a escassez

de água, restrição econômica e necessidade de subsistência de pequenos agricultores, os quais, cientes do potencial fertilizante dos esgotos sanitários, não guardam reservas quanto à sua utilização frente às óbvias vantagens.

Certamente, outras experiências em maior ou menor escala e ainda não catalogadas ocorrem em todo o Mundo. Além disso, o reuso indireto através da utilização de águas altamente contaminadas por esgotos não tratados é, com certeza, uma prática disseminada em vários países.

A fertirrigação com uso de esgotos sanitários proporciona uma economia significativa de fertilizantes, além de aliviar a demanda e preservar a oferta de água. Observados os cuidados necessários e vencidas as resistências de origem cultural, o “reuso” apresenta-se como solução sanitariamente segura, economicamente viável e ambientalmente sustentável (Paganini, 1999).

Atualmente, as preocupações com a saúde pública e com o meio ambiente, requerem a multiplicação dos sistemas de esgotamento sanitário, o reconhecimento das vantagens da utilização das águas residuárias na irrigação, como forma econômica e produtiva de destinação final das mesmas e a recente adoção de padrões microbiológicos menos exigentes para tal indicam um futuro em que o uso de esgotos sanitários e efluentes tratados na irrigação será cada vez maior.

Em alguns países, o reuso faz parte de estratégias governamentais visando a otimizar a qualidade, a quantidade da produção e a integração das diversas atividades. Por sua importância, são abordadas a seguir, as experiências do estado da Califórnia (USA), do vale do Mezquital no México, da cidade de San Juan no Peru, de Israel e do Brasil. Perceber-se-á a diversidade de situações encontradas mundo afora, nos diversos países, regiões ou estados.

### 3.1.1 Uso Agrícola na Califórnia (USA)

A Califórnia é um estado americano que têm em média uma precipitação de 500 mm/ano, é considerada uma região semi-árida (HAMMER, 1979). Segundo o Diretório de Controle de Recursos Hídricos da Califórnia, 1990, nesse estado se aplicava diretamente a água residuária bruta sobre as áreas de cultivo, desde a década de 1980. Em 1987, foram usados diariamente mais de 63% (899.000 m<sup>3</sup>) de águas residuárias na irrigação, 14% para recarga dos aquíferos, 13% para a irrigação de áreas verdes urbanas e 10% para outras aplicações industriais, recreativas e para a vida silvestre.

A agricultura tem sido a atividade dominante e contínua, porém a partir dos anos 80, verifica-se um aumento significativo no uso das águas residuárias para a irrigação de áreas verdes e recarga de aquíferos. A maior parte da água recuperada (78%) é usada no vale central e na costa sul da Califórnia. Duzentas estações de tratamento na Califórnia produzem diariamente 759.000 m<sup>3</sup> de efluentes tratados, usados em diferentes cultivos alimentares: macieira, aspargo, abacate, cevada, feijão, brócolis, couve flor, aipo, cítricos, uva, alface, pistache e trigo. Outros 11 cultivos agrícolas também são irrigados com águas residuárias como: alfafa, trevo, algodão, eucalipto, semente de flores, feno, milho, árvores e semente de vegetais, grama e árvores natalinas (Grilo Jr, 2000).

Quando os cultivos alimentares são irrigados por aspersão, a água deve receber permanentemente uma desinfecção adequada, oxidação, coagulação, clarificação e filtração para se enquadrar dentro dos limites estabelecidos pela legislação.



### 3.1.2 Uso Agrícola no Vale do Mezquital, no México

O uso agrícola de águas residuárias para irrigação no Vale do Mezquital, no México data de fins do século XIX, como consequência das obras de drenagem do vale do México. Essas águas constituem recurso valioso e devem ser utilizadas nas regiões áridas e semi-áridas, cada vez com maior eficiência e segurança para a saúde humana e para a proteção do meio ambiente.

O Vale do Mezquital está situado na bacia vulcânica central do altiplano mexicano, a uma altitude que varia entre 1700 a 2100 m acima do nível do mar. Seu clima é temperado, seco, semi-árido, com chuvas durante o verão.

A região metropolitana do vale do México, com uma população de 18 milhões de habitantes, gera 1660 milhões de m<sup>3</sup> de águas residuárias ao ano, equivalente a uma vazão de 53 m<sup>3</sup>/s. Desse volume, o vale do Mezquital recebe anualmente 1350 milhões de m<sup>3</sup> (43 m<sup>3</sup>/s). Segundo León & Cavallini (1999), no ano 2000 esse volume deve ter aumentado até os 2000 milhões de m<sup>3</sup> anuais.

Até o momento, não existem evidências de sérios problemas de salinidade nos solos, nem de contaminação dos aquíferos causados pelo uso de águas residuárias para a irrigação. Mais de 50 % da população do vale é urbana e alguns grupos se queixam de moléstias devido a odores desagradáveis e pragas de mosquitos. Os estudos epidemiológicos nos trabalhadores rurais e nas suas famílias têm revelado que o risco por infecção parasitária e enfermidades diarreicas têm relação direta com a qualidade microbiológica das águas de irrigação e com as características de exposição.

### 3.1.3 Utilização de Águas Residuárias no Peru

Os tratamentos de águas residuárias tiveram início no Peru em 1964, com a implantação de 20 lagoas de estabilização que recebem 300 L/s de águas residuárias em San Juan de Miraflores em Lima. Os efluentes irrigam 280 ha de bosques e 200 ha são destinados a agricultura (Moscoso et al. apud Bastos, 2000).

Esse sistema, considerado a opção tecnológica mais viável para se alcançar o objetivo não patogênico, tem sido aplicado em 78% das estações existentes no País. No entanto, a cobertura de tratamento só chega a 17,6% das águas residuárias geradas.

Segundo o Ministério da Agricultura, o Peru tinha, em 1991, 4322 ha irrigados com água residuária, das quais somente 14% recebem tratamento prévio.

O Peru é o país sede do centro Pan-Americano de Engenharia Sanitária e Ciências do Ambiente (CEPIS) que, em conjunto com várias instituições nacionais estuda, desde 1977, o sistema de lagoas de estabilização para reuso das águas em diversas atividades agropecuárias.

A agricultura é a principal atividade com o uso de águas residuárias no Peru. Não existem referências de que a produtividade melhora com o seu uso, porém substitui a fertilização mineral. Utiliza-se no País, uma área de aproximadamente 2.908 ha para a produção de hortaliças com o uso de água residuária bruta.

Estima-se que os 4.000 ha irrigados com águas residuárias estão produzindo mais de 126.000 toneladas anuais de produtos variados, correspondendo 92% a hortaliças.

As culturas industriais como algodão, forrageira, milho e alfafa, não requerem efluentes de alta qualidade, mas estão sendo irrigados com águas tratadas. A irrigação da cana de açúcar com águas residuárias brutas pode ser de pouco risco para os consumidores, por se tratar de um produto industrializado, porém constitui-se em risco para os trabalhadores. O maior risco é apresentado nos cultivos de hortaliças irrigadas com

águas sem tratamento, como é o caso dos 3.078 ha situados em Lima. Portanto é urgente a restrição desses cultivos, enquanto não se implementa um sistema de tratamento altamente eficiente.

### **3.1.4 Utilização de Águas Residuárias em Israel**

Atualmente, em Israel está reutilizando mais de 60% do volume total de águas das redes de esgotos urbanos. Através do projeto da região de Dan, tem-se demonstrado a possibilidade de converter o deserto de Negev em uma área fértil e produtiva para a agricultura com o aproveitamento das águas residuárias. A reutilização dessas águas em escala nacional, a custo relativamente baixo, está possibilitando adiar os grandes investimentos para dessalinização da água do mar, considerado como último recurso de água disponível em Israel. A intenção do governo é chegar a três quartos dos esgotos reciclados nos próximos anos. As águas residuárias são tratadas para irrigar lavouras e jardins públicos, e também para revitalizar os rios (Vomero et al., 2000).

### **3.1.5 Reuso no Brasil**

No Brasil, pouco ou quase nada se tem registrado sobre reuso direto de efluentes, tratados ou não, o que não quer dizer que não ocorra e de forma indiscriminada e sem controle. Mas o reuso indireto é, sem dúvida, prática corrente, haja vista a quase inexistência de tratamentos de esgotos: somente 10% do volume total de esgotos coletados no país são submetidos a algum tipo de tratamento (Cabes apud Bastos, 1999).

Além disso, vários estudos sobre a qualidade das águas de irrigação ou de hortaliças comercializadas em diversas regiões do país reforçam os indícios da prática disseminada de irrigação com esgotos, ao menos de forma indireta. Esse fato é comprovado em análise da qualidade bacteriológica da água utilizada para irrigação em Minas Gerais e no Rio Grande do Norte e de hortaliças comercializadas em diversas regiões do País, como mostra a Tabela 5. Oliveira & Germano (1992), reforçam o indício da prática disseminada do reuso no que tange a qualidade microbiológica de hortaliças comercializadas em São Paulo (Tabela 6).

**Tabela 5 – Qualidade microbiológica das verduras comercializadas em MG e no RN**

CF/100ml	E. coli/100ml	Salmonellae	Referência
100-30.000	400-30.000	53	BASTOS & PERIN (1995) <sup>1</sup>
840-18.000	1.200-11.000	43	
460-9.900	1.200-9.900	33	
15.000-130.000	-	-	CHAGAS (1982) <sup>2</sup>
36.000-120.000	-	-	

1- Pesquisa em águas de Irrigação – Viçosa-MG

2- Pesquisa em águas de irrigação em dois municípios no RN

FONTE: Oliveira & Germano (1992).

**Tabela 6** – Qualidade microbiológica de hortaliças comercializadas em São Paulo

<b>Protozoários e Helmintos</b>	<b>Alface Lisa (%)</b>	<b>Alface Crespa (%)</b>	<b>Agrião (%)</b>
<b>Entamoeba</b>	8,0	14,0	26,0
<b>Giárdia</b>	4,0	10,0	24,0
<b>Endolimax</b>	4,0	60,0	34,0
<b>Iodamoeba</b>	0,0	2,0	8,0
<b>Chilomastix</b>	0,0	0,0	4,0
<b>Ancilostomídeos</b>	16,0	14,0	34,0
<b>Ascaris</b>	8,0	8,0	32,0
<b>Trichocephalus</b>	4,0	4,0	6,0
<b>Taenia</b>	0,0	2,0	4,0
<b>Hymenolepis</b>	0,0	4,0	14,0
<b>Strongyloides</b>	4,0	8,0	4,0
<b>Toxocara</b>	4,0	0,0	4,0
<b>Enterobius</b>	0,0	0,0	2,0
<b>Fasciola</b>	2,0	0,0	6,0

Fonte: Oliveira & Germano (1992)

Total de amostras 50

Na realidade brasileira, existirão sempre situações onde, não somente caberão, mas torna-se-ão necessárias tecnologias simples e de baixo custo para tratamento de esgotos, incluindo seu reuso. Entretanto, há que se admitir que o conhecimento acumulado sobre o assunto, no Brasil, ainda é escasso (Bastos, 1999).

Segundo Bastos (1999), talvez um bom ponto de partida seja o próprio reconhecimento de que, de fato, o reuso é praticado no País, o que torna evidente a necessidade de pesquisas e ações na direção do reuso controlado, incluindo sua regulamentação.

Em se tratando de regiões no Brasil, a região Nordeste é propícia ao reuso. com exceção do litoral, a zona do semi-árido é sujeita a grandes estiagens, tem recursos hídricos limitados (quantitativa e qualitativamente) e, por vezes, insuficientes até para o abastecimento público. De acordo com Melo (1978), essa região apresenta as condições mais favoráveis para o reuso, devido principalmente as características geográficas e econômicas.

Nesse sentido, a reutilização dos esgotos no meio urbano tornaria possível a criação e manutenção de áreas verdes, além de contribuir para a amenização do clima, com devido tratamento urbanístico – paisagístico, ofereceria ainda áreas de lazer, praças e parques.

Estando comprovada a excelência dos esgotos e/ou efluentes tratados na irrigação e se os riscos sanitários podem ser controlados e eliminados, o não aproveitamento dos mesmos só não ocorre quando não há vontade política; quando não são necessários por razões climáticas ou econômicas; quando não há sistemas de coleta de esgotos ou quando a prática não é aceita por motivos culturais (Andrade Neto, 1992).

Araújo et al. (2000), relata uma experiência de reuso indireto de esgotos no cultivo de alface, onde foram montadas 6 colunas experimentais de solo: 3 eram irrigadas com água oriunda de um riacho poluída e 3 eram com água de abastecimento (servindo de testemunha).

Os resultados das análises bacteriológicas, mostraram que os coliformes e estreptococos fecais estavam ausentes na água de abastecimento porém, no líquido percolado a concentração média foi de até  $10^2$  UFC / 100 ml, mostrando que essas bactérias indicadoras estavam presentes no solo. No experimento, as concentrações médias de coliformes fecais da água de irrigação poluída apresentaram valores superiores ao do limite recomendado pela WHO (1985) para irrigação irrestrita, como é o caso das alfaces, que são consumidas cruas.

### 3.2 Aspectos Quantitativos e Qualitativos da Água

Mancuso et al. (1992) salientaram que a água, cujo desperdício é prática comum, vem-se tornando um produto cada vez mais raro, enfatizando que, de toda água existente no planeta, apenas 6% ainda se prestam ao consumo humano. Segundo dados por eles citados, a necessidade mundial em 1950 era de  $1360 \text{ km}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ , saltando, de forma assustadora, para  $4130 \text{ km}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$  nos anos 90. O maior responsável por esse consumo é a agricultura, com 69% do total, seguida pela indústria com 23% e pelos domésticos com 8%. De acordo com os referidos autores, diante do preocupante quadro que se apresenta, organismos internacionais representados pela UNESCO, OMS e PNUMA, mantém um programa de monitoramento da qualidade da água desde 1977, envolvendo 240 rios e 43 lagos de 59 países. Ressaltam que cerca de 10% do total dos cursos de água são considerados poluídos, restringindo, assim, a oferta desse recurso.

As observações de Ayres et al. (1992) mostram que as preocupações e incertezas com relação ao futuro da qualidade e quantidade da água vem se tornando um assunto cada vez mais discutido e destacado junto às autoridades responsáveis, seja em nível mundial, federal, ou mesmo regional, com a definição de normas que buscam a preservação dos recursos disponíveis, tanto pela classe científica que

procura soluções técnicas, como por outros setores da sociedade empenhados nos mesmos objetivos.

Toda essa movimentação, com fortes razões de ser, fundamenta-se nos riscos que a própria humanidade poderá enfrentar, caso medidas, sob diferentes aspectos, não venham a ser tomadas em tempo hábil.

Parte desta situação se deve também a falta de uma consciência ambiental, onde muitos e desnecessários desperdícios e degradações do bem em pauta poderiam ser evitados, contribuindo, e muito, para o aumento da disponibilidade. Como exemplo, cita-se os, aproximadamente, 30 mil agricultores irrigantes paulistas que absorvem cerca de 40% de toda água superficial existente no Estado, gastando, em média, de duas a três vezes mais do que seria necessário, revelando um desperdício que somente a cobrança pelo uso da água poderia racionalizar a operação (Anônimo, 1991).

Ainda de acordo com Anônimo (1991), os irrigantes franceses, que já pagam pela quantidade de água usada, deverão pagar, dentro em breve, uma segunda taxa referente a qualidade da água que retorna ao meio após o seu uso.

No Estado de São Paulo, semelhante filosofia foi adotada pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos, que propõe a cobrança de taxas referentes à quantidade de água utilizada pelo consumidor e pela qualidade da mesma quando devolvida ao meio.

Nesse sentido o Conselho Estadual de Recursos Hídricos já tem elaborada minuta de anteprojeto de lei que dispõe sobre “cobrança pela utilização dos recursos hídricos do domínio do Estado de São Paulo”, que deverá, em breve, ser promulgada na forma de lei pelo Governo do Estado. Nesta minuta, o Artigo 10 estabelece os critérios gerais de cobrança dos recursos hídricos, considerando o seu uso ou derivação e sua diluição ou assimilação de efluentes, onde serão considerados os parâmetros: sólidos em suspensão, matéria oxidável, compostos inibidores, compostos nitrogenados reduzidos (N orgânico e amoniacal), compostos nitrogenados oxidados (nitritos e nitratos), compostos



fosforados, compostos halogenados adsorvidos em carvão ativo, substâncias sólidas e sais solúveis.

ABEAS (1996), como resultado do Encontro Nacional “Recursos Hídricos e Desenvolvimento Sustentável”, realizado com o objetivo principal de definir diretrizes e estratégias para a implementação do Capítulo 18 da Agenda 21, ressalta que a experiência do Estado de São Paulo se mostra como sendo um processo de reformulação e modernização institucional na gestão de seus recursos hídricos, com fundamentais proposições e aprovações de instrumentos normativos e legais de suporte às ações executivas necessárias ao planejamento e gerenciamento desses recursos.

Ainda de acordo com o apresentado em ABEAS (1996), o gerenciamento de recursos hídricos teve grande impulso no Estado de São Paulo a partir de 1983, quando surgiram as idéias e proposições de criação de Diretorias de Bacias Hidrográficas, efetivadas em 1985, seguindo-se a implantação do Conselho Estadual de Recursos Hídricos em 1987 e conseqüentemente em 1991 com a aprovação do Primeiro Plano Estadual de Recursos Hídricos. Como conseqüência houve a implantação dos Comitês de Bacias Hidrográficas, que contam com representações dos diferentes setores da comunidade.

Como se observa foram passos importantes objetivando a exploração dos recursos hídricos dentro de princípios racionais, sem que o desenvolvimento sócio-econômico do estado seja comprometido.

Particularmente o Estado de São Paulo é dotado de uma produção hídrica satisfatória, onde, somente em termos de águas superficiais, se dispõe de uma vazão específica de cerca de  $12 \text{ L.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$  (Barth et al., 1987). Apesar dessa relativa abundância, o Estado não dispõe, pelo que se tem notícias, de água suficiente para implantar em sua totalidade o plano de irrigação que foi delineado para a produção agrícola de suas terras.

Além das referências citadas, envolvendo a política de administração de bacias, deve ser incluída aquela apresentada por Lanna (1995) que, em linhas gerais, trata-se de um documento conceitual e metodológico, representando um

esforço do IBAMA (Instituto Brasileiro de Agricultura e Meio Ambiente) em subsidiar uma discussão sobre o gerenciamento de Bacias Hidrográficas, no momento em que iniciativas do setor público e privado buscam integrar o gerenciamento dos recursos hídricos ao contexto da gestão ambiental.

Diante dessa realidade, envolvendo possíveis comprometimentos de suprimentos de água em quantidades e qualidades adequadas às necessidades da população, ao lado de medidas previstas por órgãos governamentais elaboradas com intuito de superar essa situação, torna-se claro que os usuários de água terão que, obrigatoriamente, se enquadrar nas normas gerais de seu uso e manejo.

A classe científica que atua nessa linha de estudo, tem participado efetivamente, desenvolvendo ou oferecendo as mais diferentes alternativas possíveis de serem aplicadas no processo de preservação dos recursos hídricos, não só para situações específicas, como também em sentido mais amplo. Conforme pode ser encontrado em Conte (1992 e 1999) e Amorim (1999), entre outros, tem-se uma série de medidas passíveis de serem implantadas visando-se essa preservação.

Acredita-se que, para as condições de Brasil, ou mesmo para o próprio Estado de São Paulo, dotados de significativos recursos naturais quando comparados a outras regiões do globo, a maior preocupação deve estar sempre voltada à preservação da qualidade desses recursos.

### **3.3 Disposição de Esgotos no Solo através de Escoamento Superficial**

Desde os primórdios da civilização ocorrem lançamentos de esgotos no solo e nas águas, de forma não intencional e sem controle. A disposição no solo é a forma mais antiga de depuração controlada de esgotos, inclusive com finalidades agrícolas.

A disposição de esgotos no solo é uma atividade de reciclagem, inclusive para a água, e viabiliza a utilização do potencial hídrico e dos nutrientes presentes nos efluentes líquidos, utilizando, segundo Andrade Neto (1997) a Natureza como receptora de resíduos e geradora de riquezas. É um processo que pode ser considerado tanto como tratamento, quanto de reuso.

A disposição dos esgotos no solo compreende processos físicos, químicos e biológicos de remoção da carga poluidora. Para uma melhor compreensão do processo é necessário entender que o solo é mais que um simples meio físico formado por substâncias minerais e orgânicas. Na verdade, o solo juntamente com a vegetação, a energia solar e a água, dão continuidade a um dos ciclos mais importantes da natureza, que é a transformação da matéria orgânica em energia renovável. (Paganini, 1997)

Segundo Campos et al. (1999), os sólidos, orgânicos e minerais, são retidos por ação física (filtração), em que ocorrem fenômenos químicos e bioquímicos de transformação. Quando não há saturação, revitalizam a composição do solo, sendo benéficos às plantas que os absorvem e os transformam em biomassa vegetal. Os microorganismos da camada superior, por sua vez, são ativos e, quando há cobertura vegetal, ocorre a participação das plantas em todos os fenômenos.

De acordo com a Awwa apud Hammer (1979), é necessária uma pesquisa intensiva para identificar a gama completa de contaminantes pelos diversos processos de tratamento, os impactos a longo prazo do uso contínuo da água renovada, definição dos procedimentos e metodologia dos testes empregados, desenvolvimento de uma maior capacidade e fidedignidade dos processos de tratamento e melhoria na capacidade operacional do pessoal.

Os projetos de disposição no solo devem levar em consideração os seguintes fatores: qualidade e quantidade de esgotos disponíveis; método de aplicação, incluindo a taxa e a quantidade total anual; características da camada do solo e nível do lençol subterrâneo; dentre outras.

Os métodos de irrigação com vistas a disposição no solo podem ser de três tipos: por aspersão, infiltração rápida e escoamento superficial (Hammer, 1979). Um outro método de disposição no solo é o da irrigação sub superficial. Nesse método, a água é aplicada sob a superfície do solo atingindo as raízes das plantas por meio de ascensão capilar, enquanto no escoamento superficial, a água é aplicada acima da superfície.

### **3.3.1 Remoção de microrganismos em sistemas de disposição no solo**

A depuração de esgotos pode ser realizada pela sua infiltração através do solo ou por seu escoamento sobre a superfície do solo coberta por vegetação.

Nos processos de infiltração o solo e os microrganismos que nele vivem atuam na retenção e transformação dos sólidos orgânicos e a vegetação retira do solo os nutrientes transformados evitando a concentração excessiva, cumulativa ao longo do tempo. A água que não é incorporada ao solo e às plantas perde-se pela evapotranspiração ou percolação em direção ao lençol freático.

No escoamento sobre a superfície, há de se ter o cuidado de não permitir o escoamento sobre a vegetação que cobre o solo, para que esta, além de retirar os nutrientes, atue associada a camada superficial do solo como um “filtro vivo”, a sedimentação, a “ filtração superficial” e a ação dos microrganismos presentes nos solos não estéreis e nas plantas (das raízes as folhas), são, também, os principais fatores de remoção de microrganismos patogênicos.

Os principais microrganismos contidos nos esgotos (vírus, bactérias, protozoários e helmintos), são removidos do solo através de: sedimentação, filtração na camada superficial do terreno, e da vegetação, adsorção às partículas do solo, dessecação durante os períodos secos, radiação, e predação. As bactérias, os helmintos (ovos) e os protozoários, são removidos na primeira camada orgânica, que tem

aproximadamente 1 cm de espessura. Essa camada atua como biofilme, reduzindo até 97% dos microrganismos. É importante lembrar que, em solos de textura fina, essa remoção pode chegar até 99,9% e acontece nos primeiros 150 cm de profundidade. Nesses solos, 90% das bactérias morrem nas primeiras 48 horas após a irrigação. O restante morre nas duas semanas seguintes (Paganini, 1997).

Um outro fator importante para remoção de bactérias é a adsorção, porém esse mecanismo remove quase que totalmente os vírus que são extremamente pequenos, quando comparados às bactérias. A remoção de vírus e bactérias por adsorção é favorecida pela maximização do tempo de resistência dos esgotos na zona não saturada, isto é, pelo maior contato entre o efluente líquido e o meio de adsorção. Isso deve ser obtido pela baixa manutenção da carga hidráulica ou pela redução da taxa de infiltração.

A sobrevivência de bactérias entéricas no solo depende de vários fatores, entre os quais podemos destacar o conteúdo de umidade, a temperatura, o pH, e o grau de insolação. O aumento da umidade do solo, incrementa a sobrevivência de bactérias.

Kibbey & Cols (1978), apud Asano & Pettygrove (1990), observaram que o grau de sobrevivência de *Streptococcus fecal* é máximo quando o solo está saturado e alcança um valor mínimo quando ele está seco.

Cabe ressaltar que, a remoção de microrganismos por disposição no solo, com relação ao fator temperatura, aumenta a mortalidade para temperaturas elevadas e prolonga sua sobrevivência para baixas temperaturas (Asano & Pettygrove, 1990).

Outro fator que determina a eficiência na remoção de patógenos, no sistema solo-planta, é o tempo durante o qual eles permanecem submetidos à ação biológica e às condições adversas de sobrevivência (temperatura, luz, radiação, pH, etc.) (Andrade Neto, 1997).

### **3.4. Gestão de recursos hídricos para aplicação na irrigação**

#### **3.4.1 Considerações sobre Técnicas da Irrigação com Águas Residuárias**

O objetivo da irrigação é proporcionar umidade adequada para o desenvolvimento das plantas para aumentar a produtividade e superar o efeito dos períodos secos. Qualquer que seja sua fonte, a avaliação da água utilizada na irrigação das culturas é indispensável e de importância fundamental.

A agricultura irrigada depende tanto da quantidade quanto da qualidade da água. O aspecto qualidade tem sido negligenciado devido à presença de fontes de água abundantes, de boa qualidade e de fácil utilização, no passado. Essa situação entretanto, está se alterando em muitos lugares. O uso intensivo de praticamente todas as águas de boa qualidade implica que, para suprir-se a necessidade da utilização de água, tem-se que recorrer a águas de qualidade inferior.

O conceito de qualidade da água refere-se às suas características que podem afetar sua adaptabilidade para uso específico. A qualidade da água define-se por uma ou mais características físicas, químicas ou biológicas

As águas superficiais utilizadas para a irrigação de hortaliças, principalmente nos cinturões verdes dos centros urbanos, estão, em geral, severamente contaminadas por patógenos e por metais pesados, como o mercúrio, chumbo, etc.

Hortaliças principalmente as consumidas cruas, quando irrigadas por tais águas podem servir de veículo de transmissão de uma série de doenças aos consumidores, como amebíase, giardíase, cólera, febre tifóide, verminoses, além do acúmulo de elementos nocivos em órgãos como o fígado. Algumas doenças como a esquistossomose, podem ser transmitidas por águas com índices relativamente baixos de

contaminação fecal. Desta forma o controle sanitário das águas utilizadas para irrigação é de grande importância para a saúde pública.

Águas contaminadas não deveriam ser utilizadas para a irrigação, principalmente de produtos vegetais que são consumidos crus e sem remoção de película. Todavia, dependendo do grau de contaminação, espécie vegetal, sistema de cultivo e sistema de irrigação adotado, águas com níveis moderados de contaminação podem ser utilizados sem maiores riscos.

O grau de contaminação fecal da água e alimentos é avaliado pela contagem de coliformes fecais, podendo-se utilizar o índice de coliformes totais. Outros organismos de interesse podem ser identificados através de testes específicos.

O tratamento de água para fins de irrigação é um processo dispendioso que não é comumente utilizado por agricultores.

Outra possibilidade para reduzir risco de contaminação das hortaliças é a utilização de sistemas de irrigação que apliquem água sem molhar as partes comestíveis das plantas, como o gotejamento, principalmente subsuperficial. Deve-se lembrar que os riscos de contaminação devido à má qualidade de água existem tanto em condições de campo quanto em ambientes protegidos.

O uso de águas residuais disponíveis para a irrigação é insignificante em termos quantitativos em comparação com o total da água de irrigação. Entretanto, as possíveis conseqüências de seu uso são de grande importância econômica, ambiental e social.

A irrigação com águas residuais pode contaminar o ar, os solos e as plantas da área vizinha aos campos irrigados. A magnitude desta contaminação depende do tratamento destas águas, das condições climáticas predominantes da cultura irrigada e do próprio sistema de irrigação.

Quando os terrenos e as culturas são adequados, os efluentes tratados podem ser aplicados por sulcos para não contaminar o ar ou a parte superior das

plantas. A subirrigação por tubulações e a irrigação por gotejamento são os métodos mais seguros e os que apresentam menos riscos de contaminação, embora haja o problema da obstrução dos emissores e tubulações pelos sedimentos e crescimento microbiano.

### 3.4.2 Seleção de Culturas

Preferencialmente, deve-se utilizar a composição de diversas espécies vegetais, em vez de aplicar-se uma só espécie. A composição deve representar um melhor potencial e um complemento de cada espécie resultando em um equilíbrio no sistema solo-planta adaptado às condições da disposição dos esgotos.

Um outro aspecto a ser considerado quando utiliza-se irrigação com águas residuárias é a tolerância das culturas a salinidade. A maioria das águas residuárias tratadas, não são muito salinas, geralmente se situam entre 200 e 500 mg/L. A importância da salinidade está na sua influência quanto ao potencial osmótico do solo, à toxicidade iônica específica e a degradação das condições físicas que pode ocorrer no solo, prejudicando as culturas. De acordo com Asano & Pettygrove (1990), o efeito mais importante da salinidade sobre os cultivos é a redução da absorção de água pelas raízes das plantas.

Algumas culturas podem alcançar valores que oscilam entre 8 a 10 vezes a tolerância de outras. Na escolha do vegetal irrigado com águas residuárias deve-se, portanto, escolher uma cultura que seja tolerante ou pelo menos moderadamente tolerante à salinidade para que se possam manter os rendimentos das mesmas a níveis aceitáveis, pois salinidades maiores do que a cultura pode suportar, reduzem a taxa de seu crescimento.

De acordo com Terada (1985), as premissas básicas para a seleção de um vegetal que irá ser cultivado com água proveniente de esgotos domésticos tratados devem ser, principalmente: grande resistência à poluição e à umidade, requisitos



extremamente importantes, já que o lançamento dos esgotos é acumulativo no solo; que seja perene, que tenha raízes profundas; as quais permitam um maior alcance da ação do sistema radicular do vegetal na utilização dos macro e microelementos; capacidade de proporcionar uma maior aeração do solo; ser resistente a longos períodos de imersão; fácil obtenção e manuseio.

No que se refere aos agentes constituintes da planta, destacam-se: o colo da planta, que permite a formação de um biofilme o qual tem função semelhante aos filtros biológicos, e o sistema foliar que utiliza macro e microelementos no seu metabolismo. O sistema foliar, por sua vez, também ajuda na diminuição da possibilidade de existirem aerossóis presentes em alguns processos de tratamento dos esgotos. Já o sistema radicular diminui o efeito da lixiviação que em alguns casos poderá ser prejudicial e até patogênica. As raízes deverão absorver minerais em forma de macro e microelementos mineralizados da matéria orgânica, através dos colóides (Terada, 1985).

### **3.4.3 Influência dos Métodos de Irrigação Utilizando Águas Residuárias**

Os principais métodos de irrigação são: aspersão, aplicação superficial, compreendendo: inundação, canais e sulcos; gotejamento e sub-superficial, tubulações perfuradas ou porosas e cápsulas porosas.

Na irrigação com águas residuárias, a escolha do método de irrigação deve ser considerada, tendo em vista os riscos à saúde dos trabalhadores e consumidores, o tipo de contaminação da cultura, as possíveis obstruções no sistema, os maus odores e a presença de aerossóis, além dos fatores econômicos, natureza do solo e sua topografia.

A irrigação por aspersão é o método em que a água é aspergida sobre a superfície do terreno, assemelhando-se a uma chuva, por causa do fracionamento do

jato d'água em gotas. O jato d'água e seu fracionamento são obtidos pela passagem da água sob pressão através de pequenos orifícios ou bocais. A água é aplicada às áreas por meio de equipamentos, tubulações, aspersores e conjunto moto-bomba, sendo este utilizado quando houver necessidade de vencer uma determinada altura manométrica.

No que diz respeito à textura do solo, a irrigação por aspersão será vantajosa para solos de textura mais grossa, pois solos arenosos e franco-arenosos possuem alta capacidade de infiltração d'água, o que causará maior percolação.

A irrigação por aspersão é adaptável a quase todas as culturas. No entanto pode ser perigosa, principalmente quando se utilizam águas residuárias, que podem transportar microrganismos até a parte aérea da cultura. O vento, a umidade relativa do ar e a temperatura são os principais fatores climáticos que afetam o uso da irrigação por aspersão, fundamentalmente no que diz respeito ao transporte de aerossóis. Neste sentido, a irrigação com águas residuárias é a mais perigosa.

Os aerossóis são definidos como partículas sólidas ou líquidas suspensas em um meio gasoso (Cavinato, 1999). Essas partículas são transportadas pelo ar, apresentando tamanho que varia de 0,01 a 50  $\mu\text{m}$ . Os aerossóis produzidos por aspersores são, na sua maioria, não perceptíveis como aqueles existentes naturalmente no ambiente.

A disposição dos aerossóis e, por conseguinte, as possibilidades de contaminação carregadas pelos mesmos sofrem influência dos seguintes fatores: velocidade do vento, turbulência do ar, topografia local, e eficiência/potência do sistema que provoca esses aerossóis.

Segundo Paganini (1997), bactérias não podem ser detectadas em aerossóis a distâncias de 10 ou mais metros, quando os esgotos a serem aplicados apresentarem concentrações inferiores a 1000 microrganismos/ 100 mL.

Hespanhol apud Andrade Neto (1992), registra que uma distância de 50 a 100 metros de estradas e residências seja suficiente como proteção aos riscos reais dos aerossóis.

Cavinato (1999), estudando a dispersão de aerossóis em valos de oxidação com relação ao padrão velocidade, constatou que, para velocidades variando de 1,50 a 2,06 m/s, o alcance aproximado dos aerossóis foi de 7,0 e 9,0 m respectivamente e para uma velocidade máxima local de 5,0 m/s, o alcance potencial das partículas foi de 40 m.

Os estudos realizados até o momento não indicam uma correlação definitiva entre exposição e aerossóis e doenças. Muitos deles indicam uma representativa incidência de doenças respiratórias e gastrintestinais em áreas que recebem, freqüentemente, aerossóis resultantes da aplicação de esgotos. Essa incidência pode ser resultante de outros fatores concorrentes (Paganini, 1997).

Na aplicação por inundação é estabelecida uma área de cultivo e nela são depositados despejos. É necessário, nesse processo, que a cultura a ser irrigada permita a imersão da zona das suas raízes.

Na irrigação por inundação, o risco de contato direto com a cultura é evidente. Sendo assim, para os trabalhadores representa risco elevado. O excesso de água, que geralmente corre, pode acarretar problemas com helmintos em áreas endêmicas e, particularmente, proporcionar a proliferação de *Schistosoma*. Há também o risco de que o excesso de água chegue a áreas vizinhas aos campos irrigados. Outro problema a ser considerado é a proliferação de mosquitos.

Na aplicação por sulcos, a irrigação é estabelecida pela infiltração nas zonas das raízes e a alimentação nos pontos situados a jusante se estabelece à custa do transporte do líquido que é imposto pela declividade do terreno.

No que tange aos problemas relacionados aos canais e sulcos, assemelham-se ao método de irrigação por inundação, principalmente para os agricultores, embora com riscos menos elevados, pois permite menor contato.

Nos métodos de irrigação por gotejamento, o contato direto com folhas e frutos pode ser evitado e os riscos para o agricultor são também baixos. No entanto, a concentração de sólidos deve ser controlada para evitar obstrução no sistema.

De acordo com León & Cavallini (1999), na irrigação com águas residuárias é necessário um sistema que remova a matéria orgânica e nutriente, além de apresentar o menor risco de contaminação por microrganismos patogênicos.

#### **3.4.4 Práticas de Manejo do Sistema**

As práticas de manejo do sistema de irrigação tem por objetivo maximizar a produção vegetal com o menor consumo de água. Em outras palavras, a água aplicada deve ser efetivamente utilizada para a produção, com o mínimo de perdas (Scaloppi, 1996). Em se tratando de águas residuárias, exige-se um manejo especial do solo e da água, tendo em vista a conservação da qualidade do solo e a proteção da saúde dos agricultores e consumidores envolvidos.

No tocante as águas residuárias, deve-se efetuar práticas de manejo que evitem a acumulação de sais, com aplicação de volumes limitados de água, para facilitar uma boa percolação e drenagem do solo.

Portanto, deve-se escolher um método de irrigação com pouca demanda de água, solos que tenham boa capacidade de percolação para evitar a salinização progressiva destes.

De acordo com Cordeiro & Milla (1978), a prática de manejo do solo deve estar orientada para a obtenção de uma superfície uniforme, com declividade mínima para favorecer a drenagem e evitar o acúmulo de água nas áreas com níveis mais baixos.

Segundo Asano & Pettygrove (1990), uma gestão adequada para o controle da salinidade e sodicidade na exploração da água de irrigação, deve incluir as águas provenientes dos esgotos domésticos, verificando os seguintes fatores:

- Verificar se a permeabilidade do solo e sua drenagem são adequadas;
- Determinar a salinidade e a sodicidade iniciais do solo, procedendo a sua regeneração, se for necessário;
- Determinar a composição química da água de irrigação, avaliando os perigos para o solo e os cultivos.
- Lavar o solo para evitar a acumulação de sais. Por outro lado, deve-se evitar o desperdício de água;
- As plantas sadias suportam melhor a salinidade. Para isso é essencial fertilizar e prevenir quanto as pragas e insetos.

### **3.5. Aspectos de saúde pública relacionados ao reuso de águas residuárias**

#### **3.5.1 A Água e sua Relação com as Doenças**

Os maiores problemas sanitários que afetam a população mundial têm profunda relação com o meio ambiente. Como exemplo típico desta afirmação vale mencionar as diarreias, que, com mais de 4 bilhões de casos por ano, é a doença que mais aflige, atualmente, a humanidade (Heller, 2000).

São várias as causas que contribuem para tão alta incidência, porém é inegável que as condições do meio ambiente, assim como as do saneamento do meio estão entre as variáveis mais importantes.

É normal supor que ações de correção dos problemas relacionados com o saneamento básico terão, de algum modo, que modificar as condições de saúde humana. No entanto, os dados coletados, estatísticos e epidemiológicos das relações existentes entre as medidas de saneamento e seu impacto sobre a saúde não são fáceis de medir.

O interesse pelas relações entre o saneamento e a saúde vem sendo despertado em alguns militantes do setor do saneamento no Brasil, a partir sobretudo de meados da década de 1980.

As ausências de instrumentos de planejamento relacionados à saúde pública constitui importante lacuna em programas governamentais no campo do saneamento no Brasil. Essa limitação tem sido objeto de reconhecimento por parte de técnicos (Cynamon, 1986; Freitas et al., 1990; Romane, 1993) e do próprio poder público.

O reconhecimento da importância do saneamento e de sua associação com a saúde do Homem remonta às mais antigas culturas. Ruínas de uma grande civilização,

que se desenvolveu ao norte da Índia há cerca de 4000 anos atrás, indicam evidências de hábitos sanitários, incluindo a presença de banheiros e de esgotos nas construções, além de drenagem nas ruas. É igualmente de grande significado histórico a visão de saneamento de outros povos, como registro da preocupação com o escoamento da água no Egito, os grandes aquedutos e os cuidados com o destino dos dejetos na cultura creto-micênica e as noções de engenharia sanitária dos quíchuas (Rosen, 1994).

Em prosseguimento aos estudos que buscavam relacionar os benefícios do saneamento com a saúde, na década de 1960 verificou-se uma certa perplexidade diante da constatação quanto às dificuldades em se detectarem esses benefícios e até mesmo perante algumas dúvidas quanto à sua existência (Cairncross, 1989).

Segundo Briscoe (1987), em meados da década de 1970 predominava a visão de que avanços nas áreas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário nos países em desenvolvimento resultariam na redução das taxas de mortalidade.

No final da década de 1970, foram iniciados esforços no sentido de estudar as doenças infecciosas, sob o enfoque das estratégias mais adequadas para seu controle. Nessa visão, as doenças são classificadas tendo por base suas vias de transmissão e seu ciclo, distintamente da classificação biológica clássica, que agrupa as doenças segundo agente: vírus, bactéria, protozoário ou helminto (Feachem et al., 1983a).

A classificação ambiental das infecções relacionadas com a água, segundo Cairncross & Feachem (1990), origina-se da compreensão dos mecanismos de transmissão, que se agrupam em quatro categorias:

- *Transmissão hídrica*: ocorre quando o patógeno encontra-se na água que é ingerida;
- *Transmissão relacionada com a higiene*: identificada como aquela que pode ser interrompida pela implantação de higiene pessoal e doméstica;

- *Transmissão baseada na água*: caracterizada quando o patogênico desenvolve parte de seu ciclo vital em um animal aquático;
- *Transmissão por um inseto vetor*: na qual insetos, que procriam na água ou cuja picadura ocorre próximo a ela, são os transmissores.

A perspectiva de infecção de uma doença de veiculação hídrica apresenta distintas características quando cotejada à contaminação por agentes químicos dificultando o estabelecimento de concentrações mínimas de patogênicos. A infecção varia intrinsecamente com a virulência do patogênico, a dose infectante e a resistência imunológica do indivíduo. Este último fator explica a maioria dos óbitos, durante os recentes surtos, ocorrido em indivíduos portadores de alguma deficiência no sistema imunológico (Daniel, 2001)

Distintamente dos agentes químicos, alguns patogênicos são aptos a se reproduzir nos alimentos e nas bebidas, elevando os riscos de infecção. Com isso, torna-se difícil determinar o número de microrganismos viáveis capazes de produzir algum tipo de infecção. A Academia Nacional de Ciência (NAS) dos Estados Unidos reportou, em 1977, infecções sucedidas com concentrações entre  $10^3$  e  $10^9$  patogênicos por indivíduo, amplitude justificada por fatores como o estado geral de saúde do indivíduo e o tempo de exposição (Dezuane, 1997). Todavia, a sobrevivência dos microrganismos no ambiente, a temperatura da água e a presença de partículas suspensas e coloidais também são fatores significativos para a prevalência das doenças de veiculação hídrica.

A perspectiva de transmissão de doenças de veiculação hídrica relaciona-se, em sua maior relevância, com as características físicas, químicas e biológicas das águas naturais e, secundariamente, com o estado geral da saúde, idade e condições de higiene da população exposta. A poluição e a conseqüente alteração das características das águas naturais decorrem de causas naturais e, principalmente, das atividades antrópicas de cunho urbano, industrial e agrícola.



Podem ser arrolados como causas naturais das alterações nas características das águas o clima, a topografia e a geologia do terreno, a intrusão de água do mar nas regiões costeiras, a presença de nutrientes, os incêndios e as estratificações térmicas em lagos e reservatórios. Dentre as mesmas, merecem destaque a frequência e a intensidade das precipitações. Os períodos de estiagem favorecem a estagnação da água nos lagos e reservatórios e o florescimento de algas, e, adicionalmente, a ocorrência de incêndios maximizam a erosão da bacia hidrográfica. Em contrapartida, os períodos chuvosos acarretam a ressuspensão do material sedimentado no fundo dos lagos e rios e a conseqüente elevação das concentrações de partículas e, a elas associados, de cistos de *Giardia* e de oocistos de *Cryptosporidium* (Hroncich, 1999).

Contudo, apenas a partir da Década Internacional do Abastecimento de Água e do Esgotamento Sanitário, declarada pela Organização das Nações Unidas como o período 1981-1990, foi que se construiu uma compreensão mais aprofundada da relação entre condições sanitárias e saúde (Huttly, 1990).

Com essa motivação, estudos foram desenvolvidos a partir do início da década de 1980, buscando formular mais rigorosamente os mecanismos responsáveis pelo comprometimento das condições de saúde da população, na ausência de condições adequadas de saneamento.

A escolha de uma variável ou de um indicador, que reflita o estado de saúde de um grupo populacional, deve conciliar o compromisso entre a necessidade de efetivamente expressar a condição de saúde coletiva, por um lado, e a sua adequação à pesquisa em questão, por outro (Pereira, 1995).

Briscoe et al. (1986), afirmam que o emprego do indicador “morbidades por enfermidades diarreicas” tem sido referendado por trabalhos, que estabelecem roteiros metodológicos para os estudos de impacto de saneamento. A adoção dessa variável tem sido defendida em função de :

- 1) sua importância sobre a saúde pública;

- 2) a validade e a confiabilidade dos instrumentos empregados na sua determinação;
- 3) a sua capacidade de resposta a alterações nas condições de saneamento;
- 4) o custo e a exequibilidade demonstrados na sua determinação.

As novas tendências internacionais de regulamentação dos padrões de potabilidade das águas de consumo humano indicam uma preocupação crescente com a presença de novos contaminantes orgânicos e inorgânicos, bem como com a introdução de vários subprodutos do próprio processo de tratamento.

Os microrganismos presentes nas águas naturais são, em sua maioria, inofensivos a saúde humana. Porém, devido à contaminação por esgoto sanitário, estão presentes microrganismos que poderão ser prejudiciais à saúde humana. Os microrganismos patogênicos incluem vírus, bactérias, protozoários e helmintos.

A água consumida pela população deve estar isenta de microrganismos patogênicos (Daniel et al., 2001).

### **3.5.2 Qualidade de Água X Incidência de Doenças**

O Brasil apresenta grande potencial em recursos hídricos superficiais e subterrâneos, distribuídos de forma não equitativa no seu território, caracterizando áreas de grande disponibilidade e escassez. Essa dicotomia impulsionou o desenvolvimento de estudos quantitativos dos recursos hídricos, produzindo informações e ferramentas que auxiliam na gestão quanto à disponibilidade quantitativa das águas. O mesmo não ocorreu com o aspecto qualitativo das águas.

Apesar da existência de Normatizações de qualidade que estabelecem a classificação das águas e Portarias que atribuem critérios de potabilidade, essas Normas não são observadas com frequência, pois a maioria dos rios não possui enquadramento de suas águas nem redes de monitoramento da qualidade, devido à grande extensão territorial e ao elevado custo que representa a obtenção das informações necessárias à sua aplicação.

A questão da qualidade das águas ganha evidência no cenário atual com o aumento dos problemas decorrentes da ausência de gestão dos recursos hídricos, principalmente no que diz respeito a doenças de veiculação hídrica

A fragilidade dos sistemas públicos de saneamento materializa-se na ausência de redes coletoras de esgotos e principalmente, na qualidade da água distribuída à população, quando os sistemas de abastecimento se fazem presentes. A conjunção desses fatores concorre, para a manutenção dos índices de mortalidade infantil no Brasil entre os mais elevados do continente.

A inexistência de sistemas de coleta de águas residuárias, fomentou desde tempos remotos a associação da água como veículo na disseminação de diversas enfermidades. Durante os períodos chuvosos, a lixiviação dos solos acarretava o carregamento de fezes humanas aos corpos d'água, consolidando a associação entre a turbidez e a perspectiva de transmissão de várias moléstias.

As moléstias relacionadas a água se dividem em quatro grupos que dependem de como ocorre a transmissão. As doenças de veiculação hídrica, propriamente dita, constituem o grupo no qual o agente patogênico é ingerido junto com a água.

Relacionam-se também com a água as doenças passíveis de serem transmitidas durante as atividades de higiene pessoal, no contato com a água contaminada, e as moléstias cujo vetor apresenta parte de seu ciclo desenvolvido no ambiente aquático.

A sobrevivência dos microrganismos no ambiente, a temperatura da água e a presença de partículas suspensas e coloidais também são fatores significativos para a prevalência das doenças de veiculação hídrica.

Existem várias doenças que são transmitidas pela água (Tabela 7), dentre elas as principais são:

- Febres tifóide e paratifóide
- Disenteria bacilar e amebiana
- Cólera
- Giardíase
- Hepatite A e B
- Poliomelite

**Tabela 7** – Algumas doenças de veiculação hídrica relacionadas com os microrganismos patogênicos presentes na água residuária.

Organismos	Principais Doenças	Quantidade excretada por indivíduo infectado/g/fezes	Máxima sobre vivência na água (dias)	Dose infectante <sup>a</sup>	Principais sintomas
<b>Bactéria</b>					
<i>Escherichia coli</i>	Gastroenterite	10 <sup>8</sup>	90	10 <sup>2</sup> – 10 <sup>9</sup>	Diarréia
<i>Salmonella typhi</i>	Febre tifóide	10 <sup>6</sup>	-		Febre alta, diarréia, úlcera no intestino delgado
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera	10 <sup>6</sup>	30	10 <sup>8</sup>	Diarréias extremamente e fortes e desidratação
<i>Salmonella</i>	Salmonelose	10 <sup>6</sup>	60-90	10 <sup>6</sup> – 10 <sup>7</sup>	Infecção alimentar
<b>Protozoários</b>					
<i>Cryptosporidium</i>	Cryptosporidiose	10 <sup>2</sup>	-	1 – 30	Diarréia
<i>Entamoeba histolytica</i>	Disenteria amebiana	10 <sup>7</sup>	25	10 – 100	Diarréia prolongada com hemorragia, abscesso no fígado e no intestino delgado
<i>Giardia lamblia</i>	Giardíase	10 <sup>3</sup>	25	1 – 10	Diarréia fraca, náuseas, indigestão

Organismos	Principais Doenças	Quantidade excretada por indivíduo infectado/g/fezes	Máxima sobre vivência na água (dias)	Dose infectante <sup>a</sup>	Principais sintomas
<b>Vírus</b>					
Adenovírus (31 tipos)	Doenças respiratórias	10 <sup>6</sup>	-	-	vários <sup>c</sup>
Enterovírus (71 tipos) (polio, echo, coxsackie)	Gastroenterite, anomalias no coração, meningite, etc.	10 <sup>7</sup>	90	1-72	vários <sup>c</sup>
Hepatite A	Hepatite infecciosa	10 <sup>6</sup>	5-27	1-10	Icterícia, febre
Rotavírus	Gastroenterite	10 <sup>6</sup>	5-27	1-10	vários <sup>c</sup>
<b>Helmintos</b>					
<i>Ascaris lumbricoides</i> <sup>b</sup>	Ascaridíase	10-10 <sup>4</sup>	365	2-5	Vômito, larvas ou vermes vivos nas fezes
<i>Taenia solium</i> (solitária)	Cisticercose	10 <sup>3</sup>	270	1	Dor abdominal, distúrbios digestivos, perda de peso
<i>Schistosoma mansoni</i>	esquistossomose	-	-	-	Infecção no fígado e na vesícula

Fonte: Adaptado de GELDREICH (1978), KOWAL (1982) e PROS (1987) apud CRAUN (1996) e U.S.EPA (1(1999b).

<sup>a</sup> Dose infectante que provoca sintomas clínicos em 50% dos indivíduos testados

<sup>b</sup> Modo de infecção: ingestão de ovos infectados, em água ou solo contaminado por fezes humanas ou ingestão de produtos crus contaminados

<sup>c</sup> Devido a existirem várias espécies desses vírus, eles apresentam diversos sintomas

### 3.5.3 Caracterização Parasitológica do Esgoto

É freqüente interpretar-se a expressão “controle de microrganismos” como sendo a atividade que visa eliminar sumariamente todos os microrganismos que habitam as águas. Tal interpretação é, entretanto, falsa podendo levar a erros graves no tratamento de água, pois os microrganismos não são, necessariamente seres nocivos à saúde público ou ao tratamento de águas; em certos casos, eles são de grande interesse econômico e mesmo sanitário em águas naturais. É indiscutível o papel que microrganismos, tais como: bactérias, protozoários, algas e possivelmente fungos, desempenham na depuração natural ou artificial de esgotos. Há entretanto, ao lado dos benefícios, vários prejuízos, que podem ser causados pelos microrganismos quando estes são parasitas, principalmente a transmissão de moléstias.

Segundo Branco (1986) e Metcalf & Eddy (1991), os organismos patogênicos encontrados nas águas residuárias podem ser descartados pelos seres humanos os quais estão infectados com doenças ou são portadores de doenças em particular. Os principais agentes patogênicos encontrados nas águas residuárias são: bactérias, protozoários, vírus e helmintos, conforme registrados na Tabela 8. Estes microrganismos por serem altamente infecciosos são responsáveis por milhares de mortes a cada ano em áreas com saneamento precário.

Os microrganismos patogênicos, que provocam enfermidades entéricas, como as diarreias, tifo, hepatite, etc, são excretados pelas pessoas doentes, e estão presentes nas águas residuárias domésticas. Esses agentes são vírus, bactérias, protozoários e helmintos que, geralmente, estão presentes em concentrações elevadas nas águas e são transmitidas através das verduras, manipulação de alimentos e pela falta de higiene pessoal ou pela reutilização dos esgotos domésticos. Estudos realizados por Crook (1985) apud Pereira de Brito (2000) destaca os principais patogênicos encontrados nas águas residuárias brutas sem tratamento e as enfermidades por eles causados.

**Tabela 8** – Principais patógenos presentes nas águas residuárias sem tratamento e as enfermidades por eles causados.

<b>Patogênicos</b>	<b>Enfermidades</b>
<b>Protozoários</b>	
Entamoeba histolytica	Amebíase
Giárdia lamblia	Giardíase
Balantidium coli	Balantidíase
<b>Helmintos</b>	
Ascaris lumbricoides	Ascariíase
Ancylostoma duodenale	Ancilostomíase
Necator americano	Necatoríase
Ancylostoma spp	Larva cutânea migratória
Strongyloides stercoralis	Estrogiloidíase
Trichuris trichiura	Trichuriíase
Tênia spp	Teníase
Enterobius vermiculares	Enterobíase
Echinococos granulosos	Hydatdosis
<b>Bactérias</b>	
Shigella spp	Shigelose (disenteria)
Salmonela typhi	Febre tifóide
Salmonella spp	Salmonelose
Vibrio colerae	Cólera
Escherchia coli	Gastroenterite
Leptospira	Gastroenterite
<b>Virus</b>	
Enterovírus (71 tipos: poli, echo, coxsackie)	Gastroenterite, anomalias do coração, meningite...
Hepatite A	Hepatite infecciosa
Adenovirus	Doenças respiratórias
Rotavirus	Gastroenterite
Parvovirus	Gastroenterite

Fonte: CROOCK (1985) apud PEREIRA DE BRITO (2000)



O potencial de sobrevivência dos microrganismos patogênicos diminui com o tempo devido às condições ambientais adversas, tais como: o calor, a luz solar, a dissecação e o predadorismo existente entre um organismo e outro. A Tabela 9, resume o tempo de sobrevivência dos quatro tipos de organismos patogênicos no solo e nas plantas, proporcionando uma visão da resistência desses microrganismos no meio ambiente (WEP (1996); U.S.EPA (1999b)).

**Tabela 9** – Fontes de origem e tempo de sobrevivência dos patogênicos no solo e nas superfícies das plantas.

Organismos	Fontes de origem	Tempo de sobrevivência (dias)	
		Solo	Planta
<b>Bactéria</b>	Humana e animal, água e comida contaminada	60-365	30-180
<b>Vírus</b>	Humana e animal, água poluída e comida contaminada	90-365	30-60
<b>Protozoários<sup>a</sup></b>	Humana e animal, esgoto, vegetação deteriorada e água	2-10	2-5
<b>Helmintos<sup>b</sup></b>	Humana e animal, esgoto, comida e água contaminada	730-2555	30-150

Fonte: Adaptado da WEP (1996), GELDREICH (1996,) e U.S.EPA (1999b).

<sup>a</sup> O tempo de sobrevivência refere-se aos cistos de protozoários (cistos de *Giárdia* e oocistos de protozoários)

<sup>b</sup> O tempo de sobrevivência refere-se aos ovos de helmintos

As rotas são o caminho de transmissão dos reservatórios de patogênicos para o ser humano. Os reservatórios podem ser primários, tais como as fezes humanas ou de animais contaminados, ou secundário, tais como o esgoto bruto ou tratado. Os vetores, que são agentes que transmitem patogênicos de um organismo para outro, juntamente com os reservatórios, são freqüentemente referidos como veículos transmissores. As rotas de infecção podem ser por contato direto, indireto e acidental. De acordo com o relacionado na

Tabela 10. O conhecimento das rotas e dos meios de transmissão é de fundamental importância para se tomar medidas preventivas.

**Tabela 10** – Rotas de Transmissão de patógenos.

<b>Contato direto</b> (ingestão) <sup>a</sup>	Comida, bebida ou ingestão acidental dos organismos patogênicos (por exemplo: Hepatite A)
<b>Contato direto</b> (inalação)	Respiração de aerossóis ou de mistura contendo microrganismos patogênicos (por exemplo: um simples resfriado)
<b>Contato acidental</b> (contato com a pele)	Entrada dos microrganismos patogênicos pelo contato com a pele (por exemplo: o tétano)

Fonte: Adaptado da WATER ENVIROMENT FEDERETION (1996)

<sup>a</sup> a ingestão é geralmente a maior rota de transmissão de patógenos

A Figura 1 mostra um fluxograma com as possíveis rotas de transmissão de patógenos por excretas.

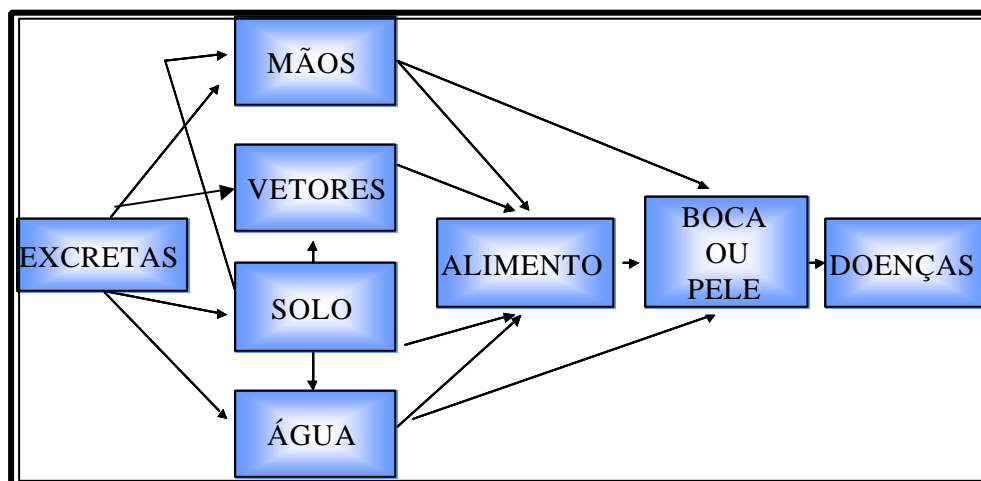


Figura 1 – Fluxograma de propagação de doenças por excretas

Fonte: Adaptado da FUNASA (2000); WEF (1996).

### 3.5.4 Contaminantes Biológicos Estudados Nas Águas Residuárias

Os microrganismos presentes nas águas naturais são, em sua maioria, inofensivos à saúde da população humana. Porém, devido à contaminação por esgoto sanitário, estão presentes microrganismos que poderão ser prejudiciais à saúde humana.

O esgoto doméstico contém aproximadamente 99,9% de água. Devido a fração 0,1% restante é que há a necessidade de tratamento, pois inclui sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, bem como microrganismos (Von Sperling, 1996).

Segundo Paganini (1997), a concentração dos esgotos domésticos depende de vários fatores tais como:

- ✓ Características das águas de abastecimento;
- ✓ Usos aos quais essas águas foram submetidas;
- ✓ Condições sócio-econômicas;
- ✓ Clima da região;
- ✓ Consumo de água per capita.

As características dos esgotos domésticos variam não somente de localidade para localidade, mas também de acordo com a época do ano, bem como das horas do dia.

No Brasil, adota-se um volume de contribuição de esgotos igual a 80% do consumo per-capita de água de abastecimento.

De acordo com Metcalf & Eddy (1995), o conhecimento da natureza da água residual é fundamental em projetos de pesquisa de infra estrutura e tratamento dessas águas, bem como da gestão da qualidade do meio ambiente.

A maior preocupação com a reutilização de águas residuárias é a possibilidade de transmissão e propagação de enfermidades, porque elas podem conter os mais variados microrganismos patogênicos (Pereira de Brito, 1997).

Os principais organismos encontrados nos rios e nos esgotos são as bactérias, os fungos, as algas e outros grupos de plantas e de animais (Mota, 1997). No uso de águas residuárias para irrigação, os contaminantes de importância para a saúde pública são biológicos (vírus, bactérias, protozoários e helmintos). Contaminantes químicos não são relevantes, exceto em dejetos de certas indústrias (Von Sperling, 1996).

A água consumida pela população deve estar isenta de patógenos. A eliminação ou inativação desses microrganismos é conhecida como desinfecção.

Dentre os principais microrganismos patogênicos podemos destacar:

- *Escherichia coli* – principal doença transmitida por este patógeno é a gastroenterite
- *Salmonella typhi* – transmissor da febre tifóide
- *Salmonella* – transmissor da salmonelose
- *Giardia lamblia* – transmissor da giardíase
- Hepatite A – transmissor da hepatite infecciosa
- Rotavírus – transmissor da gastroenterite
- *Taenia solium* – transmissor da cisticercose

### 3.5.5 Bactérias

Bactérias são microrganismos unicelulares, apresentando-se isoladamente ou em agregados, formando colônias. A célula que constitui cada indivíduo possui tamanho variável entre 0,5 a 25 micra aproximadamente, com forma esférica, de bastonete espiralada, apresentando ou não flagelos para locomoção. As bactérias reproduzem-se praticamente por meio de simples divisão, ou formação de esporos, não ocorrendo em geral por meio de reprodução sexuada (Hammer & Hammer Jr, 1996).

De acordo com Paganini (1995), as fezes de indivíduos saudáveis contém grande número de bactérias comensais de várias espécies, podendo variar muito em função da estrutura epidemiológica da população considerada e sendo, por esse motivo e por razões econômicas, utilizadas como indicadores de poluição fecal.

As espécies dos gêneros *Enterobacter*, *Citrobacter* e *Klebsiella* podem persistir por longos períodos e se multiplicarem em ambientes não fecais (Siqueira, 1995).

As bactérias constituirão talvez o elemento mais importante desse grupo de organismos, responsáveis pela decomposição e estabilização da matéria orgânica, tanto na natureza como nas unidades de tratamento biológico. São uma forma de alimento dos protozoários também nas operações de depuração biológica, servindo como elementos de equilíbrio entre as diferentes formas de organismos.

A detecção e quantificação de todos de microrganismos em uma amostra de água é extremamente difícil, laboriosa, em razão das suas baixas concentrações, o que demandaria o exame de grandes volumes de amostras para que fosse detectado um único ser patogênico, demanda tempo, os custos são elevados, e nem sempre se obtêm resultados positivos ou que confirmem a presença de microrganismos, o que inviabiliza sua aplicação de rotina, além de que, normalmente esses se encontram em baixas concentrações, sua chegada a água é intermitente e existem várias espécies presentes na água (Von Sperling 1996; Lima et al, 1999).

Por esse motivo para a avaliação da qualidade da água do ponto de vista bacteriológico é necessária a utilização de um microrganismo indicadores da contaminação fecal, que, de forma indireta, indiquem a presença de microrganismos patogênicos e garantam com alguma segurança a qualidade da água, ou seja, que a água poderá ser consumida com risco mínimo ou sem nenhum risco para a população quando o microrganismo indicador não estiver presente.

A escolha deste microrganismo é difícil, pois um microrganismo indicador deve apresentar as seguintes características:

- Ser membro normal da flora intestinal dos indivíduos sadios
- Habitar exclusivamente o intestino e conseqüentemente ser de origem exclusivamente fecal quando encontrado no ambiente aquático
- Ser exclusivamente de origem humana
- Estar sempre presente quando patogênicos de origem fecal estiverem presentes
- Estar sempre em maior número do que os patogênicos fecais
- Ser incapaz de crescer em ambiente externo ao intestino e apresentar taxa de inatividade inferior aos patogênicos de origem fecal
- Ser fácil de ser detectado e contado
- Não ser patogênico
- Ser resistente aos fatores antagônicos naturais e aos processos de tratamento de águas e de esgotos em grau igual ou maior do que os patogênicos de origem fecal.

A prática de controle microbiológico de qualidade da água de consumo se fundamenta no controle da presença de bactérias do grupo coliformes, seguindo tendência internacional.

Tal controle se baseia na lógica de organismos indicadores, a partir do pressuposto de que dadas as características dos coliformes, sua ausência nas águas de abastecimento, sobretudo dos coliformes fecais, significaria uma garantia sanitária de segurança microbiológica da água em termos de saúde pública.

De acordo com Branco (1986), Metcalf & Eddy (1995), Von Sperling (1996), Feachem (1983) apud Morais Barros (1997), os organismos mais usados como indicadores de contaminação fecal são as bactérias do grupo coliforme, pelas seguintes razões:

- ❖ Os coliformes apresentam-se em grande quantidade nas fezes humanas. 1/3 a 1/5 do peso das fezes humanas é constituído por bactérias do grupo coliformes.
- ❖ Os coliformes apresentam-se em grande número apenas nas fezes do homem e na de animais de sangue quente. O homem pode excretar até  $4 \times 10^{11}$  coliformes por dia.
- ❖ Os coliformes apresentam resistência similar à maioria das bactérias patogênicas intestinais.
- ❖ As técnicas bacteriológicas para a detecção de coliformes são rápidas e econômicas.

Os principais microrganismos propostos como indicadores de patogênicos são:

- Coliformes totais (CT);
- Bactérias do grupo coliformes fecais (CF),
- *Escherichia coli*
- Colifagos
- Estreptococos fecais (EF).
- *Clostridium perfringens*.

Outros indicadores são propostos e todos apresentam vantagens e desvantagens de aplicação para avaliação da qualidade sanitária das águas. No entanto os padrões bacteriológicos de qualidade da água em nível nacional e internacional estão baseados

na detecção e enumeração de coliformes totais e coliformes fecais (Conselho Nacional Do Meio Ambiente – CONAMA, 1998; World Health Organization – WHO, 1985).

### 3.5.5.1 Coliformes totais (CT)

Constituem um grande grupo de bactérias que tem sido isoladas de amostras de água e de solo poluídos e não poluídos, bem como em fezes de seres humanos e de outros animais de sangue quente. Não existe uma relação quantificável entre CT e microrganismos patogênicos.

O grupo de bactérias coliformes, denominado como coliformes totais, é constituído por vários gêneros de bactérias que pertencem à família das enterobacteriaceae (*Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Citrobacter*). Os coliformes são bastonetes gram negativos, não formadores de esporos, anaeróbios facultativos que podem fermentar a lactose em 24-48 horas com produção de ácido e gás CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub> à temperatura de 35-37°C (APHA, 1989).

Os gêneros *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Citrobacter* não são de origem exclusivamente fecal, podendo em certas circunstâncias, principalmente em climas quentes, reproduzirem em meio ambiente, e podem ser encontrados na vegetação e no solo, comprometendo assim a utilização do grupo coliformes totais como indicadores específicos de poluição de origem exclusivamente fecal. Por este motivo, foi desenvolvido métodos para a enumeração de um subgrupo de coliformes totais, denominado de coliformes fecais, que foi caracterizado com base na habilidade de produzir gás a elevadas temperaturas de incubação,  $44,5 \pm 0,2$  °C para  $24 \pm 2$  horas (Feachem et al. 1983; Metcalf & Eddy, 1991).



### 3.5.5.2 Coliformes fecais (CF)

O grupo de bactérias coliformes é encontrado no intestino de animais de sangue quente (homem, porco, cão, vaca, gato, ...), onde vivem saprofiticamente, não causando em geral, nenhum dano ao hospedeiro. Cada pessoa descarta de 100 a 400 bilhões de organismos coliformes por dia, além de outras bactérias. Tais organismos nem sempre são patogênicos, mas indicam uma satisfatória contaminação e a potencialidade de transmissão de doenças (Branco, 1986).

São, entretanto, de grande valor para a sanitarista, uma vez que sua presença na água indica a contaminação desta por fezes ou esgotos domésticos.

Segundo Eldberg et al. (1986), embora a utilização dos coliformes fecais, em substituição aos totais, tenha implicado numa vantagem como indicador de contaminação de origem fecal, tornou-se evidente posteriormente, a existência de outros coliformes também termotolerantes, além da *Escherichia coli*, principalmente os do gênero *Klesbsiella*, e estes, por não serem de origem exclusivamente fecal, comprometem a especificidade deste subgrupo como indicador de contaminação fecal.

Para contornar a controvérsia da existência de coliformes termotolerantes que não são exclusivamente de origem fecal e a presença destes como microrganismos patogênicos, vários autores sugeriram a utilização da *Escherichia coli* como indicadora de poluição fecal (Dufour, 1977).

Segundo Elmund et al. (1999), a *Escherichia coli* constitui-se um indicador específico de contaminação fecal, representando ser o melhor indicador de poluição fecal e distingue-se de outras bactérias intestinais por fermentar a lactose do meio de cultura, produzindo gás, o que não é feito pelas patogênicas como as Salmonelas e Shigelas (Branco, 1986; Mota, 1997; Cerqueira, 2000).

Dufour (1977) afirmou que dos coliformes totais encontrados nas fezes frescas de animais de sangue quente, mais de 90% corresponde a *Escherichia coli* e o remanescente tem sido associado a outras espécies.

A *Escherichia coli* é um microrganismo presente na flora intestinal humana e constitui o principal componente do grupo coliformes fecais e foi até 1950 reconhecida como não patogênica.

As bactérias do grupo coliformes fecais são indicadoras de organismos originários do trato intestinal humano e de outros animais. O teste para coliformes fecais é feito a uma elevada temperatura, na qual o crescimento de bactérias de origem não fecal é suprimido.

O subgrupo dos coliformes fecais possui as mesmas características dos coliformes totais, com a diferença de que fermenta a lactose em 24h à temperatura de 44,5°C e também produz indol a essa temperatura (Hoadley & Dutra apud Morais Barros, 1997).

Os esterococos fecais constituem um grupo de bactérias reconhecidas como indicadores de contaminação fecal desde o início do século passado. O habitat normal desse grupo de bactérias é o trato intestinal humanos e de outros animais, não ocorrendo normalmente em águas e solos de áreas não poluídas. Como não se reproduzem em águas poluídas, sua presença é indicativa de contaminação fecal recente. Esse grupo de bactérias engloba várias espécies que apresentam diferentes graus de resistência às variações ambientais e origens fecais específicas.

O gênero *Klebsiella* pode ser associado com o recrescimento de coliformes em sistemas de distribuição de água e é freqüentemente o maior componente da população de coliformes na vegetação e em resíduos de indústrias de papel, têxtil e outros. Em fezes humanas e de animais de sangue quente a população de *Klebsiella* varia de 30 a 40 % da população de bactérias de coliformes presentes (APHA, 1995).

Os *Streptococcus faecalis* são excretados nas fezes humanas em menor quantidade quando comparado à *Escherichia coli*, porém, em outros animais homeotermos, ocorrem em números superiores aos de coliformes fecais (Geldreich & Kenner, 1969).

Esse grupo tem sido usado em conjunto com os coliformes fecais para determinar a fonte da recente contaminação fecal, se é de origem animal ou humana e também tem sido proposto para detectar a provável presença de vírus em águas pouco contaminadas de tratamento, quando comparada ao grupo de coliformes (Cohen & Shuval, 1973). No entanto, o seu uso como indicador foi questionado, pois foram detectados alguns vírus em locais onde não existiam *Streptococcus* inviabilizando o seu uso (Niemi & Niemi, 1991; Metcalf & Eddy, 1991).

Outros organismos, como os colífagos e os *Clostridium sp*, por apresentarem maiores resistências, têm sido propostos para serem indicadores de contaminação por vírus e protozoários, respectivamente.

Os colífagos são bacteriófagos que infectam e se replicam em cepas hospedeiras de *Escherichia coli* e parecem estar sempre presentes na amostra em estudo na qual *Escherichia coli* é isolada. Por essa razão, podem servir também como indicadores de poluição de origem fecal. São utilizados na avaliação da qualidade da água com a vantagem de fornecer resultados após um tempo mínimo de 4 a 6 horas.

Grabow (1993) afirma que os bacteriófagos podem ser bons indicadores por possuírem comportamento semelhante ao de vírus entéricos humano no meio ambiente; são geralmente mais resistentes do que os vírus às condições desfavoráveis ambientais; são detectáveis por métodos relativamente simples, baratos e rápidos, e não possuem a capacidade de infectar o homem, não constituindo riscos à saúde humana.

As bactérias, *Clostridium perfringens*, tem sido utilizadas como indicador bacteriológico de contaminação fecal, pois sua incidência no meio aquático está constantemente associada a dejetos humanos, sendo sua presença detectada em fezes, esgotos e águas poluídas. Por serem esporuladas, essas bactérias apresentam grande resistência aos desinfetantes e às condições desfavoráveis do meio ambiente. A excepcional longevidade de

seus esporos na água é útil na detecção de contaminação fecal remota em situações em que outros indicadores menos resistentes, como *Escherichia coli*, já não são mais presentes.

Os *Clostridium perfringens* são bacilos curtos, gram-positivos, anaeróbios obrigatórios, imóveis, esporogênicos. Não possuem catalase, fermentam a lactose, manose e sacarose com produção de gás, reduzem o sulfito a sulfeto de hidrogênio e o nitrato a nitrito.

O exame de *Clostridium perfringens* é recomendado como um complemento valioso para outros testes bacteriológicos de avaliação da qualidade da água, particularmente em certas situações específicas, entre as quais se incluem o exame de águas cloradas e águas não tratadas contendo resíduos industriais letais a bactérias não esporuladas.

### **3.5.5.3 Estreptococos fecais (EF)**

Incluem várias espécies de estreptococos fecais, tendo no intestino de seres humanos e outros animais o seu habitat usual.

A relação entre coliformes fecais e estreptococos fecais (CF/EF) é um bom indicador sobre a origem da contaminação. Quanto maior o valor da relação CF/EF considera-se que seja maior a contribuição relativa da contaminação de origem humana.

No entanto, diversos cuidados devem ser tomados, tanto nas condições corretas para a obtenção de dados de CF e EF, quanto na interpretação da relação CF/EF. De maneira geral, pode-se dizer que essa relação seja útil apenas como indicador amplo de provável origem principal de contaminação.

De acordo com Von Sperling (1996), adotam-se os seguintes limites para a relação entre coliformes fecais e estreptococos fecais:

CF/EF > 4	contaminação predominantemente humana (ou esgotos domésticos são um componente importante)
CF/EF < 1	contaminação predominantemente de outros animais de sangue quente (o escoamento superficial é um componente importante)
1 < CF/EF < 4	interpretação duvidosa

Por isso, foram desenvolvidos testes para medir coliformes totais, coliformes fecais e estreptococos fecais. A medida dos coliformes é dada por uma estimativa estatística de sua concentração, conhecida como o Número mais Provável de Coliformes (NPM/mL ou NPM/100 mL). Determinadas por técnicas próprias de laboratório. O esgoto bruto contém cerca de  $10^3$  a  $10^{11}$  NPM/100 mL de coliformes totais, e de  $10^6$  a  $10^7$  NPM/100 mL de coliformes fecais.

Segundo Cerqueira (2000), os percentuais de ocorrência dos gêneros coliformes fecais em fezes humanas e de animais tem sido avaliados em vários estudos. A Tabela 11 mostra este percentual.

**Tabela 11** – Percentuais Dos Gêneros De Coliformes Em Fezes Humanas E De Alguns Animais

Animal examinado	E. coli (%)	Klebsiella spp	Enterobacter/citrobacter
Frango	90	1,00	9,00
Vaca	99,9	-	0,10
Ovelha	97	-	3,00
Cabra	92	8,00	-
Porco	83,5	6,80	9,70
Cão	91	-	-
Gato	100	-	-
Cavalo	100	-	-
Homem	96,8	1,50	1,70
Média	94,5	1,90	2,60

Fonte: CERQUEIRA, 1999.

Cabe destacar, também, que em um grama de fezes humanas, existem em média de  $3 \times 10^6$  a  $3 \times 10^9$  de coliformes. A quantidade de organismos indicadores em fezes de animais superiores é apresentada na Tabela 12.

**Tabela 12** – Estimativa do número de microrganismos indicadores por grama de fezes em alguns animais

<b>Animal</b>	<b>Coliformes fecais (<math>\times 10^6</math>)</b>	<b>Estreptococos fecais (<math>\times 10^6</math>)</b>
<b>Frango</b>	1,30	3,40
<b>Homem</b>	13	3
<b>Ovelha</b>	16	38
<b>Pato</b>	33	54
<b>Peru</b>	0,29	2,80
<b>Porco</b>	3,30	84
<b>Vaca</b>	0,23	1,30

Fonte: MARA, 1974 apud MORAIS BARROS, 1997

É importante destacar, também, a quantidade necessária de organismos para iniciar infecções e doenças em seres humanos conforme a Tabela 13. No entanto, essa quantidade depende, dentre outros fatores, da suscetibilidade da pessoa em contrair a doença.

**Tabela 13** – Quantidade de microrganismos necessária para iniciar enfermidades em seres humanos

<b>Organismos</b>	<b>Quantidade</b>
Giardia lamblia	10
Shigela dysenteriae	10
Vibrio colerae	1.000
Salmonella typhi	10.000
Cistos de Entamoeba histolytica	20
Escherichia coli	$10^{10}$
Clostridium perfringens	$10^{10}$

Fonte: DANIEL, 2000

Algumas bactérias patogênicas, ou potencialmente patogênicas, excretadas com as fezes e nas águas residuárias como: *Campilobacter foetus* (ssp. *Jejuni*), *Escherichia coli* (patogênicas), *Salmonella* (*typhi*, *paratyphi* e outras), *Shigella* spp., *Vibrio cholerae* e *Yersinia enterocolitica*. Apesar de as bactérias terem acesso na maioria das vezes via água, alimentos ou mãos sujas, às vezes o fazem, por inalação de partículas sob a forma de aerossóis, ou pelos olhos, depois de esfregamento com as mãos sujas.

Dentre as bactérias patogênicas, *Shigella* ocasiona diarreias agudas e sua presença está associada somente a condições precárias de saneamento básico. A bactéria *Escherichia coli*, apesar de ser um componente característico da flora intestinal humana e de muitos animais, pode causar diarreias infantis sérias, gastroenterites e infecções urinárias em adultos.

A diarreia é o mais importante dos sintomas das infecções intestinais. As bactérias do gênero *Salmonella* são os organismos patogênicos mais frequentes em águas residuárias, podendo invadir o organismo causando infecções localizadas ou generalizadas, sendo essas invasões bastante características da febre tifóide ou de outras febre entéricas e até meningites, causando a letalidade. É transmissível por água e por alimento e pelo contato direto com animais e humanos infectados. Quando à infecção, fica restrita aos intestinos, o contágio entre os indivíduos dá-se pelas fezes. Por outro lado, quando a infecção é generalizada, as bactérias têm acesso à corrente sanguínea e, em seguida, à urina.

### 3.5.6 Helmintos

O ciclo de vida da maioria dos helmintos ocorre de forma direta, envolvendo uma fase parasitária, representada pela população deles no hospedeiro e outra não parasitárias, ocorrendo no meio externo. O alojamento no hospedeiro é responsável pela taxa

de contaminação ambiental, enquanto o do meio externo condiciona a taxa de infecção dos hospedeiros (Maciel, 1984).

O ciclo de vida da maioria dos helmintos é composto por uma série de eventos: sobrevivência e desenvolvimento dos ovos, sobrevivência dos ovos embrionados, eclosão, desenvolvimento larval a larva infectante, ingestão de larvas infectantes, cruzamento dos helmintos adultos de sexo diferente no hospedeiro, com eliminação dos ovos nas fezes completando o ciclo.

Entre os elementos climáticos que afetam a eclosão dos ovos e o comportamento das larvas de nematódeos, os mais importantes são a temperatura e a umidade (Levine, 1974 apud Maciel, 1984).

Muitas espécies de helmintos têm o homem como hospedeiro; algumas podem causar sérias doenças, porém grande número infecta o homem de forma assintomática. Dentre as espécies, podemos citar: *Ancylostoma duodenale*, *Ascaris lumbricoides*, *Diphyllobothrium latum*, *Enterobius vermicularis*, *Schistosoma Mansoni*, *Taenia saginata*, *Taenia solium*, *Trichuris trichiura* e *Strongyloides stercoralis* (Rey, 1996).

De acordo com Ayres et al (1992), os riscos de infecções causadas por nematóides intestinais, incluindo *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura*, *Ancylostoma duodenale* e *Necator americanus* são maiores que os causados por vírus e bactérias, que são menos persistentes no ambiente e sua imunidade geralmente se desenvolve no início da vida.

A vida livre na fase larvária dos nematóides não é patogênica ao ser humano. Os ovos e as larvas são resistentes ao estresse do meio ambiente e podem sobreviver aos procedimentos usuais de desinfecção: entretanto, os ovos de helmintos são removidos por processos utilizados na prática do tratamento dos esgotos, como a sedimentação, a filtração e os sistemas de lagoa de estabilização.

Cabe destacar que as infecções intestinais causadas por helmintos constituem-se nas mais comuns em seres humanos em todo o mundo, sendo as infecções por



nematóides transmitidas pelo solo as mais prevalentes e a maior causa de morbidade em crianças escolares de países em desenvolvimento (Santos, 1999).

Segundo Pessoa & Martins (1977), 70% da população brasileira esta parasitada por *Ascaris lombricóides* e 14% por *Enterobius vermiculares* cujos ovos são ingeridos através de água ou alimentos contaminados. Os ovos de *Ascarídeos* são bastante resistentes às variações ambientais.

Atualmente a preocupação com doenças parasitárias tem sido bastante grande em nosso país, especialmente aquelas associadas a consumo de alimentos e águas contaminadas com *Tênia solium*, visto que os registros de casos de neurocisticercose em clinicas de tomografia aumentaram significativamente, nos últimos anos (Coelho & Campos, 1996).

Em se tratando de contaminação de helmintos pelo gado bovino quando alimentados via capim irrigado com esgoto, em Populina-SP, exames clínicos veterinários realizados na biomassa irrigada revelaram uma contagem média de 125 ovos de *Strongyloide* por grama de fezes nos animais adultos. Se considerar que a OPG (ovos por grama) de até 400, em animais adultos com alimentação normal, são comuns, pode-se concluir que, nos casos dos animais que consumiram a biomassa em Populina, o resultado é satisfatório (Paganini, 1997).

### **3.5.7 Padrões Bacteriológicos Recomendados para Irrigação**

De acordo com Bastos & Mara (1993), os primeiros padrões adotados para irrigação de águas residuárias foram estabelecidos no estado da Califórnia em 1918, os quais, dentre outras normas, proibia a utilização de efluentes brutos e de tanques sépticos para a irrigação de vegetais ingeridos crus.

Vários estudos foram idealizados para se ter 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 coliformes fecais/ 100 ml para irrigação sem restrições. Desde a publicação dos critérios da OMS, diversos estudos permitiram, de certa forma, o respaldo dos padrões estabelecidos.

A Califórnia tem um dos padrões mais rigorosos do mundo: 2,2 coliformes/100 ml para culturas consumidas cruas (Léon & Cavallini, 1999). No Brasil a resolução nº 20/86 do CONAMA de 18/08/86 estabelece que para a irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de plantas frutíferas que se desenvolvem rente ao solo as águas não devem ser poluídas com excrementos humanos.

Um bom ponto de partida para a avaliação dos riscos potenciais de saúde decorrentes da irrigação irrestrita com águas residuárias contendo 1000 CF/100 mL, pode ser a observação dos critérios de qualidade bacteriológica exigidos para hortaliças.

Nesse sentido, destacam-se os critérios estabelecidos pela International Commission on Microbiological Specifications for Foods, que estão resumidos no quadro a seguir:

Organismos	Limite (CF/100ml)	
	Mínimo	Máximo
Escherichia coli	10	10 <sup>5</sup>
Salmonella	0	-
SPC	10 <sup>7</sup>	10 <sup>9</sup>
CF	10 <sup>2</sup>	10 <sup>4</sup>

Fonte: BASTOS (1999)

Para alimentos, a legislação em vigor no Brasil é regulamentada pela portaria nº 451 de 19/08/97 e aprovado pela secretaria de Vigilância sanitária – SVS do Ministério da Saúde. Para hortaliças frescas, refrigeradas ou congeladas, consumidas diretamente, estabelece: ausência de Salmonella em 25 gramas de produto e presença máxima de 200 cdiformes fecais / grama (Tabela 14.A).

Com os dados da Tabela 14.A, observa-se que as hortaliças contendo  $10^3$  CF/100g seriam consideradas de boa qualidade, exigindo-se naturalmente a verificação simultânea da ausência de Salmonella. Embora não se possa afirmar conclusivamente que a presença de 1000 CF/100g garanta a ausência de Salmonella, essa é uma tendência relativamente provável. A Tabela 14.B mostra alguns resultados da presença de Salmonella em hortaliças, simultaneamente com E. coli.

Bastos & Mara (1995), avaliaram a qualidade microbiológica de alfaces e rabanetes irrigados com efluentes de lagoas de estabilização, os quais apresentaram uma qualidade ligeiramente inferior à recomendada:  $1,7 - 5,0 \times 10^3$  E. coli e  $0,1 - 0,3$  salmonellae spp/100 ml. Os níveis de contaminação resultantes encontraram-se dentro da faixa qualificada como aceitável pelos critérios internacionais de classificação de qualidade microbiológica de alimentos (IMCSF, 1974). É importante ressaltar, que não se detectou a presença de Salmonella.

De maneira análoga, Castro de Esparza & Sáenz (1990), sugerem que para que não se encontre Salmonella em verduras irrigadas com águas residuárias, o limite de CF deve ser de  $10^4$  org. / 100 ml.

**Tabela 14.A** – Critérios de qualidade bacteriológica de frutas e hortaliças no Brasil.

<b>Organismos</b>	<b>Salmonella spp</b>	<b>Coliformes totais NPM (máximo)</b>	<b>Coliformes fecais NPM (máximo)</b>	<b>Clostrídios sulfitos redutores a 46° C (máximo)</b>
a) frutas frescas, inteiras, refrigeradas ou congeladas, consumidas diretamente	25 g	-	200 / g	-
b) frutas e hortaliças secas, desidratadas ou ionizadas	25 g	-	10 / g	-
c) frutas cristalizadas	25 g	-	10 / g	-

Fonte: BASTOS (1999)

**Tabela 14.B – Presença de *Salmonellae* e organismos indicadores em hortaliças**

<b>E. coli</b> <b>CF org. / 100g</b>	<b>Salmonellae</b>		<b>Fonte</b>
	<b>Nº de amostras</b>	<b>% Positivo</b>	
< 10 <sup>4</sup>	76	8	Tamminga et al. (1978)
> 10 <sup>4</sup>	27	63	Tamminga et al. (1978)
7 x 10 <sup>3</sup>	209	70	Ercolani (1976)
10 <sup>6</sup> – 10 <sup>8</sup>	11	50	Chapman (1980)
10 <sup>3</sup>	?	6,2	Ruiz et al. (1980)
5 x 10 <sup>4</sup>	250	-	Costa – Vargas (1988)
10 <sup>2</sup> - 10 <sup>4</sup>	?	-	Smith (1982)

Fonte: BASTOS (1999)

### **3.6. Riscos de contaminação com a irrigação**

#### **3.6.1 Riscos Reais e Riscos Potenciais**

Nas últimas décadas, o uso de esgotos e efluentes tratados na irrigação tem-se mostrado cada vez mais desejável em face de seus inegáveis benefícios.

As pesquisas têm mostrado que a irrigação com esgotos é altamente atrativa, devido à economia de fertilizantes, reciclagem de nutrientes com produção agrícola e controle de poluição.

No entanto, as vantagens citadas associam-se alguns inconvenientes, principalmente aqueles de ordem sanitária. Assim, o crescente interesse pela reutilização de esgotos tem, concomitantemente, fomentado entre a comunidade científica internacional à discussão em torno da regulamentação dessa alternativa tecnológica.

O entendimento de que a utilização de esgotos para irrigação envolve riscos de saúde pública parece ser unânime. Segundo Bastos (1982), “A controvérsia está na definição dos níveis de riscos aceitáveis, ou seja, na definição de padrões de qualidade e graus de tratamento de esgotos que garantam a segurança sanitária”.

A utilização de águas residuárias brutas e parcialmente tratadas para irrigação agrícola é uma prática comum no Brasil. Essa forma descontrolada de reuso dos esgotos pode trazer riscos à saúde dos trabalhadores agrícolas e dos consumidores.

O uso na irrigação de águas residuárias pode propiciar um grande incremento na produção agrícola, uma vez que fornece os nutrientes necessários às plantas, principalmente o nitrogênio e o fósforo. Naturalmente, o nível de incremento de produção dependerá de uma série de fatores, como o tipo de cultura, a disponibilidade de nutrientes nos esgotos e das demandas nutricionais das plantas, além das formas de manejo, a exemplo, a

utilização ou não de adubação química. Todavia, a irrigação com águas residuárias apresenta uma potencialidade de risco muito grande no que se refere à contaminação por microrganismos patogênicos.

A exposição dos trabalhadores agrícolas a águas residuárias brutas ou parcialmente tratadas aumenta os riscos de infecção por helmintos em geral, e em especial, pelos nematódeos.

De acordo com Bastos & Mara (1993), a probabilidade de uma pessoa contrair uma doença transmissível depende de vários fatores básicos, que são:

- Concentração (quantidade) de microrganismos patogênicos lançados na rota de transmissão;
- Latência, que é a necessidade que certos microrganismos têm de um intervalo de tempo desde a infecção até tornar-se infectivo;
- Persistência, ou a capacidade de sobrevivência do microrganismo no meio ambiente, extra hospedeiro, medida em tempo;
- Dose efetiva, é o número de microrganismos necessários para provocar uma infecção;
- Susceptibilidade da pessoa à doença, que por sua vez depende da reação individual, principalmente em função dos níveis de nutrição e imunidade, e do comportamento da comunidade relativa aos hábitos culturais e padrões higiênicos.

No cenário técnico científico internacional, existem duas abordagens bastante distintas, a conceituação entre os riscos potenciais e os riscos reais.

O risco potencial, ou teórico, é inferido com base na simples ocorrência de patogênicos no meio de transmissão. No entanto, a simples presença do agente infeccioso nos efluentes utilizados para irrigação não implica necessariamente na imediata transmissão de doenças, caracterizando apenas um potencial de risco.

De acordo com Pereira De Brito (1997), o risco real de um indivíduo ser infectado depende na verdade da combinação de vários fatores, dentre os quais pode-se destacar: a resistência dos organismos patogênicos ao tratamento de esgotos e às condições ambientais; dose efetiva; patogenicidade; suscetibilidade e grau de imunidade do hospedeiro; grau de exposição humana aos focos de transmissão.

Assim, para que um microrganismo presente nas águas residuárias utilizadas para irrigação chegue a provocar doenças, o mesmo teria que resistir aos processos de tratamento de esgotos empregados e sobreviver no meio ambiente em número suficiente para infectar um indivíduo susceptível (Figura 2).

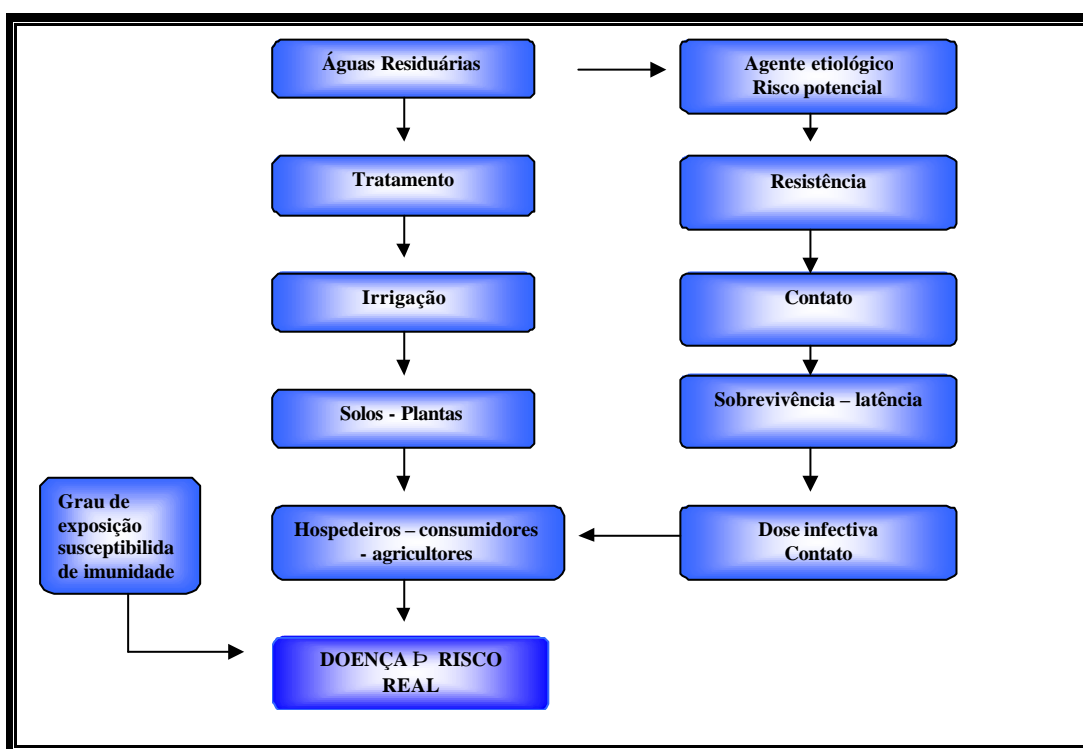


Figura 2 – Fluxograma dos riscos de transmissão de doenças via irrigação com águas residuárias tratadas.

Fonte: BASTOS (1999).



Nesse sentido, cabe destacar estudos conduzidos por Metcalf & Eddy (1995), mostrando o percentual de remoção de bactérias por diferentes processos de tratamento e a quantidade necessária de organismos para iniciar uma enfermidade (Tabela 15).

**Tabela 15** – Remoção ou destruição de bactérias por diferentes processos de tratamento de esgotos.

<b>Processo</b>	<b>Remoção (%)</b>
Grades grossas	0 – 5
Grades finas	10 – 20
Caixa de areia	10 – 25
Decantadores	25 – 75
Precipitação química	40 – 80
Filtro biológico	90 – 95
Lodos ativados	90 – 98
Cloração esgoto tratado	98 - 99

Fonte: METCALF & EDDY (1991) citado por DANIEL et al. (2000)

Os fatores aliados à existência de outros modos de transmissão foram identificados por Shuval et al. (1986) apud Bastos (1999) como a base para a formulação de um modelo epidemiológico capaz de medir os riscos teóricos e potenciais de transmissão de doenças através da irrigação com efluentes.

Há de se destacar a classificação ambiental das infecções associadas aos dejetos humanos, proposta por Feachem et al. (1980) apud Bastos (1999), em que se agrupa o agente etiológico, de acordo com suas características epidemiológicas, viabiliza a identificação das principais medidas de prevenção ou controle das infecções correspondentes.

**Categoria I** – compreende infecções causadas por microrganismos que se transmitem de forma direta, sem latência, e possuem baixa dose infectiva. Essa categoria inclui as enfermidades originadas por vírus, protozoário e helmintos (*Enterobius vermiculares* e *Hymenolepis nana*) e sua transmissão ocorre de maneira predominante no ambiente doméstico imediato, especialmente quando existem níveis baixos de higiene pessoal; no entanto, o tempo de sobrevivência dos vírus e dos protozoários presentes nas excretas, pode prolongar-se o suficiente, criando risco para a saúde através das práticas de uso de águas residuárias.

**Categoria II** – inclui as enfermidades produzidas por bactérias presentes nas excretas, cuja capacidade de infecção é imediata após a excreção, ou seja, não possuem latência. As bactérias requerem doses infectivas altas ou médias, porém podem multiplicar-se rapidamente no ambiente adequado, como no leite e em outros alimentos; também são transmitidas facilmente nos ambientes domésticos, porém sua maior persistência permite utilizar vias de transmissão mais prolongadas, o que eleva o risco do uso das águas residuárias e das excretas. Algumas epidemias de cólera estiveram associadas à irrigação de verduras, com esgotos sem tratamento prévio.

**Categoria III** – engloba enfermidades produzidas por nematóides intestinais transmitidos através do solo contaminado e que não necessitam de hospedeiros intermediários, mas requerem um período de latência para se desenvolverem antes de causar a infecção, a qual pode ocorrer com níveis mínimos de doses infectivas; esses parasitos não afetam a imunidade no hospedeiro. Os organismos mais perigosos para a saúde pública relacionados ao aproveitamento de águas residuárias na agricultura, são; os *Ascaris lumbricoides*, o *Ancylostoma duodenale*, o *Necator americanus* e o *Trichuris trichiura*.

**Categoria IV** – abrange as infecções ocasionadas pela *Taenia saginata* e pela *Taenia solium* as quais precisam de um hospedeiro intermediário (vacas e porcos, respectivamente). Ambos os parasitas são transmitidos ao homem pela ingestão de carne mal cozida de animais infectados. A irrigação de forrageiras com águas residuárias brutas ou mal tratadas pode favorecer a transmissão dessas enfermidades.

**Categoria V** – compreende infecções causadas por helmintos, que requerem um ou dois hospedeiros intermediários aquáticos, em que o primeiro hospedeiro é um caracol, onde ocorre a reprodução assexuada de microrganismos patogênicos, e o segundo em caso de existir um peixe ou macrófita aquática. Esses hospedeiros possuem uma distribuição geográfica limitada e sua transmissão aumenta em áreas endêmicas com o uso de águas residuárias e excretas sem tratamento prévio em aquicultura, assim pelo consumo de verduras ou peixes crus ou mal cozidos.

**Categoria III, IV, V** – incluem infecções por helmintos, que se podem infectar os seres humanos depois de certo tempo. O período de latência transcorre no solo, na água ou em um hospedeiro intermediário; a maioria dos helmintos pode sobreviver no ambiente por períodos que variam de várias semanas até anos. O uso de águas residuárias e de lodo dos esgotos sem tratamento ou inadequadamente tratados, constitui um importante mecanismo de transmissão de enfermidades.

As Tabelas 16.A, 16.B, 16.C E 16.D esclarecem a descrição feita por Feachem (1980), pois apresentam as características básicas dos patogênicos excretados relativo às categorias I, II, III no que diz respeito à carga excretada, latência, persistência, formas de multiplicação, dose infectiva, etc.

Tabela 16.A – Classificação ambiental das infecções vinculadas a excretas.

Categoria	Perfil Epidemiológico	Organismos ou Doenças	Focos de transmissão dominante	Medidas principais de controle
I feco-oral não bacteriana	Não latentes, baixa dose infecciosa	Enterovírus, Rotavírus, Hepatite A, Ameba, Giárdia	Higiene pessoal e doméstica	
II feco-oral bacteriana	Não latentes, média a alta dose infecciosa, moderada persistência, capazes de multiplicação.	Campylobacter, E. coli patogênica, Salmonella typhi, outras Salmonellas, Campylobacter, V. cholerae, Yersinia	Higiene pessoal e doméstica Água Culturas	Abastecimento de água. Educação sanitária. Melhorias habitacionais. Disposição adequada dos esgotos. Tratamento dos dejetos
III helmintos do solo	Latentes, persistentes, sem hospedeiro intermediário	Ascaris, Trichurs, Ancilostoma, Necator, Strongyloides	Quintal, campo e pastagens	Disposição adequada dos esgotos. Tratamento dos dejetos
IV Tênia	Latentes e persistentes, sendo os bovinos e suínos os hospedeiros intermediários	T. saginata, T. solium	Quintal, Campo e pastagens	Disposição adequada dos esgotos. Higiene da carne
V helmintos hídricos	Latentes e persistentes com hospedeiro intermediário aquático	Esquistossomos e	água	Abastecimento de água. Disposição adequada dos esgotos. Tratamento dos dejetos
VI transmissão por insetos	Transmissível por insetos vetores	Filariose (mosquitos) Categoria I-V  (moscas e baratas)	Criadouros	Identificação e eliminação dos criadouros

Fonte: FEACHEM et al. (1980) citado por BASTOS (1999)

**Tabela 16b–Características Epidemiológicas básicas de patógenos excretados. Categoria I (não latente, baixa dose infecciosa)**

<b>Patógenos / características</b>	<b>Entero vírus</b>	<b>Vírus Hepatite</b>	<b>Rotavírus</b>	<b>Balantidium coli</b>	<b>Entamoeba Histolytica</b>	<b>Giárdia lamblia</b>	<b>Enterobios vermiculares</b>
Carga excretada	10 <sup>7</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>6</sup>	(?)	10 <sup>5</sup>	10 <sup>5</sup>	Usualmente não encontrado em fezes
Latência	0	0	0	0	0	0	0
Persistência (a 20-30°C)	3 meses	(?)	(?)	(?)	25 dias	25 dias	7 dias
Multiplicação fora do hospedeiro humano	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Dose infecciosa média (ID <sub>50</sub> )	B	B (?)	B (?)	B (?)	B	B	B
Imunidade insignificante	Sim	Sim	Sim	Não	(?)	(?)	Não
Principal reservatório não humano	Não	Não	Não (?)	Sim	Não	Sim	Não
Hospedeiro intermediário	nenhum	nenhum	nenhum	nenhum	nenhum	nenhum	nenhum

B = Baixa (<10<sup>3</sup>); M = Média (aproximadamente 10<sup>4</sup>); H = Alta (>10<sup>6</sup>)  
 FONTE: Bastos (1999).

**Tabela 16c–Características Epidemiológicas dos Organismos Patogênicos Categoria II (não latente, média - alta dose infecciosa, sobrevivência moderada, capacidade de multiplicação)**

Patógenos / características	Compyla bacter	E.coli Entero patogênica	Salmonella e spp	Salmonellae thyphi	Shiiglella spp	Vibrio cholerae	Yersinie enterocolitica
Densidade (g/fezes)	$10^7$	$10^8$	$10^7$	$10^8$	$10^7$	$10^7$	$10^5$
Latência	-	-	-	-	-	-	-
Sobrevivência (a 20-30°C)	7 dias	3 meses	3 meses	2 meses	1 mês	1 mês	3 meses
Reprodução no meio ambiente	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Dose infecciosa média (ID <sub>50</sub> )	$10^6$	$10^9$	$10^6$	$10^6$	$10^4$	$10^8$	$10^9$
Imunidade	(?)	Sim(?)	Não	Sim	Não	Sim (?)	Não
Reservatórios não humanos	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim
Hospedeiros intermediários	nenhum	nenhum	nenhum	nenhum	nenhum	nenhum	nenhum

Fonte: BASTOS (1999)

**Tabela 16d–Características Epidemiológicas dos Organismos Patogênicos****Categoria III (latente, sobrevivência prolongada, ausência de hospedeiros intermediários)**

<b>Patógenos / características</b>	<b>Ascaris lumbricoides</b>	<b>Ancilostoma duodenale N.americanus</b>	<b>Strongyloides stercoralis</b>	<b>Trichuris trichiura</b>
Densidade (g/fezes)	10 <sup>4</sup>	10 <sup>2</sup>	10	10 <sup>3</sup>
Latência	10 dias	7 dias	3 dias	20 dias
Sobrevivência (a 20-30°C)	1 ano	3 meses	3 semanas	9 meses
Reprodução no meio ambiente	Não	Não	Sim	Não
Dose infecciosa média (ID <sub>50</sub> )	Unidades	Unidades	Unidades	Unidades
Imunidade	Não	Não	Sim	Sim
Reservatórios não humanos	Não	Não	Não	Não
Hospedeiros intermediários	Não	Não	Não	Não

Fonte: Bastos (1999).

A Tabela 17 apresenta um resumo das características epidemiológicas dos principais grupos de microrganismos patogênicos encontrados nas águas residuárias. Shuval & Col (1986) apud Pereira de Brito (1997) elaboraram uma classificação para os microrganismos patogênicos em ordem decrescente, segundo sua capacidade de impor riscos sanitários:

As infecções viróticas foram identificadas como as de menor risco sob a justificativa da facilidade com que são transmitidas por outras vias onde prevalecem baixas condições sanitárias e de higiene pessoal. Além disso, como em geral as mesmas conferem imunização significativa, considera-se que com a eventual exposição a doenças nos primeiros anos de vida, a probabilidade de infecções adicionais devido à irrigação com esgotos seria mínima. Inversamente, os nematóides intestinais foram enquadrados no outro extremo, já que a contaminação doméstica é pouco provável e a imunidade insignificante, além de apresentarem baixa dose infectante e longa sobrevivência no meio ambiente.



**Tabela 17 – Características Epidemiológicas dos Organismos Patogênicos**

<b>Agente etiológico</b>	<b>Persistência</b>	<b>Dose infecciosa (mínima)</b>	<b>Imunidade conferida pela infecção</b>	<b>Modos de transmissão</b>	<b>Latência desenvolvido no solo</b>
Vírus	Média	Baixa	Longa	Contaminação doméstica, água e alimentos contaminados	Não
Bactérias	Curta-média	Média-alta	Irrelevante média	Idem	Não
Protozoários	Curta	Baixa-média	Inexistente limitada	Idem	Não
Helmintos	Longa	Baixa	Inexistente limitada	Contaminação do solo e alimentos contaminados	Sim

Fonte: SHUVAL & COL (1986) citado por PEREIRA DE BRITO (1997)

Os dados apresentados nas tabelas permitem identificar quais os fatores que favorecem a transmissão de doenças através do reuso de águas residuárias para irrigação: sobrevivência prolongada dos microrganismos no meio ambiente, períodos longos de latência, baixa dose infectiva, baixa imunidade dos hospedeiros e ausência de outros focos de transmissão.

Com base neste levantamento, Shuval et al. (1986) apud Pereira de Brito (1997), elaboraram a seguinte classificação para os microrganismos patogênicos em ordem decrescente, segundo sua capacidade de impor riscos sanitários:

- ✓ Alto risco: helmintos (ex: *A. lumbricoides*, *Trichuris trichiura*, *N. americanus* e *A. duodenale*)
- ✓ Médio risco: bactérias (ex: *V. cholerae*, *S. ryhi* e *Shigellae* spp) e protozoários (ex: *E. histolytica* e *G. lamblia*).
- ✓ Baixo risco: vírus (ex: vírus entéricos e vírus da hepatite).

Microrganismos como *Shistosoma* e *Taenia* são classificados como de risco irrelevante à alto, dependendo de fatores e circunstâncias locais.

### **3.6.2 Avaliação dos Riscos Reais de Saúde**

A transmissão de doenças a partir da irrigação de efluentes de acordo com os critérios da OMS, ou seja, da avaliação dos riscos reais somente pode ser realizada com base em estudos epidemiológicos. Entretanto, tais estudos merecem maiores pesquisas, dada sua complexidade, uma vez que exigem a comparação entre populações expostas e não expostas aos riscos associados com a irrigação de águas residuárias. Dos trabalhos disponíveis, cabe destacar o estudo de Blumental et al (1996), conduzido no México em que mostra um resumo das informações disponíveis sobre a sobrevivência no solo e plantas de microrganismos patogênicos encontrados nos esgotos sanitários. Cabe ressaltar que tais informações são bastante genéricas, sendo que fatores locais poderão influenciar na sobrevivência dos microrganismos. Geralmente, pode dizer que as temperaturas mais elevadas, períodos de insolação mais prolongados, solos com boa capacidade de drenagem (arenosos) , baixos teores de umidade , superfícies lisas da cultura irrigadas, são fatores que concorrem para a redução da sobrevivência. Os autores concluíram pela confirmação da

suficiência do padrão de ovos de helmintos recomendados para a proteção da saúde dos agricultores, especialmente quando os processos de tratamento não são totalmente confiáveis em termos de operação e manutenção

As recomendações da OMS não incluem padrões bacteriológicos para a irrigação irrestrita, devido à ausência de evidências epidemiológicas de riscos de transmissão de doenças bacterianas e viróticas aos agricultores. No entanto, pesquisas realizadas levaram os autores acima citados a incluir uma recomendação adicional de um limite de 10.000 CF/100ml para irrigação restrita. Estudos demonstraram que crianças mais jovens são mais suscetíveis a doenças transmitidas por *Ascaridíase*.

### **3.6.3 Mitigação dos Riscos à Saúde**

O modelo epidemiológico serve de suporte para se analisar os riscos de saúde e a identificação dos grupos de riscos. Pode-se associar uma série de medidas de proteção, na forma de “barreiras sanitárias”, impedindo a transmissão de doenças. Dentre tais “barreiras”, pode-se citar: o tratamento das águas residuárias, a restrição de cultura a serem irrigadas, a seleção do método de irrigação e o controle da exposição humana.

Quanto ao tratamento dos esgotos, cabe uma importante diferenciação entre o emprego das lagoas de estabilização e os processos convencionais, como por exemplo a desinfecção, haja vista a grande eficiência das primeiras na remoção de organismos patogênicos, dependendo do lugar e tipo das lagoas.

A seleção de culturas visa a proteção dos consumidores, por exemplo, não se permite a irrigação de culturas consumidas in natura e cultivadas com a água de qualidade inadequada.

Por sua vez, a seleção do método de irrigação visa, simultaneamente a proteção dos agricultores e consumidores, uma vez que os diferentes métodos (inundação,

sulcos, aspersão, gotejamento e irrigação sub-superficial) potencializam ou minimizam o contacto entre as águas residuárias, as plantas e os agricultores.

O método de seleção da irrigação é importante, no entanto, alguns procedimentos para medidas de controle da exposição humana, podem ser realizados através de medidas simples como por exemplo a utilização de vestuário adequado, como botas e luvas.

Na verdade, não existe uma segurança “absoluta”, essa segurança pode ser otimizada pelo tratamento rigoroso das águas residuárias, o que, no entanto, pode demandar investimentos além da capacidade em algumas situações onde o reuso já é praticado de forma não controlada. Isso leva à consideração de medidas mais pragmáticas não necessariamente menos eficientes de proteção à saúde, como o tratamento “parcial” dos esgotos associados à restrições de culturas.

Em termos gerais, esta análise e o emprego de medidas simultâneas e, ou, complementares, de proteção à saúde são levadas em consideração na formulação e estarão refletidas em normas e critérios para a irrigação com águas residuárias.

### **3.6.4 Fator Adicional de Redução de Riscos à Saúde**

Considera-se como referência os critérios da OMS, que não há necessidade de recomendação de padrões bacteriológicos quando os agricultores representam os únicos grupos de risco, como no caso da irrigação de cereais, têxteis, forrageiras (pastagens e árvores). Admite-se ainda que o decaimento da população de bactérias no solo constitui um fator adicional de redução dos riscos potenciais de saúde, recomendando-se, no entanto, que a irrigação deve ser interrompida pelo menos duas semanas antes da colheita e que não se deve aproveitar frutas que vieram a cair no solo

Castro de Esparza & Sáenz (1987), observaram uma melhora da qualidade das culturas à medida que se aumenta o tempo entre a última irrigação e a colheita.

De acordo com Vargas & Mara (1987) em condições de clima árido, depois de cinco dias, alfaces irrigadas com efluentes de filtros biológicos já atendiam aos padrões de qualidade especificados pela ICMSF.

Os estudos de Bastos (1992), observam que a contaminação de culturas que crescem rente ao solo encontra-se estritamente associada à contaminação do solo e que populações de salmonela habitualmente encontradas em águas residuárias não sobrevivem por mais de uma a duas semanas em condições ambientais desfavoráveis.

Mota (2000) em Fortaleza, observou a sobrevivência de microorganismos na superfície da folhagem do sorgo irrigado com o esgoto tratado, dias após cessar a irrigação. Em relação aos coliformes fecais, observou uma variação do NMP, de 43000/g no 3º dia, para 1.100/g no 17º dia, ocorrendo, portanto, uma redução de 97.4 %

Tais indícios permitem inferir que, em condições de clima quente e seco, como na citada cidade a interrupção da irrigação no mínimo uma semana antes da colheita reduz bastante a possibilidade de recontaminação dos produtos através do contato com o solo. Entretanto, há que se considerar que tal fato pode ficar sem efeito prático no caso de hortaliças já que necessitam de serem mantidas frescas para garantir seu valor comercial. De toda a maneira, tal manejo guarda sua importância quanto um fator de redução de riscos de saúde para os agricultores entre uma colheita e o preparo do solo para um próximo plantio. Essa informação é importante no que se refere ao manejo de irrigação de pastagens, com vistas à alimentação animal.

### **3.6.5 Evidências Epidemiológicas**

As formas mais comuns de transmissão de doenças através da reutilização de águas residuárias na irrigação é o contato direto com os efluentes e o consumo de alimentos contaminados.

Desta forma, pode-se identificar 4 grupos possíveis de serem classificados como de risco:

- a) Consumidores de vegetais contaminados;
- b) Consumidores de produtos de animais que pastam em áreas irrigadas com efluentes;
- c) Trabalhadores rurais;
- d) Público residente nas proximidades de áreas irrigadas com efluentes.

Como o modelo epidemiológico é eminentemente teórico, Shuval et al. (1986) realizaram uma extensa revisão bibliográfica em busca de evidências concretas de transmissão de doenças entre os grupos acima citados.

As principais evidências encontradas podem ser resumidas como a seguir, sendo que todos os casos comprovados de transmissão de doenças estavam relacionados com a utilização de esgotos brutos ou tratados parcialmente.

- ◆ Público consumidor de vegetais contaminados – existem evidências concretas de transmissão de ascaridíase, tricuriíase e cólera, possivelmente de febre tifóide;
- ◆ Público consumidor de produtos animais – existem evidências concretas de contaminação do gado (teníase e cisticercose), mas a contaminação indireta do público consumidor não pode ser comprovada;
- ◆ Trabalhadores rurais – transmissão comprovada de ancilostomíase e ascaridíase; possivelmente infecções bacterianas e viróticas;
- ◆ Público residente nas proximidades de áreas irrigadas – em geral não há provas de transmissão de doenças, nem mesmo pela via mais provável: aerossóis, provocados pela irrigação por aspersão. Existem indícios, porém duvidosos, da transmissão de vírus.

A avaliação criteriosa das evidências disponíveis parece então colaborar com o modelo epidemiológico desenvolvido, pois a previsão do alto risco de

transmissão de nematóides é comprovada em vários estudos. Em contrapartida, as evidências de transmissão de infecções bacterianas e, principalmente viróticas, são escassas e em sua maioria não é tão bem fundamentada. De qualquer forma, a classificação sugerida para os microrganismos patogênicos mostra-se bastante eficiente para as condições normalmente encontradas em países em desenvolvimento, onde os parasitas intestinais são geralmente endêmicos, níveis significativos de imunidade às doenças viróticas são desenvolvidos nos primeiros anos de vida e as infecções bacterianas encontram os mais variados focos de transmissão.

### **3.6.6 Controle de Exposição Humana**

De acordo com Léon & Cavallini (1999), para se controlar a exposição humana, utilizam-se diversos métodos, dentre eles evita-se o contato direto com os microrganismos patogênicos ou impede-se o aparecimento de enfermidades, após ocorrido o contato.

Os agricultores e os trabalhadores rurais que manejam o cultivo devem adotar as seguintes medidas preventivas: usar roupa protetora; cumprir estritamente as práticas de higiene, vacinar-se contra determinadas infecções e fazer uso de medicamentos como medida paliativa provisória, para evitar a infecção. Outras medidas de proteção a saúde incluem a instalação de postos médicos para tratar as enfermidades diarréicas, o acompanhamento médico regular para tratar as infecções infantis por nematóides e o controle das anemias.

Nos programas de utilização de águas residuárias na agricultura, os riscos para os consumidores são reduzidos, mediante o cozimento dos alimentos, sendo uma das observações estritas das normas de higiene com relação a limpeza dos alimentos e o controle das condições de manipulação dos produtos, desde a colheita e o transporte até a sua locação

no mercado. A população deve estar bem informada sobre a localização dos campos que utilizam águas residuárias sem tratamento, a fim de evitar o consumo direto dos produtos oriundas destes cultivos.

Cabe ressaltar, especial cuidado com os trabalhadores, residentes e visitantes, em não utilizarem águas residuárias para beber, portanto, o suprimento de água potável é uma medida indispensável para o controle de exposição. Todos os canais, tubulações e saída de águas residuárias, também necessitam de uma atenção especial.

As pessoas que manipulam os produtos agrícolas correm menor risco que os trabalhadores rurais e podem diminuir sua exposição utilizando luvas e adotando práticas adequadas de higiene pessoal.

Um aspecto muito importante é a percepção pública com relação ao uso de águas residuárias, por exemplo, em Mendoza, na Argentina, na área de irrigação com águas residuárias não se registram doenças infecciosas relacionadas a essa prática, nem entre os agricultores, nem na população da redondeza, isto se deve ao fato do alto grau de conhecimento dos riscos à saúde associados ao uso dessas águas e ao abastecimento de água potável a nível domiciliar (Léon & Cavallini, 1999).

### **3.6.7 Sobrevivência de Microrganismos Patogênicos em Solos e Plantas**

Segundo a EPA, o tempo de sobrevivência dos organismos patogênicos no solo pode variar de dias a meses. Esse período de sobrevivência depende da linguagem e dos fatores climáticos e ambientais.

O tempo de sobrevivência dos organismos patogênicos fora do seu habitat natural depende de vários fatores, dentre os quais pode-se destacar a concentração inicial, a umidade do solo, a radiação solar, o tipo de solo, o tipo de organismos e o meio



ambiente. Shuval et al. (1985) apud Morais Barros (1997), demonstram dados do isolamento de patogênicos da superfície de vegetais que de alguma maneira foram irrigados com produtos fecais. A Tabela 18.A relaciona o tempo de sobrevivência para organismos patogênicos e coliformes em produtos agrícolas e forrageiros para animais.

Segundo Grilo Jr (2000), a literatura especializada apresenta dados de sobrevivência de Salmonellas variando de 14 a 25 dias em um solo exposto a radiação solar, de 8 à 50 dias para coliformes fecais e de 4 à 10 dias para o Vibrio cholerae. A Tabela 18.B mostra o tempo de sobrevivência em solos a 20°C.

**Tabela 18.A – Sobrevivência de Patogênicos e Coliformes em Produtos Agrícolas e Forrageiros**

<b>Organismos</b>	<b>Produtos agrícolas e forrageiros</b>	<b>Tempo de sobrevivência (dias)</b>
Salmonella	Forragem Raízes das plantas Folhas de vegetais Produtos de pomares Grama	12 – 42 10 – 53 1 – 40 18h – 2 mais de 100
Shigella	Forragem Folhas de vegetais Produtos de pomares	2 2 – 7 6
Enterovirus	Raízes das plantas Folhas de vegetais	15 – 60 15 – 60
Ascaris (ovo)	Folhas de vegetais	27 – 35
Entamoeba hystolitica	Folhas de vegetais	2 - 3
Coliformes totais	Folhas de vegetais	12 – 34
Coliformes fecais	vegetais	15 – 30

Fonte: BRAILE & CAVALCANTI (1979) apud CAMPOS (2000), DANIEL et al. (2000), SHUVAL et al. (1985) apud MORAIS BARROS (1997)

**Tabela 18.B – Tempo de sobrevivência de patogênicos em solo a 20°C.**

<b>Patogênicos</b>	<b>Tempo de sobrevivência (dias)</b>
Enterovirus	Entre 20 – 100
Coliformes fecais	Entre 20 – 70
Salmonella spp	Entre 20 – 70
Vibrio cholerae	Entre 10 – 20
Cistos de Entamoeba histolytica	Entre 10 – 20
Ovos de Ascaris lumbricoides	Por vários meses

Fonte: SHUVAL et al. (1985) apud MORAIS BARROS (1997)

A comparação entre as tabelas coloca em evidencia a sobrevivência dos organismos patogênicos nos períodos mais curtos nas superfícies das culturas que no solo. A menor sobrevivência nas culturas relaciona-se à maior exposição aos raios solares e, em consequência, a uma dessecação maior.

De acordo com Léon (1999), aqueles patogênicos cujo período de sobrevivência excede os ciclos de crescimento das culturas, como ocorre freqüentemente com as verduras, podem por em perigo a saúde das pessoas que manipulam e consomem esses produtos.

### **3.6.8 Sobrevivência de Bactérias em Plantas Irrigadas com Águas Residuárias**

De acordo com Bastos (1999) culturas que crescem rente ao solo quando irrigadas por aspersão tem densidade de bactérias nas plantas (nº org./100g) da mesma ordem que a densidade da água de irrigação (nº org./100mL); no entanto, quando do emprego de métodos de irrigação que apresentem menos riscos de contaminação, como por exemplo, sulcos e gotejamento, cujo contato com águas residuárias é menor, a contaminação das plantas tende a ser mais reduzida (Tabela 19).

Segundo Costa – Vargas (1988) apud Bastos (1993), após o término da irrigação, populações de *Salmonellae* spp da ordem de 100 org./100g sobrevive no máximo por 5 a 7 dias em alfaces e no solo. Resultados similares foram encontrados por Bastos: 100 *Salmonellae*/100g de solo sobrevivem no máximo por 1 semana e *E. coli*/100 g por 2 semanas.

Certamente tais observações necessitam de mais estudos, porém estes resultados não deixam de ser um ponto de partida com vistas a uma estimativa preliminar sobre a contaminação proveniente da irrigação com águas residuárias.

**Tabela 19** – Contaminação de produtos agrícolas irrigados com águas residuárias.

Organismos	Cultura (org/100g)	Água de irrigação (org/100ml)	Método de irrigação	Fonte
Salmonella spp	Alface: $10^3$ Rabanete: $10^2$	$10^8$	Inundação	LOVETT & FRANCIS (1976)
	Alface: $10^6$ $10^{1-2}$ $10^7$	$10^7$ $10^2$ $>10^8$	aspersão	COSTA – VARGAS (1987)
	Alface: $10^5$	$10^6$	aspersão	NICHOLS et al. (1971)
E. coli	Alface: $10^5$	$10^6$	aspersão	COSTA – VARGAS (1987)
	Alface: $10^3$ Rabanete: $10^3$	$10^7$ $10^5$	Sulcos	COSTA – VARGAS (1987)
	Alface, Rabanete: $10^2$ Espnatre: $10^3$	$10^2$ $10^2$	Sulcos	ROSAS et al (1984)
Coliformes fecais	Alface: $10^3$	$10^7$	Sulcos	YANES (1980)

Fonte: BASTOS (2000)

Castro de Esparza & Sáens (1990), em um estudo com verduras irrigadas e a qualidade da água, obtiveram a seguinte relação:

$$\text{Log CF (verduras)} = 0,1919 + 0,4926 \log \text{CF (águas)}$$

#### **4. MATERIAL E MÉTODOS**

As duas técnicas de irrigação, gotejamento superficial e subsuperficial, foram comparadas, visando a viabilidade do consumo dos produtos *in natura* e sua associação com a incidência de doenças.

Os dados obtidos por Biscaro (2003), que avaliou o uso da água do Ribeirão Lavapés, que recebe os esgotos doméstico e industrial não tratados da cidade de Botucatu-SP, para utilização em sistemas de irrigação localizada por gotejamento dispostos superficialmente e subsuperficialmente, na produção de hortaliças, foram reavaliados considerando principalmente o risco à saúde dos consumidores dos produtos agrícolas produzidos nestas condições.

#### 4.1 Local de Montagem do Experimento

O experimento foi instalado na cidade de Botucatu-SP, cujo clima do município é classificado segundo ao sistema Köppen como Cwa: clima temperado de altitude (mesotérmico), com chuvas no verão e seca no inverno, sendo a temperatura média do mês mais quente superior a 22° C, dentro da Fazenda Lageado, na Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, campus de Botucatu, próximo ao Ribeirão Lavapés que foi o objeto de estudo deste trabalho.

A área experimental cercada por alambrados possui 1.800 m<sup>2</sup> de área, casa de bomba e materiais, curvas de nível, rampa de captação e acesso ao Ribeirão Lavapés, tanque reservatório com capacidade de armazenamento de 40m<sup>3</sup> e todo o sistema de irrigação (filtros de areia, de tela, reguladores de pressão, injetor de fertilizantes, tubulação de sucção, recalque e distribuição).

O local foi escolhido, por seu isolamento, e por ser próximo ao Ribeirão Lavapés. Em área não cultivada a mais de vinte cinco anos.

## 4.2 Sistema de Irrigação

O experimento foi conduzido em 24 canteiros, com as seguintes dimensões: 1,20 x 6,00 m. Os gotejadores foram dispostos aos pares em cada canteiro, distantes 0,40 metros, e com 6,00 metros de comprimento.

O tubo gotejador utilizado no experimento é da marca CHAPIN, modelo 6100, de espessura 8 mil - 200 $\mu$ , e com gotejadores integrados espaçados de 10 cm, fabricado nos Estados Unidos. Estes são constituídos de pré filtro, galeria linear, galeria tortuosa (labirinto) e da saída de gotas. O pré filtro está presente em toda extensão da mangueira.

Toda a linha de distribuição foi composta de tubos de polietileno de 25 mm. A tubulação de sucção, recalque e estação de controle (filtros de tela e de areia, injetor de fertilizantes) foi composta de tubulação de PVC branco de 2".

O sistema de gotejamento subsuperficial, foi instalado a 5 a 7 centímetros da superfície. Esta profundidade foi adotada para que o "pegamento" inicial das mudas da alface não fosse afetado.

Foram instaladas em todos os tubos válvulas finais que promoviam a limpeza automática das mesmas. Tubulações coletoras faziam com que o excesso de água fosse levado para fora da área dos canteiros. Válvulas de ar e vácuo foram dispostas depois dos registros que controlam cada tratamento, nos pontos mais altos da área.

O manejo da irrigação teve como referência os dados obtidos pelo tanque classe "A", pelos termômetros de máxima e de mínima e pelo pluviômetro, instalados na área experimental. Os valores de Kc utilizados, para a cultura da alface, foram retirados da dissertação de Bastos (1994), o qual determinou os coeficientes de cultura da alface em suas diferentes fases de crescimento, para a cidade de Botucatu, mais especificamente para Faculdade de Ciências Agrônomicas. Como estes valores de Kc foram determinados a cada



cinco dias após o transplântio, adotou-se a utilização para cada 15 dias, trabalhando-se com valores médios. Na Tabela 20, estão apresentados os valores de Kc adotados.

**Tabela 20** Valores de Kc adotados para a cultura da alface.

<i>Período Após o Transplântio</i>	<i>Kc</i>
0 – 15 dias	0,51
15 – 30 dias	0,56
30 - 45 dias	1,02
> 45 dias	0,68

Fonte: BASTOS (1994).

As irrigações foram realizadas diariamente nos primeiros quinze dias após o transplântio e após este período foram realizadas de dois em dois dias até o final do ciclo, não foi realizado neste experimento um manejo controlado da irrigação, por mais que se trate de uma prática incorreta, foi utilizada esta metodologia para que o sistema de irrigação funcionasse de maneira constante e uniforme durante todo o experimento. O tempo de irrigação adotado foi de 50 minutos por canteiro, e a pressão controlada e constante de 10,5 mca. Por isso, não houve a preocupação de uma possível aplicação em excesso de água na cultura, e que pudesse causar danos à produção.

A quantidade de água aplicada foi controlada com base na equação de vazão fornecida pelo fabricante do tubo gotejador, que para um valor de pressão constante é determinada a vazão. A equação geral de vazão é a seguinte:

$$Q = K \times P^X \dots\dots\dots(1)$$

Onde,

Q= vazão do gotejador,  $4l.h^{-1}$ ;

P= pressão de trabalho, mca;

K= coeficiente de descarga;

X= expoente de descarga.

Para o modelo de tubo utilizado, a equação utilizada foi a seguinte:

$$Q = 2,7159 \times P^{0,506} \dots\dots\dots(2)$$

Foram instalados reguladores de pressão pré ajustados, e que tinham uma vazão de 7200 litros por hora, com pressão de saída de 10,5 metros. Tomadas de pressão foram instalados em diversos pontos do sistema. Com isto, era aplicada uma lâmina de aproximadamente 90 litros de água por canteiro em cada irrigação.

Os tratamentos foram distribuídos por meio de sorteio aleatório simples, e dispostos na parte central e inferior da área. E ficaram assim distribuídas:

---

---

### Tratamentos

---

---

<u>Tratamento 1</u> (A1)	água do Ribeirão Lavapés, filtro de areia e de tela, cloração, mangueira disposta subsuperficialmente
<u>Tratamento 2</u> (A2)	água do Ribeirão Lavapés, filtro de areia e de tela, cloração, mangueira disposta superficialmente
<u>Tratamento 3</u> (A3)	água do Ribeirão Lavapés, filtro de areia e de tela, mangueira disposta subsuperficialmente
<u>Tratamento 4</u> (A4)	água do Ribeirão Lavapés, filtro de areia e de tela, mangueira disposta superficialmente

---

---

### 4.3 O Solo e a Cultura

As análises das amostras de solo foram realizadas no departamento de Recursos Naturais, na área de Ciência do Solo, da FCA-UNESP/Botucatu (ANEXO 2). A recomendação de adubação e calagem foi baseada na metodologia proposta pelo Boletim nº 100, do Instituto Agrônomo de Campinas (van Raij et al., 1996) : 1,5 tonelada de calcário dolomítico com PRNT=100% para calagem; 3,0 litros de esterco de curral por metro quadrado para preparo do canteiro; 2,0 litros de esterco de curral, 240,0 gramas de termofosfato magnésiano, 10 gramas de cloreto de potássio, 20,0 gramas de sulfato de amônio e 10,0 gramas de FTE BR9 por metro quadrado no plantio.

Para a adubação de cobertura, realizada a cada 15 dias, aplicou-se 2,0 gramas de nitrato de potássio e 5,0 gramas de nitrato de cálcio por planta.

Foram utilizadas mudas de alface americana, variedades “Tainá”. Não foi aplicado nenhum tipo de produto químico (defensivo químico) na cultura. No decorrer do ciclo algumas plantas apresentaram sintomas de doenças. Amostras foram encaminhadas para o Departamento de Produção Vegetal, área de Defesa Fitossanitária da FCA, aonde foram diagnosticados como mosaico da alface e “vira-cabeças”. Os sintomas do mosaico são a bolhosidade das folhas e o clareamento de nervuras. O combate neste caso é em nível de semente. Os sintomas de “vira-cabeças” foram à deformação de cabeças e a queima de bordas. Por serem alguns casos isolados, nenhuma providência foi tomada.

#### **4.4 Análise microbiológica da Alface**

Análises de microorganismos presentes na água e na cultura foram efetuadas com a finalidade de associar a possível presença destes microorganismos com a incidência de doenças na cidade de Botucatu, SP, considerando a importância do ribeirão para a cidade.

As análises microbiológicas e parasitológicas de amostras de água, do solo e da alface, foram realizadas no Departamento de Microbiologia e Imunologia do Instituto de Biociências da Unesp, campus de Botucatu, no Departamento de Produção Vegetal, área de Defesa Fitossanitária da Faculdade de Ciências Agrônomicas, campus de Botucatu.

O experimento foi realizado no período de 12 de outubro a 03 de dezembro de 2002, e avaliando-se detalhadamente as condições sanitárias da cultura. As amostras foram coletadas semanalmente, iniciando-se a coleta uma semana após o transplante estendendo-se até a colheita, sendo que a última coleta de amostras de alface e do solo foi realizada 24 horas após a irrigação. As amostras analisadas foram dos canteiros que receberam água diretamente do Ribeirão Lavapés, totalizando 9 semanas de amostragem.

As amostras de solo, água e cultura foram coletadas sempre no início da semana (nas segundas e terças-feiras), entre às 7:00 e 8:30 horas. As amostras da cultura foram coletadas aleatoriamente por canteiros, utilizando sacos plásticos esterilizados. Com exceção das raízes, toda a planta foi enviada para a análise, inclusive as folhas rentes ao solo.

As amostras de solo foram coletadas a uma profundidade de 20 cm da superfície. Para cada tratamento foi retirada 3 sub-amostras, que foram misturadas formando uma única amostra de solo do tratamento.

As amostras de água do Ribeirão Lavapés foram coletadas a uma profundidade de 50 cm da superfície da água, ao lado, da tela de retenção. As amostras de água irrigada foram coletadas no final das mangueiras gotejadoras, junto as válvulas de final de linha. Utilizou-se recipientes esterilizados fornecidos pelo Departamento de Microbiologia e Imunologia do Instituto de Biociências (IBB) da UNESP/Botucatu, aonde foram realizadas as análises microbiológicas.

## **4.5 Metodologia Utilizada para Detecção de Coliformes Fecais**

### **4.5.1 Preparo das Amostras e Suas Diluições**

Para as análises, foram pesados 25,0 gramas do material (solo, água e planta) e homogeneizados em 225 ml de água tamponada esterilizada, em sacos plásticos apropriados, que foram levados ao aparelho Stomacher Lab Blender 400 por dois minutos. A partir desta diluição inicial a  $10^{-1}$ , foi preparada uma série de diluições decimais, utilizando-se o mesmo diluente.

### **4.5.2 Determinação do Número Mais Provável (NMP) de Coliformes Totais e Fecais (Kornacki & Johnson, 2001)**

Cada diluição da amostra foi inoculada em volumes de 1,0 ml, em cada série de três tubos por diluição, contendo 10,0 ml de caldo lauril sulfato com um tubo de Durham invertido. Os tubos foram incubados a 35°C por 24-48 horas. Os inóculos positivos revelaram-se pela observação da produção de gás no tubo de Durham.

A seguir, três alçadas de cada tubo positivo foram repicadas em tubos de ensaio contendo 10,0 ml de caldo lactose bile verde brilhante (CLBVB) para a confirmação da presença de coliformes totais (CT) e outras três alçadas foram repicadas em tubos de ensaio com 5,0 ml de caldo E.C. para a confirmação de coliformes fecais (CF). Todos os tubos de CLBVB e de EC apresentaram tubos de Durham invertidos. O CLBVB foi incubado a 35°C por até 48 horas em estufa e o caldo EC, a 44,5°C por 24 horas em banho-maria.

Após o período de incubação, procedeu-se a leitura pela observação da presença de gás no tubo de Durham invertido. A seguir, utilizando-se a tabela do NMP, foram calculados os NMP de CT e CF por grama de amostra analisada.

#### **4.6 Metodologia Utilizada para Detecção de *Salmonella* spp**

##### **4.6.1 Detecção da Presença de *Salmonella* spp (Andrews et al., 2001)**

Para a detecção da presença de *Salmonella* spp 25,0 gramas do material foram homogeneizados em 225 ml de água peptonada tamponada, em um saco plástico no "Stomacher" durante dois minutos. Após esse período, o homogeneizado foi transferido à um Erlenmeyer e incubado a 35°C por 24 horas. A seguir, 1,0 ml foi semeado em um tubo de ensaio contendo 10 ml de caldo tetrionato ao qual foi adicionado um volume de 100,0 ml de iodeto de potássio imediatamente antes do uso. O tubo foi incubado a 35°C por 24 horas. Outra alíquota de 0,10 ml foi transferida para um tubo com 10,0 ml de caldo Rapaport e incubado a 42 °C durante 24 horas.

Após este período, uma alçada de cada tubo foi semeada em placas de Petri contendo ágar XLD (xilose-lisina-desoxicolato) e placas contendo ágar *Salmonella-Shigella* (SS). Após incubação de 24 horas a 35°C, as colônias características de *Salmonella* spp foram isoladas e repicadas para tubos de ensaio contendo ágar tripticase soja inclinado (TSA), sendo consideradas as cepas estoque. Os tubos foram incubados a 35°C por 24 horas. A partir desse crescimento foram feitos repiques em tubos de ensaio contendo ágar tríplice açúcar ferro inclinado (TSI) e em tubos com ágar fenilalanina inclinado. Os tubos foram incubados a 35°C por 18-24 horas.

A leitura do TSI: o TSI característico de *Salmonella* spp apresenta base amarela com produção de gás ou não, evidenciada pela presença de bolhas e ápice vermelho. O meio poderá estar enegrecido devido a produção de ácido sulfídrico (H<sub>2</sub>S).

A desaminação ou não da fenilalanina é evidenciada pela adição de algumas gotas de uma solução de cloreto férrico 10% sobre o crescimento. Na leitura característica para *Salmonella* spp, não haverá alteração da cor do meio, uma vez que este microrganismo não utiliza tal aminoácido.

Após os resultados esperados nestes 2 testes, a cepa foi submetida ao sistema API-20E (Biomérieux), que apresenta 20 provas bioquímicas para enterobactérias. Após leitura positiva no API, as cepas suspeitas de serem *Salmonella* spp foram testadas frente ao soro polivalente somático (Probac) e depois da positividade deste, ao soro flagelar (Probac).

#### **4.6.2 Metodologia Utilizada para Detecção de Parasitas**

As análises parasitológicas realizadas foram do tipo qualitativo, ou seja, foi apenas avaliada a presença ou ausência de parasitas, não sendo realizadas análises quantitativas para indicação de quantidade de parasitas por amostra.

Para realização das análises das amostras de água, solo e alfaces foram empregadas duas técnicas parasitológicas: o método de Faust, baseado no princípio de flutuação em solução densa, que é indicada para cistos de protozoários e alguns ovos de helmintos; e a técnica de Hoffman, que baseia-se no princípio da sedimentação espontânea, que é indicada para ovos de alguns helmintos. As descrições dessas duas técnicas parasitológicas estão apresentadas a seguir.



#### 4.6.2.1 Método de Faust (Neves, 2000; Rey, 1996)

- Desmanchar a amostra em água, utilizando-se água filtrada;
- Filtrar, através de gaze dobrada em quatro, e transferir uma alíquota deste filtrado para um tubo de centrífuga;
- Centrifugar a 2.500 rpm por 1 minuto;
- Desprezar o sobrenadante e ressuspender o sedimento em água e centrifugar novamente. Esta etapa deverá ser repetida até que o sobrenadante se torne relativamente claro;
- Após a última lavagem, ressuspender o sedimento com sulfato de zinco a 33%, densidade de 1,18 g.ml<sup>-1</sup>. Nesta solução, cistos de protozoários e ovos de alguns helmintos flutuam e concentram-se numa película fina, situada na superfície do líquido sobrenadante;
- Transferir o tubo para uma estante e colocá-la sobre uma superfície plana; completar o volume do tubo de centrífuga a preenchê-lo completamente; colocar uma lamínula na superfície do tubo, na qual cistos e ovos presentes na película superficial ficarão aderidos. Aguardar 5 minutos;
- Retirar a lamínula e transferi-la para uma lâmina, adicionando-se uma gota de lugol a fim de tornar os cistos e ovos mais visíveis;
- Examinar em microscópio.

#### 4.6.2.1 Método de Hoffman (Neves, 2000; Rey, 1996)

- Desmanchar a amostra em água, utilizando-se água filtrada;
- Filtrar, através de gaze dobrada em quatro, e transferir uma alíquota deste filtrado para um cálice cônico;
- Completar o volume do cálice;
- Deixar essa suspensão em repouso durante, no mínimo, 2 horas;
- Coletar o sedimento com auxílio de uma pipeta: introduzir uma pipeta obliterada com o dedo indicador até o fundo do cálice, contendo o sedimento; retirar o dedo e deixar subir uma pequena porção do sedimento; recolocar o dedo e retirar a pipeta;
- Colocar a suspensão colhida em uma lâmina e adicionar uma gota de lugol; cobrir com uma lamínula;
- Examinar em microscópio.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O aumento da concentração da população em áreas urbanas e a falta de coleta e tratamento de esgotos fazem com que os corpos receptores que cruzam as cidades sejam transformados em escoadouros de águas residuárias brutas. Esses corpos receptores são utilizados para irrigação de frutas e hortaliças que abastecem o mercado consumidor. Dessa forma, pressupõe-se que a maioria das águas utilizadas na irrigação de cultivos na periferia dos grandes centros provavelmente está poluída, com excesso de matéria orgânica, nutrientes, e compostos de diferentes elementos químicos, material fecal que podem conter microrganismos patogênicos.

Uma característica marcante nas cidades brasileiras de médio e grande porte é a existência de “cinturões verdes” localizados nos arredores destas cidades, que servem ao cultivo de frutas e hortaliças e que abastecem o mercado consumidor. Não é raro verificar que a água utilizada na irrigação desses vegetais provém de pequenos córregos e rios que atravessam a região metropolitana e dela recebem contribuições de esgoto bruto ou de efluentes sem tratamento de origem doméstica ou industrial.

Como os organismos patogênicos presentes nos esgotos, responsáveis pela transmissão de várias doenças, são numerosos (incluem vírus, bactérias, protozoários e helmintos) e de detecção trabalhosa e demorada, o subgrupo das bactérias coliformes fecais (CF) é usado como o indicador de poluição fecal mais importante e confiável da qualidade sanitária da água, sendo associada ao seu número uma certa probabilidade de presença de organismos patogênicos.

É importante ressaltar, que os coliformes são meros indicadores de uma possível presença de patogênicos. Muitas vezes, águas que não contém coliformes podem estar contaminadas por vírus e cistos de protozoários, os quais são mais resistentes às condições adversas do meio ambiente.

Segundo Cabelli (1982), como não existe um organismo indicador ideal e “universal”, o melhor indicador deve ser entendido como aquele que mais bem expressar os riscos à saúde envolvidos na contaminação de um determinado ambiente. Nesse sentido, a presença dos indicadores deve representar a presença potencial de organismos patogênicos.

A perspectiva de infecção de uma doença de veiculação hídrica apresenta distintas características quando cotejada à contaminação por agentes químicos dificultando o estabelecimento de concentrações mínimas de patogênicos. A infecção varia intrinsecamente com a virulência do patogênico, a dose infectante e a resistência imunológica do indivíduo. Este último fator explica a maioria dos óbitos, durante os recentes surtos, ocorridos em indivíduos portadores de alguma deficiência no sistema imunológico (Daniel, 2001).

Distintamente dos agentes químicos, alguns patogênicos são aptos a se reproduzir nos alimentos e nas bebidas, elevando os riscos de infecção. Com isso, torna-se difícil determinar o número de microrganismos viáveis capazes de produzir algum tipo de infecção. A Academia Nacional de Ciência (NAS) dos Estados Unidos reportou, em 1977, infecções sucedidas com concentrações entre  $10^3$  e  $10^9$  patogênicos por indivíduo, amplitude justificada por fatores como o estado geral de saúde do indivíduo e o tempo de exposição (Dezuane, 1997).

No experimento realizado no período de 12 de outubro a 3 de dezembro de 2002 por Biscaro (2003), e foram feitas coletas semanais de amostras de solo, água e alface, desde o transplante até a colheita, sendo que a última amostra foi coletada 24 horas após a última irrigação, as quais foram submetidas à análise microbiológica e parasitológica, visando uma avaliação detalhada da presença de coliformes fecais, *Salmonella* spp e parasitos humanos (cistos de protozoários e ovos de helmintos) nas amostras.

### **5.1 Análises microbiológicas de Coliformes fecais**

De acordo com a literatura, as bactérias do grupo coliformes fecais são indicadoras de organismos originários do trato intestinal humano e de outros animais. Os organismos indicadores comumente empregados servem apenas para indicar a existência da poluição fecal e não podem ser tomados como medida da poluição ou da presença de microrganismos patogênicos. De modo geral, se for constatada a contaminação fecal do solo, da água ou da alface, pode-se supor a presença de elementos patogênicos.

Segundo Andrade Neto (1992): “alguns vírus e bactérias não resistem mais que algumas horas, ou até minutos às condições de clima seco e quente”. Os coliformes fecais não constituem risco a saúde humana, porém eles indicam que na amostra analisada pode haver a presença de outros organismos patogênicos, estes prejudiciais à saúde humana (Souza, 1997).

Segundo Cabelli (1982), a presença dos indicadores (coliformes fecais) deve representar a presença potencial de organismos patogênicos (*Escherichia coli*).

Os Guias da Organização Mundial da Saúde de 1995, definem a *Escherichia coli* como parâmetro de escolha na avaliação bacteriológica de fontes de abastecimento. Esses guias alertam que algumas espécies coliformes podem sobreviver e, ainda,

proliferar em ambientes aquáticos tropicais. Waite (1997), em seu artigo “Regulamento para Água de Consumo - Uma Perspectiva Européia” escreve que “... Por razões mais pragmáticas que científicas, a prática de se monitorar através do parâmetro coliformes fecais ou termotolerantes em lugar da espécie fecal *Escherichia coli* tem ganhado larga adoção”.

Em fezes humanas a contribuição da *Escherichia coli* é praticamente de 100%. Esse percentual foi obtido em recente estudo sobre o Perfil de Coliformes Termotolerantes e de *Escherichia coli* em Diferentes Amostras de Água (Cerqueira et al, 1998). As espécies fecais não *Escherichia coli* como algumas dos gêneros *Klebsiella* e *Enterobacter* são de ocorrência variável e não apresentam características fisiológicas ainda disponíveis que possam ser identificadas em sistemas “in vitro” de detecção. Os percentuais de ocorrência desses gêneros em fezes humanas e animais têm sido avaliados em vários estudos.

Recomenda-se que, ao se irrigar uma cultura com águas receptoras de efluentes urbanos (com sistemas de irrigação localizada por gotejamento), deve-se esperar de 48 a 72 horas após a última irrigação, com condições de tempo seco e ensolarado, para se proceder à colheita. Também se recomenda coletar amostras para análise periodicamente (Biscaro, 2003).

Segundo Fernandes et al. (1996).O nível de contaminação por microrganismos patogênicos depende de fatores que incluem a natureza do esgoto, a população atendida e ao tipo de tratamento efetuado.

### 5.1.1 Análise microbiológica do solo

A Tabela 21 apresenta os resultados das análises semanais da presença de coliformes fecais nas amostras de solo.

**Tabela 21** Análises da presença de coliformes fecais em amostras de solo

<i>Data</i>	<i>Tratamento</i>	<i>Coliformes (NMP 100ml<sup>-1</sup>)</i>	<i>Data</i>	<i>Tratamento</i>	<i>Coliformes (NMP 100ml<sup>-1</sup>)</i>
<b>16/10/2002</b> (1ª semana)	A1	2,2 x 10 <sup>6</sup>	<b>13/11/2002</b> (5ª semana)	A1	< 0,3 x 10 <sup>3</sup>
	A2	1,1 x 10 <sup>5</sup>		A2	< 0,3 x 10 <sup>3</sup>
	A3	4,6 x 10 <sup>5</sup>		A3	4,3 x 10 <sup>3</sup>
	A4	2,1 x 10 <sup>6</sup>		A4	0,4 x 10 <sup>3</sup>
<b>22/10/2002</b> (2ª semana)	A1	46 x 10 <sup>3</sup>	<b>19/11/2002</b> (6ª semana)	A1	1,5 x 10 <sup>3</sup>
	A2	24 x 10 <sup>3</sup>		A2	4,3 x 10 <sup>3</sup>
	A3	24 x 10 <sup>3</sup>		A3	0,4 x 10 <sup>3</sup>
	A4	4,3 x 10 <sup>3</sup>		A4	0,7 x 10 <sup>3</sup>
<b>29/10/2002</b> (3ª semana)	A1	0,9 x 10 <sup>3</sup>	<b>26/11/2002</b> (7ª semana)	A1	4,3 x 10 <sup>3</sup>
	A2	0,4 x 10 <sup>3</sup>		A2	9,3 x 10 <sup>3</sup>
	A3	0,4 x 10 <sup>3</sup>		A3	2,0 x 10 <sup>3</sup>
	A4	0,4 x 10 <sup>3</sup>		A4	21 x 10 <sup>3</sup>
<b>05/11/2002</b> (4ª semana)	A1	4,3 x 10 <sup>3</sup>	<b>03/12/2002</b> (8ª semana)	A1	9,3 x 10 <sup>3</sup>
	A2	15 x 10 <sup>3</sup>		A2	9,3 x 10 <sup>3</sup>
	A3	21 x 10 <sup>3</sup>		A3	< 0,3 x 10 <sup>3</sup>
	A4	4,3 x 10 <sup>3</sup>		A4	0,9 x 10 <sup>3</sup>

Observa-se pela Tabela 21, que a primeira semana apresentou quantidades elevadas de coliformes fecais, quando comparada as seguintes. Isso ocorre devido ao fato da irrigação com água do ribeirão contaminada nesta semana ter sido realizada diariamente, em dois períodos (manhã e tarde) para permitir o "pegamento" das mudas, além de ter sido um período de altas temperaturas e nenhuma precipitação.

Segundo Peclzar et al (1993), as bactérias são os organismos mais numerosos que vivem no solo. Em estudo realizado por estes autores, as amostras das raízes que estão em contato com o solo, apresentaram uma variação de 8.000 coliformes fecais por 100 gramas a 280.000. Esse valor foi o mais elevado encontrado por eles dentre as partes das plantas. Essas concentrações elevadas podem ser devido ao fato de as raízes estarem em contato com o solo, que é um ambiente bastante protegido, sombreado, com alta umidade e presença de nutrientes que geram condições favoráveis à sobrevivência de microrganismos.

Observaram também, que o valor mínimo de 8.000 coliformes fecais por 100 gramas, na raiz aconteceu em um período chuvoso, certamente a precipitação acumulada nesse estudo foi a responsável pela lavagem do solo, diminuindo consideravelmente o valor desses microrganismos presentes nas raízes que estão em contato com o solo.



### 5.1.2 Análise microbiológica da Água

A Tabela 22 apresenta os resultados das análises da presença de coliformes fecais, nas amostras de água de irrigação.

**Tabela 22** Análises da presença de coliformes fecais em amostras de água.

<i>Data</i>	<i>Tratamento</i>	<i>Coliformes (NMP 100ml<sup>-1</sup>)</i>	<i>Data</i>	<i>Tratamento</i>	<i>Coliformes (NMP 100ml<sup>-1</sup>)</i>
<b>15/10/2002</b> (1ª semana)	A1	2,4 x 10 <sup>6</sup>	<b>12/11/2002</b> (5ª semana)	A1	4,6 x 10 <sup>7</sup>
	A2	4,3 x 10 <sup>7</sup>		A2	9,3 x 10 <sup>7</sup>
	A3	4,3 x 10 <sup>7</sup>		A3	4,6 x 10 <sup>8</sup>
	A4	1,1 x 10 <sup>6</sup>		A4	1,1 x 10 <sup>9</sup>
	Ribeirão	4,3 x 10 <sup>8</sup>		Ribeirão	4,6 x 10 <sup>8</sup>
<b>21/10/2002</b> (2ª semana)	A1	1,1 x 10 <sup>8</sup>	<b>18/11/2002</b> (6ª semana)	A1	2,4 x 10 <sup>8</sup>
	A2	1,1 x 10 <sup>8</sup>		A2	1,5 x 10 <sup>8</sup>
	A3	1,1 x 10 <sup>8</sup>		A3	2,4 x 10 <sup>8</sup>
	A4	1,1 x 10 <sup>8</sup>		A4	2,4 x 10 <sup>8</sup>
	Ribeirão	2,1 x 10 <sup>8</sup>		Ribeirão	1,1 x 10 <sup>9</sup>
<b>28/10/2002</b> (3ª semana)	A1	1,5 x 10 <sup>7</sup>	<b>25/11/2002</b> (7ª semana)	A1	1,5 x 10 <sup>8</sup>
	A2	4,6 x 10 <sup>7</sup>		A2	4,6 x 10 <sup>8</sup>
	A3	9,3 x 10 <sup>8</sup>		A3	4,6 x 10 <sup>8</sup>
	A4	7,5 x 10 <sup>8</sup>		A4	9,3 x 10 <sup>7</sup>
	Ribeirão	2,4 x 10 <sup>8</sup>		Ribeirão	2,4 x 10 <sup>8</sup>
<b>04/11/2002</b> (4ª semana)	A1	4,6 x 10 <sup>7</sup>	<b>02/12/2002</b> (8ª semana)	A1	4,6 x 10 <sup>8</sup>
	A2	2,4 x 10 <sup>7</sup>		A2	9,3 x 10 <sup>7</sup>
	A3	1,1 x 10 <sup>8</sup>		A3	2,4 x 10 <sup>8</sup>
	A4	1,1 x 10 <sup>8</sup>		A4	2,4 x 10 <sup>8</sup>
	Ribeirão	4,3 x 10 <sup>7</sup>		Ribeirão	1,5 x 10 <sup>8</sup>

Observa-se pela Tabela 22, que a água de irrigação apresentou altas quantidades de coliformes fecais, tanto para as amostras coletadas diretamente no ribeirão como nas amostras de água coletadas nas mangueiras de irrigação (por onde passa pelo sistema de filtragem).

Nas amostras analisadas, observa-se que as concentrações médias de coliformes fecais da água de irrigação e do ribeirão variaram entre  $1,1 \times 10^6$  e  $1,1 \times 10^9$  NMP/100ml, valores estes bem acima de  $< 10^3$  UFC/100ml recomendado pela WHO (1989) para irrigação irrestrita, como é o caso das alfaces, que são consumidas cruas.

Segundo a resolução nº 20/86 do CONAMA de 18/08/86 a água de irrigação de hortaliças que são consumidas cruas não devem ser poluídas por excrementos humanos, sendo que para a avaliação dos riscos potenciais de saúde decorrentes da irrigação irrestrita com águas residuárias contendo 1000 CF/100ml, devemos observar os critérios de qualidade bacteriológica exigidos para hortaliças.

A legislação em vigor no Brasil, para alimentos, é regulamentada pela portaria nº 451 de 19/08/97 e aprovado pela Secretaria de Vigilância Sanitária – SVS do Ministério da Saúde, e diz que para hortaliças frescas, refrigeradas ou congeladas, consumidas diretamente, estabelece a ausência de *Salmonella* em 25 gramas de produto e presença máxima de 200 coliformes fecais por grama de produto.

Segundo esta legislação, as hortaliças contendo menos de  $10^3$  CF/100g seriam consideradas de boa qualidade, exigindo-se naturalmente a verificação da ausência de *Salmonella*.

Na Tabela 23 observa-se que a quantidade de coliformes fecais encontrados nas plantas de alface é superiores ao limite recomendável pela legislação brasileira de alimentos, o que mostra que os níveis de contaminação medidos neste experimento encontram-se fora da faixa qualificada como aceitável pelos critérios internacionais de classificação de qualidade microbiológica de alimentos (IMCSF, 1974). É de ressaltar que não detectamos a presença de *Salmonella* em nenhuma das amostras analisadas.

### 5.1.3. Análise microbiológica da Alfaca

A Tabela 23 apresenta os resultados das análises da presença de coliformes fecais, nas amostras de alfaca.

**Tabela 23** Análises da presença de coliformes fecais em amostras de alfaca.

<i>Data</i>	<i>Tratamento</i>	<i>Coliformes (NMP 100ml<sup>-1</sup>)</i>	<i>Data</i>	<i>Tratamento</i>	<i>Coliformes (NMP 100ml<sup>-1</sup>)</i>
<b>16/10/2002</b> (1ª semana)	A1	0,9 x 10 <sup>3</sup>	<b>13/11/2002</b> (5ª semana)	A1	<0,3 x 10 <sup>3</sup>
	A2	2,0 x 10 <sup>3</sup>		A2	<0,3 x 10 <sup>3</sup>
	A3	4,3 x 10 <sup>3</sup>		A3	0,7 x 10 <sup>3</sup>
	A4	4,6 x 10 <sup>3</sup>		A4	<0,3 x 10 <sup>3</sup>
<b>22/10/2002</b> (2ª semana)	A1	4,3 x 10 <sup>3</sup>	<b>19/11/2002</b> (6ª semana)	A1	0,4 x 10 <sup>3</sup>
	A2	9,3 x 10 <sup>3</sup>		A2	0,4 x 10 <sup>3</sup>
	A3	4,3 x 10 <sup>3</sup>		A3	0,4 x 10 <sup>3</sup>
	A4	0,9 x 10 <sup>3</sup>		A4	0,4 x 10 <sup>3</sup>
<b>29/10/2002</b> (3ª semana)	A1	0,4 x 10 <sup>3</sup>	<b>26/11/2002</b> (7ª semana)	A1	<0,3 x 10 <sup>3</sup>
	A2	<0,3 x 10 <sup>3</sup>		A2	2,0 x 10 <sup>3</sup>
	A3	0,4 x 10 <sup>3</sup>		A3	<0,3 x 10 <sup>3</sup>
	A4	<0,3 x 10 <sup>3</sup>		A4	9,3 x 10 <sup>3</sup>
<b>05/11/2002</b> (4ª semana)	A1	4,3 x 10 <sup>3</sup>	<b>03/12/2002</b> (8ª semana)	A1	9,3 x 10 <sup>3</sup>
	A2	9,3 x 10 <sup>3</sup>		A2	2,1 x 10 <sup>3</sup>
	A3	1,5 x 10 <sup>4</sup>		A3	2,1 x 10 <sup>3</sup>
	A4	0,9 x 10 <sup>3</sup>		A4	0,7 x 10 <sup>3</sup>

Bastos (1993), encontrou valores bem mais altos em amostras de alfaces irrigadas com esgotos tratados por lagoas de estabilização, entre  $2,3 \times 10^6$  e  $5,8 \times 10^7$  por 100 gramas. Ao que tudo indica, as plantas de alfaces por desenvolverem muito próximas ao solo, foram contaminadas.

De acordo com a Tabela 23, os valores encontrados por Biscaro (2003), variaram de  $0,3 \times 10^3$  coliformes fecais por 100 ml a  $1,5 \times 10^4$ . Valores estes menores do que os encontrados por Bastos (1993) que utilizou como sistema de irrigação a aspersão, isto pode ter ocorrido devido ao fato da irrigação utilizada neste experimento ter sido irrigação localizada superficial e subsuperficial. Pois, neste caso, a irrigação localizada a água é aplicada diretamente ao solo, nas proximidades do sistema radicular, o que diminui muito a possibilidade de contaminação principalmente na irrigação subsuperficial, onde o risco de contaminação torna-se ainda menor considerando que neste caso, a água é aplicada alguns centímetros abaixo do sistema radicular.

## **5.2 Análises microbiológicas de *Salmonella* spp**

Nenhuma das análises realizadas nas amostras de solo, de água de irrigação e água do rio e nas alfaces, durante o decorrer do experimento indicou a presença de *Salmonella* spp.

### 5.3 Análises microbiológicas da presença de Parasitos

As águas residuárias podem conter uma variedade de ovos de helmintos relacionados às fezes humanas. No entanto, as águas residuárias também podem apresentar, com frequência ovos de parasitas animais como de porcos, ratos, cachorros e pássaros, juntamente com os ovos de parasitos intestinais humanos. Nesse sentido, a correta identificação dos ovos de helmintos deve ser realizada baseando-se principalmente nas suas características morfológicas e de tamanho. Para tal, torna-se indispensável proceder à medição exata dos ovos utilizando um microscópio calibrado, de forma a se conseguir a correta identificação e diferenciação dos ovos de helmintos humanos presentes na amostra. Isso porque o tamanho dos ovos é um dos principais critérios que diferenciam a classificação das espécies de parasitos. A identificação dos ovos de helmintos é baseada principalmente em seu tamanho e na identificação de suas características morfológicas específicas, tais como: forma, conteúdo do ovo, espessura da membrana externa (casca), etc.

Devido à ampla ocorrência de doenças parasitárias na população humana e animal em países tropicais e a resistência apresentada pelos ovos de helmintos, a pesquisa desses parasitas em amostras de água e vegetais, constitui uma recomendação importante quando se utilizam águas residuárias para fins agrícolas. A ingestão de um ovo fértil de helminto é suficiente para iniciar o ciclo de doenças transmitidas por esses parasitas. Por esse motivo, a OMS recomenda o padrão ( $\leq 1$  ovo de nematóide / litro).

Ayres et al (1992), ao realizar estudos sobre a contaminação de alfaces irrigadas com águas residuárias de diversas qualidades, observou que, para águas de irrigação que estão de acordo com o padrão recomendado pela OMS, não foram detectados ovos de helmintos nestas alfaces.

Observa-se nas Tabelas 24, 25, e 26, que em nenhuma das amostras de solo, da água de irrigação e de alface analisadas, foram encontrados formas evolutivas de parasitas humanos (cistos de protozoários e ovos de helmintos), mas sim foi detectada a

presença de ovos e larvas de nematódeos não parasitas humanos. Não foi possível a identificação das espécies de nematódeos encontrados com base na morfologia das larvas e/ou ovos. Apesar disso, a morfologia destas formas evolutivas foram suficientes para excluirmos a possibilidade de serem parasitas humanos. É provável que estas larvas e ovos sejam parasitas de outros animais (anfíbios, répteis, aves ou mamíferos) que podem ter tido contato com o solo. Também é possível que as larvas e os ovos encontrados sejam de nematódeos de vida livre neste solo.

A vida livre na fase larvária dos nematóides não é patogênica ao ser humano. Os ovos e as larvas são resistentes ao estresse do meio ambiente e podem sobreviver aos procedimentos usuais de desinfecção. Entretanto, os ovos de helmintos são removidos por processos utilizados na prática do tratamento dos esgotos, como a sedimentação, a filtração e o sistema de lagoa de estabilização.

Cabe ressaltar, que as infecções intestinais causadas por helmintos constituem-se nas mais comuns em seres humanos de todo o mundo, sendo as infecções por nematóides transmitidas pelo solo as mais prevalentes e a maior causa de morbidade em crianças escolares de países em desenvolvimento (Santos, 1999).

Apesar de se tratar de parasitas não humanos, as larvas de nematódeos podem causar quadros de larva migrans cutânea, que é conhecido popularmente como “bicho geográfico”. Neles, a larva de parasita penetra acidentalmente nos tecidos cutâneos de um indivíduo (o homem não é seu hospedeiro normal). Ela desloca-se no tecido, buscando dar continuidade ao seu ciclo biológico, e como não encontra condições apropriadas para seu desenvolvimento, morre em pouco tempo.

No caso dos ovos presentes nas amostras, pode ocorrer o quadro de larva migrans visceral, que é bem semelhante ao anterior. Ao se ingerir ovos de espécies de parasitas nas quais o homem não é hospedeiro, as larvas que poderiam eclodir destes ovos poderiam perfurar o tubo digestivo e se instalar nos órgãos internos do indivíduo. Estes ovos e larvas podem ser facilmente removidos por processos de desinfecção.

### 5.3.1 Análises do solo

A Tabela 24 apresenta os resultados das análises da presença de ovos (O) e larvas (L), nas amostras de solo.

**Tabela 24** Análises da presença de ovos e larvas em amostras de solo.

<i>Data</i>	<i>Tratamento</i>	<i>Ovos/Larvas</i>	<i>Data</i>	<i>Tratamento</i>	<i>Ovos/Larvas</i>
16/10/2002 (1ª semana)	A1	---	13/11/2002 (5ª semana)	A1	O
	A2	---		A2	O/L
	A3	---		A3	--
	A4	---		A4	O/L
22/10/2002 (2ª semana)	A1	---	19/11/2002 (6ª semana)	A1	L
	A2	O/L		A2	---
	A3	O/L		A3	L
	A4	O/L		A4	O
29/10/2002 (3ª semana)	A1	---	26/11/2002 (7ª semana)	A1	O/L
	A2	---		A2	L
	A3	L		A3	L
	A4	L		A4	L
05/11/2002 (4ª semana)	A1	O/L	03/12/2002 (8ª semana)	A1	O/L
	A2	L		A2	L
	A3	O/L		A3	---
	A4	L		A4	O/L

### 5.3.2 Análise da Água

A Tabela 25 apresenta os resultados das análises da presença de ovos (O) e larvas (L), nas amostras de água.

**Tabela 25** Presença de ovos e larvas em amostras de água.

<i>Data</i>	<i>Tratamento</i>	<i>Ovos/Larvas</i>	<i>Data</i>	<i>Tratamento</i>	<i>Ovos/Larvas</i>
15/10/2002 (1ª semana)	A1	---	12/11/2002 (5ª semana)	A1	L
	A2	---		A2	O/L
	A3	---		A3	O/L
	A4	---		A4	O/L
	Ribeirão	---		Ribeirão	---
21/10/2002 (2ª semana)	A1	L	18/11/2002 (6ª semana)	A1	---
	A2	L		A2	---
	A3	L		A3	L
	A4	L		A4	---
	Ribeirão	L		Ribeirão	L
28/10/2002 (3ª semana)	A1	O/L	25/11/2002 (7ª semana)	A1	O
	A2	O/L		A2	---
	A3	O		A3	---
	A4	O		A4	L
	Ribeirão	---		Ribeirão	O/L
04/11/2002 (4ª semana)	A1	L	02/12/2002 (8ª semana)	A1	L
	A2	---		A2	L
	A3	L		A3	O/L
	A4	L		A4	L
	Ribeirão	---		Ribeirão	L



### 5.3.3 Análise da Alface

A Tabela 26 apresenta os resultados das análises da presença de ovos (O) e larvas (L), nas amostras de alface.

**Tabela 26** Análises da presença de ovos e larvas em amostras de alface.

<i>Data</i>	<i>Tratamento</i>	<i>Ovos/Larvas</i>	<i>Data</i>	<i>Tratamento</i>	<i>Ovos/Larvas</i>
16/10/2002 (1ª semana)	A1	O/L	13/11/2002 (5ª semana)	A1	L
	A2	L		A2	O/L
	A3	L		A3	O/L
	A4	L		A4	O/L
23/10/2002 (2ª semana)	A1	L	19/11/2002 (6ª semana)	A1	L
	A2	L		A2	L
	A3	L		A3	O/L
	A4	L		A4	L
29/10/2002 (3ª semana)	A1	L	26/11/2002 (7ª semana)	A1	O/L
	A2	---		A2	L
	A3	L		A3	L
	A4	O/L		A4	L
05/11/2002 (4ª semana)	A1	L	03/12/2002 (8ª semana)	A1	L
	A2	O/L		A2	O/L
	A3	O/L		A3	O/L
	A4	---		A4	O/L

## **6. CONCLUSÃO**

Os indicadores de poluição comprovaram que o Ribeirão Lavapés está contaminado e que a utilização de suas águas para irrigação no cinturão verde de Botucatu-SP, principalmente no caso de irrigação de hortaliças, é um grande risco à saúde da população.

A água do Ribeirão Lavapés não deve ser utilizada para a irrigação de hortaliças na cidade de Botucatu-SP, sendo que para a sua utilização é necessário que haja uma desinfecção da água utilizando diversas metodologias, como por exemplo: a cloração, a radiação ultravioleta e a ozonização.

Mesmo com o manejo adequado do sistema de irrigação, é importante que antes do consumo seja feita uma desinfecção caseira das hortaliças, principalmente as que são consumidas cruas, para evitar riscos à saúde.

## **7. RECOMENDAÇÕES**

A utilização dos sistemas de irrigação por aspersão ou pelo uso de mangueiras deve ser descartada, devido ao fato destes sistemas depositarem água na parte aérea das plantas causando a contaminação.

Sistemas de irrigação por gotejamento quer seja, superficial ou subsuperficial pode diminuir muito a possibilidade de contaminação das plantas, sendo recomendado, nestes casos, principalmente os sistemas montados para efetuar a irrigação subsuperficial que apresenta o menor risco, com manejo adequado, evitando a contaminação das folhas e minimizando a contaminação do solo.

## 8. BIBLIOGRAFIA

ABEAS. *Encontro nacional: Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável - Agenda 21 -*  
Cap. 18. Relatório final. Brasília, ABEAS, 1996. 107p.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA; AWWA; WPCF Standard  
Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19 ed. American Water Works  
Association, Water Pollution control Federation, Washington, D.C., 1995.

AMORIM, R.F.C. *Transporte de material sólido e assoreamento em reservatórios de pequenas  
barragens de terra na região central do estado de São Paulo*. Botucatu, 1999. 127 p. Tese  
(Doutorado em Agronomia / Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônomicas,  
Universidade Estadual Paulista.

ANDRADE NETO, C. O. **O uso de esgotos sanitários e efluentes tratados na irrigação.** In: congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 9, 1992. Anais do IX Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, Fortaleza: ABES,1992, p. 1961 – 2006.

ANDRADE NETO, C. O. Sistemas simples para Tratamento de Esgotos Sanitários: experiência brasileira. Rio de Janeiro: ABES, 1997. 301p.

ANDRADE NETO, C. O. **Filtros anaeróbios de fluxo descendente afogados com diferentes enchimentos.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, 20, 2000. Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, Rio de Janeiro - RJ: ABES, 2000, p. 27-36.

ANDREWS, W. H. et al. In: DOWNES F. P; ITO, K. (Eds). Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods. **Washington: Apha, 2001. p. 357-380.**

ANÔNIMO. Produtor vai pagar caro pela água que usa. *Trator e implementos*, 1(1): 4, 1991.

APHA, AWWA, WPCF. **Métodos normalizados para análisis de águas potables y residuales.** 17. ed. Madrid: D. de Santos. 1989.

ARAUJO, A. et al, **Reuso indireto de esgotos na irrigação de colunas experimentais de solo cultivadas com alface (*Lactuca sativa*, L).** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, 20, 2000. Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, Rio de Janeiro - RJ: ABES, 2000, p. 272-83.

ASANO, T & PETTYGROVE, G. **Manual Práctico de Riego com Agua Residual Municipal Regenerada**. Catalunya: Edicions de la Universitat Politècnica Madrid, 1990. 481 p.

ASANO, T. & LEVINE, A.D. Wastewater Reclamation, Recycling And Reuse: Past, Present And Future. **Water Sci. Technol.** V. 33, n. 10, p. 1-14, 1996.

AYRES, R.M., MARA, D., LEE, D., SILVA, S.A. Wastewater Reuse in agriculture and the Risk of Intestinal Nematode Infection. **Parasitology Today**. V.8, n.1, p. 32-5, 1992.

AYRES, R.S. & WESTCOT, D.W. **A Qualidade da Água na Agricultura**. Traduzido por H.R. Greye e J.F. de Medeiros. Campina Grande – PB: UFPB / PRAI / CCT, 1991, 218p. (Tradução de: Water and sanitation Program. Leeds University Library, 46p., 1994).

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL Cadernos de infra-estrutura, nº 1 saneamento Ambiental. Rio de Janeiro, Out., Mimeo. 1998.

BARTH, F.T., POMPEU, C.T., FILL, H.D., TUCCI, C.E.M., KELMAN, J., BRAGA JR, B.P.F. *Modelos para gerenciamento de recursos hídricos*. Coleção ABRH de Recursos Hídricos. São Paulo, Ed. NOBEL/ABRH, 1987. 526 p..

BARTONE, C.R. et al The Reuse of Wastewater in Agriculture: A Guide for Planers. World Bank Water and sanitation Program. Leeds University Library, 46p. 1994.

- BASTOS, R.K.X. & MARA, D.D. **Avaliação dos Critérios e Padrões de Qualidade Microbiológica de Esgotos Sanitários tendo em vista sua Utilização na Agricultura.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 17, 1993. ANAIS, Natal-RN
- BASTOS, R.K.X. **Utilização agrícola de esgotos Sanitários.** Apostila de Curso, ABES. Recife, 1999. 116p.
- BASTOS, R. K. X. Fertirrigação com águas residuárias. In: WORKSHOP DE FERTIRRIGAÇÃO. FERTIRRIGAÇÃO: CITRUS, FLORES, HORTALIÇAS, 1. / Marcos Vinícios Folegatti, coord. – Guaíba: Agropecuária, p. 279-291, 1999.
- BASTOS, R.K.X., ZUMAETA, M.A., CAVALLINI, J.M. **Evalución de la Remoción de Enteroparasíticos em las lagunas de San Juan de Miraflores.** 2000. 8p.
- BISCARO, G.A. Utilização de Águas Receptoras de Efluentes Urbanos em Sistemas de Irrigação Localizada Superficial e Subsuperficial na Cultura da Alface Americana (*Lactuca Sativa* L.). – Botucatu, 2003, 102p. Tese (Doutorado em Agronomia / Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- BLUMENTAL, U.J., MARA, D.D., AYRES, R.M. Evaluation of the WHO Nematode Egg Guidelines for Restrictd and Unrestricted Irrigation. **Water Science Technology**, v. 33. n. 10-19, 1996. p. 277-83.

BRAILE, P.M. & CAVALCANTI, W.A. **Manual de Tratamento de Águas residuárias Industriais**. CETESB, São Paulo – SP, 1993. 763p.

BRANCO, S.M. *Hidrobiologia Aplicada à Engenharia Sanitária* 3 ed. São Paulo, CETESB/ASSCETESB. 1986. 620p.

BREDA, C.C. Ensaio de tratamento de efluentes de indústria de chapa dura de fibra de madeira. – Botucatu, 1999, 98p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

BRISCOE, J. *Abastecimiento de agua y servicios de saneamiento; su función en la revolución de la supervivencia infantil*. Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana, v. 103, n.4, p. 325-39, Oct. 1987.

BRISCOE, J., FEACHEM, R.G., RAHAMAN, M.M. *Evaluating health impact; water supply, sanitation, and hygiene education*. Ottawa: International Development Research Centre, 1986. 80 p.

CABELLI, V.J. **Microbial Indicators System for Assessing Water Quality**. Traduzido por: Antonie van Leeuwenhoeck, 48. 1982. p. 613-17.



CAIRNCROSS, S. *Water supply and sanitation: an agenda for research*. Journal of Tropical Medicine and Hygiene, v.92, p. 301-14, 1989

CAIRNCROSS, S., FEACHEM, R.G *Environmental health engineering in the tropics: an introductory text*. 4 ed. Chichester: John Wiley & Sons, 1990. 283 p.

CAMPOS, J.R. Uma abordagem sobre a Desinfecção de esgotos no Brasil. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL – DESINFECÇÃO DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO E RESIDUÁRIAS EM PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO, 1. Belo Horizonte, 1993. Anais. Minas gerais, ABES, p. 137-67.

CAMPOS, J.R. et al. **Tratamento De Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Dsposição Controlada no Solo**. São Paulo, 1999. 464p. Projeto PROSAB.

CARVALHO, O. **A Economia Política do Nordeste: secas, irrigação e desenvolvimento**. Rio de Janeiro: campus. 1998

CASTRO DE ESPARZA, M.L. & SÁENZ, R.F. **Evaluación de Riegos para la salud por el Uso de Aguas Residuales en agricultura**. Vol. 1. Aspectos Microbiológicos. CEPIS, Lima-Peru. 1990

CAVINATO, V.M. Dispersão de Aerossóis em Valos de Oxidação. Revsta de Saneamento Ambiental. Ano 10. n. 56, p. 46-50. março/1999.

- CERQUEIRA, D. A, DE BRITO, L. L., GALINARI, P. A, AMARAL, G. C. M.. Perfis de Ocorrências de Coliformes Termotolerantes e de E. coli em diferentes Amostras de Água, 1998.
- CERQUEIRA, D.A. Coliformes Fecais não Existem. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, 20, 2000. Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, Rio de Janeiro - RJ: ABES, 2000, p. 1239-1244.
- CETESB *Clostridium perfringens* – determinação em amostras de água pela técnica dos tubos múltiplos. Método de ensaio. L5. 213. jul / 1993.
- COELHO, W.M. & CAMPOS, D.M.B. Avaliação da eficiência de um Sistema de lagoas de Estabilização de esgotos na Remoção de Ovos de Helminto. Proposta para a Determinação do percentual de recuperação de ovos de helminto através do método da “ÖMS”. **Revista Patologia Tropical**. V. 25, n.1, p. 61-72. jan/jun 1996.
- CONAMA. **Resoluções do Conselho Nacional do meio Ambiente, Leis, etc.** 1984/86. 2 ed. Brasília: SEMA, 1998. 98p.
- CONTE, M. de L. *Espécies químicas dissolvidas no Ribeirão Lavapés, Botucatu - SP.* Botucatu, 1992. 123p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

CONTE, M. de L. *Aspectos quantitativos e qualitativos das águas da bacia experimental do rio Pardo – região de Botucatu, SP* – Botucatu, 1999, 157p. Tese (Doutorado em Agronomia / Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista.

CONTE, M. de L., LEOPOLDO, P.R., ZUCCARI, M.L., DAMASCENO, S. Tratamento de águas servidas no meio rural através de processo fito-pedológico: resultados preliminares. In:\_\_\_ CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21. SBEA, Santa Maria, 2: p. 1018-29, 1992.

CORDEIRO, G.G. & MILLA **Problemas de Sais nas Áreas de Operação Agrícola na Irrigação de São Gonçalo.** In: Congresso de Irrigação e Drenagem, ANAIS, Salvador, 1978.

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: UNESP-FCA, 1999, p.487-491.

CYNAMON, S.E. *Política de saneamento; proposta de mudança. Cadernos de saúde pública* , v.2, n.2, p. 141-49, abr./jun., 1986.

DANIEL, L. A. *Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável.* Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2001. 155p.

DANIEL, L.A., CAMPOS, J.R., REALI, M.A. **Conceitos Gerais Sobre Técnicas de Tratamento de Águas de Abastecimento, Esgotos Sanitários e Desinfecção.** Reimpressão São Carlos: USP/EESC, 2000. 47p.

DARBY,J.;HEATH, M.; JACANGELO, J.; LOGE, F.; SWAIN, P.; TCHOBANOGLIOUS, G. *Comparison of UV irradiation to chlorination : Guidance for achieving optimal UV performance.* Alexandria, Project 91-WWD-1, Water Environment Research Foundation, 1995.

DEZUANE, J. *Microbiological parameters.* In: Drinking water quality. USA, John Wiley & Sons Inc. 1997

DUFOUR, A.P. *Escheria coli: the fecal coliform.* In: *bacterial indicators / health hazards associated with water.* Philadelphia, American Society for testing and materials, 1977. p 48-58.

ELDBERG, S.C.; PISCITELLI, V; CARTTER, M. *Phenotypic characteristics of coliform and noncoliform bacteria from a public water supply compared with regional and national clinical species.* Applied and Enviromental Microbiology, vol. 52, 1986. p. 474-78.

ELMUND, G. K. ; ALLEN, M.J.; RICE, E.W. Comparison of Eschericia coli, total coliform and fecal coliform populatons as indicators of wastewater treatment efficiency. Water Environment Research, vol. 71. nº 3. 1999.

ESGOTO É VIDA Incorporação da coleta, tratamento e disposição do esgoto sanitário na agenda de prioridades dos municípios brasileiros. Brasília, abr/2000.

FEACHEM, R.G., BRADLEY, D.J., GARELICK, H., MARA, D.D. *Sanitation and disease: health aspects of excreta and wastewater management*. Chichester: John Wiley., 1983a. 501 p.

FERNANDES, F.; COELHO, L. O.; NUNES, C. W. & SILVA, S. M. C. P. Aperfeiçoamento da Tecnologia de Compostagem e Controle de Patógenos. SANARE, Curitiba, v. 5, n.5, pp. 36 – 45. 1996.

FREITAS, I.C.C., PESSANHA, J.E.M., HELLER, L. *Epidemiologia aplicada ao planejamento e à avaliação das ações de saneamento básico*. Revista Bio, v.3, n.1, p.61-66, jan./mar. 1990

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE DO MINISTÉRIO DA SAÚDE. Manual de Saneamentos para Municípios. 2000.

GELDREICH, E.E. & KENNER, B.A. *Concepts of fecal streptococci in stream pollution*. J Wat. Pollut. Control. Fed. Vol. 41, 1969. p. 336-52.

GRABOW, W.O.K. Pathogenic organisms and indicators of faecal pollution. In: *SEMINÁRIO INTERNACIONAL – DESINFECÇÃO DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO E RESIDUÁRIAS EM PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO*, 1. Belo Horizonte, Minas Gerais. ABES, 1993, p. 173-83.

GRILO JR., J.A.S. Reutilização de esgoto doméstico tratado para irrigação de forragem animal: uma abordagem bacteriológica e helmintológica. Natal, 2000. 126p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária / Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Centro de Tecnologia. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

GRIMASON, Occurence and removal of giardia sp. Species by keniam and French waste stabilization pond systems. **Third IAWQ International Specialist Conference and Workshop**. Waste Stabilization Ponds technology and applications. João pessoa – PB, 1995.

HAMMER, 'M.J. **Sistemas de Abastecimento de águas e esgotos**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979. 558p.

HAMMER, M.J. & HAMMER JR, M.J. **Water and Wastewater Technology**. Prentice-Hall, 3 ed. , Prentice Hill: 1996. 519p.

HELLER, L. *Saneamento e Saúde*. OPAS/OMS Brasília, 2000

HESPANHOL, I. Aspectos técnicos e de saúde pública relativos ao uso de esgotos na agricultura e aquacultura – Encontro Internacional sobre Desenvolvimento da Década da Água. Lisboa: 19 a 22 de abril de 1988. Governo de Portugal, república Federativa da Alemanha, PNUD, OMS, 1995. 68p.

HRONCICH, J.A. *Source water quality management*. In: *Waterquality and treatment*. 5 ed. USA, McGraw-Hill Inc. 1999.

HUTTLY, S.R.A. *The impact of inadequate sanitary conditions on health in developing countries*. *World Health Statistics Quarterly*, v.43, p. 118-26, 1990.

IACOMINI, F. Os pecados do Brasil: como o Brasil trata suas crianças, segundo o último relatório divulgado pela UNICEF. Veja, ed. 1629. 22 dez. 1999.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. População: Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio – PNAD. 2001

KÖNIG, A. **Uso de esgoto tratado como fonte de água não convencional para irrigação de forrageiras**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, 19, 1999. ANAIS, Vitória - ES: ABES, 1999, p. 2072-79.

KORNACKI, J.L.; JOHNSON, J.L. Enterobacteriaceae, coliforms, and Escherichia coli as quality and safety indicators. In: DOWNES F. P; ITO, K. (Eds). Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods. Washington:Apha, 2001, p. 69-80.

LANNA, A.E.L. *Gerenciamento de bacia hidrográfica: aspectos conceituais e metodológicos*. Brasília, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 1995. 171 p..

LÉON, S.G. & CAVALLINI, J.M. **Tratamento e uso de águas residuárias**. Campina Grande, UFPB, 1999. 151p.

LEOPOLDO, P. R. Aspectos hidrológicos da região de Botucatu. In: ENCONTRO DE ESTUDOS SOBRE AGROPECUÁRIA NA REGIÃO DE BOTUCATU, 1, 1989, Botucatu. **Anais...**Botucatu: Núcleo de extensão de serviços à comunidade, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 1989, p. 57-70.

LIMA,C.L.S; BRAZ, V.N.; RIVERA, G.I. Pesquisa de coliformes e estreptococos fecais em ambiente aquático protegido. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro. Vol. 4, nº3 e nº 4, ABES, 1999.

MACIEL, C.F. **Migração ascendente no solo de larvas infectantes de nematóides gastrointestinais de ovinos**. Dissertação (mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1984. 69p.



MANCUSO, P.C.S., SANTOS, H.F, MORITA, D.M. et al. Reuso da água. **Rev. DAE-SABESP**, n. 167, 1992.

MELO, J.A.S. Aplicação de águas residuárias no solo como um método de tratamento: disposição final e reciclagem das águas usadas. **Revista de Engenharia Sanitária**, n. 17, p. 82-91, 1978.

METCALF & EDDY INC. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*, 3 ed. N.Y.,Mc. Graw-Hill, 1991. 1334 p.

METCALF & EDDY **Ingeniería de aguas residuales – tratamiento , vertido y reutilización**. 3ed. Espanha: MCGraw-Hill/Interamericana de España, 1995. 1485p.

MINISTERIO DA SAÚDE, SECRETARIA EXECUTIVA – DATASUS Base deDados sobre a Saúde Pública no Brasil. 2000

MORAIS BARROS, A.J. **Caracterização físico-química e sanitária das águas superficiais usadas na irrigação de hortaliças e dos solos irrigados nos municípios de sapé e lagoa Seca (PB)**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal da Paraíba. 1997. 118p.

MOTA, S. **Avaliação do desempenho de culturas irrigadas com esgoto tratado**. In XIX Congresso brasileiro de Engenharia Sanitária Ambiental, 1998.

MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental** Rio de Janeiro: ABES, 1997. 292p.

MOTA, S. **Reuso de águas: a experiência da Universidade do Ceará.** (org) Suetônio Mota. Ceará: UFCE, 2000. 276p.

NEVES, D.P. **Parasitologia Humana.** Rio de Janeiro: Atheneu, 2000. 428p.

NIEMI, R.M. & NIEMI, J.S. Bacterial pollution of waters in pristine and agricultural lands. *Journal Environmental Quality*, vol. 20, 1991. p. 620-27.

OLIVEIRA, C.A.F. & GERMANO, P.M.L. Estudo de ocorrência de enteroparasitas em hortaliças comercializadas na região metropolitana de São Paulo. **Revista de Saúde Pública.** São Paulo – SP. Ano 5, n. 26, 1992. p. 332-335.

PAGANINI, W.S. **Disposição de esgotos no solo (escoamento à superfície).** São Paulo: Fundo Editorial da AESABESP, 1997. 232p.

PAGANINI, W.S. Tratamento e reciclagem de esgotos por disposição no solo. **Revista Ação Ambiental.** Ano 2, n.6. 1999. p. 12-15.

PAGANINI, W.S. **Disposição de esgotos no solo, 12 anos de monitoramento** In XIX Congresso brasileiro de Engenharia Sanitária Ambiental, ANAIS. 1998.

- PEREIRA DE BRITO, L. **Investigacion sobre reutilizacion de águas residuales para fines urbanos (recreativos y Limpieza viária), com vistas a ustificar uma proposta de normativa.** Tesis doctoral. Madrid: Universidade Politécnica de Madrid, 1997. 321p.
- PEREIRA DE BRITO, L. **Reutilizacion de água residual depurada.** Natal (RN): Associação Brasileira de engenharia sanitária – ABES, 2000. 209p.
- PEREIRA, M.G. *Epidemiologia: teoria e prática.* Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1995. 583 p.
- PECLZAR, M. J.; CHAN, E.C.S.; KRIEG, N.R.; EDWARDS, D.D. *Microbiology Concepts and Applications.* McGraw-Hill. New York, USA. 1993. 896p.
- PESSOA, S.B., MARTINS, A.V. **Parasitologia médica.** 10 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 1977. 985p.
- PINTO, B.R. (coordenadora) **Manual de métodos para análises microbiológicas e parastológicas.** Curitiba: Companhia de saneamento do Paraná, 1998. 80p.
- RAIJ, B. van ; CANTARELLA, H; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C. de, eds *Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo,* 2 ed. Campinas, Instituto agrônômico & Fundação IAC, 1996. 285p.
- REY, L. **Bases de parasitologia médica.** Ro de Janeiro: Guanabara Koogan. 1996. 349p.

ROMANE, A *Ainda é tempo (entrevista com Rodolfo Costa e Silva)*. **Revista Bio**, v.5, n.2, p. 31-9, mar./abr. 1993

ROSEN, G. *Uma história da saúde pública*. São Paulo: HUCITEC, 1994. 423 p. (saúde em debate; 74).

SANTOS, L.R. Efeitos da disposição dos excretas humanos e esgotos sanitários sobre as Helminoses intestinais. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, 19, 1999. ANAIS, Vitória - ES: ABES, 1999, p. 1245-1252

SCALOPPI, J.E. **Critério para manejo dos sistemas irrigantes**. Informe agropecuário, Belo Horizonte. 1996.

SHUVAL et al **Health effects of wastewater irrigation and their control in developing countries**. World Bank, UNOP, Washington, DC, 1986. 30p.

SIMÃO, S. Irrigação da alfaca. **Anais...** Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", v.13, p. 121-128, 1956.

SIQUEIRA, R.S. **Manual de microbiologia de alimentos**. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Tecnologia agroindustrial de Alimentos (Rio de Janeiro-RJ), 1995. 159p.

- SOUZA, C.F. **Desempenho do regime de vazão continuamente reduzida em irrigação por sulcos**. Botucatu, SP, dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista, UNESP, 1997, 50p.
- TERADA, M. et al Tratamento de esgotos domésticos por disposição no solo com utilização de gramíneas. **Revista DAE**, v. 45, n. 142, p. 249-54, set./ 1985.
- U.S.EPA (U.S. Environmental Protection Agency) Guidance Manual – Alternative Disinfections and Oxidants. Washington, D.C. EPA-815/R-99-014. 1999b.
- VARGAS, S.V. & MARA, D.D. **Reutilização DE Efluentes para irrigação: uma alternativa para zonas áridas**. Seminário Regional de Engenharia Civil. Recife-PE, 1987. p. 625-637.
- VOMERO, M.F. et al A era da falta d'água. **Super interessante** São Paulo, ano 14. n. 7. p. 48-54. jul / 2000.
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: departamento de Engenharia sanitária e ambiental. UFMG, 1996. 243p.
- WAITE, W. M. Drinking Water Quality Regulation - European Perspective. In: **Coliforms and E. coli: Problem or Solution?** D. Kay e C. Fricker Ed. London, p. 208-217, 1997.
- WEF, *Wastewater Disinfection – Manual of Practice*. Alexandria (VA), Water Environment Federation, USA. 1996.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. The internacional drinking water supply and sanitation decade: review of mid-decade progress. Geneva, 1985. p.25.

ZERBINI, A.M. **Estudo da remoção de ovos de helmintos e indicadores bacterianos em um sistema de tratamento de esgotos domésticos por reator anaeróbio e aplicação superficial no solo.** . In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, 20, 2000. ANAIS, Rio de Janeiro - RJ: ABES, 2000, p. 27-36.

## ANEXO 1

### **Limpeza e desinfecção de hortaliças, legumes e frutas:**

- Escolher uma a uma, retirando as estragadas;
- Lavar em jato de água corrente, uma a uma, remover com as mãos as sujidades;
- Numa vasilha colocar 1 colher de sopa de água sanitária (hipoclorito de sódio entre 2 a 2,5% de cloro ativo) em 1 litro de água e misturar;
- Colocar de molho o alimento, cuidado para que fique totalmente imersos;
- Aguardar 20 a 30 minutos;
- Enxaguar em água corrente tratada;
- Deixar escorrer a água.

A mistura de água com Água Sanitária, utilizada na desinfecção dos alimentos não deve ser ingerida. Recomenda-se seu aproveitamento para a lavagem de pias, pisos, bancadas e utensílios domésticos em geral, incluindo toalhas e panos de limpeza.

## ANEXO 2

Análise química de macronutrientes do solo antes da implantação do experimento, realizada pelo Departamento de Recursos naturais – Área de Ciências do Solo da Faculdade de Ciências Agrárias, UNESP/Botucatu-SP.

PH	M.O.	P	Al <sup>3+</sup>	H + Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
CaCl <sub>2</sub>		resina								
	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	.....mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> .....							%
5,2	29	11	-----	28	4,0	22	9,0	35	63	56

Análise química de micronutrientes do solo antes da implantação do experimento

B	Cu	Fé	Mn	Zn
.....mg <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> .....				
-----	28	4,0	22	9,0