

## REUSO DA ÁGUA NO PLANEJAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS

Pedro Agostinho Trindade<sup>1</sup>

**Resumo** - Recomenda-se, no presente trabalho, que o uso apropriado de esgotos em projetos de irrigação, de forma a não causar prejuízos à saúde pública, seja considerado no planejamento dos recursos hídricos de uma região. Apresenta-se uma discussão sobre as diversas medidas que devem ser tomadas com essa finalidade, dando-se especial ênfase para o tratamento dos esgotos em sistemas de lagoas de estabilização. Um método simplificado para estimativa das áreas requeridas para implantação de tais sistemas foi desenvolvido.

### 1 - INTRODUÇÃO

Face ao aumento da demanda e da poluição da água de um lado e à limitação dos recursos hídricos de outro, é natural que se torne cada vez mais viável a utilização de esgotos, prática comumente conhecida como "reuso de água", sendo importante que sua implementação seja considerada desde a fase de planejamento de utilização dos recursos hídricos de uma região, para que possa ser realizada de forma racional.

Atualmente é possível implantar sistemas de irrigação com esgotos, que não implicam em qualquer risco para a saúde pública, desde que sejam tomadas medidas adequadas, tais como: restrição ao tipo de cultura vegetal, aplicação de água ao solo de forma apropriada e controle de exposição humana. Um método mais seguro consiste no tratamento dos efluentes domésticos e industriais, em sistemas de lagoas de estabilização (SLE), de forma a que sejam atendidos os padrões estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde (OMS).

Considerando que o principal requisito para a implantação desse tipo de estação de tratamento de esgotos é a disponibilidade de área suficiente, além de abordar os temas acima, o presente trabalho propõe que, dependendo das condições regionais previstas, seja antecipada a aquisição de terras para a implantação de SLE que produzam efluentes de qualidade suficiente para que se realize irrigação irrestrita, isto é, até mesmo de vegetais a serem consumidos crus. Para subsidiar tal tarefa foi desenvolvido método expedito de estimativa das áreas necessárias com base em dados de temperatura e de população. São apresentados, também, critérios para escolha de locais de construção das lagoas em questão.

### 2 - MEDIDAS DE PROTEÇÃO DA SAÚDE PÚBLICA

Para impedir que o reuso da água para irrigação provoque um aumento de doenças veiculadas pelos esgotos, devem ser tomadas certas precauções. As medidas de proteção da saúde pública podem ser agrupadas em 4 categorias principais: tratamento de esgotos; restrição de vegetais cultivados; escolha do método de aplicação do esgoto às plantas; e controle de exposição humana aos esgotos.

Conforme explicado por Blumenthal (1988), algumas dessas medidas não são totalmente eficazes, enquanto outras não protegem simultaneamente os consumidores dos produtos agrícolas e os trabalhadores rurais, que constituem os segmentos da população sob maior risco. Dessa forma, pode ser necessária a aplicação de uma combinação de vários métodos, de acordo com o Diagrama de Adelbodem, representado na figura 1. Esse gráfico, consubstanciado em reunião de consultores da OMS e do PNUMA, realizada na cidade suíça de mesmo nome, identifica, através de 5 faixas concêntricas, as etapas do percurso realizado pelos patógenos desde o esgoto propriamente dito até o trabalhador e o consumidor. A circunferência em negrito entre as faixas do vegetal e do trabalhador, representa uma barreira que não deve ser transposta pelos patógenos. O nível de contaminação do esgoto, da lavoura e da planta é caracterizado pelo tipo de convenção empregada. Na região central, por sua vez, as diferentes convenções representam o grau de risco para o trabalhador e para o consumidor, salientando-se que as áreas brancas indicam inexistência de risco para a saúde pública, ou seja, que a estratégia adotada permite o uso de esgotos com segurança.

O setor superior do diagrama mostra que o uso do esgoto bruto, **sem medidas de proteção**, resulta em contaminação de todos os elementos e em alto risco para os trabalhadores e consumidores. Por outro lado, esse risco é eliminado quando os patógenos são removidos em sua origem, através de **tratamento completo** do esgoto (**regime H**). É assim considerado o tratamento que produz efluentes

---

<sup>1</sup> R. da Quitanda, 196 - 22º andar; Rio de Janeiro, RJ - CEP 20091-000  
tel. (021)514-5431; fax (021)516-4462

com qualidade compatível com os padrões estabelecidos pela OMS para irrigação irrestrita, tanto no aspecto helmintológico ( $\leq 1$  ovo de nematóide viável por litro) como no bacteriológico ( $\leq 1000$  coliformes fecais por 100 ml). Tais efluentes podem ser obtidos de 3 maneiras, ou seja, através de: lagoas de estabilização com tempos de detenção de cerca de 25 dias; melhoramento de estações de tratamento secundário existentes, pela adição de lagoas de maturação; estações de tratamento terciário, que incluam filtração e cloração. As eficácias das duas últimas opções são menos conhecidas que a da primeira, necessitando-se de maiores investigações sobre a remoção de patógenos através delas.

Movendo ao redor do diagrama no sentido horário, observam-se, inicialmente, as opções de proteção sanitária adotadas isoladamente. Fica evidente que a **restrição de vegetais cultivados (regime A)** é uma boa forma de proteção dos consumidores, já que os vegetais produzidos não são para consumo humano ou serão cozidos antes de ingeridos. Cereais, alimentos industrializados, forragens, pastagens e árvores são exemplos que se enquadram nessas condições. Essa medida não impede, porém, que os trabalhadores permaneçam sujeitos a altos riscos, já que eles continuam expostos aos patógenos existentes no esgoto, no solo e na vegetação.

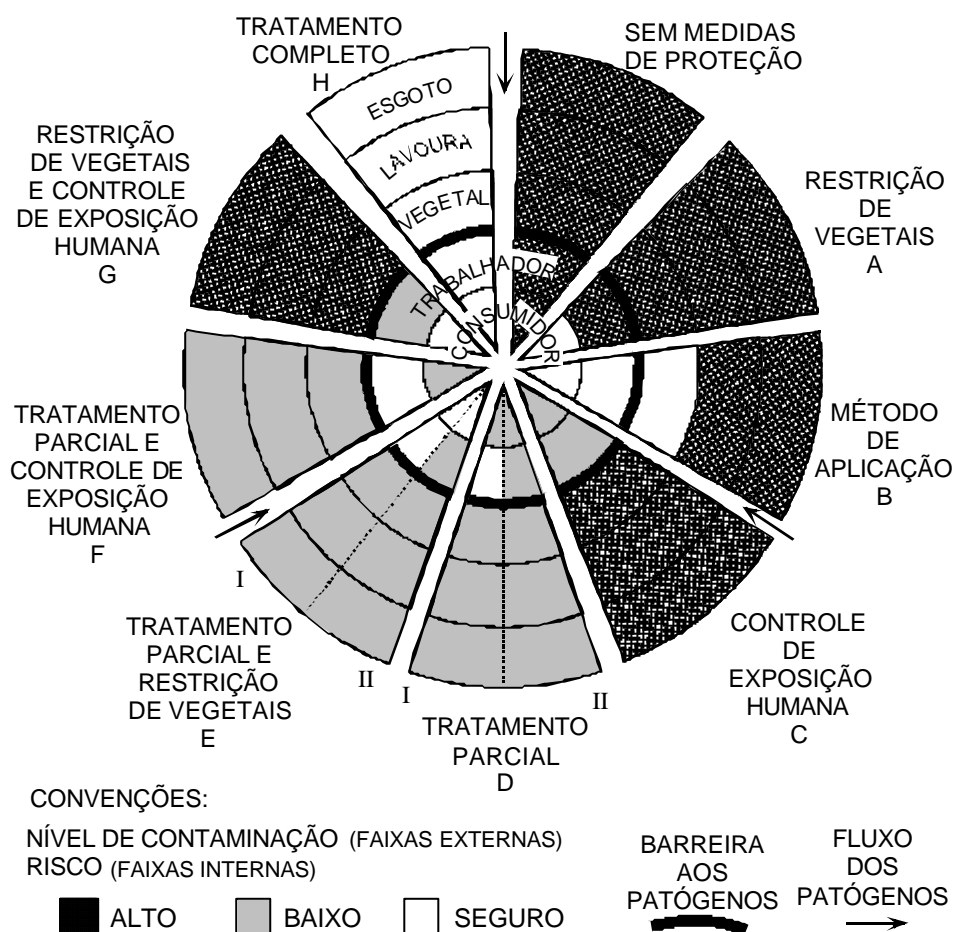


Figura 1 - Diagrama de Adelbodem (Fonte: Blumenthal, 1988)

A escolha adequada da época e do **método de aplicação** do esgoto é medida que pode ser bastante eficaz (**regime B**). Se a rega é realizada diretamente nas raízes do vegetal, por exemplo, não ocorre contaminação nem onde os trabalhadores transitam nem na parte comestível da planta, ficando seguros tanto trabalhadores como consumidores. É o caso da irrigação localizada que ainda apresenta as vantagens da utilização mais eficiente da água e da maior produtividade agrícola. Entretanto, apesar do tratamento de esgoto para remoção de patógenos poder ser dispensado, o método exige tratamento substancial para remoção dos sólidos sedimentáveis.

Os métodos de **controle de exposição humana (regime C)** têm como finalidade evitar o contato direto das pessoas com os patógenos ou, em última instância, impedir que eles provoquem a manifestação de doenças. As medidas de proteção dos trabalhadores, incluem: uso de roupas protetoras; melhoria do nível de higiene; vacinação; e controle quimioterapêutico de infecções específicas, que pode ser adotado temporariamente em caráter paliativo. No caso dos consumidores, a melhoria do nível de higiene e o cozimento adequado dos alimentos contaminados são necessários.

Como tais medidas, na prática, são raramente bem sucedidas, permanece um risco, ainda que em nível reduzido, tanto para trabalhadores como para consumidores.

O **tratamento parcial** de esgotos (**regime D**) possibilita redução do nível de contaminação com diferentes resultados, dependendo da tecnologia empregada. O tratamento em SLE por 8 a 10 dias, ou a utilização de métodos similares, (**regime D<sub>i</sub>**) garante a remoção de ovos de helmínteos em nível adequado para proteger a saúde de trabalhadores e consumidores. A remoção de bactérias, por outro lado, não é suficiente e apenas reduz o risco para os consumidores, sem eliminá-lo. O tratamento secundário convencional (**regime D<sub>ii</sub>**) resulta em remoção de ovos de helmínteos em nível inadequado, permanecendo um risco, ainda que baixo, para ambos os grupos.

Continuando a movimentação ao redor do diagrama, pode-se observar o efeito da combinação de diversos métodos de proteção sanitária. O emprego de **tratamento parcial** de esgotos, através de lagoas de estabilização ou sistema equivalente, aliado à **restrição de vegetais (regime E<sub>i</sub>)** resulta em total proteção, tanto para trabalhadores como para consumidores. Não sendo possível a realização de tratamento completo dos esgotos, essa combinação pode tornar viável o reuso da água, quando existe demanda de vegetais de consumo restrito. A **restrição de vegetais** conjugada ao tratamento de esgotos convencional em nível secundário (**regime E<sub>ii</sub>**), todavia, pode ainda deixar os trabalhadores sob algum risco, particularmente no que se refere à infecções com nematóides intestinais.

O **tratamento parcial** de esgotos associado com o **controle de exposição humana** simultâneo de trabalhadores e consumidores (**regime F**) daria proteção total, para ambos os grupos. Esse controle, porém, têm eficácia duvidosa, podendo permanecer um pequeno risco para os consumidores.

Em situações em que não seja possível tratar os esgotos, uma combinação de **restrição de vegetais** com um **controle de exposição humana (regime G)** pode ser empregada. Nesse regime o risco para os trabalhadores seria consideravelmente reduzido, apesar de não eliminado, e os consumidores estariam totalmente protegidos.

De acordo com o explicado neste item, o tratamento completo de esgotos em SLE é a forma mais garantida de se impedir o aumento de doenças transmitidas pelas fezes, quando se pratica o reuso de água na irrigação. Por esse motivo, o restante do presente artigo trata exclusivamente dessa tecnologia, salientando-se, todavia, que os regimes B e E<sub>i</sub> também oferecem segurança equivalente e podem ser, eventualmente, mais viáveis.

### 3 - LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO. GENERALIDADES

De acordo com o demonstrado por Mara *et al.* (1992) as lagoas de estabilização constituem-se na tecnologia de tratamento de esgotos, atualmente disponível, de maior simplicidade. Esse tratamento consiste em manter os esgotos em tanques rasos por um período de detenção relativamente longo, em torno de 20 dias, ocorrendo sua depuração de diversas formas, dentre as quais destacam-se: sedimentação, digestão anaeróbia, tempo, temperatura, alto pH e alta intensidade de luz. Um processo importante é o de oxidação da matéria orgânica pela bactéria heterotrófica, a mesma do tratamento convencional de esgotos, porém com uma importante diferença: as bactérias obtêm o oxigênio de que necessitam não de equipamentos de aeração mas da atividade fotossintética de micro-algas, que se desenvolvem naturalmente e em profusão nas lagoas facultativas. As algas, por sua vez, dependem em muito das bactérias, devido ao dióxido de carbono que elas convertem em açúcar. Configura-se, assim, um mutualismo entre os dois tipos de microorganismos.

Um SLE é constituído por uma ou mais séries de lagoas de diferentes tipos: a primeira anaeróbia, a segunda facultativa e várias restantes de maturação, cada uma delas apresentando uma função específica. Um sistema como esse apresenta três grandes vantagens sobre as estações de tratamento de esgotos convencionais, conforme descrito a seguir:

- Simplicidade - as lagoas são construídas quase que totalmente através de movimento de terra. As tarefas rotineiras de operação e manutenção podem ser executadas por mão-de-obra não qualificada, havendo necessidade, contudo, de supervisão adequada.
- Baixo Custo - em decorrência de sua simplicidade as lagoas apresentam custo muito inferior ao de outros processos de tratamento. Comparação com filtros aeróbios, lagoas de aeração e valos de oxidação, que fornecessem efluentes de mesma qualidade, realizada por Arthur (1983), indicou que as lagoas de estabilização eram a forma mais competitiva de tratamento de esgotos, quando o custo da terra encontrava-se na faixa de 50 mil a 150 mil US\$ / hectare, dependendo dos juros anuais, entre 5 e 15 %.
- Alta Eficiência - tratamentos de esgotos convencionais, como as do tipo lodo ativado, realizados exemplarmente, permitem a remoção de 99% de coliformes fecais (CF), eficiência que, à

primeira vista, parece perfeitamente satisfatória. Na realidade, isso representa uma redução de apenas  $10^8$  para  $10^6$  CF/100ml, o que é praticamente desprezível. Um SLE bem dimensionado, por outro lado, permite uma redução de  $10^8$  para menos de  $10^3$  CF/100ml, correspondente à uma remoção de 99,999%. Além disso, devido aos longos tempos de detenção, as lagoas suportam bem choques de cargas orgânicas e hidráulicas e admitem altos níveis de metais pesados, o que permite o tratamento de uma grande variedade de esgotos industriais, que seriam tóxicos para outros processos de tratamento.

#### 4 - EQUAÇÕES PARA CÁLCULO PRELIMINAR DE ÁREAS DE SISTEMAS DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

Uma vez que um dos requisitos principais para a implantação de lagoas de estabilização é a existência de áreas livres relativamente extensas, é importante que, desde a fase de planejamento de utilização dos recursos hídricos de uma região, procure-se identificar e até mesmo reservar terrenos adequados, com dimensões suficientes para a sua construção. Naturalmente esse procedimento deve ser antecedido por estudo da viabilidade do SLE, não se esquecendo, como já foi salientado, de considerar outras opções de reuso da água (item 2) .

Numa primeira fase dessa análise pode ser útil a realização de cálculos preliminares, nos quais valores aproximados das áreas do SLE são suficientes. Objetivando a determinação expedita desses valores foram desenvolvidas equações, a partir da correlação de resultados de pré-dimensionamentos de SLE para **tratamento completo** com dados populacionais e termométricos, de acordo com o descrito nos itens seguintes.

##### 4.1 - Dados básicos

Visando a simplicidade de aplicação da metodologia proposta foram fixados os principais parâmetros de projeto, conforme definido a seguir:

- vazão de consumo = 150 l/hab/dia;
- coeficiente de retorno esgoto - água = 0,85;
- profundidade de lagoas anaeróbias = 3,0 m;
- profundidade de lagoas facultativas e de maturação = 1,5 m;
- largura de cristas de diques = 3,0 m;
- talude de diques = 1:3 (interno) e 1:2 (externo);
- borda livre = 0,5 m;
- quantidade de séries de lagoas = 2

O efeito da evaporação foi desprezado. Considerou-se o tratamento de esgotos produzidos por populações entre 5.000 a 500.000 habitantes, sob temperaturas médias dos meses mais frios variando de 9 a 27°C, típicas da maior parte do Brasil (DNMET,1992). Foram contemplados 3 cenários, conforme a tabela 1, relativamente ao grau de poluição do esgoto bruto.

Parâmetro de projeto	Cenário		
	Favorável	Típico	Desfavorável
CF (nº/100ml)	$10^7$	$10^8$	$10^9$
DBO (g/hab/dia)	30	40	70

Tabela 1 - Índices de Qualidade de Esgotos Brutos para Projetos de SLE

##### 4.2 - Dimensionamento preliminar de SLE

A metodologia de dimensionamento adotada foi aquela preconizada por Mara *et al* (1992), conforme resumido a seguir.

**4.2.1 - Lagoas anaeróbias.** Essas lagoas foram projetadas com base na carga volumétrica da DBO ( $\lambda_v$ , g/m<sup>3</sup>/dia), admitindo-se os valores

Temperatura T - (°C)	Carga volumétrica (g/m <sup>3</sup> /dia)	Remoção de DBO (%)
< 10	100	40
10 - 20	20T-100	2T+20
> 20	300	60

Tabela 2 - Cargas Volumétricas de Projeto e Percentagens de Remoção de DBO de Lagoas Anaeróbias para Diversas Temperaturas (Fonte: Mara *et al*, 1992)

máximos constantes da tabela 2. Seus volumes ( $V_A$ , m<sup>3</sup>) foram determinados pela equação:

$$V_A = \frac{QL_A}{\lambda_V}, \text{ onde:}$$

- $L_A$  = DBO do esgoto afluyente a lagoa anaeróbia (mg/l) = 1.000 B/q;  
 $B$  = contribuição de DBO (g/capita/dia);  
 $q$  = vazão de esgoto (l/capita/dia);  
 $Q$  = vazão de esgoto (m<sup>3</sup>/dia).

Foram consideradas lagoas de formato retangular com relação comprimento/largura de 2/1, que é a mínima recomendada para evitar a formação de bancos de lodo na região de afluência dos esgotos.

**4.2.2 - Lagoas facultativas.** As lagoas facultativas foram dimensionadas com base na carga superficial de DBO ( $\lambda_S$ , kg/ha/dia), com valores máximos calculados pela fórmula empírica abaixo. Suas áreas à meia

$$\lambda_S = 350(1,107 - 0,002T)^{T-25}$$

profundidade ( $A_F$ , ha) foram calculadas utilizando-se a expressão seguinte:

$$A_F = \frac{10QL_F}{\lambda_S}, \text{ onde:}$$

- $L_F$  = DBO afluyente à lagoa facultativa (mg/l).

**4.2.3 - Lagoas de maturação.** No projeto dessas lagoas foi adotado o critério de remoção de coliformes fecais (CF), empregando-se a fórmula:

$$N_e = \frac{N_i}{(1 + k_T \theta_A)(1 + k_T \theta_F)(1 + k_T \theta_{M1})(1 + k_T \theta_{M2}) \dots (1 + k_T \theta_{Mn})}, \text{ onde:}$$

$N_e$  = número de CF por 100ml do efluente final  $\leq 1.000$  (irrigação irrestrita);

$N_i$  = número de CF por 100ml do esgoto bruto;

$\theta$  = tempos de detenção (dias) das lagoas identificadas pelo subscrito (A=anaeróbia; F=facultativa; Mn=de maturação número n);

$k_T$  = constante de 1ª ordem de remoção de CF (dias<sup>-1</sup>) = 2,6 (1,19)<sup>T-20</sup>.

Os tempos de detenção das lagoas anaeróbias e facultativas foram determinados pela relação entre os respectivos volumes e a vazão de esgoto. Já o tempo de detenção da primeira lagoa de maturação foi calculado para suportar a carga de DBO, assumida como sendo de 30% da correspondente ao esgoto bruto, empregando-se a expressão:

$$\theta_{M1} = \frac{10(0,3L_A)P}{0,75\lambda_S}, \text{ onde:}$$

$P$  = profundidade da lagoa, adotada como sendo de 1,5 m.

Uma vez que a quantidade de lagoas de maturação adicionais constituía-se em uma das incógnitas do problema, seus tempos de detenção foram obtidos por tentativas, de forma a minimizar a área requerida pelo sistema, obedecendo-se às restrições:  $\theta \leq \theta_F$  e  $\theta \geq 3$  dias.

**4.2.4 - Resultados.** Utilizando-se combinações de temperaturas e populações das faixas de valores adotadas (item 4.1), foram dimensionados 105 SLE para cada um dos 3 cenários considerados. Exemplificando, para a situação típica, foram encontrados tempos de detenção entre 76 e 14 dias e áreas totais, à meia profundidade, de 6,30 e 1,11 m<sup>2</sup>/hab, para as temperaturas de 9 e 27°C, respectivamente. Além da lagoa de maturação e da lagoa facultativa, verificou-se serem necessárias no mínimo mais duas e no máximo mais oito lagoas de maturação, para a produção de efluentes com qualidade adequada para a irrigação de vegetais a serem consumidos crus.

**4.2.5 - Definições de equações.** Além do dimensionamento de cada lagoa realizou-se uma estimativa das áreas totais dos SLE para a produção de efluentes para uso em irrigação irrestrita ( A, ha ), correspondentes às somas das seguintes áreas: superficiais das lagoas; ocupadas pelos diques; e residuais, devido ao *lay-out* adotado, entre lagoas anaeróbias. Esses dados foram submetidos à análise de regressão múltipla, resultando na seguinte expressão geral:

$$A = \frac{\alpha P^\beta}{T^{\epsilon \ln(P-4100)+\delta}}, \text{ onde:}$$

P = população (hab.);  
T = temperatura média do mês mais frio (°C);  
 $\alpha, \beta, \epsilon, \delta$  = coeficientes tabelados abaixo.

Cenário	$\alpha$	$\beta$	$\epsilon$	$\delta$
Favorável	0,00601	1,0817	0,0657	0,7095
Típico	0,0119	1,0695	0,0588	0,8820
Desfavorável	0,0202	1,0603	0,0498	0,9893

Tabela 3 - Coeficientes de Equações de Cálculo Preliminar de Áreas de SLE

Apesar do emprego das equações conduzir a desvios máximos de 12,8, 11,2 e 8,59% para os 3 cenários, respectivamente, pode-se considerar que o ajustamento das equações apresentou-se satisfatório, uma vez que as mesmas geram resultados com desvio médio de apenas 3,5%.

## 5 - SELEÇÃO DE LOCAL PARA IMPLANTAÇÃO DE SLE

De acordo com Mara *et al* (1992) as lagoas devem ser implantadas a sotavento de áreas residenciais, a uma distância mínima de 200 m (idealmente 500 m). Deve-se considerar, também, a tendência de crescimento da comunidade de forma a situar o SLE fora de áreas de expansão das cidades. Esse requisito visa, principalmente, desencorajar visitas indesejadas à estação de tratamento, já que a emissão de odores, mesmo das lagoas anaeróbias, é bastante improvável de ocorrer em sistemas bem projetados e submetidos a manutenção adequada. Além disso, a distância recomendada evita possíveis resistências sociais para implantação do empreendimento.

A existência de acesso à veículos é desejável e, para minimizar movimentos de terra, o local deve ser plano ou apresentar declividade suave. O solo local deve ser objeto de investigação cuidadosa de forma a garantir a construção de diques estáveis e identificar uma eventual necessidade de impermeabilização das lagoas. Naturalmente um solo adequado sempre pode ser importado de jazidas existentes na região, mas isso pode em alguns casos, resultar na inviabilidade do empreendimento.

## 6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Apesar de constituir-se numa simplificação prática, que não representa com precisão o nível de risco em algumas situações, o Diagrama de Adelbodem (fig.1) sempre deve ser empregado para subsidiar a reflexão e a tomada de decisão, quando se planeja o reuso de água.

Ao se implementar esquemas de reuso é necessário que se adotem procedimentos que resultem na eliminação de riscos para a saúde. Isso não sendo viável, deve-se cogitar no emprego de medidas que apenas diminuam esses riscos, já que o reuso da água pode resultar em benefícios que superem as possibilidades de aumento de doenças, em certas situações. Com o progresso regional, resultante da irrigação, medidas mais sofisticadas podem ir sendo introduzidas, até que se atinja a situação desejável de risco nulo.

O tratamento de esgotos completo é a medida de proteção ideal mas, muitas vezes, torna-se viável somente quando o efluente resultante for empregado na rega de culturas de alto valor comercial. Além disso, qualquer forma de tratamento de esgotos centralizada requer a prévia implantação de redes

coletoras de esgotos, lembrando-se, contudo, serem essas redes indispensáveis para a saúde e para o bem estar das populações urbanas.

Dentre as questões que devem ser levadas em consideração no estudo de viabilidade de um SLE destacam-se: o investimento realizado na aquisição de terras para implantação do empreendimento pode, freqüentemente, ser recuperado com lucro já que, com o crescimento das cidades, ocorre a valorização das suas periferias, onde normalmente são instaladas as lagoas; realizando-se a compra do terreno com antecedência, conforme recomendado, é conveniente se proceder ao seu arrendamento visando a geração de receita e evitar possíveis invasões; as diversas séries de um SLE devem ser projetadas de forma a que sejam implantadas na medida em que a produção de esgotos e a demanda pelo seu uso aumentem.

O emprego da equação de pré-dimensionamento de SLE proposta (item 4.3), é tanto mais pertinente quanto as condições locais se aproximarem das premissas adotadas em seu estabelecimento (item 4.1). Também quando os dados necessários a um dimensionamento preciso não estiverem disponíveis, acredita-se que sua utilização se justifica.

## **7 - REFERÊNCIAS**

- ARTHUR, J.P. (1983). Notes on Design and Operation of Waste Stabilization Ponds in Warm Climates of Developing Countries. Technical Paper No. 7. The World Bank, Washington DC.
- BLUMENTHAL, U.J. (1988). Generalised Model of the Reduction in Health Risk Associated with Different Control Measures for the Use of Human Wastes, IRCWD News,13,17, Duebendorf.
- DNMET (1992). Normas Climatológicas (1961-1990). Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Brasília.
- MARA, D.D., ALABASTER, G.P., PEARSON H.W. E MILLS, S.W. (1992). Waste Stabilization Ponds. A Design Manual for Eastern Africa. Lagoon Technology International Ltd., Leeds.