ERRATA

"REUSO DE ÁGUA"

12?

PAG.	LINHA	PARÁGR.	ONDE SE LÊ	LEIA-SE
52	03	-	VIRUS	BACTÉRIA
54	08	-	VIRUS	PROTOZOÁRIO
54	11	-	DALANTIDIUM COLI	BALENTIDIUM COLI
54	15	-	desenteria amebiana,	disenteria amebiana,
57	03	-	VIRUS	HELMINTO
60	05	-	...E HERMICIDAS	... E HERBICIDAS
60	17	-	HIDROCARBONOS AROMÁTICOS	HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS
72	04	3º	... e animais ...	... em animais ...
75	01	-	CONCORRÊNCIA DE	OCORRÊNCIA DE
77	01	-	CONCORRÊNCIA DE	OCORRÊNCIA DE
78	02	3º	 ao reuso ...	... ao Reuso ...
78	05	4º	... devam a dar ...	... devam dar ...
81	02	-	PARÂMETO	PARÂMETRO
82	03	-	PARÂMETO	PARÂMETRO
82	19	-	... de hexavalente.	...hexavalente.
89	03	2º	...de Cl prejudica ...	...de Cl ⁻ prejudica ...
92	16	-	(C)	(°C)
92	17	-	(C)	(°C)
97	13	-	(5 dias 20 C)	(5 dias 20 ⁰ C)
98	03	2º	...em piscicultura ...	... em piscicultura ...
99	02	-	... PISICULTURA.	... PISCICULTURA.
00	02	-	... PISICULTURA ...	... PISCICULTURA...
00	16	-	...para piscicultura de...	...para piscicultura de ...
02	09	3º	...foram discutidos ...	...foi discutido...
05	08	1º	...graus de ...	... graus de ...
07	03	3º	...de desalinização está	...de dessalinização está..
07	08	3º	...ou desalinização, ou	...ou dessalinização, ou...
15	03	-	INFLUENTE	AFLUENTE
18	02	2º	...o influente e ...	...o afluente e ...
18	02	3º	...o influente e ...	...o afluente é ...
27	02	4º	...como recirculação...	...com recirculação ...
28	02	3º	... influente do ...	...afluente do ...
28	03	4º	...do influente, pois ...	...do afluente, pois ...
32	11	-	(5 dias, 20 C)	(5 dias, 20 ⁰ C)

REUSO DE ÁGUA

PEDRO CAETANO SANCHES MANCUSO

Dissertação de Mestrado apresentada à
Faculdade de Saúde Pública da
Universidade de São Paulo,
Departamento de Saúde Ambiental, para
obtenção do título de "Mestre em
Saúde Pública".

Orientador: Prof. Dr. Carlos Celso do
Amaral e Silva.

São Paulo

1.988

Ao Sávio, Lara e Dionéia que me
amaram apesar da dissertação.

AGRADECIMENTOS

A elaboração deste trabalho somente foi possível graças a colaboração das pessoas e instituições abaixo nominadas a quem agradecemos profundamente.

Prof. Dr. Carlos Celso do Amaral e Silva, pela orientação;

Profa. Dra. Cleópatra Poli e Qco. José Roberto Copini Blum, pelas idéias apresentadas, pela leitura incansável dos originais e pelo diálogo constante;

Dr. Guido Moralez Lopes e Engº Luiz Henrique Horta de Macedo pelas sugestões e envio de material;

Engº Agustin Gonzales Garcia, Engº Francisco de Assis Prado Galhano, Engº José Roberto Kachel, Engº José Taniguti, Profa. Dra. Maria Terezinha Martins, Engº Mário Roberto Schmidt e Prof. Dr. Pedro Além Sobrinho, pelo envio espontâneo de artigos, livros e outros materiais utilizados;

Srta. Alzira Dias Gonçalves, Srta. Benedita Pinheiro e Srta. Rita de Cássia de Souza e o Sr. Márcio de Lourdes, pela ajuda nos trabalhos de datilografia dos originais;

DOW - Produtos Químicos, através do Engº José Eduardo Rocha pelos ensaios realizados em escala piloto;

Secretaria Especial do Meio Ambiente - SEMA, na pessoa da Sra. Marília M. Cerqueira, pelo material enviado;

The World Bank, na pessoa do Dr. Carl Bartone, pelos livros e trabalhos enviados;

Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP, através de seu Diretor de Operação da Região Metropolitana, Dr. Arnaldo Jacó Goldman, pela importação de parte dos livros utilizados e a Bibliotecária Sra. Julieta Mascitti, pela forma eficiente e gentil com que atendeu todas as nossas solicitações.

ÍNDICE

1 - INTRODUÇÃO	01
1.1 A escolha do tema "Reuso da Água	01
1.2 Objetivos e conteúdo	02
2 - METODOLOGIA	04
3 - CONCEITUAÇÃO SOBRE REUSO DE ÁGUA	06
3.1 Reuso Potável	17
3.2 Reuso não Potável	21
3.3 Reuso para Manutenção de Vazões em Cursos de Água	43
3.4 Aquacultura	43
4 - ASPECTOS DE SAÚDE, AMBIENTAIS, CRITÉRIOS E PADRÕES DE QUALIDADE DE ÁGUA	47
4.1 Contaminantes Biológicos e Químicos presentes nos esgotos	47
4.1.1 Contaminantes Biológicos	47
4.1.2 Contaminantes Químicos	55

4.2 Riscos à Saúde	
4.3 Critérios e Padrões de Qualidade de Água	64
4.3.1 Reuso Potável	64
4.3.2 Reuso Não Potável Agrícola	68
4.3.3 Reuso Não Potável Recreacional	90
4.3.4 Reuso Não Potável Industrial	94
4.3.5 Reuso Não Potável Doméstico	95
4.3.6 Reuso para Descarga de Aquífero Subterrâneo	95
4.3.7 Aquacultura	98
5 - TECNOLOGIA DO REUSO DE ÁGUA	102
5.1 Processos unitários utilizados em Reuso de Água	105
5.1.1 Processos artificiais	105
5.1.2 Processos naturais	204
5.2 Sistemas de tratamento	247
5.3 Custos	275

6 - EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DE REUSO DE ÁGUA	282
6.1 Reuso Não Potável Agrícola no Estado de São Paulo	282
6.2 Reuso Não Potável Industrial na Região Metropolitana de São Paulo	283
6.3 Reuso Potável Indireto na Região Metropolitana de São Paulo	289
6.3.1 Descrição da área em estudo	289
6.3.2 Descrição sucinta dos processos de tratamento de água das estações operadas pela SABESP	291
6.3.3 Comparação entre Sistema de Tratamento de Água do Baixo Cotia o Potamac Estuary Experimental Water Treatment Plant e o Denver's Reuso Demonstration Plant	298
6.3.4 Proposta para o Sistema de Tratamento de Água do Baixo Cotia, dentro do enfoque do Reuso de Água	314
7 - DISCUSSÃO FINAL E RECOMENDAÇÕES	319
8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	326

RESUMO

Este trabalho resume as informações sobre "Reuso de Água", levantadas em pesquisa efetuada na literatura especializada publicada até 1988 e disponível nas principais bibliotecas técnicas de São Paulo. Conceitua "Reuso de Água", apresenta as principais informações sobre vários sistemas de reuso existentes no mundo, avalia os aspectos mais relevantes relacionados com o meio ambiente e à Saúde Pública, bem como os riscos existentes ao se adotar esta tecnologia.

Além disso, o trabalho reúne as principais informações sobre os processos e operações unitárias utilizadas pelo "Reuso de Água", chamando atenção para a eficiência, a confiabilidade e o custo do processo.

Em sua parte final, aponta alguns casos passíveis de utilização dessa tecnologia na Região Metropolitana de São Paulo.

ABSTRACT

This dissertation summarizes the information about "Water Reuse", collected through a survey made with the related bibliography published until 1988 and available in the main technical libraries in São Paulo.

The conception of Water Reuse is discussed, the most important information about a set of existing reuse systems throughout the world are presented, and an evaluation is made about the aspects concerned with the environment and public health, the same with existing risks when adopting this technology.

Moreover, a compilation of a data is made about the unit processes and operations applied in Water Reuse, with emphasis in process efficiency, reliability and costs.

Finally, some cases of viable application of this technology in the Metropolitan Area of São Paulo are discussed.

Águas que movem moinhos
são as mesmas águas que encharcam o chão
que sempre voltam humildes pro fundo da terra
Terra, Planeta Água.

Guilherme Arantes

I - INTRODUÇÃO

I.1 - A escolha do tema "Reuso de Água"

Iniciamos nossa vida profissional em 1970 na Companhia Metropolitana de Água de São Paulo, durante uma estiagem tão forte que seus técnicos, liderados pelo Engº Cláudio Manfrini, haviam projetado um sistema de emergência que visava a captação, o tratamento e a distribuição das águas poluídas do Rio Pinheiros. Embora o sistema de emergência não tenha tido oportunidade de funcionar, já que as chuvas voltaram em tempo e em quantidade suficiente para a normalização dos níveis dos mananciais, tivemos oportunidade de conhecer o sistema concebido e estudar, através da literatura, alguns casos semelhantes ocorridos em diversos lugares, particularmente o da cidade de Chanute, Kansas, detalhadamente relatado pelo Prof. José Meiches na sua tese de Livre Docência em 1964.

Esse ultimo trabalho nos colocou pela primeira vez, e de uma maneira bastante clara, a questão do reuso de águas como uma alternativa para o aproveitamento de águas com diferentes níveis de qualidade, para diferentes usos.

Mais tarde, em 1974, tivemos a oportunidade de conhecer o Engº Luiz Henrique Horta de Macedo com quem aprendemos a enfocar o Saneamento Básico pela óptica da Saúde Pública e com quem viemos trabalhar em vários sistemas de tratamento de água cujas

características qualitativas , bem como as peculiaridades das atividades humanas desenvolvidas nessas várias bacias, como por exemplo o Sistema Baixo Cotia, o Sistema Cubatão e o antigo Sistema Rio Grande que captava água da Represa Billings anteriormente à sua compartimentação, sempre nos preocuparam dado os usos anteriores a que essas águas haviam sido submetidas.

Em 1983, por indicação do próprio Engº Luiz Henrique, ingressávamos como aluno no Curso de Especialização em Saúde Pública na Faculdade de Saúde Pública, onde mais tarde viríamos a lecionar e, como consequência, teríamos a obrigatoriedade de elaborar uma dissertação que atendesse os requisitos do Curso de Pós Graduação. Assim sendo, a escolha do "Reuso da Água" como tema da dissertação foi consequência de uma série de trabalhos desenvolvidos ao longo de nossa vida profissional, motivo pelo qual muitos dos exemplos apresentados são provenientes de nosso dia a dia, do qual participaram vários colegas e colaboradores.

1.2 - Objetivos e conteúdo

O objetivo do trabalho é estudar teoricamente a questão do "Reuso da Água" através da literatura especializada, das aplicações práticas dessa metodologia em diversos países e verificar a viabilidade de seu emprego no Brasil. Além disso, a idéia é obter suporte técnico para avaliar até que ponto a tecnologia convencional de tratamento de água pode ser empregada quando se utiliza água bruta de baixa qualidade, tendo em vista os riscos à saúde pública.

Para atingir os objetivos propostos, em primeiro lugar fizemos um levantamento bibliográfico sobre a conceituação do "Reuso da Água" em todas suas modalidades. A seguir, estudamos sucintamente os principais projetos de reuso planejado de água na América do Norte, Europa, África e Ásia, seus objetivos e resultados alcançados.

Com relação aos aspectos de saúde e ambientais, abordamos os contaminantes biológicos e químicos presentes nos esgotos, analisamos os riscos de saúde que essa prática pode acarretar e, finalmente, fizemos um levantamento dos critérios e padrões de qualidade de água, por modalidade de reuso.

Quanto à tecnologia empregada, procuramos reunir informações atualizadas sobre eficiência, confiabilidade, limitações e custos relativos aos processos e operações unitárias empregadas em Reuso de Água. Além disso, estudamos alguns casos que podem ser caracterizados como típicos de reuso de água na Região Metropolitana de São Paulo, objetivando avaliar aspectos relativos à qualidade e à segurança do produto produzido.

Como conclusão, ponderamos sobre as vantagens da adoção do enfoque do "Reuso de Água" como forma de controle de poluição das águas e fizemos algumas recomendações sobre a necessidade de se prosseguir no estudo sistemático dessa prática, tão antiga quanto o próprio ciclo hidrológico.

2 - METODOLOGIA

Quando iniciamos a elaboração deste trabalho, verificamos que no acervo das bibliotecas da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP, da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB, do Consórcio Nacional de Engenheiros Consultores - CNEC e da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, estava disponível parte do material que iríamos necessitar. Entretanto, por se tratar de assunto bastante atual, a medida em que progredíamos na pesquisa fomos sentindo necessidade de importar bibliografia estrangeira, que estava sendo publicada concomitantemente.

Uma outra parte do material utilizado, como é o caso dos **Proceedings do 3º Water Reuse Symposium** realizado em San Diego na Califórnia em 1984 e o **2º Water Reuse Symposium** ocorrido em Washington DC em 1981, entre outros, foi importada pela Biblioteca da SABESP.

Finalmente, por meio de contato pessoal, conseguimos uma doação de importante parcela das publicações utilizadas através de Mr. Carl Bartone do The World Bank-Water Supply and Urban Development Department.

Todo esse material, somado a dezenas de artigos e publicações gentilmente enviados por vários colegas, além de outros amalhados ao longo de nossa vida profissional, veio fundamentar o levantamento bibliográfico efetuado cuja relação é apresentada a título de referências bibliográficas.

Sempre que possível, as afirmações, os comentários e os exemplos apresentados foram remetidos a seus autores, com indicação da fonte. Especificamente, quanto aos exemplos apresentados, procuramos inserir casos da experiência brasileira, sendo um exemplo desse procedimento, os dados relativos a um experimento feito com equipamento de osmose reversa da Dow Química, sob encomenda da SABESP, para remoção do íon fluoreto presente naturalmente na água de um poço profundo de Presidente Prudente.

Com relação à possibilidade do emprego da metodologia do "Reuso da Água" no Brasil apresentamos, a título de exemplo de aplicação, um capítulo especialmente dedicado a esse aspecto onde procuramos trazer para o nosso caso toda conceituação desenvolvida no sentido de embasar as proposições.

Para finalizar, chamamos a atenção para o fato de que as propostas efetuadas não têm o objetivo de dar um enfoque unicamente hidráulico para a questão do "Reuso da Água", mas, sim, vincular essa prática à questão da saúde pública.

3. CONCEITUAÇÃO SOBRE REUSO DE ÁGUA

A disponibilidade de água doce na terra excede, em muito, a demanda humana. Grandes populações vivem em áreas que recebem abundantes precipitações pluviométricas, enquanto que outras vivem em regiões semi áridas ou até áridas. Assim sendo, apesar da grande disponibilidade, a água pode estar no lugar errado, no tempo errado.

Ao longo do tempo o homem tem sido "empurrado" para áreas de baixos índices de precipitação pluviométrica e, entretanto, sobrevivido com maior ou menor sucesso, dependendo em grande parte de sua habilidade de utilização dos recursos naturais disponíveis, incluindo-se a água.

Pelo fato desses recursos serem limitados, o homem primitivo não fixava moradia, mas mudava-se constantemente numa permanente busca de locais com suposta abundância de recursos. Ao longo do tempo essas mobilizações foram tornando-se cada vez mais difíceis, seja pelo crescimento dessas populações, seja pela concorrência com seus semelhantes ou por outros motivos, surgindo a necessidade não só de disciplinar, como de racionalizar o uso desses recursos. Como consequência surgiram, por exemplo, o hábito de criar animais confinados minimizando paulatinamente a necessidade da caça de animais selvagens como fonte de alimento, e algumas práticas de plantio disciplinado de determinadas

culturas de subsistência e até mesmo primitivas técnicas de tratamento de água.

Em seus trabalhos, PLACE, F.L. (74) (1905) transcreve o versículo 15, capítulo XIV do Ousruta Sanghita, uma coleção de leis médicas Sânskritas de provavelmente 2000 A.C.. "É bom guardar a água em vasilhas de cobre, expô-la ao sol e filtrá-la em carvão". Neste versículo está descrito todo um conjunto de processos e operações que mais tarde foram desmembrados e individualizados como sedimentação, desinfecção e filtração, possibilitando a utilização de cada um isoladamente ou através de várias combinações no sentido de imprimir maior ou menor intensidade de tratamento para recuperar as águas de baixa qualidade natural, ou então de baixa qualidade devido a um uso anterior, possibilitando dessa maneira seu reuso.

Quando se fala em reuso de um determinado recurso, em particular a água, está implícita a aplicação de uma tecnologia que deve ser mais ou menos desenvolvida, dependendo dos fins a que se destina essa água e do uso que dela tenha sido feito anteriormente.

O que realmente dificulta o estabelecimento de uma conceituação bem definida sobre reuso de água é a definição do exato momento, a partir do qual pode-se admitir estar se fazendo reuso.

Entre uma comunidade que capta água de um rio contendo os esgotos de uma grande metrópole situada a montante, e uma outra situada

as margens de um grande rio onde apenas algumas pessoas despejam seus esgotos em suas águas a montante dessa cidade, existe uma diferença muito grande, não só em termos de diluição mas também em distância, considerando-se fatores naturais de recuperação do rio, não sendo possível a localização exata do momento a partir do qual pode-se falar em reuso dessa água.

A prática de descarregar os esgotos, tratados ou não, em corpos de água de superfície é a solução normalmente adotada pelas comunidades no mundo inteiro para afastamento de resíduos líquidos. Geralmente esses corpos de água servem como fonte de abastecimento a mais de uma comunidade, havendo casos em que a mesma cidade que lança seus esgotos, utiliza-se desse mesmo corpo como manancial de água para potabilização. Uma comunidade ou estabelecimento industrial, agrícola, etc, que se utiliza desse corpo de água para abastecimento, na realidade está fazendo um segundo uso ou terceiro, ou quarto, etc.. O caso clássico na literatura internacional é o da cidade de Londres que capta água dos rios Tâmesa e Lea, esse último usado pela cidade de Stevenage para afastamento de seus esgotos após tratamento cuidadoso. Entre nós, somente para citar um caso brasileiro, é bastante conhecido o caso das cidades situadas no vale do Rio Paraíba onde uma sucessão de cidades capta água e dispõe seus esgotos no mesmo rio.

Assim sendo, a caracterização como reuso deve levar em conta o volume de esgoto recebido pelo corpo de água relativamente ao volume de água de origem natural. Nos citados exemplos das

comunidades hipotéticas que captam água de um rio contendo quantidades crescentes de esgoto, não teria nenhum sentido em se identificar como reuso a situação da comunidade que captasse água cuja diluição pudesse ser caracterizada, em termos práticos, como infinita. Poderíamos imaginar o outro extremo, ou seja, a reutilização do esgoto para fins potáveis, sem que este tivesse sido disposto no meio ambiente, o que alguns autores classificam como Reuso Potável Direto, como veremos mais adiante.

Se por um lado a literatura é bastante rica quanto a terminologia utilizada em reuso de água, por outro existem discrepâncias entre os vários autores que, embora não se contraponham em sua essência, dificultam o entendimento se não forem feitas algumas considerações iniciais. De uma maneira geral o reuso da água pode ocorrer de forma direta ou indireta, através de ações planejadas ou não. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (99) (1973), tem-se:

- **Reuso Indireto** : ocorre quando a água já usada, uma ou mais vezes, para uso doméstico ou industrial é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente a jusante, de forma diluída.
- **Reuso Direto** : é o uso planejado e deliberado de esgotos tratados para certas finalidades como irrigação, indústria, recarga de aquífero subterrâneo e água potável.
- **Reciclagem interna** : é o reuso da água dentro de instalações

industriais, tendo como objetivo a economia de água e o controle da poluição.

Essa mesma publicação diferencia o reuso indireto intencional do não intencional, estabelecendo que quando o reuso indireto é devido a descargas planejadas a montante ou a recarga planejada do aquífero subterrâneo, ele é designado Reuso Indireto Intencional.

Em 1985 a empresa Norte Americana James M. Montgomery, Consulting Engineers, Inc. publicou o livro Water Treatment Principles & Design. Em seu capítulo 14 -Water reuse- Montgomery Consulting(62)(1985), refere-se à questão da classificação das diversas formas de reuso de forma similar à adota pela WORLD HEALTH ORGANIZATION(99)(1973), substituindo palavra "intencional" por "planejada" e "não intencional" por "não planejada", estendendo o conceito de reciclagem para outros usos, além do industrial.

LAVRADOR FILHO, J. (52)(1987), analisando a obra de MONTGOMERY (62) afirma que esse autor "associa o reuso planejado a existência de um sistema de tratamento que atenda não só as exigências ambientais, mas também aos padrões de qualidade requeridos pelo reuso da água". Além disso, "os termos planejado e não planejado referem-se ao fato de o reuso ser resultante de uma ação consciente subsequente a descarga do efluente ou de o reuso ser apenas um sub produto não intencional dessa descarga". Quanto ao termo reciclagem, é definido como o "reuso interno da

água para o uso original, antes de sua descarga em um sistema de tratamento ou outro ponto qualquer de disposição ... enquanto o termo reuso é utilizado para designar descargas de efluentes que são subsequentemente utilizados por outros usuários, diferentes do original". Nessas condições "o reuso planejado direto da água para fins potáveis pode ser classificado como reciclagem, desde que os efluentes tratados sejam utilizados novamente pela mesma entidade que os produziu, num circuito fechado".

CECIL, L.K. (23) (1985) a respeito de reuso de água na indústria distingue reuso direto de reciclagem da seguinte maneira: reuso direto diz respeito a "águas que, tendo sido poluídas pela atividade humana, não tenham sido misturadas com águas naturais ... o uso de águas provenientes de outras indústrias ou sistema público é um reuso direto das águas, se estas não tiverem sido misturadas com águas naturais... Reciclagem não é sinônimo de reuso. Reciclagem é um caso especial de reuso. Ela recupera os esgotos gerados por um uso, para atender o mesmo uso".

Para efeito de uniformização de linguagem, nesta dissertação serão adotadas as definições que seguem e que foram estabelecidas por LAURADOR FILHO, J. (52) (1987).

- **Reuso da Água :** é o aproveitamento de águas previamente utilizadas, uma ou mais vezes, em alguma atividade humana, para suprir as necessidade de outros usos benéficos, inclusive o original. Pode ser direto ou indireto, bem como decorrer de ações planejadas ou não.

- **Reuso Indireto não Planejado da Água** : ocorre quando a água, já utilizada uma ou mais vezes em alguma atividade humana, é descarregada no meio-ambiente e novamente utilizada à jusante, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada. Neste caso, o reuso da água é um subproduto não intencional da descarga de montante. Após sua descarga no meio ambiente, o efluente estará em seu caminhar até o ponto de captação para o novo usuário, sujeito não só as ações naturais do ciclo hidrológico (diluição, autodepuração), como também a eventuais misturas com outros despejos, advindos de outras atividades humanas.

- **Reuso Planejado da Água** : ocorre quando o reuso é resultado de uma ação humana consciente, posterior ao ponto de descarga do efluente a ser usado de forma direta ou indireta. O reuso planejado das águas pressupõe a existência de um sistema de tratamento de efluentes que atenda aos padrões de qualidade, requeridos pelo reuso objetivado. O reuso planejado também pode ser denominado Reuso Intencional da Água.

- **Reuso Indireto Planejado da Água** : ocorre quando os efluentes, depois de convenientemente tratados, são descarregados de forma planejada nos corpos d'água, superficiais ou subterrâneos, para serem utilizados a jusante em sua forma diluída, de maneira controlada, no atendimento de algum uso benéfico. O reuso indireto planejado da água pressupõe que, além do controle de montante, na descarga, e de jusante, na captação, exista também

um controle das eventuais novas descargas de efluentes no caminho, para garantir que, além das ações naturais do ciclo hidrológico, o efluente tratado estará sujeito apenas a eventuais misturas com outros efluentes que também atendam aos requisitos de qualidade do reuso objetivado.

A descarga do efluente tratado no meio ambiente pode se dar para melhoria de sua qualidade, armazenamento, modulação de vazões ou até por motivos psicológicos do usuário de jusante.

- **Reuso Direto Planejado das Águas :** ocorre quando os efluentes, após convenientemente tratados, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local do reuso; sofrendo em seu percurso os tratamentos adicionais e armazenamento necessários, mas não sendo, em nenhum momento, descarregados no meio-ambiente.

- **Reciclagem de Água :** é o reuso interno da água, antes de sua descarga em um sistema geral de tratamento ou outro local de disposição, para servir como fonte suplementar de abastecimento do uso original. É um caso particular do reuso direto.

A classificação de Reuso de Água mais abrangente é a de WESTERHOFF, G.P.(98) (1984) e prevê dois grandes tipos de reuso: potável e não potável. Nesta dissertação adotamos essa classificação, adicionando-se o conceito de Reuso para Manutenção

de Vazões de Cursos de Água e Aquacultura ao Reuso Não Potável previsto por Westerhoff. Além disso, será utilizado também, o conceito de Reuso para Recarga de Aquíferos Subterrâneos, cuja conceituação procuramos detalhar no sentido de diferenciá-lo do Reuso Não Potável Agrícola. Também para efeito de simplificação, todos termos adotados foram traduzidas literalmente a partir do inglês. A seguir, na figura 1, apresentamos a classificação do citado autor.

Figura 1- Classificação do Reuso de Água, segundo Westerhoff.

REUSO POTÁVEL

- **Reuso Potável Direto** : é o caso em que o esgoto recuperado através de tratamento avançado, é injetado diretamente no sistema de água potável.
- **Reuso Potável Indireto** : neste caso o esgoto, após tratamento, é disposto na coleção de águas superficiais ou subterrâneas para diluição, purificação natural e subsequente captação, tratamento e finalmente utilizado como água potável.

REUSO NÃO POTÁVEL

- **Reuso Não Potável Agrícola** : embora quando se pratica esta modalidade de reuso via de regra haja, como sub produto, recarga do lençol subterrâneo, o objetivo precípua desta prática é a irrigação de plantas alimentícias, tais como árvores frutíferas, cereais, etc., bem como plantas não alimentícias tais como pastagens e forrações e também a dessedentação de animais.
- **Reuso Não Potável Industrial** : abrange os usos industriais de refrigeração, águas de processo, para caldeiras, etc.
- **Reuso Não Potável Recreacional** : classificação reservada para irrigação de plantas ornamentais, campos de esportes, parques e também para enchimento de lagoas ornamentais, recreacionais, etc.
- **Reuso Não Potável Doméstico** : são considerados aqui os casos de

reuso de água para rega de jardins residenciais, para descargas sanitárias e a utilização desse tipo de água em grandes edifícios.

REUSO PARA MANUTENÇÃO DE VAZÕES DE CURSOS DE ÁGUA

- Trata-se da utilização planejada de efluentes tratados, no sentido de garantir a vazão necessária a cursos de água, visando adequada diluição de eventuais cargas poluidoras à eles carregadas, incluindo-se fontes difusas, além de propiciar uma vazão mínima na estiagem.

AQUACULTURA

Consiste na produção de peixes e plantas aquáticas visando a obtenção de alimentos e/ou energia, utilizando-se os nutrientes presentes nos efluentes tratados.

REUSO PARA RECARGA DE AQUÍFEROS SUBTERRÂNEOS

É a recarga dos aquíferos subterrâneos com efluentes tratados, podendo-se dar de forma direta através de injeção sob pressão, ou de forma indireta utilizando-se águas superficiais que tenham recebido descargas de efluentes tratados a montante.

Uma vez conceituados os diversos tipos de Reuso de Água, apresentamos a seguir, alguns comentários relativos a cada um, bem como alguns exemplos importantes. Quanto a tecnologia

empregada em cada tipo, será apresentada no Capítulo 5.

3.1 - REUSO POTÁVEL

REUSO POTÁVEL DIRETO

De acordo com as definições adotadas o Reuso Potável Direto é o caso em que o esgoto recuperado através de tratamento avançado, é injetado diretamente no sistema de água potável. O caso clássico é relatado por MEICHES, J. (55) (1964) e refere-se a cidade de Chanute, Kansas, onde devido a uma severa seca em 1956 o manancial abastecedor do sistema de produção de água secou. Para solução do problema, as autoridades sanitárias autorizaram o uso do efluente da estação de tratamento de esgoto local-nível secundário- como manancial de água bruta a ser potabilizada e distribuída à população. O efluente, após cloração e detenção por 17 dias era tratado por coagulação, decantação e filtração sendo em seguida distribuído para consumo. Essa situação durou 5 meses, e a conclusão das autoridades sanitárias foi que os padrões de qualidade de água da época foram atingidos - exceção feita a cor e odor - e que nenhuma doença ocorrida no período, pode ser atribuída ao uso dessa água.

POUND, C.E. et al. (75) (1977), descrevem o sistema de Reuso Potável Direto adotado pela cidade de Windhoek, na Namíbia, . Nessa cidade o esgoto tratado a nível secundário é conduzido a um sistema de tratamento constituído por nove lagoas ligadas em série, constituindo um sistema de maturação com tempo de detenção

hidráulico de 14 dias. Após esse período, o efluente desse conjunto de lagoas - 1500 m³/dia - é submetido a filtração para remoção de algas, fracionamento de espumas, cloração e adsorção em carvão ativado e posterior mistura com água tratada proveniente de manancial de superfície.

O sistema de Windhoek que é constituído de 15% de esgotos tratados e 85% de água tratada; está funcionando aproximadamente há 10 anos e a água produzida atende aos padrões atuais de qualidade de água da Organização Mundial de Saúde.

Em Denver - Colorado USA - foi construída uma estação de tratamento de demonstração com capacidade de 44 l/s que utiliza como água bruta, o efluente de um sistema de tratamento de esgotos domésticos, a nível secundário. Esse sistema - que será descrito com maiores detalhes no capítulo 6 - foi concebido para ter como objetivo o estudo da viabilidade técnica e econômica do reuso potável direto, empregando-se tecnologia de ponta de potabilização de água de má qualidade devido a um uso anterior. Além disso, o projeto pretende desenvolver metodologias científicas de monitoramento de qualidade de água, baseadas em indicadores os mais atualizados.

Por ser um projeto bastante avançado, ele inclui um intensivo programa de amostragem que visa, além dos parâmetros normais de controle, determinar a capacidade de remoção dos chamados elementos traços e também avaliar os efeitos sobre a saúde através de estudos crônicos e sub-crônicos em animais, conforme os

trabalhos de LAUER, W.C. et. al. (51) (1984).

REUSO POTÁVEL INDIRETO

O Reuso Potável Indireto é o caso em que o esgoto, após tratamento, é disposto na coleção de águas superficiais ou subterrâneas para diluição, purificação natural e subsequente captação, tratamento e finalmente utilizado como água potável. Dentro desse conceito, MULLER, W.J. (65) (1977) apresenta as seguintes possibilidades:

- Descarga do efluente tratado nos mananciais de superfície, com captação da mistura efluente tratado/água natural a jusante e diretamente do manancial.
- As águas dos mananciais de superfície, que receberam descargas de efluentes tratados a montante, são captados indiretamente através de sua infiltração pelas margens do corpo d'água e posterior captação, a jusante, através de poços.
- Recarga do aquífero subterrâneo pela infiltração direta de efluentes tratados, ou de águas de mananciais superficiais, que tenham recebido descargas de efluentes a montante. As águas do aquífero subterrâneo são captadas a jusante, através de poços. A recarga artificial do aquífero pode ser feita pelos processos de infiltração-percolação e injeção direta, conforme descrito no capítulo 5.

MONTGOMERY, J.M. (62) (1985) apresenta como um exemplo típico de Reuso Potável Indireto Planejado o caso do Rio Occoquan - Virginia, USA- cujas águas são constituídas de 12% de esgotos domésticos se considerada sua vazão mínima. Esses esgotos são submetidos a tratamento avançado antes de serem despejados no rio, o que garante uma boa qualidade da água.

Nos trabalhos de KAVANAUGH, M.C. (49) (1981) et. al. pode ser encontrado um outro exemplo dessa modalidade de reuso. Trata-se do Potomac Estuary Experimental Water Treatment Plant que foi concebida dentro do enfoque de reuso potável indireto planejado. Esse sistema é uma planta de demonstração que utiliza como água bruta o efluente nitrificado do Blue Plains Wastewater Treatment Plant localizado próximo a Washington D.C., misturado com água do estuário do Rio Potomac e tem como objetivo, estudar a possibilidade de se utilizar essa água como reforço no abastecimento da Região Metropolitana de Washington. Sua performance está sendo avaliada pela James M. Montgomery, Consulting Engineers, Inc. of Washington, D.C. and Pasadena, California que neste momento vem efetuando testes toxicológicos incluindo-se Testes de Ames para avaliação de mutagenicidade bem como Testes de Modificações em Células de Mamíferos.

Finalmente, dentro do conceito de Reuso Potável Indireto, citamos o caso da Estação de Tratamento do Baixo Cotia localizada na Região Metropolitana de São Paulo, que capta água no baixo curso do Rio Cotia que é utilizado, a montante dessa estação de tratamento de água, como corpo receptor de esgotos domésticos de

algumas povoações e cidades, além de um número bastante grande de indústrias, caracterizando um caso típico de Reuso Potável Indireto Não Planejado, com a agravante de incluir efluentes industriais.

Os exemplos do Rio Cotia, do Potomac e de Denver serão vistos no Capítulo 5, de forma mais detalhada.

3.2 - REUSO NÃO POTÁVEL

REUSO NÃO POTÁVEL AGRÍCOLA

A maioria dos autores consultados classifica o Reuso Não Potável Agrícola de acordo com o tipo de cultura que o utiliza, sendo que WESTERHOFF, G.P. (98) (1984), o apresenta em dois grupos:

- primeiro grupo: plantas não comestíveis como silvicultura, pastagens, fibras e sementes.
- segundo grupo: subdividido em plantas consumidas cozidas e plantas consumidas cruas.

A seguir apresentamos o projeto mais conhecido desse tipo de reuso e uma visão panorâmica mundial atualizada até 1986.

Projetos que se utilizam de plantas não comestíveis:

PROJETO PENSILVANIA (EUA)

- Superfície irrigada: 400 ha
- Volume de água utilizada: 1500 m³/d
- Tratamento de esgoto: Secundário seguido de desinfecção com efluentes apresentando em média, 600 coliformes/100 ml.
- Pluviometria local: 850 mm/ano
- Cultura praticada: Irrigação de florestas, parques, jardins e pastagens.

FONTE: VALIRON, F. et al.(94) (1983)

PROJETO SÃO FRANCISCO (EUA)

- Superfície irrigada: 400 ha
- Volume de água utilizada: 3.800 m³/d
- Tratamento de esgoto: Secundário seguido de desinfecção
- Pluviometria local: 550 mm/ano
- Cultura praticada: Parques e jardins

FONTE: REFERÊNCIA (94)

PROJETO ST. CHARLES (EUA)

- Superfície irrigada: 3.520 ha
- Volume de água utilizada: 2.000 m³/d
- Tratamento do esgoto: Lagoas de oxidação
- Cultura praticada: Bosques

FONTE: REFERÊNCIA (94)

Projetos que visam a obtenção de plantas comestíveis,
consumidas cruas:

PROJETO RIYADH (ARÁBIA SAUDITA)

- Superfície irrigada 1600 ha em Dirab e 1500 ha em Dariyad
- Volume de água utilizada: 100.000 m³/d
- Tratamento do esgoto: Secundário seguido de desinfecção
- Pluviometria local: 100 mm/ano
- Cultura praticada: Trigo, forragem e hortaliças em Dirab e Tâmaras, forragens, frutas e verduras em Dariyad

- Observação: A estação de tratamento está localizada em Riyadh - capital da Arábia Saudita - entretanto as zonas rurais estão localizadas em Dirab e Dariyah.

FONTE: AL-DHOWALIA, K. (03) (1984)

Projetos que visam a produção de plantas comestíveis,
consumidas cozidas

PROJETO BRAUNSCHWEIG (RFA)

- Superfície irrigada: 3000 ha
- Volume de água utilizada: 4.500 m³/d
- Tratamento do esgoto: Secundário seguido de desinfecção

- Pluviometria local: 650 mm/ano
- Cultura praticada: Batatas, cereais e beterrabas
- Observação: Esse projeto é um consórcio de produtores rurais que se utilizam dos esgotos da cidade.

FONTE: REFERÊNCIA (94)

PROJETO DEBRECEN (HUNGRIA)

- Superfície irrigada: 14 ha
- Volume de água utilizada: 115 m³/d á 230 m³/d
- Tratamento de esgotos: Decantação
- Pluviometria Local: 600 mm/ano
- Cultura praticada: Batatas, trigo e girassóis

FONTE: REFERÊNCIA (94)

PROJETO MUSKEGON (EUA)

- Superfície irrigada: 2.400 ha
- Volume de água utilizada: 40.000 m³/d
- Tratamento do esgoto: Lagoa aerada seguido de decantação, desinfecção com efluente apresentando em média, 1000 coliformes/100 ml.
- Pluviometria local: 760 mm/ano
- Cultura praticada: cereais

FONTE: REFERÊNCIA (94)

PROJETO NAPA (EUA)

Trata-se de um sistema operado pelo Napa Sanitation District que trabalha, ora produzindo água para irrigação, ora para ser disposta no Rio Napa. Esse sistema situa-se a 12 milhas ao Norte da Bacia de San Pablo, próximo a São Francisco.

- Superfície irrigada: 614 ha
- Volume de água utilizada: $886 \times 10(2)m^3/\text{ano}$
- Tratamento de esgoto: Filtro biológico, lagoa de oxidação
tratamento físico-químico com remoção de algas
- Cultura praticada: Cereais

FONTE: THORNTON, J.R. et al. (93) (1984)

PROJETO MEZQUITAL HIDALGO (MÉXICO)

- Superfície irrigada: 470.000 ha
- Volume de água utilizada: $700 \times 10(6)m^3/\text{ano}$
- Tratamento do esgoto: nenhum
- Cultura praticada: Pastagens, cereais e pomares

FONTE: REFERÊNCIA (94)

Apresentamos a seguir uma visão panorâmica do Reuso Não Potável Agrícola, atualizado até 1986, segundo os trabalhos de SHUVAL, H. I. et al. (87) (1986), para o The World Bank.

INGLATERRA

Embora esse país tenha sido o berço da utilização de esgotos na agricultura, o número de projetos existentes que era aproximadamente 60 em 1870, ficou reduzido para alguns poucos em 1955 devido ao desenvolvimento dos processos biológicos artificiais de tratamento de esgotos que requeriam muito menos áreas, e fundamentalmente devido ao preconceito que alguns sanitaristas tinham sobre essa modalidade de reuso (87). Entretanto, em decorrência de avanços tecnológicos e científicos esse número voltou a crescer, atingindo a antiga marca em 1980.

As Ilhas Britânicas, apesar de apresentarem altos índices de precipitação pluviométrica, tem sérios problemas de reservação de água, o que deverá piorar nos próximos anos em decorrências do crescimento populacional do país. Assim sendo, existem em andamento inúmeros planos de Reuso Não Potável Agrícola naquele país podendo-se citar o da bacia do Rio Mardyke.

ESTADOS UNIDOS

Em 1940 existiam apenas 150 sistemas de tratamento de esgoto por disposição no solo nesse país, tratamento esse que como será visto no capítulo 5, é o que se usa na tecnologia do Reuso Não Potável Agrícola.

Para se ter uma idéia do esforço que vem sendo feito para aumentar o volume de água reusada na agricultura nos Estados Unidos, um inventário efetuado em 1975 pelo Departamento de Saúde da Califórnia revelou a existência de 142 projetos para produção de produtos não comestíveis (forragem, fibras e sementes), 42 para paisagismo, 32 para produtos comestíveis (pomares e vinhas), além de 28 projetos de tratamento de esgotos por disposição no solo sem conotação agrícola, somente no estado da Califórnia.

Como consequência do Clean Water Act de 1977, que tem como meta "descarga zero", a tendência nesse país é o aumento crescente na aplicação da tecnologia de disposição de esgoto no solo, em particular para fins agrícolas.

ISRAEL

O Estado de Israel é um dos países que mais tem investido em projetos de reuso de água havendo farta disponibilidade de informações na literatura consultada. A figura publicada pelo Office of the Water Commissioner (68) (1986) mostra os volumes totais produzidos nas áreas urbanas do país, os volumes coletados, tratados e reusados na agricultura, no período compreendido entre 1963 e 1982.

Fig. 2 - Reuso Agrícola de esgotos municipais em Israel
1963 á 1982

FONTE: Referência (68)

Como pode ser visto na tabela 1 , o volume de água reusada para fins agrícolas vem aumentando significativamente no Estado de Israel, sendo previsto para o ano 2.000 a utilização de 80% do total de esgotos produzidos, para esse mesmo fim (68).

TABELA 1 - Reuso Agrícola de esgotos municipais em Israel, 1963 á 1982.

	1963		1982	
	TOTAL	% (*)	TOTAL	% (*)
VOLUME TOTAL PRODUZIDO (10(6)m3/ano)	120	100	211	100
VOLUME COLETADO (10(6)m3/ano)	84	70	192	91
VOLUME TRATADO (10(6)m3/ano)	31	26	120	57
VOLUME REUSADO (10(6)m3/ano)	7	6	50	24

(*) Porcentagens sobre o Volume Total Produzido

FONTE: REFERÊNCIA (68)

A tabela 2 mostra as culturas praticadas nas áreas irrigadas em Israel em 1982.

TABELA 2 - Culturas praticadas e áreas irrigadas com águas recuperadas em Israel em 1982.

Área Irrigada

Total..... 10.000 ha

Culturas praticadas

Algodão..... 8.700 ha

Cítricos..... 700 ha

Cereais..... 300 ha

Frutos..... 180 ha

Outras culturas..... 120 ha

FONTE: REFERÊNCIA (87)

ÍNDIA

As principais informações sobre a utilização de esgotos na agricultura na Índia remontam a 1877 em Bombaim e em Delhi em 1913, conforme os trabalhos de SHUVALL, H. I. et al. (87) (1979). Ainda segundo o mesmo autor (86), 50 a 55% do esgoto gerado em todo o país - que é estimado em $3,6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{dia}$ - é utilizado na irrigação agrícola na forma bruta. Apenas 105 das 3115 cidades indúas têm sistema central de coleta e disposição de esgotos, o que em termos populacionais representa cerca de 28 milhões de habitantes vivendo em área com esgotamento sanitário, salientando-se que a população do país nessa época era de 638 milhões de habitantes e a população urbana, em torno de 109 milhões.

Nos trabalhos citados não fica claro qual a parcela do esgoto, das cidades que dispõe de sistema de coleta e disposição final, que é utilizada na agricultura. Se considerarmos (o que é improvável) que todo o esgoto coletado pelos sistemas municipais, ou seja cerca de $0,16 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{dia}$ é utilizado na agricultura, concluiremos que $1,64 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{dia}$ é utilizado para esse fim apesar de não dispor de sistema público de coleta e disposição final, o que foi possível a partir de um programa levado a efeito pelo governo da Índia.

REPÚBLICA FEDERAL ALEMÃ

Em 1958 cerca de 1.200×10^6 m³/ano de água era usado na agricultura na irrigação de uma área de 250.000 ha. Desse total, cerca de 100×10^6 m³/ano era proveniente de esgotos tratados, o que correspondia em termos de área a 25.000 ha. Embora sejam previstos para futuro próximo, um incremento de área agricultável de 800.000 ha, não se prevê um correspondente incremento da utilização de esgoto tratado para esse fim. Isso, segundo SHUVALL, H.I. et al. (87) (1986), se deve não só a fatores climáticos como, também, a infra estrutura já montada para utilização de águas de rios, que nesse país servem para afastamento de esgoto tratado.

O maior projeto, como já foi visto no item 3.2, é de Braunschweig onde funciona um centro de pesquisas agronômicas.

AMÉRICA LATINA

Na América Latina esse tipo de reuso pode ser ilustrado por alguns exemplos:

- México: próximo à Cidade do México existem 3 "Distritos de Irrigação" que recebem cerca de 40 m³/s de esgoto bruto procedente da cidade, e que são utilizados na irrigação de 41.500 ha após terem sido retidos em um grande reservatório, o que proporciona uma sedimentação e um tratamento parcial. Segundo as autoridades mexicanas, essa água não é utilizada na irrigação de culturas comestíveis.

- **Chile:** Na estiagem, o caudal do Rio Mapocho é constituído quase que 100% de esgotos procedentes de Santiago. Essas águas são amplamente utilizadas a jusante, na irrigação de todo tipo de culturas alimentares, e inclusive de verduras que são consumidas crúas. As autoridades sanitárias de Santiago tem atribuído a esse fato, os inúmeros surtos de febre tifóide que tem eclodido na região.

- **Peru:** existem 31 projetos de reuso não potável agrícola no deserto peruano, além do uso não controlado de esgotos na agricultura existente em torno da cidade de Lima.

Nesse país o uso racional de esgotos para fins agrícolas tem sido estudado por consultores internacionais, que prevêem a irrigação de 5.000 ha de deserto, com esgoto tratado. O projeto que é bastante moderno e conta com a cooperação da UNPD (United Nations Development Programme) e a OPS (Organização Panamericana da Saúde), prevê também a criação de peixes comestíveis em lagoas de oxidação, irrigação de parques, produção de ração para aves, a partir de plantas aquáticas, plantio de bananas e mamão e desenvolvimento de novas áreas verdes.

ÁFRICA DO SUL

A África do Sul é um dos países cujo governo mais tem incentivado os programas de reuso de água, pois as autoridades sanitárias desse país prevêem um déficit de 25% da demanda potencial, o que corresponde a 20×10^6 m³/dia, para o ano 2.000. Atualmente,

dos 640.000 m³/dia de esgoto gerados no país, 50% é reusado sob diversas formas, cabendo à agricultura 26,8% do total gerado.

NORTE DA ÁFRICA E ORIENTE MÉDIO

Em alguns países dessa região o reuso de água vem sendo praticado há anos, face a limitação da existência de mananciais de água de superfície.

Por outro lado, em países de religião Islâmica, essa tecnologia tem tido dificuldade de ser adotada devido a proibição de contato com excretas humanos, pelas autoridades religiosas:

Na cidade do Cairo, no Egito, desde 1915 tem-se praticado Reuso Não Potável Agrícola. Em Port Said, desde 1924. Nesse país existem inúmeras leis regulamentando essa prática, não só no sentido de aumentar a produção de alimentos, mas também como uma alternativa de disposição final de esgotos.

Na Tunísia existem 176 municipalidades, das quais 28 dispõem de sistema de tratamento (a maioria constituído de lagoas de oxidação) havendo alguns exemplos de grandes projetos como o de Tunis, onde 800 ha irrigados com efluente de lagoa serão ampliados para 2.600 ha.

Finalmente, além de outros exemplos como o projeto de Riyadh na Arábia Saudita apresentado no ítem 3.2, é importante citar o sistema constituído no Kuwait e que vem operando desde 1956,

sendo sua atual capacidade de produção $83,27 \times 10(3)$ m³/dia, o que é suficiente para irrigar 9.000 ha de alfafa e feno.

JAPÃO

Embora a principal modalidade de reuso de água no Japão seja a industrial, esse país utiliza amplamente na agricultura os rios, que são usados para afastamento de esgotos, caracterizando um tipo de reuso agrícola não direto frizando-se que, nesse país existem inúmeras cidades que dispõem seus esgotos em mananciais de superfície, sem nenhum tratamento.

UNIÃO SOVIÉTICA

Apesar de não se dispor de muitas informações, a União Soviética vem praticando esse tipo de reuso em fazendas próximas a Moscou desde 1900 e em Odessa desde 1930. O governo Soviético atualmente vem estimulando o desenvolvimento dessa tecnologia, havendo alguns trabalhos antigos publicados que regulamentam os níveis de tratamento de esgoto, em função das diversas culturas. O mais conhecido é devido a GROMASCHEWSKII, L.W. (43) (1930).

AUSTRÁLIA

A Austrália é um dos países pioneiros na prática do Reuso Não Potável Agrícola. O projeto Werribee em Melbourne cobre uma área de 10.000 ha constituído basicamente de pastagens, onde se criam 20.000 cabeças de gado bovino e 50.000 ovelhas. Como água é um

problema muito sério naquele país, o governo vem desenvolvendo muito esforço no sentido de criar outros projetos semelhante ao de Melbourne.

REUSO NÃO POTÁVEL RECREACIONAL

Esta classificação é reservada ao reuso direto de água para abastecimento de corpos de água superficiais como lago, reservatórios e rios para fins recreacionais além de usos em paisagismo como irrigação de jardins e parques públicos, lagos ornamentais e também na régua de campos esportivos. Nos trabalhos de CULP, R.L. (29) (1977) podem ser encontrados os exemplos mais conhecidos, são eles:

- Santee County - Califórnia Water District.

O efluente de um sistema de tratamento de esgotos domésticos por lodos ativados, após infiltração em areia, é captado, clorado e conduzido a uma série de lagos onde se pratica esportes de contato primário, como natação. A qualidade bacteriológica e virológica da água é continuamente avaliada pelo State Health Officer, não tendo sido até o momento isolado nenhum vírus no afluente do lago e a concentração de coliforme tem sido menor do que 2/100 ml.

- South Lake Tahoe - Califórnia

Em 1969 o Indian Creek Reservoir situado em Alpine County, na

Califórnia, foi escolhido pela South Tahoe Public Utility District para ser abastecido com o efluente do sistema de tratamento de South Lake Tahoe. Trata-se de uma planta dotada de uma sequência de tratamento que caracterizam o chamado "tratamento avançado de esgotos". A qualidade de água assim obtida, é tal que o reservatório vem sendo usado para esportes de contato primário e para pesca.

REUSO NÃO POTÁVEL INDUSTRIAL

Podem ser enquadrados nesta classificação os casos do reuso interno às instalações industriais, caracterizando a reciclagem, e tem como objetivo o atendimento das demandas da própria indústria ou o controle de poluição.

Além da reciclagem, nesta classificação também é considerado o caso do reuso de fonte externa que ocorre quando efluentes urbanos ou industriais são utilizados por uma ou mais indústrias, após tratamento adequado. Além disso, esse tipo de reuso pode ser feito através de Sistema Duplos ou então, através da captação direta nos corpos de água superficiais ou subterrâneos.

Em alguns países, como Japão e Estados Unidos, existe uma tendência bastante forte em se incrementar programas de reuso industrial como forma efetiva de controle de poluição.

O gráfico da figura 3 ilustra esse fato, correlacionando o volume total de água utilizado pela indústria japonesa no período compreendido entre 1963 e 1975, com volume recuperado e o volume de água não reusada nesse mesmo período. As curvas mostram um aumento substancial do volume total e do volume recuperado, permitindo com que o volume de água não reusada se mantenha praticamente constante.

Como consequência do Clean Water Act que previa como meta, "descarga zero" para 1985, DICK, M. (34) (1981) em seus trabalhos sustenta que, nos Estados Unidos, a tendência em termos de recuperação de água para fins industriais é a mesma verificada no Japão, nesse mesmo período.

Dentre os programas americanos mais conhecidos, salienta-se o da Environmental Protection Agency - EPA - fundamentado em 6 pontos:

- eliminação gradativa dos poluentes tóxicos e não tóxicos
- redução do volume descartado
- redução do volume captado
- aumento na eficiência de tratamento
- economia de energia
- economia de água, materiais e outros recursos

De acordo com LAVRADOR FILHO, J. (52) (1987), "exemplos de reuso interno em indústrias são comuns ao redor do mundo, em praticamente todos os ramos industriais e aparecem frequentemente na literatura especializada". A tabela 3, "por exemplo mostra o reuso interno nas maiores indústrias consumidoras de água da Alemanha em 1969", conforme os trabalhos de MULLER, W.J. (65) (1977).

Tabela 3 - Reuso Interno de Água nas Maiores Industrias
Alemais em 1969

RAMO INDUSTRIAL	TOTAL DE ÁGUA	REUSO INTERNO(10 6m3/ano)	
	UTILIZADA	QUANTIDADE	PORCENTAGEM
Carvão	8746	7523	86,0
Químico	6309	2471	39,2
Aço	5306	3555	67,0
Refinaria	2485	2000	80,5
Papel e Celulose	1892	969	51,2
Veículos	554	292	52,7
Metalurgia	329	155	47,1
Ind. Açucar	262	215	81,9
Cervejaria	217	95	43,7
Elétrica	3700	1903	51,4
TOTAL	30004	19729	64,3

FONTE: Referência 65

No caso de Reuso Não Potável de fonte externa, tanto para o caso de se fazer o transporte da água de forma direta através de sistemas duplos, como de forma indireta através dos corpos superficiais ou subterrâneas, poderá haver necessidade de tratamento complementar interno às indústrias, para atender seus padrões específicos de qualidade de água.

Exemplo de Reuso Não Potável Industrial: - São Bernardo do Campo - São Paulo - A Estação de Tratamento de Água do Rio Grande localizada junto a Represa Billings, braço do Rio Grande em São Bernardo do Campo, operada pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP, vende suas águas de lavagem de filtros e decantadores, após sedimentação, à Volkswagen do Brasil, através de sistema duplo de distribuição. A indústria, após o recebimento dessa água, condiciona-a aos diversos usos industriais internos..

Esse sistema permitiu à SABESP diminuir significativamente o volume de água despejado na Represa Billings, estando sendo desenvolvido no momento um projeto de secagem de lodo que efetivamente reduzirá a zero, o volume descartado.

- Distritos de Kohtoh, Joh-hoku e Cidade de Nagoya-Japão. Essas três localidades japonesas consomem efluentes tratados de acordo com a tabela 4.

TABELA 4 - Reuso não Potável Industrial em três
localidades Japonesas

LOCALIDADE	VOLUME CONSUMIDO (m3/dia)
Kohtoh	90.000
Joh-hoku	11.000
Cidade de Nagoya	30.000
TOTAL	131.000

FONTE: Water Reuse Promotion Center (96) (1985)

REUSO NÃO POTÁVEL DOMÉSTICO

Conforme a classificação adotada - WESTERHOFF, G. P. (98) (1984)- nesta modalidade de reuso estão incluídos os usos para descargas sanitárias, rega de jardins, etc.

Pelo fato de haverem outros usos equivalentes para esse tipo de água como lavagem de rua, usos em grandes edifícios para reserva contra incêndio e para ar condicionado, incluimos estas formas de reuso, neste item. Alguns dos usos citados requerem distribuição em carros pipas como lavagem de ruas, por exemplo, enquanto para outros são necessários sistemas separados de distribuição o que na literatura é chamado de sistema duplos - DEB, A.K. & EVANS, M.P. (33) (1980); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (07) (1980).

Os sistemas duplos são usados para prevenir contra a

possibilidade do uso dessa água para outros fins, embora autores como DEAN, R.B. et al. (32) (1981) recomendam que esse tipo de água deve ter qualidade tal que, uma eventual ingestão mesmo por alguns meses, não possa representar um perigo à saúde. Apresentamos a seguir alguns exemplos:

- Japão: Atualmente os modernos grandes edifícios japoneses, particularmente em Tóquio, Osaka, Fukuoka e Kita-Kyushu dispõe de sistema de tratamento de seus esgotos para reuso não potável do próprio edifício, existindo cerca de 500 instalações no país, totalizando cerca de 0,6 m³/s de água reusada.

- Estados Unidos: Golden Gate Park em São Francisco na Califórnia. Um terço das águas utilizadas na irrigação desse parque de 320 ha, é proveniente do efluente secundário de uma estação de tratamento de esgotos.

3.3 REUSO PARA MANUTENÇÃO DE VAZÕES DE CURSOS DE ÁGUA

Como já foi referido, é a utilização de efluentes tratados com o objetivo de manter uma dada vazão num curso de água, para diluir as cargas poluidoras a ele carregadas, e também para manter vazões mínimas em épocas de estiagem.

3.4 AQUACULTURA

O desenvolvimento da aquacultura se deu primeiramente como forma complementar ao tratamento de esgotos, principalmente usando-se

plantas aquáticas como o aguapé. Posteriormente, a idéia da utilização de peixes para tal fim foi adotada principalmente como o objetivo de produção de proteínas.

BARTONE, C. et al. (10) (1987), descrevem as experiências desenvolvidas em Lima no Peru através da UNDP - United Nations Development Programme, do Word Bank Integrated Resource Recovery Project e com a assistência técnica da República Federal Alemã. Nesse empreendimento, peixes e camarões são criados em lagoas de estabilização de polimento, havendo no momento estudos para se verificar a viabilidade de duas alternativas: tanques com água corrente e tanques, onde a água é trocada de tempos em tempos. Outro objetivo do projeto é definir a melhor opção para utilização dos peixes: seu consumo direto ou seu consumo indireto através de gerações posteriores.

3.5 REUSO PARA RECARGA DE AQUÍFEROS SUBTERRÂNEOS

De acordo com a AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (08) (1983), a recarga de um aquífero subterrâneo pode ser feita para:

- evitar o rebaixamento do nível do aquífero;
- proteção desse aquífero contra a intrusão de água do mar;
- armazenamento de esgoto tratado.

Ainda de acordo com a instituição acima (08), a recarga pode ser feita de duas maneiras:

-Infiltração-percolação: esse método é semelhante a filtração intermitente em areia. A maior parte do esgoto penetra no solo, embora haja perda por evaporação. Os solos arenosos, com altas baixas de infiltração e textura grosseira, são os mais indicados.

- Injeção direta: consiste na injeção sob pressão no sub-solo, de esgotos tratados de forma direta ou misturado com água de superfície, através de poços profundos, ou minas abandonadas, cavernas, etc.

Um exemplo de recarga de aquífero por infiltração percolação é o projeto que foi implantado em Israel e que é descrito por IDELOVITCH, E. & MICHAIL, M. (46) (1984). Esse empreendimento - chamado Dan Region Project - foi concebido para infiltrar no solo esgotos tratados em lagoas de oxidação, seguido de precipitação química e remoção de amônia. A passagem pelo solo propicia um tratamento adicional, permitindo que essa água, que é recuperada em vários poços tenha qualidade compatível para o uso na agricultura.

Quanto a injeção direta, em Orange County, na Califórnia, foi implantado um sistema que ficou conhecido por Water Factory 21. Nesse projeto, o efluente de esgoto doméstico após tratamento a nível secundário, é submetido a clarificação, recarbonatação,

cloração, filtração, adsorção, pós-cloração e desmineralização por osmose reversa. A água assim obtida é injetada no solo por meio de uma série de poços, objetivando impedir a intrusão da água do mar no aquífero que é utilizado para o abastecimento.

A decisão de implantar um sistema de reuso - qualquer que seja a modalidade - por razões que vão desde disponibilidade de água de qualidade inferior, até questões relacionadas ao controle e padrões de qualidade de água nem sempre é fácil. No capítulo que segue, abordaremos os aspectos de saúde e ambientais que devem ser considerados na implantação de um programa dessa natureza.

4 - ASPECTOS DE SAÚDE, AMBIENTAIS, CRITÉRIOS E PADRÕES DE QUALIDADE DE ÁGUA

Os esgotos industriais e urbanos trazem consigo uma série de componentes nocivos à saúde das pessoas a eles expostas. Nessas condições, o reuso dessas águas quando feito de maneira não criteriosa, pode intensificar essa exposição de forma direta ou indireta.

Neste capítulo estudaremos os principais contaminantes biológicos e químicos presente nos esgotos e que são prejudiciais à saúde humana, bem como os riscos envolvidos na prática do reuso de água e os padrões de qualidade de água exigido, por tipo de reuso.

4.1 - Contaminantes Biológicos e Químicos presente nos esgotos

4.1.1 - Contaminantes Biológicos

- Vírus

Inumeros vírus podem infectar o trato intestinal humano e a partir daí, infectar novamente outros hospedeiros através de ingestão ou inalação. Um grama de fezes pode conter cerca de 10(9) partículas viróticas infecciosas, provenientes de portadores que podem ou não apresentar sintomas. Esses vírus, embora não possam se multiplicar fora do hospedeiro, podem

sobreviver por semanas no meio ambiente , principalmente à temperaturas inferiores à 15 C. FEACHEM, R.G. et al. (38) (1986), citam estudos que detectaram concentrações de 10(5) partículas infecciosas por litro de esgotos municipais brutos e em amostras de solo de onde foram dispostos esses esgotos.

Embora outros grupos possam ser encontrados nas fezes, os cinco grupos apresentados a seguir e no Quadro 1, são os principais: adenovirus, enterovirus (incluindo-se o poliovirus), virus da hepatite A, reovirus e vírus causadores de diarréia (em especial o rotavirus). Todos eles podem apresentar infecções subclínicas especialmente em crianças.

Entre os enterovirus, alguns poliovirus não conduzem necessariamente à doenças com sintomas graves, entretanto, às vezes podem ocorrer infecções moderadas, até aquelas que produzem a paralisia de alguns membros, ou até a morte. Os mesmos autores (38) estimam que a poliomielite com paralisia ocorre em apenas 1 entre 1000 indivíduos contaminados e, a nível mundial, a maior incidência verifica-se nos países sub-desenvolvidos.

Quanto ao echovirus e coxsackievirus o número de pessoas infectadas é bem maior, e os sintomas são mais variados podendo ocorrer desde uma simples febre, até miocardite, passando por meningite, problemas respiratórios e também paralisia. Os rotavirus e outros virus são encontrados nas fezes de crianças com diarréia, podendo contaminar novas crianças e adultos.

Com relação ao vírus da hepatite A, embora seja o causador da hepatite infecciosa, em crianças frequentemente sua infecção se dá de forma assintomática.

-Bactérias

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 sendo, por esses motivos, utilizados como indicadores de poluição fecal. Entre os indicadores mais usados, destaca-se o coliforme fecal *Escherichia coli* e o enterococci, também sempre presente nas fezes humanas. Por outro lado, algumas bactérias anaeróbicas como *Clostridium bacteroides* e a *Bifidobacterium* também servem como indicadores e, sua utilização como tal, vem ganhando adeptos no mundo todo.

QUADRO 1

VIRUS PATOGÊNICOS EXCRETADOS COM AS FEZES

VIRUS	DOENÇAS	PODE OCORRER INFECÇÃO ASSINTOMÁTICA	RESERVATÓRIO
-------	---------	---	--------------

Adenovirus	Várias	Sim	Homem
------------	--------	-----	-------

Enterovirus

Poliovirus	Poliolielite, paralisia e outros	Sim	Homem
------------	-------------------------------------	-----	-------

Echovirus	Várias	Sim	Homem
-----------	--------	-----	-------

Coxsackievirus	Várias	Sim	Homem
----------------	--------	-----	-------

Hepatite A	Hepatite infecciosa	Sim	Homem
------------	---------------------	-----	-------

Reovirus	Várias	Sim	Homem
----------	--------	-----	-------

Rotavirus, Agente

Norwalk e outros	Diarréia	Sim	Homem
------------------	----------	-----	-------

provavelmente

FONTE: Referência 38

As principais bactérias patogênicas, ou potencialmente patogênicas, são apresentadas no Quadro 2. Apesar delas terem acesso aos hospedeiros mais comumente via água, alimentos ou mãos sujas, as vezes o fazem através dos pulmões, por inalação de partículas sob forma de aerossóis, ou pelos olhos, depois de esfregados com mãos sujas. Durante o processo infeccioso, o indivíduo infectado pode contaminar novos hospedeiros, através de suas fezes.

A diarreia é o mais importante dos sintomas das infecções intestinais. As bactérias podem invadir o organismo causando infecções localizadas ou generalizadas sendo, essas invasões, bastante características da febre tifóide ou outras febres entéricas, causadas pelas salmonelas. Quando a infecção fica restrita aos intestinos, o contágio entre indivíduos se dá pelas fezes. Por outro lado, quando a infecção é generalizada, as bactérias tem acesso à corrente sanguínea e em seguida à urina. Nesses casos, a contaminação pode se dar também pela urina.

Alguns dos patógenos apresentados no Quadro 2 podem infectar o homem, a partir de fezes de outros animais, assim sendo, no caso de surtos, para o completo controle são necessárias medidas que deem conta desse aspecto.

QUADRO 2

BACTÉRIAS PATOGÊNICAS EXCRETADAS COM AS FEZES

VIRUS	DOENÇAS	PODE OCORRER INFECÇÃO ASSINTOMÁTICA	RESERVATÓRIO

Campylobacter fetus -			
ssp. jejuni	Diarréia	Sim	H e A
Escherichia coli			
patogênicas	Diarréia	Sim	H
Salmonella			
S. typhi	Febre Tifóide	Sim	H
S. paratyphi	Febre paratifóide	Sim	H
Outras Salmonellas	Intoxicações alimenta- res e outras salmonelo- ses	Sim	H e A
Shigella ssp.	Disenteria bacilar	Sim	H
Vibrio cholerae	Cólera	Sim	H
Yersinia enterocoli- tica	Diarréia e septicemia	Sim	H e A

H: Homem A: Animais

FONTE: Referência 38

Em resumo, todos os patógenos apresentados nos Quadros 1 e 2, vírus e bactérias, atingem os homens através das fezes ou urina de outros homens ou de animais, não sobrevivendo muito tempo fora dos organismos hospedeiros (excessão feita ao *Vibrio cholerae*). Assim sendo, o controle dessas doenças, necessariamente passa pelo controle da disposição dos excretas de homens e animais no meio ambiente.

- Protozoários

Algumas espécies de protozoários podem infectar o homem e causar doenças. As formas infectantes desses protozoários passam pelas fezes na forma de cistos que, quando ingeridos, infectam o indivíduo. Entre os protozoários, somente três espécies, apresentadas a seguir e no Quadro 3, são consideradas patogênicas: *balantidium coli*, *Etamoeba histolytica* e *Giardia lamblia*.

- Helmintos

Muitas espécies de helmintos tem o homem como hospedeiro e, entre essas, algumas podem causar sérias doenças, porém grande número infectam o homem de forma assintomática. Somente os helmintos cujos ovos, ou formas larvárias, passam pelas excretas são objetos deste estudo.

Para avaliação dos problemas que esses organismos podem causar, é

importante ter em conta aspectos que descrevemos a seguir. Exceção feita aos Strongyloides, os helmintos não se multiplicam dentro do organismo hospedeiro, fato este de fundamental importância para o entendimento do modo de transmissão entre hospedeiros e a possibilidade de controle.

QUADRO 3

PROTOZOÁRIOS PATOGENICOS EXCRETADOS COM AS FEZES

VIRUS	DOENÇAS	PODE OCORRER INFECÇÃO ASSINTOMÁTICA	RESERVATÓRIO
Dalantidium Coli	Diarréia, disenteria e ulcerações no colo	Sim	H e A
Entamoeba histo- lytica	Ulcerações no colo, desenteria amebiana, abcesso hepático	Sim	H
Giardia lamblia	Diarréia e mal absorção	Sim	H e A

H: Homem A: Animais

FONTE: Referência 38

A contaminação é feita através dos ovos dos helmintos eliminados no meio ambiente. Esses ovos, sendo ingeridos, darão lugar dentro do hospedeiro a novos organismos, havendo então um aspecto quantitativo da patologia que precisa ser considerado. Em outras palavras, é importante e possível se conhecer a carga de organismos que o hospedeiro alberga, sendo esta carga crescente através de recontaminações sucessivas.

Como foi visto, existe uma diferença bastante grande no mecanismo de transmissão de doenças pelos helmintos quando comparado com os vírus as bactérias e os protozoários, os quais se reproduzem dentro do hospedeiro de forma assexuada.

A grande maioria dos helmintos que parasitam o homem tem sexos distintos, o que condiciona a produção de ovos, a existência de pelo menos dois desses organismos dentro de um mesmo hospedeiro, macho e fêmea, além de uma série de condições de acasalamento entre eles. Um indivíduo infectado com um único verme, ou então com vários porém do mesmo sexo, não tem importância do ponto de vista epidemiológico, devido a impossibilidade de transmissão para indivíduos não infectados.

O Quadro 4 apresenta, de forma resumida, os helmintos patogênicos excretados pelas fezes mais conhecidas, as doenças que eles causam, sua transmissão e distribuição geográfica.

4.1.2 - Contaminantes Químicos

- Orgânicos

Entre os compostos orgânicos existem aqueles suscetíveis de tratamento biológico ou seja, biodegradáveis, e aqueles mais refratários, também chamados de persistentes ou conservativos. Embora do ponto de vista de reuso de água ambos sejam importantes, existem informações em abundância a respeito do primeiro grupo, o que não acontece com os demais. Assim sendo, neste ítem nossa atenção estará voltada para os persistentes, cuja maioria tem origem nas atividades humanas sendo de particular interesse os trihalometanos, que de acordo com SANTOS, C.L. (83) (1987), tem origem a partir da desinfecção de água com cloro.

QUADRO 4

HELMINTOS PATOGÊNICOS EXCRETADOS COM AS FEZES

VIRUS	DOENÇAS	PODE OCORRER INFECÇÃO ASSINTOMÁTICA	DISTRIBUIÇÃO
Ancylostoma duodenale	Ancilostomose	H solo H	Climas quentes
Ascaris lumbricoides	Ascaridiose	H solo H	Generalizada
Diphyllobothrium latum	Difilobotriose	H copépode H	Generalizada (principalmente em clima temperado)
Enterobius vermicularis	Enterobiose	H H	Generalizada
Schistosoma mansoni	Esquistosomose	H caramujo H	África, América do Sul
Taenia saginata	Teníase	H boi H	Generalizada
Taenia solium	Teníase	H porco(ou H) H	Generalizada
Trichuris trichiura	Trichuriose	H solo H	Generalizada

H: Homem

FONTE: Referência 38

O quadro 5 apresenta alguns compostos orgânicos bastante usados pela sociedade moderna em suas atividades diárias, bem como seus efeitos sobre a saúde.

- Inorgânicos

Com exceção da descoberta dos efeitos danosos à saúde causados pelo asbestos, o que se conhece a respeito da contaminação por elementos inorgânicos não tem mudado muito nestas últimas duas décadas. Em consequência, existe metodologia analítica disponível para suas determinações na água em concentrações inferiores aos limites de tolerância do organismo humano, o que tem permitido estudos bastante acurados sobre o impacto desses elementos sobre a saúde humana.

A seguir, no Quadro 6 adaptado por LAVRADOR FILHO, J. (52) (1987) a partir do Water Reuse-Manual of Practice SM-3-Systems Management da American Water Works Association (08) (1983), apresentamos os principais contaminantes inorgânicos, bem como seus efeitos sobre a saúde humana.

QUADRO 5

ALGUNS CONTAMINANTES QUÍMICOS ORGÂNICOS E DOENÇAS ASSOCIADAS

COMPOSTO ORGÂNICO	EFEITO SOBRE A SAÚDE	COMPOSTO ORGÂNICO	EFEITO SOBRE A SAÚDE
SOLVENTES		AROMÁTICOS VOLÁTEIS	
. Diclorometano	Tóxico ao fígado		
. Cloroformio	Câncer	. Denzeno	Leucemia
. Bromodiclorometano	Câncer	. Tolueno	Leucemia
. Bromoformio	Câncer	. Xileno	Leucemia
. Tetracloreto de carbono	Câncer	. Hexaclorobezeno	Câncer
. Tricloro etileno	Câncer	. 2,4,6 -Tricloro- fenol	Câncer
. 1,1,1 Tricloroetano	Câncer	. 2,4 - Dicloro- fenol	Tóxico ao fígado
. 1,1,2 Tricloro etano	Câncer		
. Dibromocloropropano	Câncer		

QUADRO 5 (continuação)

ALGUNS CONTAMINANTES QUÍMICOS ORGÂNICOS E DOENÇAS ASSOCIADAS

COMPOSTO ORGÂNICO	EFEITO SOBRE A SAÚDE	COMPOSTO ORGÂNICO	EFEITO SOBRE A SAÚDE
PESTICIDAS E HERMICIDAS		DIELÉTRICOS	
CLORADOS		. Difenil Policloro-	
		rado (PCB)	Câncer
		. Arocloro 1260	Câncer
. DDT	Câncer	. Dibutil phtalato	Defeitos
. DDC	Câncer		nascimento
. Aldrin	Câncer	. Bis (2-etilhexa)	Defeitos
. Endrin	Câncer	phtalato	nascimento
. Dieldrin	Câncer	. Trimetil fosfato	Câncer
. Toxaphene	Câncer	. Uretano	Câncer
. Mirex	Câncer	TINTAS E DERIVADOS	Câncer
. Kepone	Câncer		
. Lindano	Câncer	HIDROCARBONOS AROMÁTICOS	
. Pentaclorofenol	Câncer	POLINUCLEADOS	Câncer
. Metoxicloro	Sistema nervoso central		
. Clordano	Câncer		
. Parathion	Sistema nervoso central		

FONTE: Adaptado da Referência 38

Quadro 6 - Alguns contaminantes químicos inorgânicos e doenças associadas

Antimônio	Teratogenia; doenças cardiovasculares; dermatites
Arsênio	Disfunções renais e hepáticas; câncer da pele
Asbesto	Câncer gastrointestinal
Bário	Estimulante muscular; bloqueio nervoso
Berílio	Osteosclerose; câncer; teratogenia
Bromo	Danos ao sistema nervoso
Cádmio	Disfunção renal; teratogenia
Dióxido de cloro	Irritação da mucosa bucal
Cobre	Disfunções Gastrointestinais
Cianeto	Tóxico ao sangue
Chumbo	Danos ao sistema nervoso central
Mercúrio	Danos ao sistema nervoso central; teratogenia
Nitratos	Cianose infantil
Prata	Argirose (deposição de prata sobre a pele)
Radiotividade	Danos genéticos
Selênio	Disfunções hepáticas e renais
Sódio	Hipertensão; doenças cardiovasculares
Tálio	Danos ao sistema nervoso central
Zinco	Danos gastrointestinais e ao pâncreas

FONTE: Adaptado da referência 52

4.2 - Riscos à Saúde

O risco à saúde relacionado às várias modalidades de reuso é definido por MIDDLEBROOKS, E.J. (59) (1982), como sendo a probabilidade de se experimentar um efeito adverso (morte, casos de doenças, etc) ou, como no caso de reuso potável onde a exposição é praticamente contínua, a probabilidade por unidade de tempo.

Evidentemente quando se pensa em usar esgotos tratados para determinadas finalidades, ou seja reusar uma determinada coleção de água de forma deliberada e planejada, a primeira coisa que se pensa é no risco que existe associado a essa prática. Embora seja uma preocupação absolutamente procedente, dificilmente se pensa da mesma forma em relação às centenas de sistemas públicos, que captam suas águas a partir de mananciais de superfície que foram utilizados a montante para afastamento de resíduos líquidos de várias cidades, e o que mais grave, de forma aleatória, não planejada e não controlada caracterizando, dessa forma, o Reuso Potável Indireto Não Planejado que é exatamente a alternativa que conduz ao maior risco.

Avaliação de Risco é uma metodologia de uso relativamente recente nos projetos que envolvem o meio ambiente, existindo ainda muitas incertezas e dúvidas a respeito do assunto como, por exemplo, a questão da extrapolação dos dados obtidos em experimentos com

cobaias, para o homem. Mesmo assim, ao que tudo indica, trata-se de uma metodologia que veio para ficar.

AMARAL E SILVA, C.C. (04) (1987), divide o processo de análise de risco em três fases bastante diferenciadas entre si:

- identificação do risco
- estimativa de risco
- avaliação e controle do risco

Enquanto a primeira fase é descritiva, na segunda o objetivo é quantificar estatisticamente o risco através de 'estatísticas' existentes em agências de meio ambiente ou de saúde, estudos epidemiológicos ou modelos matemáticos de simulação. Finalmente, na última fase, procura-se avaliar a aceitabilidade do risco, por parte da população exposta, através dos tradicionais indicadores 'custo/benefício' ou 'risco/benefício'.

Por não ser objetivo desta dissertação, proceder-se a uma avaliação estatística dos riscos associados às várias modalidades de Reuso de Água, teceremos algumas considerações descritivas a respeito.

O risco à saúde depende fundamentalmente da tecnologia empregada em cada modalidade de reuso. Se, por um lado, os riscos relacionados aos vários tipos de reuso para fins não potáveis devem-se aos contaminantes microbiológicos e/ou elementos químicos de efeitos tóxicos ou sub-âgudos de resposta rápida, por outro, para os riscos associados ao Reuso Potável Direto, além

desses contaminantes, devem ser considerados os riscos decorrentes dos efeitos de exposição contínua e de longo prazo aos chamados elementos químicos traço potencialmente carcinogênicos, mutagênicos ou teratogênicos.

Dependendo da modalidade de reuso considerada, os riscos podem ser maiores ou menores, havendo em qualquer caso necessidade de alguns cuidados especiais como, por exemplo, monitoramento contínuo de qualidade. BROOKS, R. (19) (1981) descrevendo o sistema desenvolvido pela NASA para o Santa Clara Valley's Water reclamation Facility na Califórnia, recomenda uma série de parâmetros passíveis de monitoramento contínuo e automático incluindo-se determinações de coliformes totais e fecais pela medição indireta de hidrogênio molecular (H₂) e de outras bactérias por medição de quimioluminescência, por biosensores. Com respeito às medidas operacionais de mitigação de risco, o quadro 7 adaptado dos trabalhos de LAURADOR FILHO, J. (52) (1987), descreve os riscos sanitários associados às várias modalidades de reuso, enquanto que do ponto de vista preventivo o item 4.3, apresentado a seguir, trata especificamente dos Padrões de Qualidade de Água requeridos pelos vários tipos de reuso.

4.3 - Critérios e padrões de qualidade de água

4.3.1 - Reuso Potável

Conforme recomenda a Organização Mundial da Saúde (99) (1973), os critérios e padrões de qualidade de água a serem obedecidos ao se

praticar o Reuso Potável, seja direto ou indireto, são os de potabilidade existindo inúmeros decretos, leis, etc., de outros países e também brasileiros que podem servir para essa finalidade. Nesta dissertação adotamos a portaria 56 do Ministério da Saúde de 13 de Março de 1977, apresentada na tabela 5.

Tabela 5 - CRITÉRIOS E PADRÕES DE QUALIDADE DE ÁGUA PARA REUSO POTÁVEL E PARA RECARGA DE AQUÍFEROS SUBTERRÂNEOS POR INJEÇÃO DIRETA (PORTARIA 56 Bsb-MINISTÉRIO DA SAÚDE 1977)

PARÂMETROS	UMD (*)	UMP (*)	PARÂMETROS	UMD	UMP
Alumínio	0,05	0,10	Surfactante	0,2	0,5
Arsênio	0,05	0,1	Turbidez (UT)	5	10
Bário	-	1,0	Zinco	1	5
Cádmio	-	0,01	Aldrin	-	0,001
Chumbo	0,05	0,1	Clordano	-	0,003
Cloretos	200	600	DDT	-	0,05
Cobre	0,2	1,0	Dieldrin	-	0,001
Cromo Total	-	0,05	Endrin	-	0,0002
Cor (UC)	5	30	Heptacloro	-	0,0001
Fenóis	-	0,001	Lindano	-	0,004
Ferro Total	0,3	1,0	Metoxicloro	-	0,1
Fluoreto	-	0,6-1,7	Toxafeno	-	0,005

Tabela 5 - CRITÉRIOS E PADRÕES DE QUALIDADE DE ÁGUA PARA REUSO POTÁVEL E PARA RECARGA DE AQUÍFEROS SUBTERRÂNEOS POR INJEÇÃO DIRETA (PORTARIA 56 Bsb - MINISTÉRIO DA SAÚDE - 1977) (continuação)

PARÂMETROS	VMD (*)	VMP (*)	PARÂMETROS	VMD	VMP
Manganês	0,05	0,5	Comp.org.fosf. e carbamatos	-	0,1
Mercurio	-	0,002	Herbicidas - clorofenoxi 2,4D(1)-		0,02
Nitrogênio de nitratos	-	10	2,4,5-TP(silvex)(2)-		0,03
Prata	-	0,05	2,4,5- T (3)-		0,002
Selênio	-	0,01			
Sólidos dissol- vidos	500	1000			
sólidos totais	500	1500			

OBSERVAÇÕES: Valores em mg/l. Salvo se indicado em contrário.

(*) VMD = Valor Máximo Desejável

(*) (*) = VMP = Valor Máximo Permissível

(1) = 2,4 = Ácido diclorofenoxiacético

(2) = 2,4,5= Ácido triclorofenoxipropiônico

(3) = 2,4,5= Ácido triclorofenoxiacético

(UC) = Unidade de cor

(UT) = Unidades de turbidez, Jackson ou Nefelométrica

FONTE: Referência 06

Quadro 7 RISCOS DE SAÚDE ASSOCIADOS AS MODALIDADES DE REUSO

FORMA DE REUSO	RISCO DE SAÚDE	MEDIDA DE MITIGAÇÃO DO RISCO
AGRÍCOLA	Contaminação de culturas com organismos patogênicos.	Tratamento adequado; eliminar contato direto do efluente com culturas comestíveis; substituição da cultura.
	Contaminação direta dos trabalhadores.	Tratamento adequado; educação dos trabalhadores a respeito da necessidade de adequados hábitos de higiene pessoal.
	Contaminação do público por aerossóis.	Tratamento adequado; fixação de zonas neutras e/ou cercas vivas entre as áreas irrigadas e as zonas residenciais ou vias públicas. Substituição do método de irrigação.
	Contaminação de animais que se alimentam em pastagens irrigadas com efluentes.	Tratamento adequado.
INDUSTRIAL	Contaminação de peixes ou lagoas.	Tratamento adequado e controle de vetores.
	Conexão cruzada entre os sistemas de água potável e efluentes.	Adequada diferenciação (código de cores, materiais diferentes, etc.) entre os sistemas. Sinalização adequada.
RECREACIONAL	Se usada com água de processo, contaminação de produtos comestíveis.	Tratamento adequado.
	Doenças de veiculação hídrica, infecção dos olhos, ouvidos e nariz.	Restrição ao contato direto com a água.
	Ingestão de contaminantes químicos ou irritação dos olhos e mucosas, devido aos efluentes industriais.	Reduzir ou eliminar descargas industriais. Tratamento adequado.
		Restrição ao contato direto com a água.
RECARGA DO AQUÍFERO SUBTERRÂNEO	Contaminação de aquíferos utilizados como fonte de água potável.	Tratamento adequado anterior à recarga; o efluente deve percorrer uma adequada distância através do solo; adequada diluição com as águas naturais do aquífero; assegurar tempo de detenção mínimo no aquífero.
DOMÉSTICO	Conexão cruzada entre os sistemas de água potável e de efluentes.	Tratamento adequado. Adequada diferenciação entre os sistemas. Sinalização.
	Contato com a água recuperada utilizada para irrigação de parques e jardins ou lavagem de ruas.	Tratamento adequado; irrigação e lavagem em horários de pouco contato com o público; restrição à irrigação com aspersão.
POTÁVEL (DIRETO E INDIRETO)	Ingestão de contaminante biológicos e químicos.	Tratamento adequado; Monitoramento da qualidade da água antes da distribuição.

FONTE: Adaptado da Referência 52

4.3.2 - Reuso Não Potável Agrícola

Esta é uma forma bastante interessante de reciclagem de recursos e, ao mesmo tempo, de preservação do meio ambiente. Entretanto, essa prática envolve riscos já que, como foi visto, os esgotos municipais podem conter metais, compostos orgânicos de origem industrial e uma enorme variedade de microrganismos patogênicos. Esse fato somado às infinitas nuances e características particulares de cada projeto, de cada tipo de produto agrícola, de cada tipo de solo, de clima, de topografia, etc. torna o estabelecimento de padrões de qualidade de uma tarefa impossível sem que se faça uma série de considerações iniciais.

Um primeiro aspecto a ser pensado diz respeito às concentrações máximas que podem ser consideradas não fitotóxicas e toleráveis para animais. A tabela 6, preparado por CHANEY, R.L. (26) (1984), apresenta essas informações servindo como um primeiro balizamento para a utilização de águas residuárias, ou lodo, na agricultura.

Tabela 6 CONCENTRAÇÕES MÁXIMAS TOLERÁVEIS PARA ALGUNS ANIMAIS
EM COMPARAÇÃO COM OS NÍVEIS PRESENTES EM FORRAGEM

ELEMENTO	CONCENTRAÇÕES NAS					
	FOLHAS		CONCENTRAÇÃO MÁXIMA TOLERÁVEL			
	(mg/kg FOLHA SECA)		(mg/kg)			
	NORMAL	FITOTÓXICO	BOVINOS	OVELHAS	PORCOS	GALINHAS
As	0,01-1	3-10	50	50	50	50
B	7-7,5	75	150	150*	150*	150*
Cd	0,01-1	5-700	0,5	0,5	0,5	0,5
Cr ³⁺ (óxidos)	0,1-1	20	3000*	3000*	3000*	3000
Co	0,01-0,3	25-100	10	10	10	10
Cu	3-20	25-40	100	35	250	300
F	1-5	-	40	60	150	200
Fl	30-300	-	1000	500	3000	1000
Mn	15-150	400-3000	1000	1000	400	3000
Mo	0,1-3,0	100-10	10	30	100	-
Ni	0,1-5	50-100	50	50*	100*	300*
Pb	2-5	-	30	30	30	30
Sa	0,1-2	100-2	2*	2	2	-
V	0,1-1	10	50	50	10*	10
Zn	15-150	500-1500	500	300	1000	1000

* VALOR EXTRAPOLADO DE DADOS DE ESPÉCIES SEMELHANTES, POR
NÃO EXISTIREM

FONTE: Referência 26

Um outro fator a ser levado em consideração refere-se à questão das concentrações de metais pesados em lodo, relativamente às suas absorções por parte das plantas e seus efeitos danosos ao sólo. As tabelas 7 e 8, da obra de WEBER, M.D. et al. (97) (1984), apresentam uma relação das concentrações máximas toleráveis para metais pesados, em lodo utilizado na agricultura em diversos locais, além das cargas máximas permissíveis com relação ao sólo.

Tabela 7 - CONCENTRAÇÕES MÁXIMAS PERMISSÍVEIS PARA METAIS PESADOS

EM LODO A SER UTILIZADO NA AGRICULTURA EM DIVERSOS PAÍSES												
PAIS	Cd	Zn	Cu	Ni	Pb	Cr	Mn	Mo	Co	As	Se	Hg
BÉLGICA	10	2000	500	100	300	500	500	-	20	10	25	10
CANADÁ	20	1850	-	180	500	-	-	20	150	75	14	5
DINAMARCA	8	-	-	30	400	-	-	-	-	-	-	6
FINLÂNDIA	30	5000	3000	500	1200	1000	3000	-	100	-	-	25
FRANÇA	20	3000	1000	200	800	1000	-	-	20	-	100	10
ALEMANHA	20	3000	1200	200	1200	1200	-	-	-	-	-	25
HOLANDA	10	2000	600	100	500	500	-	-	-	-	-	10
NORUEGA	10	3000	1500	100	300	200	500	-	20	-	-	7
SUÉCIA	15	10000	3000	500	300	1000	-	-	50	-	-	8
SUIÇA	30	1000	1000	200	1000	1000	-	20	100	-	-	10

FONTE: Referência 97

Tabela 8 - CARGAS PERMISSÍVEIS PARA METAIS PESADOS NO SOLO, EM DIVERSAS LOCALIDADES

LOCAL	CARGAS PERMISSÍVEIS CUMULATIVAS (kg/ha)												
	Cd	Zn	Cu	Ni	Pb	Cr	Mn	Mo	Co	As	Se	Hg	B
ALBERTA	0,8-15	150-300	100-200	18-25	50-100	50-100	-	-	-	-	-	0,2-0,5	5-10
BRITISH COLUMBIA	4	370	-	36	100	-	-	4	32	15	2,8	1,0	-
ONTÁRIO	1,6	330	150	32	90	210	-	4	32	14	2,4	0,8	-
CANADA	4	370	-	32	90	-	-	4	32	15	2,8	1,0	-
DINAMARCA	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FINLÂNDIA	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FRANÇA	5,4	750	210	60	210	360	-	-	-	-	-	2,7	-
ALEMANHA	8,4	750	210	60	210	210	-	-	-	-	-	5,7	-
HOLANDA	2,0	400	120	20	100	100	-	-	-	2	-	2,0	-
NORUEGA	0,2	60	30	2	6	4	10	-	0,4	-	5	0,14	-
SUECIA	0,075	50	15	2,5	1,5	5	-	-	0,25	-	-	0,04	-
REINO UNIDO	5	560	280	70	1000	1000	-	4	-	10	5	2,0	-
ESTADOS UNIDOS	5-20	250-1000	125-500	50-200	500-2000	-	-	-	-	-	-	-	4,5

FONTE: Referência 97

Embora esses valores sejam derivados de critérios diferentes, existe uma concordância no que diz respeito ao perigo potencial de determinados metais. Os metais normalmente presentes em esgotos tratados e lodos, podem ser classificados em: pouco perigosos para uso agrícola e perigosos. Na primeira categoria podem ser incluídos manganês, ferro, alumínio, cromo, arsênio, selênio, antimônio, mercúrio e chumbo. Na segunda, o cádmio, cobre, molibidênio, níquel e zinco. A seguir apresentamos os principais inconvenientes dessa última categoria.

Cádmio: altamente tóxico à plantas e animais. Nestes últimos, acumula-se no fígado e nos rins causando sérios danos a esses órgãos. A quantidade de cádmio transferida do solo para a vegetação e sementes, varia consideravelmente para cada planta e em função de fatores ambientais como temperatura, umidade do solo e pH.

Zinco: é um metal essencial aos organismos dos homens e animais e plantas, por participar em pelo menos 70 conhecidos metaloenzimas. Embora dietas de até 500 ppm não tenham causado efeitos deletérios e animais, conforme os trabalhos do CAST - Council for Agricultural Science and Technology (22) (1984), altas concentrações desse metal, principalmente no lodo, conduzem a grandes concentrações nos vegetais.

Cobre: Elemento bastante importante na dieta humana é normalmente encontrado em proteínas, sob forma combinada, desempenhando

importante papel na formação dos eritrócitos, na absorção do ferro e na construção de vários tecidos. Pequenos aumentos de sua concentração nos elementos não tem causado problemas em humanos sendo que em animais, as ovelhas tem sido apontadas como os mais suscetíveis. Alguns trabalhos (22) tem mostrado que sua absorção pelos organismos animais e humanos, pode ser diminuída quando associada à ingestão controlada de molibidênio.

Níquel: Embora essencial ao organismo animal e provavelmente ao humano, deficiência desse metal não tem sido constatada. Apesar de relativamente não tóxico, irritações gastrointestinais são os primeiros sintomas de ingestões em altas doses.

Molibidênio: Esse metal é essencial ao organismo humano em quantidades traços, por participar da molécula de vários metaloenzimas, tais como a xantinoxidase. Considerado relativamente não tóxico, em altíssimos níveis pode causar certas manifestações como a astralgia, por exemplo.

Os aspectos relacionados com o reuso agrícola menos explorados e que agora tem merecido a atenção dos técnicos, dizem respeito a concentração, destruição e efeito dos compostos orgânicos sintéticos que incluem hidrocarbonetos aromáticos polinucleares, compostos fenólicos clorados, pesticidas, bifenil polibromatos (P.B.B.), bifenil policlorados (PCB), ftalatos e outros compostos tóxicos persistentes. Esses compostos entram nos sistemas de esgotos a partir de despejos domésticos e industriais e, ao contrário dos outros compostos orgânicos presentes no lodo e no

efluente tratado. São potencialmente perigosos aos animais e aos homens, por uma ou mais das seguintes razões:

- 1) Possuem baixa solubilidade na água e movem-se lentamente no solo.
- 2) São relativamente estáveis no solo, devido a sua resistência à degradação biológica.
- 3) São solúveis nas gorduras e bioacumulativo nos tecidos.
- 4) Passam através da cadeia alimentar (do solo para as plantas; das plantas aos animais e destes ao homem).
- 5) Altamente tóxicos aos mamíferos; alguns são carcinogênicos, mutagênicos e teratogênicos.

Apesar disso deve-se considerar que as substâncias orgânicas, uma vez aplicadas no solo, estão sujeitas à foto-oxidação, volatilização e biodegradação, fenômenos que podem alterar significativamente suas estruturas e características tóxicas, porém devido ao incontável número de compostos presentes, não se pode fazer generalização sobre suas capacidades de contaminação das plantas. Além disso, é bem conhecido o fato de que as plantas os absorvem através das raízes, fixando-os nas suas zonas aéreas, em quantidades bem menores que as existentes no solo, razão pela qual a pesquisa de suas presenças nos esgotos e no lodo tratado serem de extrema importância. Para ilustrar esse aspecto, apresentamos na tabela 9 os resultados de um levantamento efetuado pelo Environment Canada em efluentes de 23 estações de tratamento de esgoto, à nível secundário daquele país.

Tabela 9 - CONCORRÊNCIA DE COMPOSTOS ORGÂNICOS TÓXICOS EM 23
EFLUENTES DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO
CANADENSE, A NÍVEL SECUNDÁRIO

COMPOSTOS	PORCENTAGEM DE OCORRÊNCIA NAS CONCENTRAÇÕES INDICADAS		
	> 1 µg/l	> 10 µg/l	> 100 µg/l
CLOROFORMIO	92	13	ND
FENOL	71	25	ND
BENZENO	46	17	ND
DI-N-BUTIL FTALATO	33	8	ND
ANTRACENO	25	4	ND
1,3 DICLOROPROPANO	17	13	ND
1,4 DIMETILFENOL	13	ND	ND
PENTACLOROFENOL	13	ND	ND
PIRENO	8	ND	ND
BIS (2-CLORETEL) ETER	4	ND	ND
2,4,6-TRICLOROFENOL	4	ND	ND
ACETATOFTALENO	4	ND	ND
HEXAÇLOROBENZENO	4	ND	ND
BENZO-A-PIRENO	4	ND	ND
BIS (2-CLOROETOXI) METANO	4	ND	ND

ND = NÃO DETECTADO

FONTE: Referência 60

Como pode ser observado, a maioria dos compostos foi detectada a baixas concentrações, ou seja, até 10 µg/l e seus significados nesse níveis, para efeito de irrigação, ainda não são conhecidos.

Com relação ao lodo, a mesma fonte publicou uma lista apresentada na tabela 10, onde numerosos compostos aparecem em concentrações superiores a dos efluentes em cerca de três ou quatro vezes. O significado sanitário desses compostos, em relação a utilização do lodo, também é desconhecido.

Tabela 10 - CONCORRÊNCIA DE COMPOSTOS ORGÂNICOS TÓXICOS EM LODO
DE 13 ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO CANADENSE, A
NÍVEL SECUNDÁRIO

COMPOSTOS	PORCENTAGEM DE OCORRÊNCIA NAS CONCENTRAÇÕES INDICADAS		
	> 1 µg/l	> 10 µg/l	> 100 µg/l
BIS (2 ETIL-EXIL)FTALATO	92	92	31
N-NITROSODIFENILAMINA	54	15	ND
PIRENO	38	15	15
DI-N-OCTIFTALATO	31	ND	ND
FLUORENO	23	15	15
ANTRACENO	23	15	15
NAFTALENO	23	15	ND
BENZO-A-PIRENO	23	15	ND
2,4 DICLOROFENOL	15	ND	ND
CRISENO	15	15	ND
PENTACLOROFENOL	8	ND	ND
HEXACLOROBENZENO	8	ND	ND

ND = NÃO DETECTADO

FONTE: Referência 60

O risco potencial de infecção de humanos, animais e plantas, a partir da aplicação de esgotos tratados e de lodo na agricultura, é atribuído à presença de organismos patogênicos no esgoto bruto. Esse número é bastante variável, de acordo com a concentração desse esgoto e em função da estrutura epidemiológica da população que deu origem a esse esgoto.

Os patógenos potencialmente perigosos à saúde de humanos e animais entram no sistema de esgoto, a partir de várias fontes sendo que, os indivíduos humanos infectados são os mais significativos. Entretanto existem outras formas tais como abatedouros, indústrias de extração de óleos animais, laticínios e fezes de animais jogados nos sanitários, ou que vão ter aos esgotos através do escoamento superficial de ruas e calçadas.

As irradiações solares e os fenômenos de adsorção reduzem consideravelmente o risco que essas partículas oferecem ao reuso Não Potável Agrícola. A tabela 11, publicado pelo MINISTER OF SUPPLY AND SERVICES CANADA (60) (1984), que apresenta o tempo de sobrevivência de microrganismos patogênicos em plantas e no solo, ilustra bem esse fato.

Ainda antes da apresentação dos Padrões de Qualidade de Água, um último aspecto a ser considerado relaciona-se à saúde dos indivíduos que trabalham nos campos irrigados com esgoto tratado, bem como a vizinhança sujeita à névoa de aerossóis. Embora os padrões de qualidade de água para esse tipo de reuso devam a dar

conta desses aspectos, a literatura recomenda o uso de roupas protetoras para os trabalhadores, bem como proteção com eucalíptos em torno do empreendimento para deter as névoas formadas.

Tabela 11- TEMPO DE SOBREVIVÊNCIA DE MICROORGANISMOS EM PLANTAS E NO SOLO

ORGANISMOS	MEIO	TEMPO DE SOBREVIVÊNCIA (DIAS)
Coliformes	SUPERFÍCIE DO SOLO	38
	VERDURAS	35
	GRAMA E TREVO	6 - 34
Estreptococos	SOLO	35 - 63
Estreptococos fecais	SOLO	26 - 77
Salmonella typhi	SOLO	1 - 120
	VERDURAS	<1 - 68
Outras Salmonellas	SOLO	15 - >280
	VEGETAIS E FRUTAS	3 - 49
Shigelas	VERDURAS	3 - 10
	GRAMA (ESGOTO BRUTO)	42
Mycobacterium tuberculosis	SOLO	>180
	PASTAGEM	60 - 180

Tabela 11- TEMPO DE SOBREVIVÊNCIA DE MICROORGANISMOS EM PLANTAS E NO SOLO (continuação)

ORGANISMOS	MEIO	TEMPO DE SOBREVIVÊNCIA (DIAS)
Ascaris (ovos)	SOLO	MAIS QUE 7 DIAS
	VERDURAS E FRUTAS	37 - 35
Entamoeba histolytica	SOLO	6 - 8
(cistos)	VERDURAS	<1 - 3
Ancilostomídeos		
(larvas)	SOLO	15 - 42
Enterovirus	SOLO	8 - 12
	VERDURAS	4 - 6

FONTE: Referência 39

No estabelecimento dos critérios e padrões de qualidade de água são considerados não apenas aspectos relacionados aos efeitos imediatos às várias culturas, mas também aos reflexos junto aos consumidores do produto. O quadro 8, adaptado dos trabalhos de AMARAL, R. (06) (1984), descreve os principais parâmetros a serem utilizados para uma caracterização preliminar das águas destinadas à agricultura.

QUADRO 8 : PRINCIPAIS PARÂMETROS PARA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

PARÂMETO	SIGNIFICADO
Salinidade	Mede o controle salino na água, o que favorece o crescimento das plantas, sendo seu excesso prejudicial. Sua determinação é feita de forma indireta pela condutividade elétrica específica ou pela avaliação dos Sólidos Dissolvidos.
Sódio (sodicidade)	O excesso desse elemento é prejudicial às plantas, quando considerado em relação ao cálcio e ao magnésio.
Alumínio	Seu excesso nas raízes dos vegetais reduz a capacidade de transferência do fósforo e cobre, causando deficiência desses elementos às plantas.
Arsênio	Em geral, tóxico às plantas e animais sendo as grandes contaminações são provenientes do uso de fungicidas arsenicais ou presença natural de arsenopirita (As FeS)
Bicarbonato	Afeta a concentração e proporção de cations disponiveis no solo.

QUADRO 8 : PRINCIPAIS PARÂMETROS PARA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO
(continuação)

PARÂMETO	SIGNIFICADO
Boro	É um micronutriente essencial a todas as plantas quando em baixas concentrações. Em doses elevadas pode tornar-se tóxico.
Cádmio	Pode causar hipertensão em seres humanos.
Chumbo	Tóxico a animais e ao homem.
Cobalto	Tóxico às plantas em geral, interferindo no processo de adsorção do ferro e causando redução na clorofila. É essencial aos ruminantes, onde pastos pobres em cobalto provocam doenças nesses animais.
Cobre	Essencial em baixas concentrações, podendo ser tóxico em altas doses, competindo na adsorção do ferro e alternando os níveis do sódio, magnésio e potássio.
Cromo	Tóxico às plantas em geral, quando na forma de hexavalente.
Estrôncio	Elemento não essencial às plantas, podendo ser tóxico.

QUADRO 8 : PRINCIPAIS PARÂMETROS PARA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

(continuação)

PARÂMETRO	SIGNIFICADO
Ferro	Micronutriente essencial ao crescimento das plantas em geral.
Fluoreto	Aparentemente não prejudicial às plantas sendo, entretanto, recomendado em baixas doses para a proteção dos dentes de animais.
Lítio	Prejudicial ao crescimento das plantas em geral.
Manganês	Micronutriente especial sendo, entretanto prejudicial às plantas em altas concentrações.
Mercurio	Pode ser absorvido pelas plantas, contaminando os animais que delas se alimentam
Molibidênio	Micronutriente essencial em baixas concentrações sendo que sua presença reduz o efeito negativo do alumínio. Em excesso é prejudicial, podendo também ser transferido a animais, quando em altas doses, provocando toxicidade.

QUADRO 8 : PRINCIPAIS PARÂMETROS PARA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO
(continuação)

PARÂMETRO	SIGNIFICADO
Selênio	Também é um micronutriente essencial às plantas e animais, quando em baixas doses. Teores maiores podem envenenar os animais, que se alimentam dessas plantas.
Tálio	Muito tóxico a plantas e animais, sendo proveniente de alguns biocidas.
Tungstênio	Elemento não essencial às plantas. Entretanto, pode substituir o molibidênio, quando de sua deficiência.
Vanádio	Tóxico às plantas em geral. Entretanto, em baixas concentrações pode estimular seus crescimentos.
Zinco	Micronutriente essencial quando em baixas concentrações. Entretanto, quando em altas concentrações pode apresentar efeitos tóxicos reduzindo a absorção de fósforo e podendo também provocar clorose foliar.

FONTE: Referência 06

AMARAL, R. (06) (1984), citando as publicações do Environment Canada, apresenta as concentrações máximas de elementos tóxicos que podem estar presentes em águas para irrigação, sem prejudicar plantas ou solo. Esses valores estão listados na tabela 12.

Uma das características mais importantes da água utilizada na irrigação é sua salinidade, ou seu teor em sólidos totais dissolvidos, uma vez que esse parâmetro relaciona-se diretamente com a pressão osmótica do solo quando em solução, o que comanda o consumo de água pela planta. Apesar de bem irrigadas, as plantas podem murchar devido a alta salinidade do solo, apresentando uma condição fisiológica de seca.

TABELA 12 - CONCENTRAÇÃO MÁXIMA RECOMENDADA DE ELEMENTOS TRAÇOS
PARA REUSO NÃO POTÁVEL AGRÍCOLA, E REGA DE PARQUES
E JARDINS.

Elemento	Para solos ácidos ou uso contínuo em qualquer solo	Para solos alcalinos (pH 6-8,5) de textu- ra fina e uso infe- rior a 20 anos(mg/l)
	(mg/l)	
Alumínio	5,0	20,0
Arsênio	0,10	2,0
Berílio	0,10	0,50
Boro	0,75	2,0
Cádmio	0,010	0,050
Cromo	0,10	1,0
Cobalto	0,050	5,0
Cobre	0,20	5,0
Fluoreto	1,0	15,0
Ferro	5,0	20,0
Chumbo	5,0	10,0
Lítio	2,5	2,5
Manganês	0,20	10,0
Molibdênio	0,010	0,050
Níquel	0,20	2,0
Selênio	0,020	0,020
Vanádio	0,10	1,0
Zinco	2,0	10,0

FONTE: Referência 06

Esse parâmetro é geralmente medido pela determinação da condutividade elétrica da água, sendo expresso em milimhos por centímetro ($\text{m}\mu/\text{cm}$) ou microsiemens por centímetro ($\mu\text{s}/\text{cm}$) a 25º C. Trata-se de um método extremamente rápido para avaliação da concentração de sais na água.

Salinidade altas podem ser nocivas para as plantas de uma forma direta ou então de uma forma indireta, através dos efeitos sobre o solo, porém seu efeito prejudicial pode ser modificado por um número grande de fatores, como tipo de cultura, caráter do solo, condições de drenagem, tipos de sais encontrados na água, clima, etc. A tabela 13, preparada por AMARAL, R. (06) (1984), apresenta os limites para esse parâmetro.

TABELA 13 - RECOMENDAÇÃO PARA SALINIDADE EM ÁGUAS DE IRRIGAÇÃO

CLASSIFICAÇÃO	SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS (mg/l)	CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (μ s/cm)
Nenhum efeito preju- dicial	< 500	< 750
Efeitos prejudiciais em culturas sensíveis	500 - 1000	750 - 1500
Efeitos adversos em muitas culturas; requer práticas cuidadosas de utilização	1000 - 2000	1500 - 3000
Água que pode ser usada em plantas tolerantes em solos permeáveis, com práticas cuidadosas de utilização	2000 - 5000	3000 - 7500

FONTE: Referência 06

Outros parâmetros, bastante importantes, quando se pratica o Reuso Não Potável Agrícola são alumínio e cloreto. Para o primeiro recomenda-se 5 mg/l para uso contínuo em todo tipo de solo e 20 mg/l para uso em solos de textura fina, neutro a alcalino, por um período não superior a 20 anos.

Quanto a cloretos, o citado autor (06) recomenda teores que variam de 10 á 50 meq/l para certas culturas de frutas sensíveis enquanto que teores inferiores a 3 meq./l de Cl prejudica frutas cítricas, frutas com caroços e amêndoas.

Para complementar o que foi apresentado, apresentamos a seguir algumas recomendações e os padrões de qualidade de água para Reuso Não Potável Agrícola adotado pelo Estado da California.

1 - Irrigação de Plantas Não Comestíveis.

- Pelo menos, tratamento primário (sólidos sedimentáveis menos que 2,0 ml/l).

2 - Irrigação de plantas comestíveis após cozimento.

- Se utilizado irrigação de superfície, no mínimo tratamento primário (sólidos sedimentáveis menos que 1,0 ml/l). Se for praticado irrigação por aspersão, proceder adequada oxidação, seguida de desinfecção para atingir colimetria inferior a 23/100 ml.

3 - Irrigação de plantas consumidas cruas

- Irrigação por aspersão: efluente filtrado, coagulado e desinfectado apresentando colimetria inferior a 2,2/100 ml e turbidez inferior 10 UJT.

- Irrigação de superfície: efluente oxidado e desinfectado com colimetria inferior a 2,2/100 ml.

4.3.3 - Reuso Não Potável Recreacional

Como estabelecemos no capítulo 3, nesta modalidade de reuso são incluídos os usos para paisagismo como irrigação de parques, jardins, campos de esporte, etc. e o enchimento de lagoas ornamentais recreacionais.

Para usos de rega de parques, jardins, campos de esporte, etc. os padrões a serem citados são, basicamente, os mesmos adotados para Reuso Não Potável Agrícola (tabela 10) acrescido das recomendações feitas com referência às plantas consumidas cruas, irrigadas por aspersão, devido aos problemas ocasionados pela formação de aerossóis.

Para coleções de águas a serem usada para fins recreacionais de contato primário, definido como aquele onde ocorre submersão do corpo humano por longos períodos, a água precisa ter aspecto estético agradável, ausência de substâncias tóxicas ou irritantes à pele e olhos, além da ausência de organismos patogênicos. Nessas condições CULP G. et. al (28) (1980), recomendam os

padrões apresentados na tabela 14.

Quanto à recreação de contato secundário que inclui pescaria, passeios de barcos, etc, considera-se que eventuais imersões do corpo sejam acidentais, de curta duração e não frequentes. Desse modo, as condições estéticas assumem grande importância salientando-se sólidos em suspensão, material flutuante, lodos, limos, plantas aquáticas em excesso, cor, odor, sabor, turbidez, espumas, óleos e graxas, acidez ou alcalinidade que possam ocasionar corrosão em barcos e motores. Para satisfazer esses aspectos o mesmo autor (28) recomenda os limites da tabela 15.

TABELA 14 - PADRÕES DE QUALIDADE DE ÁGUA PARA RECREAÇÃO DE
CONTATO PRIMÁRIO

PARÂMETRO	VALOR (*)
Microrganismos aquáticos	ausentes
Coliformes fecais (NMP/100 ml)	200
Transparência Secchi (m)	1,2
Demanda Química de Oxigênio	30
Cor	ausente
Espumas e materiais flutuantes	ausente
Odor	ausente
óleos	ausente
pH	6,5 - 8,3
Fosfato	0,2
Sólidos sedimentáveis	ausente
Sólidos em suspensão	5
Temperatura mínima (C)	15
Temperatura máxima (C)	35

(*) Exceto quando indicado, valores em mg/l

FONTE: Referência 28

TABELA 15 - PADRÕES DE QUALIDADE DE ÁGUA PARA RECREAÇÃO DE
CONTATO SECUNDÁRIO

PARÂMETRO	VALOR (*)
Organismos aquáticos	Virtualmente ausentes
Coliformes Totais (NMP/100 ml)	100
DQO	60
Espumas e materiais flutuante	Virtualmente ausentes
Odor	Virtualmente ausentes
óleos	Virtualmente ausentes
Oxigênio dissolvido	aeróbico
pH (unidades)	6,5 - 8,3
Sólidos decantáveis	Virtualmente ausentes

(*) Exceto quando indicado, valores em mg/l

FONTE: Referência 28

4.3.4 - Reuso Não Potável Industrial

Conforme definido no capítulo 3, o Reuso Não Potável Industrial pode se dar internamente às instalações industriais, caracterizando a Reciclagem Interna, ou por meio de fonte externa de forma indireta ou direta.

O estabelecimento de padrões de qualidade de água deve levar em consideração aspectos inerentes à proteção do produto fabricado, como contaminações químicas e biológicas, manchas, corrosão, fatores ligados a proteção dos equipamentos industriais bem como fatores voltados para eficiência dos processos tais como formação de incrustações e depósitos, espumas, etc.

Assim sendo, dependendo do processo, os padrões podem ser mais ou menos exigentes podendo-se citar casos como água para caldeiras, onde os requerimentos de qualidade são mais restritivos que para água potável.

Dada a especificidade das exigências em função dos processos industriais, foge dos nossos objetivos o detalhamento dos padrões de qualidade de água, entretanto, julgamos pertinente algumas observações de caráter de saúde pública para o caso do Reuso Não Potável Industrial, a partir de fonte externa e de forma direta. Para esse particular caso OKUN, D.A. (70) (1975), ao recomendar o uso de sistemas duplos de distribuição faz menção aos riscos envolvidos no caso de ingestão acidental dessa água. Para

mitigação desse risco, esse autor recomenda algumas medidas construtivas como material de construção diferente daquele usado pelo sistema público, diferenciação através de cores e avisos impressos nas tubulações. Quanto à qualidade da água, DEAN, R.B. (32) (1981) recomenda que deve ser tal, que sua ingestão acidental por períodos não muito longos, não cause nenhum problema de saúde.

Para atendimento desses requisitos, a Organização Mundial da Saúde (99) (1973) recomenda que a água deve ser livre de sólidos grosseiros, remoção significativa de ovos de parasitas, além de remoção efetiva de bactérias mais alguma remoção de vírus.

4.3.5 - Reuso Não Potável Doméstico

Como nesta modalidade de reuso a água é veiculada através de sistemas duplos, valem aqui as observações feitas no item anterior, frisando-se que somente o sistema de descarga sanitária utiliza essa água.

4.3.6 - Reuso para Recarga de Aquífero Subterrâneo

Como foi dito no item 3.5, a recarga dos aquíferos subterrâneos pode ser feita para evitar o rebaixamento do nível do aquífero e para impedir a intrusão de água do mar. Evidentemente, em qualquer dos casos, essa água pode ser reusada para fins potáveis ou não, o que indica o estabelecimento de padrões de qualidade de água bastante rigorosos.

No caso de recarga por injeção direta, os padrões adotados são os

da portaria 56 do Ministério da Saúde (tabela 5). Por outro lado, quando se recarrega o lençol por infiltração-percolação, CULP, G. et al (28) (1980) recomendam os critérios apresentados na tabela 16.

TABELA 16 - CRITÉRIOS DE QUALIDADE DE ÁGUA PARA RECARGA DE LENÇOL SUBTERRÂNEO POR INFILTRAÇÃO-PERCOLAÇÃO

PARÂMETRO	CRITÉRIO (*)
Amônia	5,0
Arsênio	0,05
Bário	2,0
Boro	0,02
Cádmio	0,01
Cianetos	0,2
Chumbo	0,05
Cloretos	175
Cobre	2,0
Cromo total	0,05
Ferro	0,10
Fluoretos	1,5
Fósforo total	5,0
Manganês	0,10
Mercurio	0,01
Nitritos	10
Prata	0,10

TABELA 16 - CRITÉRIOS DE QUALIDADE DE ÁGUA PARA RECARGA DE
LENÇOL SUBTERRÂNEO POR INFILTRAÇÃO-PERCOLAÇÃO
(continuação)

PARÂMETRO	CRITÉRIO (*)
Selênio	0,01
Sólidos Dissolvidos totais	700
Surfactantes	0,5
Zinco	5,0
Coliformes Fecais	
(NMP/100 ml)	23
Sólidos em suspensão	10,0
DQO	15
DBO (5 dias 20 C)	10

(*) Salvo quando indicado, valores em mg/l

FONTE: Referência 28

4.3.7 - Aquacultura

A possibilidade de utilização de plantas aquáticas, obtidas em instalações que usam efluentes urbanos tratados como criadouros, é tecnicamente possível, encontrando no entanto restrições de ordem econômica. Com relação à criação de peixes usando-se esgotos tratados, EDWARDS, P. (36) (1985), num trabalho financiado pelo Banco Mundial, apresenta dados de projeto de produção, custos etc. de vários empreendimentos localizados na Europa e Ásia. Nesse trabalho o autor demonstra a viabilidade comercial e técnico-sanitária desse tipo de empreendimento, sem entretanto fazer referência aos padrões de qualidade de água desejáveis para essa prática.

Os padrões que adotamos para essa modalidade de reuso, foram estabelecidos por CULP, G. et al (28) (1980) para serem utilizados em piscicultura (tabela 17).

TABELA 17 - CRITÉRIOS E PADRÕES DE QUALIDADE DE ÁGUA PARA
PISCICULTURA

PARÂMETRO	VALOR (*)
Arsênio	0,05
Bário	5,0
Berílio	1,1
Cádmio	0,015
Cor (U.C.)	max=10% (1)
Cromo	0,1
Cobre	0,04
Cianetos	0,005
Fluoretos	1,5
Ferro	0,5
Chumbo	0,15
Mercurio (ug/l)	0,05
Níquel	0,4
Amônia não ionizada	0,02 (2)
óleos e graxas	V.A. (3)
PCB (ug/l)	0,001
pH	6,5 - 9,0
Selênio	0,05

TABELA 17 - CRITÉRIOS E PADRÕES DE QUALIDADE DE ÁGUA PARA
PISCICULTURA (continuação)

PARÂMETRO	VALOR (*)
Sólidos em suspensão	25
Sólidos dissolvidos	2.000
H ₂ S não dissociado	0.002
Temperatura (°C)	(4)
Turbidez	max=10% (1)
Zinco	0,6
Oxigênio dissolvido	(5)

(*) Salvo quando indicado, valores em mg/l

(1) Variação máxima em relação ao valor natural da água.

(2) A concentração total de amônia (NH₃+ NH₄⁺) - limite de toxicidade - é função da temperatura e do pH da água.

(3) V.A. = Virtualmente ausente

(4) A temperatura máxima para piscicultura de água fria é de 18,2 °C e para a de água quente é de 29,9 °C.

(5) Os teores limites de Oxigênio dissolvidos dependem do valor mínimo da estação.

FONTE: Referência 28

Vimos neste capítulo os principais contaminantes químicos e biológicos que podem estar presentes na água a ser reusada, bem como os riscos associados a essa prática e os padrões e critérios a serem observados, no sentido de atender aos vários aspectos ligados ao problema.

No capítulo 5 serão apresentados os principais aspectos relativos à tecnologia empregada nas várias modalidades de Reuso de Água, bem como algumas idéias do custo das principais alternativas.

5 - TECNOLOGIA DO REUSO DA ÁGUA

No Capítulo 3 abordamos o Reuso da Água dentro de um enfoque conceitual bastante amplo, apresentando as definições e os conceitos mais usados na literatura disponível. Além disso, no Capítulo 4, estudamos os principais aspectos de saúde e ambientais, além dos critérios e padrões de qualidade de água para as diferentes modalidades de reuso, bem como os riscos envolvidos na sua prática.

A idéia deste capítulo é avaliar os principais processos unitários utilizados em Reuso de Água, dentro da seguinte sequência:

- descrição sumária do processo;
- operação;
- eficiência na remoção de contaminantes;
- confiabilidade e
- principais aplicações em Reuso de Água.

Os dados relativos aos itens acima foram dispostos em um conjunto de tabelas, onde adotamos uma codificação cujo significado encontra-se no Quadro 09. Com relação as informações sobre a confiabilidade dos processos, são apresentadas em termos de análise estatística de porcentagem de remoção: 10%, 50% e 90% representam os valores dos percentís. Por exemplo, 10% dos valores são superiores ou iguais aos números lidos na coluna dos 10%. No final do capítulo foram discutidos o conceito de Sistemas de Tratamento e os custos envolvidos.

Quadro 09 - Origem dos dados e descrição dos sistemas

ORIGEM DOS DADOS	DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS
A- SAN FRANCISCO - NORTH POINT AND SOUTHEAST	SISTEMA PILOTO COM TRES PROCESSOS: UM BIOLÓGICO E FÍSICO-QUÍMICO E OUTROS DOIS FÍSICO-QUÍMICOS
B- SAN FRANCISCO-SOUTHEAST	
C- SAN FRANCISCO RICHMOND SUNSET	
D- EL LAGO, TEXAS	SISTEMA PILOTO COM FILTRO BIOLÓGICO COM LEITO DE PEDRA, SEGUIDO DE PROCESSO FÍSICO-QUÍMICO COM NITRIFI- E DESNITRIFICAÇÃO
E- DALLAS, TEXAS	SISTEMA CONSTITUIDO DE FILTRO PILOTO COM LEITO DE PEDRA E PLANTA DE DEMONSTRAÇÃO DE REUSO POTÁVEL
F- ROSEMONT, MINNESOTA	PLANTA DE DEMONSTRAÇÃO COM PROCESSO FÍSICO-QUÍMICO
G- CONTRA COSTA COUNTY SANITATION DISTRICT, CALIFORNIA	SISTEMA CONSTITUIDO DE TRATAMENTO AVANÇADO (EM TESTE) - PROCESSO BIO- LÓGICOS E FÍSICO-QUÍMICOS

Quadro 09 - Origem dos dados e descrição dos sistemas

(continuação)

ORIGEM DOS DADOS	DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS
H- BLUE PLAINS, WASHINGTON DC	SISTEMA PILOTO COM PROCESSOS FÍSICO- -QUÍMICOS E NITRIFICAÇÃO-DESNITRIFI- CAÇÃO BIOLÓGICA
J- COLORADO SPRINGS, COLORADO	SISTEMA DE LODOS ATIVADOS E TRATA- MENTO FÍSICO-QUÍMICO
K- MILWAUKEE, WISCONSIN- SOUTH SHORE	SISTEMA DE LODOS ATIVADOS COM ADI- ÇÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS
L- ORANGE COUNTY, CALIFORNIA WATER FACTORY 21	TRATAMENTO AVANÇADO, COM PROCESSOS FÍSICO-QUÍMICOS
M- BOULDER, COLORADO	FILTRO BIOLÓGICO COM LEITO DE PEDRAS
N- GLADSTONE, MICHIGAN	BIODISCOS COM ADIÇÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS
O- COLUMES, INDIANA	BIODISCOS COM NITRIFICAÇÃO E ADIÇÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS

FONTE: Referência 28

5.1 - Processos unitários utilizados em Reuso de Água

O arsenal tecnológico disponível e passível de utilização em reuso de água é bastante amplo, englobando processos unitários referentes a tratamento de esgotos e de água. MONTENEGRO, M.A. (61) (1980), classifica os processos unitários de tratamento de esgoto em artificiais e naturais. Segundo esse autor, os primeiros ocorrem em estações de tratamento projetadas para operarem segundo uma sequência pré definida, proporcionando diferentes graus de tratamento, os segundos utilizam-se da natureza para eliminação de poluentes alcançando performance comparáveis aos primeiros. Embora essa classificação possa causar algumas confusões como, por exemplo, considerar como natural o processo de tratamento através de lagoas mecanicamente aeradas, será adotado nesta dissertação.

5.1.1.- Processos artificiais

Neste tópico serão vistos os processos unitários usados em tratamento de esgotos nos níveis primário, secundário e terciário, além de alguns processos normalmente utilizados pela tecnologia de tratamento de água.

A classificação tradicional dos níveis de tratamento para esgotos, segundo MORRIS, J. C. (63) (1983) refere-se a:

- **tratamento primário** : remoção por sedimentação ou flotação de matéria em suspensão.

- tratamento secundário : redução de matéria orgânica oxidável, que possa causar depleção de oxigênio nos corpos receptores.
- tratamento terciário : restrito a esgotos industriais específicos, refere-se a remoção de ions metálicos altamente tóxicos ou outras substâncias venenosas , até níveis que não causem reações tóxicas agudas.

No primeiro caso - tratamento primário - os esgotos fluem vagarosamente através de um tanque, de modo que o material sedimentavel separa-se como lodo ou espuma, o que possibilita sua disposição de forma conveniente.

Com relação a tratamento secundário, o objetivo é alcançado através de oxidação biológica acelerada seguida de floculação da matéria orgânica, sob condições aeróbicas, e separação do material floculado por sedimentação. A remoção do material tóxico é conseguida por segregação, ou então, por oxidação e precipitação químicas específicas.

Há aproximadamente vinte anos surgiram novos tipos de problemas como, por exemplo, a persistência dos detergentes do tipo ABS através de todas as etapas do tratamento com a formação de espumas indesejáveis nos corpos receptores. A partir daí, ficou claro que novos problemas de poluição como o aumento dos níveis de fosfato, de compostos nitrogenados e sais orgânicos em geral, além do aumento nas concentrações de substâncias químicas orgânicas persistentes, incluindo-se aqui os defensivos agrícolas e outros problemas químicos, como foi dito anteriormente, se

tornariam em breve, críticos em muitas regiões.

A denominação de terciários, aos processos dirigidos a esse poluentes mostrou-se inadequada por induzir a uma confusão com a simples filtração intermitente em areia, que vinha sendo praticada há mais de trinta anos para efluentes de tratamento secundário, e que recebera essa mesma denominação. Assim sendo, o termo que ficou consagrado foi o de tratamento avançado de despejos, designação esta que é ampla o suficiente para incluir qualquer forma de tratamento além da oxidação biológica, e também para significar uma melhoria substancial na qualidade do efluente, acima daquela obtida com tratamento secundário.

Uma variedade de processos que vai desde uma simples cloração ou filtração, passando por precipitação química, adsorção e oxidação química, até osmose reversa ou outras formas de desalinização está incluída sob essa denominação geral. Como a designação "tratamento avançado" tornou-se padrão, serão necessários termos mais específicos para as diversas etapas agora inseridas nessa denominação geral. Esses termos podem se referir aos objetivos perseguidos, como remoção de fosfato ou desalinização, ou então podem ser descrições sintéticas do tipo de processo que está sendo utilizado, como é o caso da adsorção ou oxidação química. Nessas condições, neste trabalho adotaremos o termo "tratamento avançado" em substituição a designação "tratamento terciário".

Apresentamos a seguir um resumo dos principais aspectos ligados aos processos artificiais mais conhecidos. Evidentemente não faz

parte dos objetivos desta dissertação aprofundarmos mais em cada um deles, senão a apresentação dos seus pontos mais importantes.

RECARBONATAÇÃO

- Descrição do processo

Trata-se de um processo tradicionalmente usado em sistemas industriais e municipais, que utilizam o método da cal e soda para abrandamento da água. Além disso, em tratamento de esgotos tem sido usada na remoção de fósforo por coagulação ou então após a decantação com cal para proteção das instalações contra os eventuais depósitos de cálcio que ocorrem em pH elevados.

Basicamente o processo consta de aplicação de CO₂ ao efluente tratado com cal, objetivando a diminuição de pH para que os hidróxidos produzidos no tratamento com cal, passem a carbonatos e bicarbonatos.

Segundo a Water Pollution Control Federation (37) (1977) existem duas formas de recarbonatação: com simples ou com duplo estágio. No primeiro caso, representado na figura 04, o pH do efluente do decantador (decantação com cal) é reduzido de 11,0 para um valor mais baixo (usualmente 7,0) em um local apropriado, chamado de tanque de recarbonatação. Nesse pH, o carbonato passa a bicarbonato, que é solúvel, prevenindo os equipamentos subsequentes contra depósitos indesejáveis.

Figura 04 - Recarbonatação com simples estágio

Os sistemas de recarbonatação de duplo estágio, empregam dois tanques de aplicação de CO_2 , separados por decantador intermediário, conforme figura 05.

Figura 05 - Recarbonatação com duplo estágio

No primeiro estágio, o pH do efluente é reduzido de 11,0 para 9,3, valor que a solubilidade do carbonato de cálcio é mínima, ocorrendo formação de flocos com altas velocidades de decantação. Após a decantação intermediária o efluente é novamente submetido à aplicação de CO_2 , havendo uma diminuição do pH à valores próximos a 7,0, onde os carbonatos são convertidos a bicarbonatos.

A seleção da fonte CO₂ dependerá basicamente do porte das instalações e dos processos unitários existentes. Se for praticada a incineração do lodo para a recuperação do carbonato de cálcio, a escolha provavelmente será efluente gasoso da chaminé, das caldeiras ou ambos. Outras possíveis fontes incluem o CO₂ líquido, queima de gás natural ou outros combustíveis.

- Operação

A operação e o controle dos sistemas de recarbonatação são muito fáceis e simples, havendo equipamentos modernos totalmente automatizados que, a partir da medição contínua do pH, comanda o fluxo de CO₂.

Uma forma indireta, porém mais sensível de se controlar o processo, é através da medição da alcalinidade havendo também, para esta forma de controle, equipamentos totalmente automatizados, em que pese serem mais onerosos que os anteriores.

Finalmente, quanto ao controle manual baseado em análises de amostras discretas, é ainda bastante usado e com muito sucesso, pelo fato de que a demanda de CO₂ não varia muito, havendo necessidade, entretanto, de pessoal treinado para essa tarefa.

Eficiência do processo na remoção de contaminantes

Embora a recarbonatação não seja um processo unitário que

objetive a remoção de nenhum contaminante propriamente dito, mas sim a estabilização da água por precipitação dos carbonatos através do controle de pH, a inclusão do item "remoção de contaminantes" refere-se a remoção de fósforo sob a forma de hidroxyapatita - $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ - que se precipita.

Estequimetricamente 10,0 mg/l de fosfato - como fósforo - é precipitado por 53,8 mg/l de dureza em Carbonato de Cálcio, conforme os trabalhos de MORRIS, J.C. (63) (1983).

- Confiabilidade do processo

Apesar de não dispor de dados numéricos sobre a confiabilidade do processo, ela deve ser bastante alta pelo fato de constituir-se em uma reação química. CULP, R.L. et. al. (29) (1977) fazem uma recomendação em termos de tempo de contato; 15 minutos para a reação se completar.

- Aplicação em sistemas de reuso

A recarbonatação normalmente é feita após os processos de coagulação e floculação com cal. O sistema de duplo estágio é indicado na remoção de dureza do esgoto em tratamento.

REMOÇÃO DE AMÔNIA POR ARRASTE COM AR

- Descrição do Processo

Dentre os métodos conhecidos de remoção de nitrogênio de águas residuárias, o sistema de arraste com ar conhecidos como "ammonia stripping" - é o mais simples e de mais fácil controle. Este processo remove o gás de amônia da água por agitação da mistura gás-água, na presença do ar. O nitrogênio presente sob a forma de ion amônio é convertido a gás amônia quando o pH da solução é aumentado, após o que, é liberado da solução em uma torre de arraste equipado com sopradores de ar ou ventiladores. O equilíbrio amônio/amônia ocorre a pH em torno de 7,0, segundo a reação abaixo:

Aumentando-se o pH a reação se desloca para a esquerda, atingindo-se o maior rendimento a valores de pH da ordem de 11,0.

Um problema que deve ser considerado diz respeito à temperatura do ar, que, na medida em que diminui, faz com que a solubilidade do gás amônia na água aumente, tornando sua remoção mais difícil. Um outro problema consiste no depósito de carbonato de cálcio no interior na torre, o que pode ser minimizado a nível de projeto da torre.

Quanto aos efeitos do gás liberado no meio ambiente, existem três aspectos cuja não observância pode inviabilizar o processo: poluição do ar, lavagem da amônia da atmosfera, através das chuvas e ruído.

- Operação

A operação das torres de arraste é extremamente simples, embora o controle do pH do influente seja crítico. Quanto aos equipamentos, tanto os ventiladores como os sopradores necessitam de manutenção de rotina, enquanto que o material de enchimento da torre precisa ser limpo periodicamente devido a incrustação de carbonato de cálcio, razão pela qual o local onde esse material é colocado precise ser cuidadosamente desenhado, para propiciar fácil acesso ao pessoal de manutenção.

Eficiência do processo na remoção de contaminantes

A tabela 18 apresenta dados de nitrogênio amoniacal, pH, temperatura e porcentagem de remoção de amônia de uma experiência, levada a efeito em uma torre compacta de laboratório de 0,61 m de altura e 0,46 m² de área equipada com um ventilador capaz de veicular 42,56 m³/min de ar através da torre, de acordo com CULP, R. L. et. al. (29) (1977).

Tabela 18 - Porcentagem de remoção de nitrogênio amoniacal por torre de arraste de laboratório

INFLUENTE DA TORRE			EFLUENTE DA TORRE			
-----			-----			
	Temp.	N-NH ₃		Temp.	N-NH ₃	Porcentagem de
pH	(°C)	(mg/l)	pH	(°C)	(mg/l)	Remoção de N-NH ₃
8,0	22	28,8	8,0	16	18,2	37
8,6	21	26,6	8,1	17	15,8	41
9,3	23	26,2	8,6	18	5,3	80
9,7	21	30,0	9,1	16	2,1	93
10,8	22	25,5	10,1	17	0,6	98

FONTE: Referência 29

Aproximadamente 94% do nitrogênio presente na água influente encontra-se sob forma de amônia, assim, dos 98% de nitrogênio amoniacal removido a pH 10,8, 92% referem-se a todo nitrogênio presente. A pH 9,7, 93% do nitrogênio amoniacal, ou seja, 87% do nitrogênio total foi removido, cabendo acrescentar que o nitrogênio orgânico não é removido por esse processo.

Quanto a outros contaminantes, o sistema descrito é indicado para remoção de compostos orgânicos voláteis não removíveis por adsorção em carvão ativo.

Confiabilidade do processo

Não existem muitos dados disponíveis sobre a confiabilidade do processo de remoção de amônia por arraste com ar, como um processo unitário.

A tabela 19 apresenta os dados obtidos nas instalações da Water Factory 21 em Orange County, chamando-se a atenção para o fato de que essas taxas de remoção incluem a remoção feita pelo processo de coagulação, que lhe é precedente.

Tabela 19 - Dados de confiabilidade da Water Factory 21 em
Orange County, California.

	10%	50%	90%
Remoção do N - NH ₃	99	89	79

FONTE: referência 28

Aplicação em Sistemas de Reuso

A remoção do nitrogênio amoniacal, através de torres de arraste de ar, é um método simples. O sistema pode ser usado em sistemas de

tratamento de reuso onde deseja-se uma redução moderada da concentração de nitrogênio amoniacal, ou em série com outros processos de remoção caso se deseje concentrações maiores. É também, um método particularmente efetivo na remoção de fósforo em pH adequado.

LODOS ATIVADOS

Descrição do Processo

O método de tratamento de despejo dos Lodos Ativados é um processo de tratamento biológico, no qual o material orgânico é utilizado como alimento pelos microorganismos. Isso é feito através da agitação e aeração da mistura despejo e lodo biológico (microorganismos) em unidades denominadas tanques de aeração (TA), seguido da separação do esgoto tratado por meio de decantadores, chamados secundários, de onde uma parte do lodo retorna ao tanque de aeração, enquanto o excesso é descartado.

No sistema convencional, os tanques de aeração, também denominados reatores são projetados para trabalharem em fluxo de pistão ("plug flow"), com introdução contínua de ar ao longo de seu comprimento.

Essa introdução de ar pode ser feita de forma não uniforme, ou seja, no início do tanque, onde a demanda de oxigênio é maior e la

pode ser grande, enquanto que no fim do tanque ela pode ser menor.

Por outro lado, os reatores de mistura completa são projetados de forma que o influente e o retorno de lodo, proveniente do decantador secundário, são introduzidos por toda a massa líquida, o que garante uma demanda de oxigênio uniforme em todo o reator, tornando o processo mais estável com relação a cargas de choque.

Uma variação do sistema de pistão é a chamada aeração escalonada. Nesse processo, o influente é introduzido no reator em vários pontos ao longo de seu comprimento, o que resulta numa utilização mais eficiente do oxigênio administrado.

Recentemente, tem-se desenvolvido o interesse no emprego de oxigênio puro em vez de oxigênio do ar para o processo dos lodos ativados, o que permite reduzir extraordinariamente o volume do tanque de aeração.

Uma última variação no sistema dos lodos ativados é a chamada aeração prolongada, caracterizada por longos períodos de aeração - cerca de 24 horas - e altas concentrações de sólidos em suspensão no tanque de aeração, para garantir respiração endógena e um efluente altamente nitrificado.

Operação

Quando bem projetados, os sistemas de lodos ativados são de fácil controle, havendo entretanto necessidade de atenção especial à manutenção preventiva dos equipamentos utilizados como aeradores, difusores, bombas e motores.

Uma forma de controle do processo consiste em manter a relação alimento/microrganismos em valores pré-determinados, pois quando muito alta essa relação condiciona a formação de uma massa de excesso de lodos proporcionalmente maior que sistemas que operam em valores mais baixos dessa relação. Isso significa que organismos que dispõem de alimento em abundância tendem a transformar mais rapidamente esse alimento em material celular, reproduzindo-se com maior velocidade, dando origem a produção de lodo em excesso. Por outro lado, organismos que vivem em ambientes onde o alimento é escasso - baixos valores da relação alimento/microrganismos - dispendo de menor quantidade de energia, tendem a utilizá-lo mais lentamente, dando origem a menor formação de lodo.

A produção do excesso de lodo pode ser avaliada pelo acréscimo da concentração de sólidos em suspensão voláteis no tanque de aeração, em um dado período referido ao volume desse tanque.

Assim sendo, a massa de sólidos em suspensão voláteis produzidas no interior desse tanque no decurso de um intervalo de tempo ΔT deve ser retirada do sistema à cada intervalo ΔT , quando se deseja manter seu valor próximo ao de projeto. Em outras

palavras, se no decurso de um dia a concentração de sólidos em suspensão voláteis no tanque de aeração aumentam de um dado valor, deve-se retirar diariamente do sistema uma certa massa de lodo ativado exatamente igual à massa produzida nesse período, visando fazer retornar sua concentração ao valor inicial.

A necessidade de retirada, periodicamente, do excesso de lodo produzido no TA veio dar origem a um novo conceito, ou parâmetro de projeto, baseado na relação entre massa de lodo ativado presente no tanque de aeração e massa de lodo em excesso removida diariamente, a idade do lodo. Sistemas dimensionados, através desse parâmetro, podem ser controlados pelo descarte de volumes de lodo pré-fixados, de forma a manter o parâmetro dentro das condições de projeto.

Uma forma de controle bastante eficiente, foi desenvolvida por DARIN, B.P. e NASCIMENTO G.P.L. (31) (1980). Essa sistemática permite dimensionar novos sistemas de lodos ativados e controlar sistemas existentes, através de curvas de operações, levando em conta, todas as variáveis envolvidas no processo. Essas curvas, que os autores denominam Curvas de Operação do Sistema, espelham todas as combinações possíveis das diversas condições de operação de um dado sistema, reduzindo a vazão recirculada ao mínimo compatível com maior eficiência, propiciando significativa economia de energia.

Eficiência na Remoção de Contaminantes

O processo dos lodos ativados é bastante eficiente na remoção de matéria orgânica presente nos esgotos, apresentando também significativas taxas de remoção dos sólidos em suspensão no decantador secundário. Assim sendo, a literatura especializada normalmente mede a eficiência pela remoção de DBO, DQO e sólidos em suspensão.

A tabela 20 adaptada de CULP, G. et. al. (28) (1980), apresenta dados de remoção de vários contaminantes. Nessa tabela, as letras que encabeçam as colunas referem-se a:

A: San Francisco - North Point and Southeast.

B: San Francisco - Southeast.

C: Dallas, Texas - Dallas.

D: Milwaukee, Wisconsin - South Shore STP.

E: Tahoe-Truckee Sanitation Agency, California.

De forma geral, os dados observados nas instalações referidas na tabela 20 se aproximam dos valores dados pela literatura especializada, tendo sido observado que reatores projetados para mistura completa apresentam maior eficiência do que aqueles que trabalham com fluxo em pistão. Um outro fato que convém chamar

atenção é para a remoção de metais pesados, embora isso não aconteça em altas taxas. O mecanismo de remoção pode ser explicado por:

- a) precipitação de hidróxidos metálicos
- b) adsorção nos flocos de lodo ativado

Com relação ao cromo hexavalente, esse metal é reduzido a trivalente sendo adsorvido ou precipitado, não havendo maiores referência ao fenômeno na literatura consultada.

Confiabilidade do Processo

A confiabilidade do processo de lodos ativados, em termos de remoção esperada em 10%, 50% e 90% do tempo, é resumidamente apresentada na tabela 21 adaptada de CULP, R.L. et. al. (29) (1977). Esses autores atribuem ao sistema de decantação secundária, a responsabilidade pela performance do sistema como um todo, devido principalmente a possibilidade de perda de sólidos, por parte dessa unidade.

Tabela 20 - LODOS ATIVADOS - REMOÇÃO DO PROCESSO - VALORES
DADOS EM TERMOS DE PORCENTAGEM DE REMOÇÃO

CONSTITUINTE	*	A	B	C	D	E	MÉDIA
DBO (5,20)	80 - 96	88	90		91	87	89
DQO	90	61	62	90		74	72
COT	81	76	92				83
SST	75 - 93	73	85	90	75	80	81
N - NH3	52 - 87	93	46	78	35	X	63
ATA		92	49				71
FÓSFORO	67	35	49	52			45
ÓLEOS E GRAXAS	98	79	85				82
COR		54	42				48
BÁRIO				31			31
CÁDMIO	30 - 64	54	54	55			54

Tabela 20 - LODOS ATIVADOS - REMOÇÃO DO PROCESSO - VALORES
DADOS EM TERMOS DE PORCENTAGEM DE REMOÇÃO
(continuação)

CONSTITUINTE	*	A	B	C	D	E	MÉDIA
CROMO	36 - 96	X	85	63			74
ZINCO	44 - 75	36	62	48			49
MERCÚRIO	68 - 76	0	0	39			13

DBO (5,20) = Demanda Bioquímica de Oxigênio (5 dias 20 C)

DQO= Demanda Química de Oxigênio Símbolos

COT=Carbono Orgânico Total (*): Remoção Típica

SST=Sólidos em Suspensão Total encontrada na literatura

N-NH₃=Nitrogenio Amoniacal (X): Dados não

ATA=Agentes Tenso Ativos conclusivos

FONTE: Referência 28

Tabela 21 - LODOS ATIVADOS - CONFIABILIDADE MÉDIA DO PROCESSO

PROCEDÊNCIA DOS DADOS

CONSTITUINTE	A			B			C			MÉDIA		
	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%
DBO	98	94	66	95	91	76				96	92	71
DQO	81	57	35	89	62	32				85	59	33
COT	99	81	62	-	77	-				99	81	62
SST	93	79	51	95	85	74				94	82	62
N-NH ₃	99	96	80	77	49	12				88	72	46
ATA	-	93	-	-	33	-				-	63	-
FÓSFORO	47	33	22	69	48	14				58	41	18
ÓLEOS E GRAXAS	99	82	54	98	89	58				99	86	56
COR	78	56	25	63	43	14				71	50	20
BÁRIO							62	34	0	62	34	0
CÁDMIO	78	55	29	81	62	0	100	43	20	86	53	16

Tabela 21 - LODOS ATIVADOS - CONFIABILIDADE MÉDIA DO PROCESSO

PROCEDÊNCIA DOS DADOS (continuação)

CONSTITUINTE	A			B			C			MÉDIA		
	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%
CROMO	X	X	X	96	86	70	82	63	44	89	75	57
ZINCO	63	31	1	87	70	20	64	46	31	71	49	17
MERCÚRIO	0	0	0	0	0	0	93	33	0	31	11	0

DBO (5,20°C) = Demanda Bioquímica de Oxigênio (5 dias, 20°C)

DQO = Demanda Química de Oxigênio

COT = Carbono Orgânico Total

SÍMBOLOS:-

SST = Sólidos em Suspensão Totais

(-) dados insuficientes

N-NH₃ = Nitrogênio Amoniacal

(X) dados inconclusivos

ATA = Agentes Tenso Ativos

FONTE: Referência 29

Aplicação em Sistema de reuso

O processo de tratamento de águas residuárias por lodos ativados é bastante flexível, podendo ser combinado com outros, quando se deseja tratamento com um alto nível, razão pela qual é incorporado em vários sistemas de reuso existentes.

FILTRAÇÃO BIOLÓGICA

O filtro biológico é uma estrutura, normalmente de concreto, que contém no seu interior um enchimento de pedras ou de plástico que serve como leito sobre o qual o esgoto é aspergido. O esgoto escorre através do leito, propiciando o desenvolvimento de uma população biológica que se acumula sobre as pedras do filtro sob forma de uma película de lodo, no interior do qual vivem os microorganismos anaeróbicos, que consomem a matéria orgânica.

Eventualmente esses organismos morrem, por falta de alimento, desprendendo-se das pedras sendo retidos num decantador que normalmente vem após essa unidade.

Os filtros biológicos normalmente são projetados para trabalharem como recirculação do efluente, que não só propicia um tratamento adicional a esse efluente, como reduz a formação de odores e não permite a secagem do leito por diminuição de vazão afluente. Quanto ao tipo de recirculação, os filtros biológicos são classificados em:

a) Sistema de recirculação do tipo Biofiltro: Esse sistema foi desenvolvido pela Companhia Dorr-Oliver e a recirculação é feita para montante do decantador primário, a partir do efluente do filtro.

b) Sistema de recirculação do tipo Filtro Accelo: Desenvolvido pela Companhia Infilco, recircula o efluente do filtro para sua entrada.

c) Sistema de recirculação do tipo Aerofiltro: Recircula para o influente do filtro, o efluente do decantador secundário.

Quanto ao enchimento, o de plástico atualmente vem ganhando adeptos por ser bem mais leve, apesar de seu custo aqui no Brasil ser mais elevado.

Operação

O filtro biológico é um dos mais simples dos processos de tratamento secundário, havendo necessidade, entretanto, de um monitoramento da qualidade do influente, pois o sistema é muito sensível às suas oscilações, razão pela qual a recirculação é adotada no sentido de regularizar tanto a carga orgânica quanto hidráulica. Da mesma forma que o sistema de lodos ativados, o desempenho dos decantadores secundários é fundamental na performance das unidades subsequentes.

Eficiência do processo na remoção de contaminantes

Os filtros biológicos são muito usados no tratamento de esgotos domésticos, embora a qualidade do efluente produzido não seja tão alta quanto a de sistemas de lodos ativados, principalmente quanto a remoção de metais e alguns ions inorgânicos.

Quanto a resultados operacionais, PESSOA, C.A. & JORDÃO, E.P. (73) (1982) publicaram dados referentes à Estação de Tratamento de Esgotos da Penha, Rio de Janeiro, referentes a três observações:

OBSERVAÇÃO A: Características de funcionamento dos sistemas, de acordo com o projeto básico, ou seja, Biofiltração (dois filtros e recirculação).

OBSERVAÇÃO B: Características de funcionamento do sistema, de acordo com o projeto original, ou seja, dois filtros biológicos, sem recirculação.

OBSERVAÇÃO C: Sistema funcionando com um filtro, sem recirculação.

Os dados operacionais, bem como os resultados obtidos podem ser visualizados na tabela 22.

Tabela 22 - ETA Penha, Rio de Janeiro dados operacionais,
resultados obtidos e características

PARÂMETROS VERIFICADOS	DADOS DE PROJETO	OBSERVAÇÃO "A" 2 FILTROS C/ RECIRCULAÇÃO	OBSERVAÇÃO "B" 2 FILTROS S/ RECIRCULAÇÃO	OBSERVAÇÃO "C" 1 FILTRO S/ RECIRCULAÇÃO
DBO afluente ao filtro (mg/l)	205	127	118	118
DBO afluente do filtro (mg/l)	-	66	70	76
Redução do DBO pelo filtro (%)	37,5	48,0	40,6	35,6
Vazão média diária (m3/dia)	37500	31968	33091	36547
Volume meio filtrante (m3)	5040	5040	5040	2520
Carga orgânica aplicada(kg/m3.dia)	1,3	0,81	0,77	1,72
Área do meio filtrante (m2)	4200	4200	4200	2100
Carga Hidráulica aplicada (m3/m2.dia)	11,9	7,61	7,87	17,40

FONTE: Referência 73

Evidentemente a qualidade do efluente pode ser bastante melhorada, se o processo for combinado com tratamento primário , produzindo dessa forma um efluente com qualidade aceitável para certos tipos de reuso.

Confiabilidade do processo

Os dados disponíveis sobre a confiabilidade do processo foram publicados por CULP, G. et. al. (28) (1980) e estão consubstanciados na tabela 23.

Tabela 23 - FILTROS BIOLÓGICOS - CONFIABILIDADE DO PROCESSO
(VALORES DADOS EM TERMOS DE REMOÇÃO PERCENTUAL -
SISTEMA: BIOFILTROS)

ORIGEM DOS DADOS

PARÂMETROS	A1			B1			MÉDIA		
	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%
DBO (5,20)	81	74	62	81	68	51	81	71	65
DQO	63	54	42	79	64	47	71	59	45
SST	67	53	32	100	80	31	84	66	32
CÁDMIO				0	0	0	0	0	0
CROMO				0	0	0	0	0	0
COBRE				79	63	10	79	63	10

Tabela 23 - FILTROS BIOLÓGICOS - CONFIABILIDADE DO PROCESSO
(VALORES DADOS EM TERMOS DE REMOÇÃO PERCENTUAL -
SISTEMA: BIOFILTROS) (continuação)

ORIGEM DOS DADOS

PARÂMETROS	A1			B1			MÉDIA		
	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%
CHUMBO				83	34	5	83	34	5
MERCÚRIO				0	0	0	0	0	0
ZINCO				85	62	14	85	62	14

DBO (5,20) = Demanda Bioquímica de Oxigênio (5 dias, 20 C)

DQO = Demanda Química de Oxigênio

SST = Sólidos em Suspensão Totais

(1) = Média de duas fontes de dados

FONTE: Referência 28

Aplicação em sistemas de reuso

O filtro biológico, se cuidadosamente operado e monitorado, tem um potencial de uso bastante grande em certas aplicações de reuso onde o DBO solúvel não é um parâmetro crítico, como por exemplo na irrigação. Embora não se consiga tanta remoção de matéria orgânica como o sistema de lodos ativados, por exemplo, uma boa qualidade de efluente pode ser obtida.

COAGULAÇÃO - SEDIMENTAÇÃO

Descrição do Processo

O processo de coagulação-sedimentação consiste na remoção de sólidos e na precipitação de poluentes através da dosagem de produtos químicos no esgoto, seguido de uma mistura rápida para dispersá-los, e mistura lenta para promover a formação de flocos sedimentáveis em unidades de decantação. Os produtos químicos podem ser aplicados em vários pontos do processo de tratamento, para remoção de matéria orgânica e inorgânica na forma solúvel, ou em suspensão. Podem ser classificados em quatro grandes categorias: cal, sais de alumínio, sais de ferro e polímeros.

A cal é usada quando se pretende principalmente a remoção de fósforo, dureza de cálcio, sólidos em suspensão e turbidez.

O efluente do tratamento com cal apresenta alto pH que, se

requerido pelos processos de jusante, pode ser diminuído através de recarbonatação, para estações de vazão superior 0,2 m³/s, ou por adição de ácido para sistemas menores.

Nos processos de coagulação com cal, esse produto pode ser usado na sua forma anidra - CaO - ou hidratada - Ca(OH)₂ - antes da decantação primária, ou após o tratamento secundário, quando se pratica tratamento avançado. A cal reage com os carbonatos e fosfatos - na forma de ortofosfato - em pH alcalino, o que, além de promover alta remoção de sólidos e de turbidez, reduz bastante a concentração de metais pesados e a população de vírus e bactérias. As reações que se verificam são:

As dosagens requeridas dependem, basicamente, da dureza e da alcalinidade da água, sendo normal dosagens variando entre 200 e 400 mg/l, a pH em torno de 11,0.

O sal de alumínio normalmente utilizado é o sulfato de alumínio - Al₂(SO₄)₃ - que reage tanto com a alcalinidade como com o fósforo, de acordo com as reações abaixo:

O sulfato de alumínio pode ser aplicado antes, durante ou após o tratamento secundário, sendo que a remoção de fósforo é maior quando o coagulante é aplicado durante, ou após o tratamento biológico, uma vez que quase todo o fósforo, nesses pontos, encontra-se na forma de ortofosfato.

A dosagem necessária de sulfato de alumínio, para remoção de fósforo é maior que a estequiometricamente requerida, devido a reação com alcalinidade. Os dados que seguem, publicados por CULP, R.L. et al. (29) (1977), mostram algumas relações importantes, válidas para esgotos domésticos, cabendo dizer que são valores que servem como orientação geral, devendo-se pesquisar em laboratórios, valores práticos.

Redução de P

Relação de peso

necessária	Al:P	Al ₂ (SO ₄) ₃ P	Al ₂ (SO ₄) ₃ : PO ₄ ³⁻
75%	1,2:1	13:1	4,2:1
85%	1,5:1	16:1	5,3:1
95%	2,0:1	22:1	7,2:1

Os sais de ferro, principalmente o cloreto férrico FeCl_3 , são bastante eficientes na remoção de sólidos em suspensão e fósforo dos esgotos. Esses sais, normalmente são dosados conjuntamente com a cal ou hidróxido de sódio, os quais ajudam na produção dos flocos e aumenta o pH da água. As reações do cloreto férrico com a alcalinidade de cálcio e fosfato são:

A efetiva remoção de fósforo é conseguida na faixa de pH entre 4,5 e 5,5. Embora a dosagem estequiométrica de ferro seja 1,8 mg/l Fe para cada mg/l de P, praticamente verifica-se a necessidade de dosagens bem maiores do sal - cerca de 10 mg/l de ferro - para permitir a precipitação de hidróxidos.

Quanto ao uso de polímeros e hidróxidos, esses produtos normalmente são usados como coadjuvante nos processos de coagulação, por propiciarem a formação de flocos mais pesados. A escolha do tipo e da dosagem desses produtos, via de regra é feita por tentativa, apoiado por ensaios de laboratório. Dosagens típicas situam-se na faixa de 0,10 á 0,25 mg/l, em solução de 0,2 à 2,0 %.

Operação

A operação e manutenção dos sistemas de coagulação-sedimentação é complexa por uma série de razões. Em primeiro lugar pelo fato de que o manuseio de produtos químicos é um procedimento que induz a necessidade de adoção de normas rígidas de segurança. Um outro motivo é que os dosadores utilizados necessitam de bastante atenção para garantir o nível de dosagem pré-fixados. Finalmente, como todo equipamento eletromecânico, os dosadores exigem um efetivo programa de manutenção preventiva e corretiva.

Eficiência na remoção de contaminantes

As tabelas 24,25,26 e 27 apresentam dados publicados por CULP, R.L. et al. (29) (1977), relativos a remoção média de vários contaminantes para diversos produtos químicos aplicados em diferentes concentrações. Como pode ser observado, os melhores resultados são alcançados, quando se utiliza cal e cloreto férrico, em conjunto - tabela 27.

A remoção de metais pesados nos sistemas de coagulação-sedimentação química, deve-se à formação de hidróxido desses metais e a eficiência dessa remoção, é proporcional a solubilidade de cada partícula de hidróxido formado, sendo mais alta a valores altos de pH. Como regra geral as concentrações de cada hidróxido metálico no efluente do sistema independe de concentração do metal no influente.

Confiabilidade

Informações sobre confiabilidade do processo de coagulação-sedimentação são apresentadas nas tabelas 28,29,30 e 31, podendo-se observar uma grande variabilidade entre os dados, inclusive entre processos que utilizam os mesmos produtos químicos, o que deve ser tributado às diferenças existentes entre a qualidade dos vários influentes e às diferentes dosagens usadas.

Das tabelas apresentadas pode-se concluir que, os melhores resultados são obtidos, quando se usa combinação de cloreto férrico e cal.

Aplicação em sistema de reuso

A coagulação química é particularmente indicada quando se deseja efluentes com baixos teores de fósforo, de sólidos em suspensão e de DBO, fato que recomenda o processo para vários tipos de reuso e para disposição em águas superficiais. A escolha das coagulantes, bem como dos polímeros ou polieletrólitos, dependerá de cada tipo de reuso e das características de cada estação de tratamento.

Tabela 24 - COAGULAÇÃO - SEDIMENTAÇÃO COM CLORETO FÉRRICO
PORCENTAGENS MÉDIAS DE REMOÇÃO

PARÂMETROS	ORIGEM DOS DADOS					MÉDIA
	A (1)	B (2)	D (1,2)	F (1,2)	K (3)	
DBO (5,20°C)	82	70	30	66		62
DQO	70	72	34	68		61
SÓLIDOS EM SUSPEN-						
SÃO TOTAL	84	92	38	55		67
N-NH ₃	-	-	14			14
FÓSFORO	-	-	49	92	73	71
ALCALINIDADE TOTAL	24	42		41		36
ÓLEOS E GRAXAS	86	95				91
ARSÊNIO	38	59				49
CADMIO	61	75				68
CROMO TOTAL	80	94				87
COBRE	91	90				91
FLUOR	x	x				x
FERRO	43	x				43
CHUMBO	92	93				93
MERCÚRIO	0	35				18

Tabela 24 - COAGULAÇÃO - SEDIMENTAÇÃO COM CLORETO FÉRRICO
PORCENTAGENS MÉDIAS DE REMOÇÃO (continuação)

PARÂMETROS	ORIGEM DOS DADOS					MÉDIA
	A (1)	B (2)	D (1,2)	F (1,2)	K (3)	
SELÊNIO	0	0				0
PRATA	90	88				89
ZINCO	68	76				72
COR	82	64				73
SURFACTANTES	42	x				42
TURBIDEZ	94	81				88
CARBONO ORGANI-						66
CO TOTAL	69	69		59		
MANGANÊS	+	+				+

DBO (5,20°C) = Demanda Bioquímica de Oxigênio (5 dias, 20°C)

DQO = Demanda Química de Oxigênio

N-NH₃ = Nitrogênio amoniacal

(1) = Tratamento primário

(2) = com adição de polímero

(3) = Pickle líquido adicionado no decantador secundário

SÍMBOLOS:

(X): dados não conclusivos

(-): dados insuficientes

(+): experiência em andamento

(0): remoção não significativa

FONTE: Referência 29

Tabela 25 - COAGULAÇÃO - SEDIMENTAÇÃO COM CAL - PORCENTAGENS
MÉDIAS DE REMOÇÃO

PARÂMETROS	*	ORIGEM DOS DADOS					MÉDIA
		A	B	J (1)	L (1)	H (2)	
DBO (5,20°C)	80-81	X	45	50		64	53
DQO	81	31	32	64	62	69	52
SÓLIDOS EM SUSPEN-							
SÃO TOTAL	88-90	67	72	44		77	65
N-NH3	30	-			21	23	22
FÓSFORO	95-98	-		87	99	88	91
ALCALINIDADE TOTAL		X	+	+			X
ÓLEOS E GRAXAS		34	45				40
ARSÊNIO	30	0	0		19		6
BÁRIO	37	-	-		61		61
CÁDmio	95	0	0		90		30
CRÔMO TOTAL	11-97	34	60		75		56
COBRE	84-97	41	51		73		55
FLUOR	3	48	52		-		50
FERRO	40	95	97		89	67	87
CHUMBO	97	27	25		81		44
MERCÚRIO		0	0		0		0

Tabela 25 - COAGULAÇÃO - SEDIMENTAÇÃO COM CAL - PORCENTAGENS
MÉDIAS DE REMOÇÃO (continuação)

ORIGEM DOS DADOS							
PARÂMETROS	*	A	B	J (1)	L (1)	H (2)	MÉDIA
SELÊNIO	16	0	0		0		0
PRATA	92-97	24	39		84		49
ZINCO	90-98	83	86		64		78
COR		61	35	43			46
SURFACTANTES		24	53				39
TURBIDEZ		+	56	46	98		67
CARBONO ORGÂNICO-							
CO TOTAL	78	18	29	56	51	66	
MANGANÊS	87-96	92	91		95		93

DBO (5,20°C) = Demanda Bioquímica de Oxigênio (5 dias, 20°C)

DQO = Demanda Química de Oxigênio

N-NH₃ = Nitrogênio amoniacal

(1) = Com adição de polímero

(2) = tratamento precedente à Nitrificação-Desnitrificação

SÍMBOLOS:

(*) = remoção típica em literatura

(X) = dados não conclusivos

(-) = dados insuficientes

(0) = remoção não significativa

FONTE: Referência 29

**Tabela 26 - COAGULAÇÃO - SEDIMENTAÇÃO COM SULFATO DE ALUMÍNIO -
PORCENTAGENS MÉDIAS DE REMOÇÃO**

PARÂMETROS	*	ORIGEM DOS DADOS			MÉDIA
		A (1)	B (1)	N (2)	
DBO (5,20°C)		80	72		76
DQO	85	71	67		69
SÓLIDOS EM SUSPENSÃO TOTAL		81	85		83
FÓSFORO				78	
ALCALINIDADE TOTAL		13	19		16
ÓLEOS E GRAXAS		91	87		89
ARSÊNIO		32	54		83
CÁDMIO		68	76		72
CROMO	23-89	81	90		86
COBRE	89	82	90		86
FLUOR		46	42		44
FERRO		84	81		83
CHUMBO	92	88	92		90
MERCÚRIO		29	19		24
SELÊNIO		0	0		0
PRATA		90	88		89

Tabela 26 - COAGULAÇÃO - SEDIMENTAÇÃO COM SULFATO DE ALUMÍNIO -
PORCENTAGENS MÉDIAS DE REMOÇÃO (continuação)

PARÂMETROS	*	ORIGEM DOS DADOS			MÉDIA
		A (1)	B (1)	N (2)	
ZINCO	35	82	77		80
COR		84	59		72
SURFACTANTES		57	52		55
TURBIDEZ		87	85		86
CARBONO ORGÂNICO TOTAL	83	54	67		51
MANGANÊS		37	43		40

DBO (5,20°C) = Demanda Bioquímica de Oxigênio (5 dias, 20°C)

DQO = Demanda Química de Oxigênio

(1) = Coagulação com Sulfato de Alumínio funciona como
tratamento primário

(2) = Sulfato de Alumínio dosado ao efluente dos biodiscos

SÍMBOLOS:

(*) = remoção típica publicada em literatura

(0) = remoção não significativa

FONTE: Referência 29

Tabela 27 - COAGULAÇÃO - SEDIMENTAÇÃO COM CAL E CLORETO FÉRRICO -
PORCENTAGENS MÉDIAS DE REMOÇÃO

PARÂMETROS	ORIGEM DOS DADOS		
	F 1	F 2	MÉDIA
DBO (5,20°C)	84	77	81
DQO	82	79	81
SÓLIDOS EM SUSPENSÃO TOTAL	92	89	91
FÓSFORO	98	93	96
ALCALINIDADE TOTAL	79	58	69
CARBONO ORGÂNICO TOTAL	76	70	73

DBO (5,20°C) = Demanda Bioquímica de Oxigênio (5 dias, 20°C)

DQO = Demanda Química de Oxigênio

1 = Dosagem média de cal, 424 á 492 mg/l, como Ca O; dosagem média de cloreto férrico, 9,1 á 14,1 mg/l; adição de polímeros

2 = Dosagem média de cal, 327 á 467 mg/l, como Ca O; dosagem média de cloreto férrico, 18,5 á 19,6 mg/l.

FONTE: Referência 29

Tabela 28 - COAGULAÇÃO - SEDIMENTAÇÃO (COM ADIÇÃO DE CLORETO FÉRRICO) CONFIABILIDADE E MÉDIA DO PROCESSO (VALORES EM PORCENTAGEM DE REMOÇÃO)

PARÂMETROS	ORIGEM DOS DADO																		MÉDIA	
	A			B			D1			F1			L							
	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%		
DBO (5,20)	95	85	66	90	72	38	84	28	3	95	63	42						91	62	37
DQO	86	72	53	88	72	50	49	36	15	95	64	50						80	61	42
SST	94	89	76	99	93	82	63	38	10	97	37	22						88	64	48
N-NH3							42	10	0									42	10	0
FÓSFORO							67	53	21	99	95	77	94	80	48			87	76	49
ALCALINIDADE TOTAL	56	19	1	80	37	20				52	43	11						84	79	59
ÓLEOS E GRAXAS	100	96	80	99	97	86												100	97	83
ARSÊNIO	82	29	0	88	50	35												85	40	18
CÁDMIO	85	67	2	90	81	50												88	74	26
CROMO	93	86	39	99	96	86												96	91	63
COBRE	98	94	72	97	92	76												98	93	74
FERRO	99	39	0															99	39	0
CHUMBO	99	94	80	98	95	81												99	95	81
MERCÚRIO	0	0	0	89	26	0												45	13	0
SELÊNIO	0	0	0	0	0	0												0	0	0
PRATA	99	94	69	97	92	74												98	93	72
ZINCO	86	66	43	93	76	55												90	71	49
COR	96	83	69	89	69	19												93	76	44
AGENTES TENSO ATIVOS	-	46	-															-	46	-
TURBIDEZ	96	94	91	89	82	69												93	88	25
CARBONO ORGÂNICO TOTAL	82	74	16	84	77	32				93	61	26						86	71	25

1 - ADIÇÃO DE POLÍMEROS

FONTE: Referência 28

SÍMBOLOS: - DADOS INSUFICIENTES

0 REMOÇÃO NÃO SIGNIFICATIVA

**Tabela 29 - COAGULAÇÃO - SEDIMENTAÇÃO (COM ADIÇÃO DE CAL) CONFIABILIDADE E MÉDIA
PROCESSO (VALORES EM PORCENTAGEM DE REMOÇÃO)**

PARÂMETROS	ORIGEM DOS DADOS																	
	A1			B1			H2			J2			L2			MÉDIA		
	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%
DBO (5,20)				69	43	16	98	64	52	76	47	30				74	51	33
DQO	55	27	7	61	30	9	79	70	61	82	64	47	71	64	53	70	51	35
SST	88	76	24	83	72	58	96	87	52	85	43	2				88	70	34
N-NH3							36	24	14				41	20	9	39	22	12
FÓSFORO							94	91	82	97	92	72	99	99	98	97	94	84
ALCALINIDADE TOTAL																		
ÓLEOS E GRAXAS	93	22	0	96	40	0										95	31	0
ARSÊNIO	0	0	0	0	0	0							94	5	0	31	2	0
BÁRIO													70	62	50	70	62	50
CÁDMIO	0	0	0	0	0	0							98	91	82	33	30	27
CROMO	63	29	2	86	64	24							92	72	52	80	55	26
COBRE	84	38	0	78	55	14							87	74	60	55	56	25
FLUORETO	-	45	-	62	55	12										62	55	12
FERRO	98	95	66	99	98	89	84	77	37				99	94	82	95	91	74
CHUMBO	68	15	0	60	17	0							96	86	49	75	39	16
MANGANÊS	99	95	65	99	97	80							99	97	84	99	96	76
MERCÚRIO	0	0	0	0	0	0							0	0	0	0	0	0
SELÊNIO	0	0	0	0	0	0							0	0	0	0	0	0
PRATA	0	0	0	74	41	0							98	86	60	57	42	20
ZINCO	97	88	51	97	88	66							98	50	19	97	78	45
COR	100	70	0	75	33	0				81	40	20				85	48	7
AGENTES TENSO ATIVOS	-	20	-	90	63	0										90	63	0
TURBIDEZ				74	57	23				77	44	20	99	98	96	83	66	46
CARBONO ORGÂNICO TOTAL	32	16	4	51	26	5	77	69	57	73	59	31	70	51	97	61	44	27

1 - APÓS A COAGULAÇÃO - SEDIMENTAÇÃO COM CLORETO FÉRRICO

2 - APÓS LODOS ATIVADOS

SÍMBOLOS : - DADOS INSUFICIENTES

0 REMOÇÃO NÃO SIGNIFICATIVAS

FONTE: Referência 28

Tabela 30 - COAGULAÇÃO - SEDIMENTAÇÃO (COM SULFATO DE ALUMÍNIO)
 CONFIABILIDADE E MÉDIA DO PROCESSO
 (VALORES EM PORCENTAGEM DE REMOÇÃO)

	ORIGEM DOS DADOS											
	A1			B1			N2			MÉDIA		
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
PARÂMETROS	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%
DBO (5,200)	95	85	60	94	78	54				95	82	57
DQO	83	71	59	87	72	46				85	72	53
SST	91	81	69	97	91	73				94	86	78
FÓSFORO							88	82	67			
ALCALINIDADE												
TOTAL	21	13	2	40	14	4				32	14	3
ÓLEOS E GRAXAS	99	94	71	99	95	59				99	95	65
ARSÊNICO	84	16	0	88	50	3				86	33	2
CÁDMIO	89	70	20	90	80	50				90	75	35
CROMO	93	83	47	98	92	79				96	88	63
COBRE	96	90	29	96	92	79				96	91	59
FLUORETO	-	38	-	87	40	15				87	40	15
FERRO	97	82	70	98	90	48				98	86	59
CHUMBO	98	92	60	98	93	82				98	93	71
MANGANES	79	28	15	69	41	16				74	35	16
MERCÚRIO	83	9	0	55	6	0				69	8	0
SELÊNIO	0	0	0	0	0	0				0	0	0
PRATA	98	90	79	95	91	74				97	91	77
ZINCO	93	82	71	92	77	55				93	80	63

Tabela 30 - COAGULAÇÃO - SEDIMENTAÇÃO (COM SULFATO DE ALUMÍNIO)
 CONFIABILIDADE E MÉDIA DO PROCESSO (continuação)
 (VALORES EM PORCENTAGEM DE REMOÇÃO)

	ORIGEM DOS DADOS											
	A1			B1			N2			MÉDIA		
PARÂMETROS	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%
COR	100	83	70	89	64	20				95	74	45
AGENTES												
TENSO ATIVOS	-	58	-	-	74	-				-	66	-
TURBIDEZ	94	87	80	94	81	71				91	84	76
CARBONO ORGÂNICO TOTAL												
NICO TOTAL	77	66	0	83	68	37				80	67	19

1 - Após o tratamento primário												
2 - Sulfato de Alumínio dosado no efluente dos discos biológicos, antes da decantação secundária												

Tabela 31 - COAGULAÇÃO - SEDIMENTAÇÃO (COM ADIÇÃO DE CLORETO FÉRRICO E CAL) CONFIABILIDADE E MÉDIA DO PROCESSO (VALORES EM PORCENTAGEM DE REMOÇÃO)

	ORIGEM DOS DADOS								
	F1			F2			MÉDIA		
PARÂMETROS	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%
DBO (5,200)	93	87	74	90	82	63	92	85	69
DQO	91	85	73	87	84	71	89	85	72
SST	98	96	87	97	93	80	98	95	84
FÓSFORO	99	98	96	98	94	89	99	96	93
ALCALINIDADE									
TOTAL	89	79	72	80	60	42	85	70	57
CARBONO ORGÂNICO									
CO TOTAL	88	82	53	82	74	38	85	78	64

1 - DOSAGENS MÉDIAS:

para a Cal :- 424 á 492 mg/l como CaO

para o Cloreto Férrico :- 9,1 á 14,1 mg/l com adição de polímero

2 - DOSAGENS MÉDIAS:

para a Cal :- 327 á 467 mg/l como CaO

para o Cloreto Férrico :- 18,5 á 19,6 mg/l

FONTE: Referência 28

FILTRAÇÃO

Descrição do Processo

A filtração consiste na passagem do esgoto através de leito de material granular para remoção de sólidos, o que exige eventuais lavagens com água em contra corrente para remoção do material retido.

É um processo chave na produção de efluente de alta qualidade, combinando mecanismos físicos e químicos de remoção de sólidos, sendo por isso normalmente usado como uma etapa final, imediatamente antes da desinfecção e da disposição final ou reuso. Para determinados usos da água, a filtração pode preceder a alguns processos mais avançados, tais como adsorção em carvão ativo e troca iônica.

A filtração originalmente foi desenvolvida como um processo unitário para ser empregado na potabilização de água, revelando-se bastante efetiva na remoção de material em suspensão, minerais e outros constituintes que normalmente tornam a água impalatável. Nos primórdios de sua utilização como um dos processos unitários de tratamento de efluentes, eram adotadas as mesmas técnicas e parâmetros usados no tratamento de água, procedimento este que logo mostrou-se inadequado devido às diferentes características entre água e esgoto, bem como entre os diversos tipos de efluentes. Este fato, propiciou o

desenvolvimento de uma série de modificações no processo e o surgimento de um grande número de equipamento.

Na maioria dos processos de filtração, utilizam-se leitos granulares para remoção das impurezas do esgoto. A remoção das partículas em suspensão, é um processo desenvolvido em duas etapas: o transporte das partículas até a interface sólido-líquido do grão do material que constitui o leito, ou a uma outra partícula previamente retida, seguido da captura e adsorção da partícula nessa superfície. A eficiência da filtração depende, fundamentalmente, do tamanho e da resistência dos flocos formados nos processos que procedem a filtração. Flocos de lodos ativados, formados depois de pelo menos 10 horas de aeração, são facilmente removidos enquanto que flocos provenientes de filtros biológicos e de processos químicos de coagulação-floculação, via de regra são mais frágeis, de remoção mais difícil, exigindo muitas vezes o concurso de coadjuvantes de filtração, os quais aumentam a resistência do floco e a performance do filtro.

Existem diversas maneiras de classificação dos filtros e que serão discutidas com mais detalhe adiante. Entretanto, é importante neste momento, adiantar que um dos critérios de classificação desses equipamentos, é quanto a forma como exerce o ato de filtrar. Existem aqueles cuja ação se verifica apenas na superfície do elemento filtrante, como as micropeneiras por exemplo, e aqueles cuja ação se dá em todo o volume do elemento filtrante. Em tratamento de águas residuárias, utilizam-se

filtros da segunda categoria, ficando estabelecido, por esse motivo, que todas as considerações tecidas neste ítem, a respeito de filtração, referem-se a essa categoria de filtro.

As variáveis mais importantes, que influenciam a performance dos filtros, são características do material a ser retido e que estão presentes no influente do filtro, além do tamanho e a graduação do meio filtrante. Com relação as características do material a ser retido é importante sua caracterização, bem como o tamanho das partículas e a resistência do floco, como já foi dito.

O meio filtrante mais utilizado é a areia, entretanto, esse material apresenta um inconveniente: ao se fazer a lavagem de um filtro de areia, em contra corrente, as partículas mais finas dessa areia migram para a superfície do leito, causando um "entupimento" no filtro, o que faz com que o meio filtrante perca uma parcela de sua capacidade de filtrar por ação do volume do leito, aumentando sua ação de superfície. Para contornar esse problema foram desenvolvidos os filtros de dupla e, até de múltiplas camadas, onde as superiores são constituídas de materiais com granulometria grande, porém leves, enquanto que as inferiores são constituídas de materiais de granulometria menor, porém mais pesados. Esse arranjo aumenta a capacidade volumétrica de filtrar, do leito filtrante conseguindo-se maiores taxas de filtração.

São bastante conhecidas as combinações antracito-areia; carvão ativado-areia, resina-areia, resina-antracito,

antracito-areia-granada; carvão ativado-antracito-areia; carvão ativado-areia-granada. Com relação a espessura da camada, tamanho efetivo e coeficiente de uniformidade, Met Calf & Eddy (57) (1985) recomendam os valores relacionados nas tabelas 32 e 33.

Tabela 32 - Dados típicos de filtros de duplas camadas

		VALOR	
CARACTERÍSTICAS		INTERVALO	TÍPICO
DUPLA CAMADAS			
ANTRACITO:			
Profundidade, (cm)		20 - 60	45
Tamanho efetivo, (mm)		0,8 - 2,0	1,2
Coeficiente uniformidade		1,4 - 1,8	1,5
AREIA:			
Profundidade, (cm)		25 - 60	30
Tamanho efetivo, (mm)		0,3 - 0,8	0,5
Coeficiente uniformidade		1,2 - 1,6	1,4
CARGA DO FILTRO (m ³ /m ² dia)		115,2 - 576	336

FONTE: Referência 57

Tabela 33 - Dados Típicos de filtros de camadas múltiplas

CARACTERÍSTICAS	VALOR	
	INTERVALO	TÍPICO
MÚLTIPLAS CAMADAS		
ANTRACITO:		
Profundidade, (cm)	20 - 50	38
Tamanho efetivo, (mm)	1,0 - 2,0	1,4
Coeficiente uniformidade	1,4 - 1,8	1,5
AREIA:		
Profundidade, (cm)	20 - 40	30
Tamanho efetivo, (mm)	0,4 - 0,8	0,6
Coeficiente uniformidade	1,2 - 1,6	1,4
GRANADA:		
Profundidade, (cm)	5 - 10	7,5
Tamanho efetivo, (mm)	0,2 - 0,6	0,3
Coeficiente de uniformidade		1,0
CARGA DO FILTRO (m3/m2 dia)	115,2 - 596	336

FONTE: Referência 57

Quanto a classificação dos filtros existem várias formas de fazê-lo, ou seja:

- de acordo com o sentido do fluxo: ascendente, descendente, duplo sentido, fluxo radical e fluxo horizontal;
- de acordo o material que constitue seu leito, já referido anteriormente;
- de acordo com a taxa de filtração, por este critério, os filtros podem ser classificados em lentos, rápidos e de altas taxas, conforme tabela 34.

Tabela 34 - Classificação dos filtros por taxa de filtração

TIPO DE FILTRO	TAXA (m ³ /m ² .dia)
Filtros Lentos	7,3 - 19,0
Filtros Rápidos	146,5 - 293,0
Filtros de Altas Taxas	439,5 - 2.197,8

FONTE: Referência 29

- filtros de pressão ou a gravidade: normalmente os filtros de pressão são metálicos e os de gravidade podem ser de alvenaria e também metálicos.

A escolha do tipo de filtro normalmente é determinada pela relação entre a filtração com os demais processos e pelo espaço disponível.

Operação

As unidades de filtração requerem atenção e cuidados especiais,

além de manutenção rotineira. Por outro lado, sua operação pode ser completamente automatizada, embora o processo de lavagem em contra corrente seja normalmente efetuado de forma não automática, requerendo bastante atenção, inclusive para evitar perda de material do leito filtrante.

Um aspecto importante a ser considerado diz respeito a performance dos processos que precedem a filtração. A vida útil de um filtro é altamente dependente desses processos.

Eficiência do processo na remoção de contaminantes

De acordo com CULP, G. et al. (28) (1980), a eficiência na remoção de contaminantes depende basicamente dos processos de tratamento de montante e das características do meio filtrante. Segundo esses autores, efluentes de sistemas de lodos ativados após a filtração apresentam teores entre 3,0 á 10,0 mg/l de sólidos em suspensão enquanto que efluentes de filtros biológicos de dois estágios e de filtros biológicos de altas taxas ao serem filtrados, apresentam teores de 6,0 á 15,0 mg/l e de 10,0 á 20,0 mg/l de sólidos em suspensão, respectivamente.

Confiabilidade do processo

Como foi dito anteriormente, o desempenho de um filtro depende dos processos que o antecede. Por esse motivo ao se estudar a confiabilidade dessas unidades, é necessário conhecer os processos precedentes, bem como as rotinas operacionais dos

filtros, suas frequências de lavagem, tempo de lavagem, etc.

Os dados da tabela 35 representam a confiabilidade média de um ano de observação dos seguintes sistemas de tratamento de esgoto: El Lago (Texas); Dallas (Texas); Colorado Springs (Colorado) e Tahoe-Truckee Sanitation Agency (California). Esses sistemas, já caracterizados no Quadro 09, são dotados de filtros de camadas múltiplas.

Tabela 35 - FILTRAÇÃO DE EFLUENTES DE SISTEMAS DE TRATAMENTO BIOLÓGICO-REMOÇÃO PERCENTUAL (DADOS MÉDIOS)

PARÂMETRO	MÉDIA		
	10%	50%	90%
DBO (5,20)	69	46	15
DQO	58	33	14
SST	96	81	41
N-NH 3	68	34	0
N-NO 3	99	52	5
FÓSFORO	98	87	34
ALCALINIDADE TOTAL	93	85	70
ARSÊNIO	100	64	30
CÁDMIO	68	22	0

Tabela 35 - FILTRAÇÃO DE EFLUENTES DE SISTEMAS DE TRATAMENTO BIOLÓGICO-REMOÇÃO PERCENTUAL (DADOS MÉDIOS) (continuação)

PARÂMETRO	MÉDIA		
	10%	50%	90%
CROMO TOTAL	82	50	20
FERRO	76	55	30
CHUMBO	50	10	3
MANGANÊS	89	84	56
MERCÚRIO	98	17	0
SELÊNIO	100	100	43
COR	49	29	14
TURBIDEZ	89	76	47
CARBONO ORGÂNICO TOTAL	47	28	15

DBO (5,20) = Demanda Bioquímica de Oxigênio (5 dias, 20 °C)

DQO = Demanda Química de Oxigênio

SST = Sólidos em Suspensão Totais

FONTE: Adaptado da referência 28

Com relação a tabela 36 os dados também adaptados da mesma obra (28), representam a confiabilidade média de um ano de observação dos sistemas de tratamento de Rosemont (Minnesota), Blue Plains (Washington D.C.) e Orange County (California) dotados de filtros de camadas múltiplas e caracterizados no Quadro 09.

Tabela 36 - FILTRAÇÃO DE EFLUENTES DE SISTEMAS DE TRATAMENTO
FÍSICO-QUÍMICO-REMOÇÃO PERCENTUAL (DADOS MÉDIOS)

PARÂMETRO	MÉDIA		
	10%	50%	90%
DBO (5,20)	66	43	6
DQO	41	20	4
SST	74	46	18
ARSÊNIO	0	0	0
BÁRIO	57	16	3
CÁDMIO	64	38	10
CROMO TOTAL	30	9	1
COBRE	83	21	4
CHUMBO	63	22	0

Tabela 36 - FILTRAÇÃO DE EFLUENTES DE SISTEMAS DE TRATAMENTO
FÍSICO-QUÍMICO-REMOÇÃO PERCENTUAL (DADOS MÉDIOS)
(continuação)

PARÂMETRO	MÉDIA		
	10%	50%	90%
MERCÚRIO	0	0	0
SELÊNIO	0	0	0
TURBIDEZ	59	32	5
CARBONO ORGÂNICO TOTAL	58	21	1

DBO (5,20) = Demanda Bioquímica de Oxigênio (5 dias, 20 C)

DQO = Demanda Química de Oxigênio

SST = Sólidos em Suspensão Totais

FONTE: Adaptado da referência 28

Aplicação em sistema de reuso

Trata-se de um processo fundamental, caso se deseja obter água com alta qualidade. Normalmente é usado como processo final, antecedendo a desinfecção, com ou sem auxílio de coadjuvantes de filtração.

ADSORÇÃO EM CARVÃO ATIVO

- Descrição do Processo

Carvão ativado é utilizado no tratamento avançado de esgotos para remoção de materiais orgânicos solúveis que não são eliminados nos tratamentos anteriores. Essas substâncias orgânicas, ditas refratárias, são passíveis de serem adsorvidas na superfície dos poros das partículas de carvão, até que sua capacidade de adsorção se exaure sendo necessária sua regeneração ou reativação. Essa regeneração, ou reativação de carvão, é feita através do seu aquecimento, o que volatiliza o material orgânico adsorvido, tornando os poros do carvão livres e, dessa forma, regenerado.

Não existem restrições para indicação do processo do carvão ativado, em nenhuma instalação havendo, entretanto, diferenças de projeto em função do porte dessas instalações. Quanto a forma de aplicação, existem duas maneiras de aplicação: sob forma granular ou em pó. A primeira é a mais utilizada em tratamento avançado de esgotos, embora hajam pesquisas em andamento para a aplicação sob a forma pulverizada.

Segundo MORRIS, J.C. (63) (1983) quando se utiliza carvão ativado em pó, este é adicionado diretamente à água, que é submetida a agitação à decantação e a filtração. Esse processo é particularmente indicado para redução de gosto e odor, não sendo

necessários grandes investimentos.

Por outro lado, quando grandes quantidades de matéria orgânica precisam ser removidas, como no tratamento de efluentes dos esgotos pré-tratados, o uso de carvão ativado em pó não é econômico dada as grandes quantidades necessárias, sendo indicados para estes casos, carvão ativado granular, sob forma de leitos ou de colunas, através dos quais, a água passa de cima para baixo ou em sentido inverso.

O uso do carvão ativado nessas condições contorna o problema da lentidão de reação, porque as taxas de aplicação utilizados nessa método são bastante altas.

Águas com concentrações altas de poluentes orgânicos, como efluentes secundários ou despejos industriais, exigem leitos ou colunas com grande profundidade - da ordem de 3 a 10 m - como é o caso de algumas cidades da Alemanha que utilizam água do Rio Reno. Para o controle de problemas organolépticos em águas de abastecimento, normalmente são usados leitos de 0,5 a 1,0 m de altura de carvão ativado granular.

Nos sistemas de tratamento avançado, a adsorção em carvão ativado geralmente vem após a filtração e, às vezes, à cloração ao breakpoint, pelo fato de que partículas de material em suspensão obstruem os poros do carvão e a cloração ao breakpoint minimiza a possibilidade de crescimento de bactérias anaeróbicas no carvão. Além disso o carvão ativado reduz cloro residual, evitando a

necessidade de decloração.

Finalmente, como uma alternativa para o entupimento das colunas é conveniente se fazer o fluxo da água debaixo para cima, injetando-se oxigênio na alimentação para garantir condições aeróbicas.

Operação

As colunas e os leitos de carvão ativado assemelham-se as unidades de filtros e tem os mesmos problemas de operação e manutenção; embora não requeiram lavagem em contra corrente e a regeneração do carvão deve ser feita, na medida em que perde sua capacidade de adsorção.

Eficiência na remoção de contaminantes

Um dos principais meios de medir a eficiência da adsorção por carvão ativado é através do monitoramento da Demanda Química de Oxigênio (DQO) e do Carbono Orgânico Total (TOC), o que pode ser visto na tabela 37 adaptado de CULP, R.L. et al. (29) (1977). A origem dos dados é identificada no Quadro 09, enquanto que os índices numéricos referem-se a:

- 1 : Remoção combinada com coagulação (sulfato de alumínio), filtração e adsorção de efluente de lodos ativados.
- 2 : Remoção combinada com filtração e adsorção de efluente de lodos ativados.
- 3 : Remoção combinada com filtração e adsorção, de efluentes separados de coagulação com sais de ferro e cal.
- 4 : Remoção combinada com filtração e adsorção, do efluente de sistema de coagulação com sulfato de alumínio.
- 5 : Adsorção em dois estágios.
- 6 : Adsorção em colunas de fluxo ascendente, de efluente de filtro.
- 7 : Adsorção em coluna de fluxo ascendente, de efluente de coagulação química.
- 8 : Adsorção em coluna de fluxo descendente, com dois estágios de efluente de filtração.
- 9 : Remoção combinada de adsorção de efluente de sistema de ammonia stripping, com recarbonatação e filtração.
- 10 : Adsorção de efluente de coagulação química, seguido de nitrificação e desnitrificação.

Tabela 37 - Adsorção em carvão ativado : dados de remoção.

Valores expressos em porcentagem de remoção

CONSTI	*	A1	B1	A2	B2	A3	B3	A4	B4	C5	C6	C7	D8	E9	F10	G	MEDIA
TUINTE																	
DQ0	60	60	39	46	47	29	43	61	52	31	42	52	59	41	60	39	47
COT		83	88	62	69	44	51	88	72	x	54	53	58	51		58	64
DB0	85	69	72	48	58	29	42	73	63	36	34	56	56	+		-	53
(5,200)																	
N-NH3		50	32	15	-	-	-	-	-						87	12	39
N-NO3		5	x	-	-	-	-	-	-								5
ATA		0	x	91	73	75	66	76	69								64
FÓSFORO		91	85	-	-	-	-	-	-								88
TURBIDEZ		92	87	57	83	81	67	70	63	+	+	58		x			73

Tabela 37 - Adsorção em carvão ativado : dados de remoção.

Valores expressos em porcentagem de remoção

(continuação)

CONSTI	*	A1	B1	A2	B2	A3	B3	A4	B4	C5	C6	C7	D8	E9	F10	G	MÉDIA
TUINTE																	
COR	90	100	88	76	74	56	20	75	79					65			70
FERRO		88	73	88	89	+	x	59	48					68			73
MANGA-		44	26	+	25	+	x	33	x						+		32
NÊS																	

DQO = Demanda Química de Oxigênio

COT = Carbono Orgânico Total

(20)

DBO (5,20°C) = Demanda Bioquímica de Oxigênio (de 5 dias, 20°C)

N-NH3 = Nitrogênio Amoniacal

N-NO3 = Nitrogênio de Nitratos

ATA = Agente Tenso Ativo

Símbolos = (*) : remoção típica encontrada na literatura

(x) : dados não conclusivos

(-) : dados insuficientes

(+) : experiência em andamento

(0) : remoção não significativa

FONTE : referência (28)

Como pode ser visto, os valores típicos da literatura são normalmente mais altos que os obtidos pelas diversas entidades, o que se deve às diversas operações unitárias envolvidas. Quanto aos metais pesados, a remoção é altamente variável sendo a concentração do efluente proporcional a do influente.

Confiabilidade do Processo

A confiabilidade do processo de adsorção em carvão ativado, expressa em termos de remoção nos percentis 10, 50 e 90, é apresentada na tabela 38. Como a filtração, a confiabilidade desse processo é altamente variável e, muito dos dados apresentados na tabela, não se refere à adsorção isoladamente. Assim sendo, os dados referentes a Rosemont - Minnesota, Blue Plains - Washington DC e Colorado Springs - Colorado dão um quadro mais realista da confiabilidade desse processo, por apresentarem menor número de operações envolvidas.

Nessa tabela as letras A, B, etc referem-se as mesmas entidades da tabela 37, o mesmo podendo-se dizer para os números 1, 2, ..., 10.

TABELA 38 - ADSORÇÃO EM CARVÃO ATIVADO - CONFIABILIDADE MÉDIA DO PROCESSO
PROCEDÊNCIA DOS DADOS

CONSTITUINTE	A1			B1			A2			B2			A3			B3		
	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%
DQO	93	62	21	87	36	8	70	42	21	85	41	11	56	26	14	82	37	17
COT	-	83	-	95	88	76	82	62	39	85	74	40	65	39	24	72	50	21
DBO(5)	95	69	38	93	76	55	79	42	19	88	55	27	71	25	3	85	30	6
N-NH3	93	46	0	68	20	7	40	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
ATA	0	0	0	0	0	0	-	90	-	99	92	0	-	88	-	98	77	0
FÓSFORO	99	95	81	98	91	71	99	99	94	99	98	95	100	99	95	99	99	97
TURBIDEZ	97	94	84	93	91	72	82	62	26	92	88	69	91	84	64	90	75	13
COR	100	100	100	100	100	60	100	80	27	100	83	20	100	80	0	62	5	0
FERRO	-	89	-	94	82	26	100	91	63	98	94	63	+	+	+	+	+	+
MANGANÊS	88	44	1	45	23	8	+	+	+	73	16	5	+	+	+	+	+	+

CONSTITUINTE	A4			B4			C5			C6			C7			D8		
	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%
DQO	87	63	28	84	55	24	54	31	11	66	39	19	68	55	34	77	64	36
COT	99	87	74	86	75	43	X	X	X	82	50	32	65	48	31	77	64	45
DBO(5, 20 C)	94	83	24	91	63	12	62	39	11	48	35	13	76	58	34	81	64	20
N-NH3	10	10	10	10	10	10	32	15	0	63	16	3						
ATA	-	83	-	97	86	0												
FÓSFORO	10	10	10	10	10	10	100	97	90	99	98	92						
TURBIDEZ	86	78	48	86	75	18	+	+	+	+	+	+	78	62	38			
COR	100	100	0	100	83	39												
FERRO	84	77	5	75	46	16												
MANGANÊS	-	17	-	48	13	4												

CONTINUA

TABELA 38 - ADSORÇÃO EM CARVÃO ATIVADO - CONFIABILIDADE MÉDIA DO PROCESSO
PROCEDÊNCIA DOS DADOS (continuação)

CONSTITUINTE	E9			F18			G			MÉDIA		
	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%
DQO	59	42	25	81	63	43	56	39	17	74	46	22
COT	80	50	25				67	58	48	80	62	42
DBO (5.20 C)	+	+	+				-	-	-	80	60	22
N-NH3				99	89	79	24	24	2	48	26	10
ATA										59	51	0
FÓSFORO	+	+	+							99	97	89
TURBIDEZ	X	X	X							89	79	48
CCR	84	67	37							94	78	31
FERRO				97	85	17				91	79	32
MANGANÊS				+	+	+	+	+	+	64	24	5

SÍMBOLOS : X dados inconclusivos + experiência em andamento
 - dados insuficientes o remoção não significativa

FONTE: Referência 28

Aplicação em Sistemas de Reuso

Adsorção em carvão ativado é usada onde se requer tratamento em alto grau, podendo ser indicado para sistemas de qualquer porte, tratando toda ou parte da vazão. Seu uso tem sido adotado em diversas fases do tratamento, como por exemplo após o tratamento biológico para remoção de matéria orgânica, ou após tratamento físico químico por coagulação - sedimentação e filtração, que remove o material que poderia obstruir seus poros. Este último arranjo é particularmente indicado para remoção de poluição industrial, inibidora do tratamento biológico.

A utilização de carvão em pó é adotada em várias situações, sendo bastante usada em sistemas onde sua aplicação não foi pensada a nível de projeto, pois com pequenas adaptações é possível sua implantação. Por esse motivo tem sido bastante encontrado em sistemas de tratamento biológicos por lodos ativados, objetivando minimizar a interferência de substâncias tóxicas nesse processo.

Em contrapartida, seu alto custo operacional torna-o não competitivo com os sistemas de tratamento avançado, que usam leitos ou torres de carvão granular, em que pese a necessidade de regeneração desse carvão a temperaturas de 199 °C e 243 °C e pressões de 51 kg*/cm² a 55 kg*/cm².

OZONIZAÇÃO

Descrição do Processo

A ozonização é amplamente usada na Europa nos processos de desinfecção de água potável e, atualmente seu uso, em tratamento de esgoto vem aumentando rapidamente. Somente nesse continente, existem cerca de 1.000 instalações, enquanto no Canadá, cerca de 30 (28).

Além do seu alto poder oxidante (tabela 39) é um poderoso desinfetante de ação não seletiva e bastante instável, decompondo-se rapidamente pela ação do calor devido a fraca ligação entre átomos de oxigênio na sua molécula.

Tabela 39 - Poder de oxidação relativa de vários oxidantes

ESPÉCIE	POTENCIAL DE OXIDAÇÃO (V)	PODER DE OXIDAÇÃO RELATIVA (*)
radical hidróxido	2,80	2,05
oxigênio atômico	2,42	1,78
ozona	2,07	1,52
peróxido de hidrogênio	1,77	1,30
radicais peridróxidos	1,70	1,25
ácido hipocloroso	1,49	1,10
cloro	1,36	1,00

(*) Referência adotada: cloro

FONTE: RICE, G. R. (79) (1981)

No caso de tratamento de águas residuárias, sua instabilidade tem um aspecto positivo, que é acrescentar oxigênio dissolvido na água, entretanto essa mesma característica tem conotação negativa, por não permitir sua estocagem, exigindo sua geração junto ao ponto de aplicação e por não persistir na água sob forma residual.

Embora existam vários métodos de obtenção de ozona, o mais viável é sua produção através de descargas elétricas em ar seco ou oxigênio. Imediatamente após sua produção, o ozona é emulsificado na água ou esgotos sendo que essa operação é muito bem sucedida, quando são utilizados difusores porosos.

Operação

A operação de equipamentos de ozonização é menos flexível do que os equipamentos de cloração, principalmente no que se refere aos ajustes que devem ser feitos em função das variações de vazão e de qualidade da água ou esgoto.

Eficiência do processo na remoção de contaminantes

O forte poder oxidante do ozona torna-o bastante efetivo como germicida destruindo virtualmente 100% de vírus, bactérias e outros patógenos presentes no esgoto dependendo do grau de pré-tratamento, dose e tempo de contato. A literatura consultada (28) menciona 99% de remoção de coliformes fecais, aplicando-se uma dosagem média de 15,2 mg/l de ozona no efluente do sistema de

aeração prolongada dos esgotos de Louisville, Kentucky.

Quanto a remoção de outros elementos, MARTIN, G.& ELMGHARI TABIB, M. (53) (1982) apresentam um quadro que resume informações de diversos pesquisadores e que transcrevemos na tabela 40. Embora essa tabela não faça referência, o ozona é particularmente indicado na remoção de gosto, odor, algas e compostos húmicos.

Finalmente é interessante citar o aumento da eficiência na remoção de vários contaminantes devido aos sinergismo existente entre ozona e ultrasom e ozona e luz ultravioleta na remoção de vários contaminantes, conforme pode ser encontrado nos trabalhos de DAHI, E. (30) (1982) e MASSCHELEIN (54) (1982).

Tabela 40 - REMOÇÃO DE VÁRIOS POLUENTES: RESUMO DE VÁRIOS AUTORES

POLUENTE	TAXA DE APLICAÇÃO (g de O ₃ /m ³)	TEMPO DE CONTATO (s)	PORCENTAGEM DE REMOÇÃO (%)
Material em suspensão	40 11,67 a 17,62	- 800 - 1600	35 36,54 a 64,6
Turbidez	15	-	70
Cor	40 20	- -	90 30
DQO	11,8 a 18 9,1	800 - 1600 540	22,1 a 32,65 20

Tabela 40 - REMOÇÃO DE VÁRIOS POLUENTES: RESUMO DE VÁRIOS AUTORES
(continuação)

POLUENTE	TAXA DE APLICAÇÃO (g de O ₃ /m ³)	TEMPO DE CONTATO (s)	PORCENTAGEM DE REMOÇÃO (%)
DBO(5,20 C)	80	3600	50
	9,1	540	35
COT	15	-	4,3 A 18
Cianetos	6	-	80
Nitritos	60	-	80
Fenóis	10,8	-	93
	25,6 a 28,8	780	77,45 a 89,51
	25	-	80
Surfactantes	30	-	65
	50	-	90 a 100
Biocidas clorados	20	300 a 1200	16,1 a 93

DQO: Demanda Química de Oxigênio

DBO(5,20 C): Demanda Bioquímica de Oxigênio (5 dias, 20 C)

COT: Carbono Orgânico Total

FONTE: Referência 53

Confiabilidade do Processo

Apesar do ozona ser agente desinfetante altamente efetivo, como já foi dito ele não deixa um residual persistente, assim sendo, para garantir recontaminações é usual se aplicar cloro após a ozonização.

Aplicações Sistema de Reuso

Em sistemas de reuso, a utilização do ozona é indicada em aplicações onde é desejável altos níveis de desinfecção, incluindo a destruição de virus cloro-resistentes e cistos. Também é indicado, onde se deseja controlar a formação de compostos organo clorados.

OSMOSE REVERSA

Descrição do processo

Quando uma solução com diferentes concentrações de um sal é separada por uma membrana semi permeável, como o celofane por exemplo, a água tende a passar da solução menos concentrada para a de maior concentração, no sentido de igualar as concentrações do sal, caracterizando dessa forma uma diferença de nível entre as duas soluções, o que vale dizer uma diferença de pressão. No equilíbrio, essa diferença entre os dois níveis define a chamada pressão osmótica (π), que é função das concentrações nos dois

lados da membrana.

Exercendo-se uma pressão sobre a solução concentrada maior do que a pressão osmótica, o processo é invertido e haverá passagem de água da solução mais concentrada, para a menos concentrada, caracterizando, dessa forma, o fenômeno osmose reversa.

O comportamento de uma membrana de osmose reversa pode ser descrito por duas equações básicas.

1) Fluxo de água

$$F_{H_2O} = A (p - \Delta \pi) , \text{ onde:}$$

F_{H_2O} = Fluxo de água (em unidades de vazão)

A = constante de permeabilidade para a água

p = diferença de pressão aplicada sobre a membrana

$\Delta \pi$ = diferença de pressão osmótica

2) Fluxo de sal

$$F_s = B (C_1 - C_2) , \text{ onde:}$$

F_s = Fluxo de sal (mg/seg. por exemplo)

B = constante de permeabilidade do sal

$C_1 - C_2$ = gradiente de concentração através da membrana

A e B são características do tipo de membrana

Essas equações mostram que a vazão, ou fluxo de água depende da pressão aplicada enquanto que o fluxo de sal não depende, o que vale a dizer que aumentando-se a pressão aplicada a vazão aumenta, enquanto que o fluxo de sal permanece constante, ou

seja, aumentando-se a vazão, melhora-se a qualidade de água permeada.

Na realidade, na medida em que aumenta o fluxo de água, aumenta como consequência a concentração da água de alimentação, que como já foi visto, aumenta a pressão osmótica resultando numa diminuição na diferença de pressão ($p - \Delta TC$), diminuindo a vazão. Como resultado, tem-se que na medida em que a água vai sendo recuperada, aumenta a salinidade do rejeito, causando uma diminuição na porcentagem de água recuperada.

Por outro lado como a salinidade e, pela segunda relação a porcentagem de remoção do sal pela membrana são fixas, concentração de sal na água produzida também aumenta.

O tipo de membrana mais comum consiste numa modificação do filme de acetato de celulose, concebidas no passado sob forma tubular e em placas e recentemente na forma de fibras ocas ou enroladas em forma de espiral.

Operação

O problema operacional mais sério, que ocorre com um sistema de osmose reversa, é o entupimento por material coloidal e matéria orgânica dissolvida, tornando necessárias lavagens frequentes. Normalmente utiliza-se algum pré tratamento na água para se conseguir melhores resultados desse equipamento.

A operação de unidades de osmose reversa requer cuidadosa vigilância e manutenção frequente.

Eficiência do processo na remoção de contaminantes

A osmose reversa é bastante efetiva na remoção de turbidez, matéria orgânica, vírus, bactérias e sais inorgânicos. A tabela 41 mostra dados de operação da Water Factory 21 (Drange County, California) relatados por CULP, G. et. al (28) (1980).

Neste sistema uma parte do efluente do sistema de tratamento avançado é processada por osmose reversa, misturada com o resto da vazão e injetada no solo.

Tabela 41 - Dados de operação do sistema de osmose reversa de Orange County, California

CONSTITUINTE	CONCENTRAÇÃO MÉDIA		REMOÇÃO MÉDIA (1)
	INFLUENTE	EFLUENTE	%
Condutividade ($\mu\text{mho/cm}$)	1578	97	94
Sódio (mg/l)	215	15	93
Cloreto (mg/l)	284	20	91
Sulfato (mg/l)	253	1,79	99
DQO (mg/l)	29	2,5	89

DQO = Demanda Química de Oxigênio

(1) = Valores calculados durante um mês de operação

FONTE: Referência 28

Em 27 de Abril de 1987, a Dow Produtos Químicos Ltda e a SABESP promoveram a realização de um teste de performance da Unidade Piloto de Dessalinização de Águas por Osmose Reversa da Dow, situada no Centro de Pesquisas e Desenvolvimento de Produtos em Franco da Rocha. O objetivo dos testes era verificar a viabilidade técnico-econômica da utilização dessa tecnologia para eliminação de íon fluoreto de água, procedente de um poço artesiano operado pela SABESP, em Presidente Prudente.

Os resultados do ensaio podem ser observados na tabela 42.

Tabela 42 - Remoção de sais por osmose reversa em água de poço artesiano de Presidente Prudente (temperatura 35 C pH 8,8)

CONSTITUINTE	INFLUENTE	EFLUENTE	REMOÇÃO
SAIS	CONCENTRAÇÃO (mg/l como ION)		%
SST (1)	666	39	94,1
NH ₄ -	0,08	0,0	100,0
K +	2,0	0,2	90,0
Na +	205,0	12,3	94,0
Mg +	6,5	0,2	96,9
Ca +	11,5	0,4	96,5
HCO ₃ -	191,6	12,5	93,5
NO ₃ -	1,3	0,1	92,3
Cl -	134,6	12,2	90,9
F -	11,2	0,4	96,4
SO ₄ --	< 1,0	< 0,4	-
SiO ₂ -	2,0	0,1	95,0

(1) SST = Sólidos em Suspensão Totais

FONTE: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP

Confiabilidade do Processo

Os dados de confiabilidade do processo indicado na tabela 43 mostram uma remoção bastante alta do processo e, pela estreiteza das faixas de variação, um efluente com alta qualidade.

Tabela 43 - Osmose reversa : confiabilidade média do processo

CONSTITUINTE	10%	50%	90%
Condutividade	96	94	91
Sódio	96	94	90
Cloreto	96	93	89
Sulfato	100	100	99
DQO (1)	97	90	82

(1) DQO = Demanda Química de Oxigênio

FONTE: Referência 28

Aplicação em sistemas de reuso

O processo de osmose reversa raramente é utilizado em sistemas convencionais de tratamento de água, como por exemplo, o sistema de Presidente Prudente testado pela SABESP. Entretanto, em sistemas de reuso potável, é bastante indicado.

CLORAÇÃO AO BREAKPOINT

Descrição do processo

No estágio de conhecimento atual não é possível a oxidação direta do nitrogênio amoniacal à nitrogênio gás. Isso somente é possível, de forma química, através de uma reação com cloro denominada "cloração ao breakpoint".

Estequiometricamente nesse processo são necessárias 7,5 partes de Cl_2 para cada parte de nitrogênio amoniacal oxidada, sendo 10:1 a relação prática. Assim sendo, para efluentes de tratamento secundário, são necessários 250 mg/l de Cl_2 para oxidar as 25 mg/l de nitrogênio amoniacal, normalmente presentes nesses efluentes.

Por outro lado, para neutralização dos ácidos formados, tanto na reação de oxidação, quanto na hidrólise do Cl_2 a HOCl são necessários 260 mg/l de Ca(OH)_2 ou 380 mg/l de Carbonato de Sódio para os referidos 250 mg/l de Cl_2 .

Até concentrações de 25 mg/l de nitrogênio amoniacal o breakpoint é atingido relativamente rápido ou seja, 90 % completada em 5 minutos a pH em torno de 7,0 e temperatura próxima de 20 C, o que

implica na necessidade de tanques de contato relativamente pequenos. Normalmente esses tanques são projetados para períodos de contato de 1,0 minuto.

Um problema que deve ser considerado, quando se utiliza a cloração no breakpoint à concentrações de 250 mg/l de Cl₂ e 260 mg/l de Ca(OH)₂, é o aumento de salinidade que corresponde a 400 mg/l e da dureza em cerca de 300 mg/l de CaCO₃, o que pode comprometer os processos unitários subsequentes.

Embora esta técnica seja bastante usada, principalmente no Brasil, em altas concentrações de nitrogênio amoniacal ela pode ser, a longo prazo, bastante onerosa. A literatura consultada (63) indica como limite de concentração econômica, valores da ordem de 2 a 3 mg/l de nitrogênio amoniacal

Operação

Embora haja equipamentos de dosagem de cloro acoplados a analisadores automáticos, que alteram a quantidade dosada em função de um residual pré-fixado, a operação manual ainda é a mais utilizada. Nessas condições o residual deve ser medido a 15 minutos, no sentido de orientar a dosagem.

Do ponto de vista operacional dos sistemas de cloração, a questão de segurança requer bastante atenção, pelo fato de que o cloro é um oxidante bastante enérgico e muito perigoso. Devem ser tomados cuidados especiais desde a fase de projeto e instalação, até no

que diz respeito aos equipamentos de proteção individual e de controle de vazamentos.

Eficiência do processo na remoção de contaminantes

O processo de cloração ao breakpoint pode remover virtualmente todo nitrogênio amoniacal presente nos efluentes de esgoto, embora no ponto de vista econômico não seja indicado para grandes concentrações de nitrogênio amoniacal (28). Por outro lado é um processo operacionalmente bastante flexível, que permite o tratamento de uma parte da vazão total, havendo tendência a sua utilização após o tratamento pelo sistema de " ammonia stripping " como forma de viabilização econômica.

Confiabilidade do Processo

A cloração ao breakpoint é um processo de remoção de nitrogênio altamente confiável, entretanto sua eficiência aumenta na medida em que se aumenta o nível dos tratamentos que o precedem.

Aplicação em sistemas de reuso

Devido a alta eficiência da cloração ao breakpoint na remoção de nitrogênio amoniacal do esgoto, esse sistema é muito utilizado em sistemas que requerem baixos níveis de nitrogênio amoniacal. Pode ser usado sózinho ou após outro sistema de remoção de nitrogênio menos eficiente, como " ammonia stripping " ou troca iônica.

TROCA IÔNICA

- Descrição do Processo

Consiste na troca iônica seletiva dos ions NH_4^+ através de uma resina mineral - a Clinoptilolite - que tem maior afinidade por esse ion do que por Ca^{++} ou Mg^{++} ou Na^+ . A passagem de esgotos domésticos pré decantados e filtrados através de leitos de 2,5 m de altura dessa resina à velocidade de 24 a 30 cm/minuto, tem apresentado remoções de 93 a 97% de NH_4^+ , o que representa uma capacidade efetiva de 6,0 mg de nitrogênio amoniacal por mililitro de resina, correspondendo uma relação de 200 volumes de águas residuárias para cada volume de resina.

A regeneração da Clinoptilolite é feita com solução de NaCl 0,1 M super saturada com $\text{Ca}(\text{OH})_2$. O NH_4^+ é liberado da resina na forma de NH_3 devido ao alto pH da solução. A seguir o NH_3 pode ser removido da solução regeneradora através de " ammonia stripping " , com ar aquecido se necessário, possibilitando um novo uso da solução regeneradora - depois de novamente acrescida de NaCl e $\text{Ca}(\text{OH})_2$ - tornando o sistema dessa forma, isento de efluente líquido.

Operação

A operação de um sistema de troca iônica combina as atividades relativas aos processos de filtração e " ammonia stripping " havendo necessidade de um monitoramento tendo em vista a necessidade de

saber quando há necessidade de regeneração da resina.

Eficiência do processo na remoção de contaminantes

A tabela 44 apresenta dados publicados por CULP, G. et. al (28) (1980), sobre o primeiro mês de operação o sistema de Tahoe-Truckee Sanitation Agency da California, a respeito da eficiência do processo de troca iônica na remoção de contaminantes.

Tabela 44 - Troca Iônica: remoção média de contaminantes

Constituinte	Remoção Percentual
DBO (5)	40
DQO	28
SST	62
N-NH ₃	84
COT	0

DBO(5) = Demanda Bioquímica de Oxigênio (5 dias)

DQO = Demanda Química de Oxigênio

SST = Sólidos em Suspensão Total

N-NH₃ = Nitrogênio Amoniacal

COT = Carbono Orgânico Total

FONTE: Referência 28

Com relação a remoção de nitrogênio amoniacal, a remoção de 84%, produz um efluente cuja concentração média desse constituinte é da ordem de 2,78 mg/l N-NH₃. A instalação em referência é equipada com um sistema de aplicação de cloro ao break-point, de

maneira que todo nitrogênio amoniacal remanescente é removido.

Outros estudos conduzidos por BISHOP, D.F. (15) (1973) e pela EPA (12) (1971) indicam remoções de N-NH₃ da ordem de 74% e 91% respectivamente.

Os estudos mais recentes disponíveis na literatura consultada, são referentes a Estação de Demonstração de Reuso Potável Direto, de Denver. Nesse estudo, JONHS, F. J. et. al (47) (1984) relatam taxas de remoção da ordem 95% de N-NH₃, com leitos de Clinoptilolite à taxas de aplicação superficial da ordem de 15 a 20 m³/m² h.

Confiabilidade do Processo

Os dados mais claros referentes a confiabilidade do processo de remoção de amônia por troca iônica referem-se, como no tópico anterior, ao primeiro mês de operação de Sistema de Tahoe - Truckee (28). Esses dados estão apresentados na tabela 45.

Tabela 45 - Troca iônica: dados de confiabilidade

Constituinte	PERCENTÍIS		
	10%	50%	90%
DBO (5)	-	38	-
DQO	53	24	2
SST	86	70	36
N-NH3	91	87	72
COT	0	0	0

Símbolos:

DBO(5) = Demanda Bioquímica de Oxigênio (5 dias)

DQO = Demanda Química de Oxigênio

SST = Sólidos em Suspensão Total

COT = Carbono Orgânico Total

Ausência de dados:-

FONTE: Referência 28

Aplicação em Sistemas de Reuso

A troca iônica seletiva produz um efluente com alto nível de

remoção de nitrogênio amoniacal sendo, portanto, indicado em aplicações de reuso onde deseja-se baixas concentrações de nitrogênio amoniacal e de sólidos dissolvidos totais.

NITRIFICAÇÃO BIOLÓGICA

Descrição do processo

Os esgotos domésticos contém compostos de nitrogênio cujo lançamento no corpo receptor pode causar inconvenientes que vão desde o consumo do oxigênio dissolvido até o aumento da fertilidade dessas águas, propiciando proliferação de algas e eutrofização.

Os processos químicos e biológicos de tratamento de efluentes podem alterar a forma pela qual o nitrogênio se apresenta, o que poderia eliminar um ou mais inconvenientes. Por exemplo, pela transformação dos compostos amoniacais em nitritos e nitratos, os efeitos tóxicos da amônia, bem como sua avidez pelo oxigênio seriam eliminados, entretanto, o potencial de eutrofização não seria afetado.

O conteúdo de nitrogênio nos esgotos domésticos é geralmente expresso em termos de concentração do elemento N e não do composto, ou compostos, ao qual está combinado. Assim sendo, o esgoto doméstico bruto contém em geral de 15 á 50 mg/l de nitrogênio, dos quais cerca de 40% apresenta-se sob a forma orgânica e 60% amoniacal.

O nitrogênio amoniacal é aquele que se apresenta sob a forma de amônia livre - NH_3 - ou combinada - radical NH_4^+ -, sendo a proporção entre as duas formas função apenas do pH. Para valores de pH em torno de 7,0 a fração constituída por amônia livre é insignificante, aumentando com o aumento do pH até 12,0, quando todo nitrogênio amoniacal se apresentará sob forma de amônia livre.

O nitrogênio orgânico é aquele que se apresenta combinado a uma cadeia de carbono, formando compostos orgânicos, sendo continuamente convertido em amoniacal mediante um processo bioquímico denominado amonificação.

O teste de laboratório denominado Nitrogênio Total Kjendal -NTK- mede a concentração total de nitrogênio, seja orgânico ou amoniacal, sendo a concentração de nitrogênio orgânico obtida substituindo-se o valor correspondente ao nitrogênio amoniacal, que é determinado diretamente. Nessas condições, o NTK pode representar a concentração de nitrogênio amoniacal em um processo onde todo nitrogênio orgânico tenha se transformado em amoniacal.

A necessidade da remoção total ou parcial dos compostos nitrogenados ou na sua transformação em outros compostos, depende das condições do corpo receptor. Caso se pretenda apenas reduzir a demanda de oxigênio, a toxidez ou demanda de cloro resultante da presença de compostos amoniacaís, seria suficiente promover a transformação desses compostos em nitritos e nitratos.

Entretanto, caso se deseje impedir a euforização dos corpos de água, ou então, caso o objetivo seja o reuso dessa água a necessidade de compatibilização com os padrões de qualidade específicos ao reuso pretendido, pode exigir a remoção de todos os compostos de nitrogênio.

A transformação biológica dos compostos amoniacais em nitritos e nitratos se dá por meio do processo de oxidação bioquímica, denominado nitrificação. Por outro lado, a remoção de nitrogênio pode ser conseguida por meios químicos ou físico-químicos, diretamente a partir dos compostos amoniacais - troca iônica, supercloração e "ammonia stripping" - ou biologicamente pelo processo denominado desnitrificação, a partir do nitrogênio combinado sob forma de nitrato, de forma integrada ao processo dos lodos ativados.

O processo de nitrificação biológica se dá em dois estágios; no primeiro os organismos denominados Nitrosomonas transformam o nitrogênio amoniacal em nitritos, enquanto que no segundo os nitritos são convertidos a nitratos pelos Nitrobacter. Simplificadamente tem-se:

ou seja,

A equação acima mostra que são necessários 2 moles de oxigênio para converter à nitrato 1 mol de amônia, ou seja, são necessários 4,6 mg de oxigênio para nitrificação de 1,0 mg de nitrogênio amoniacal, relação esta extremamente importante na avaliação da massa de oxigênio necessária para atingir a nitrificação.

Os organismos envolvidos - Nitrosomonas e Nitrobacter - são autotróficos, pois retiram sua energia vital da oxidação de compostos inorgânicos. As Nitrosomonas são de crescimento mais lento, conseqüentemente com velocidade de reação menor, fato este que constitui-se no fator limitante do processo. Assim sendo, não é comum a presença de nitritos em concentração apreciáveis nos reatores biológicos, pois sendo sua produção mais lenta, são rapidamente oxidados à nitratos pelas Nitrobacter.

Outros fatores importantes no controle do processo é o pH e a temperatura. De acordo com CULP, G. et. al (28) (1980), enquanto para o primeiro o valor ótimo é de 8,4, para o segundo a faixa ideal é de 20 C a 30 C.

Operação

A operação de sistemas de nitrificação é, basicamente, igual a dos sistemas convencionais de lodos ativados, sendo a manutenção do pH em torno de 8,4, a chave do processo. Em climas frios, a temperatura é de fundamental importância, podendo ser necessários longos períodos de retenção e altas taxas de recirculação de

lodo, para garantir a nitrificação. Pela sua própria natureza, as bactérias nitrificantes são extremamente sensíveis à presença de organismo sintéticos e metais pesados, o que pode requerer monitoramento intensivo do influente.

Eficiência na remoção de contaminantes

Além da redução do nível de nitrogênio amoniacal influente, este processo também remove DBO, sólidos em suspensão e elementos traços metálicos, passíveis de remoção por sistema de lodos ativados. A tabela 46 publicada por CULP, G. et. al (28) (1980), apresenta dados referentes ao processo de nitrificação, isoladamente, não acumulando a performance referente aos processos precedentes.

**Tabela 46 - PROCESSO DE NITRIFICAÇÃO: REMOÇÃO MÉDIA DE
CONTAMINANTES (PORCENTAGEM DE REMOÇÃO)**

CONSTITUINTES	PROCEDÊNCIA DOS DADOS				MÉDIA
	(*)	A	B	C	
DBO (5,20 C)	41	51	94	80	45
DQO	66	40		72	56
SST	66	48	79	56	61
N-NH ₃	92	95	98	98	97
FÓSFORO	40	50	+		50
TURBIDEZ			89		89
COT	66		79	66	73

(*) Remoção típica publicada em literatura

(+) Experiência em andamento

DBO(5,20 C) = Demanda Bioquímica de Oxigênio (5 dias)

DQO = Demanda Química de Oxigênio

N-NH₃ = Nitrogênio Amoniacal

SST = Sólidos em Suspensão Total

COT = Carbono Orgânico Total

FONTE: Referência 28

Confiabilidade do processo

A confiabilidade do processo, expressa em termos de remoção nos percentís 10,50 e 90, é apresentada na tabela 47.

Aplicação em sistema de reuso

Embora a nitrificação seja bastante efetiva na remoção do nitrogênio amoniacal presente em efluentes de tratamento secundário, para a completa remoção do nitrogênio, existe a necessidade desse processo ser seguido de desnitrificação. No caso particular do reuso potável, direto ou indireto, a limitação de 10 mg/l de nitrogênio de nitratos, deve ser considerada; já para o caso de aquacultura, sua compatibilização com a fauna ictiológica é fundamental.

Tabela 47 - PROCESSO DE NITRIFICAÇÃO: CONFIABILIDADE MÉDIA DO PROCESSO

CONSTITUINTE	PROCEDÊNCIA DOS DADOS								
	A			C			MÉDIA		
	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%
DBO (5,20 C)	86	45	22	89	84	19	88	65	21
DQO	72	44	8	82	75	63	77	60	36
SST	76	53	15	86	63	19	81	58	17
N-NH ₃	98	96	90	99	98	97	99	97	94
FÓSFORO	64	50	9				64	50	9
COT				80	70	42	80	70	42

FONTE: Referência 28

DESNITRIFICAÇÃO BIOLÓGICA

Descrição do Processo

É o processo que permite a conversão de nitrogênio combinado sob a forma de nitratos em nitrogênio livre, que deixa o sistema em estado gasoso. Trata-se de um processo biológico onde, ao contrário da nitrificação em que somente tomam parte organismos

específicos, diversas espécies bacterianas são capazes de agir entre as quais destacam-se as *Pseudomonas*, *Micrococcus* e *Archromobacter*. De acordo com DA_RIN, B.P. (31) (1980), cerca de 10 á 30% dos organismos normalmente presentes no tanque de aeração de um sistema de lodos ativados são capazes de promover a desnitrificação.

A desnitrificação se dá em dois estágios. Num primeiro, os nitratos são reduzidos a nitritos e estes, no segundo estágio, reduzem-se a nitrogênio gasoso. Trata-se de uma extensa e complexa cadeia de reações enzimáticas que envolvem inicialmente os nitratos, e a seguir os nitritos como fornecedores de oxigênio - ou "receptores de elétrons" - e uma substância orgânica qualquer como fonte de carbono - ou "doadora de elétrons".

Ainda segundo o citado autor (31), todos os organismos capazes de promover a desnitrificação biológica, ou seja, a estabilização de um substrato orgânico utilizando-se para isso o oxigênio combinado dos nitratos, são igualmente capazes de proceder a estabilização bioquímica deste mesmo substrato usando para tanto o oxigênio livre porventura disponível no ambiente, através da cadeia de reações enzimáticas do metabolismo aeróbio. Este último procedimento é ligeiramente mais eficiente, em termos energéticos, que o anterior motivo pelo qual os organismos o preferem, e sempre que houver disponibilidade de oxigênio livre, este será utilizado pelos organismos. Em outras palavras, o oxigênio livre inibe o processo de desnitrificação biológica, que apenas se efetua em condições anóxicas.

Nessas condições, sendo a desnitrificação biológica um processo bioquímico que se passa em condições anóxicas e utilizando o oxigênio combinado, alguns autores o consideram um processo anaeróbico. Por outro lado, a cadeia de reações enzimáticas que o processo utiliza é em tudo semelhante à utilizada no metabolismo, diferindo apenas em uma única reação enzimática, sendo por tanto bastante diferente do ciclo anaeróbico clássico.

Por esta razão, alguns autores (31), ao invés de considerá-lo um processo anaeróbico, consideram-no um processo aeróbio que se efetua em condições anóxicas. Assim, se utilizada a desnitrificação biológica, deve-se ter em mente que ela deverá ser processada em reatores biológicos onde se promova a homogeneização do conteúdo, porém, sem a introdução de oxigênio. Neste caso, ao contrário do que ocorre nos reatores biológicos dos lodos ativados, o oxigênio necessário é proveniente das moléculas de nitrato. O que se precisa fornecer é a fonte de carbono e para isso, algumas instalações utilizam o metanol.

Assim sendo, as reações bioquímicas que levam à desnitrificação podem, simplifadamente, ser representadas pelas reações que seguem.

ou seja:

Esta reação pode ser utilizada para quantificar a massa de metanol que deve ser adicionada ao processo, caso se pretenda utilizá-lo como fonte de carbono. Ou seja, deve-se adicionar 1,9 mg de material para cada mg de nitrogênio de nitrato que se deseja remover. Essa massa, entretanto, não leva em consideração a massa de carbono que deverá ser incorporada ao material celular para permitir o crescimento bacteriano. Caso se leve em conta essas necessidades, a proporção sobe para 3 mg de metanol, por mg de nitrogênio de nitratos, o que para uma instalação de médio porte, representa um considerável dispêndio.

Os custos operacionais elevadíssimos de instalações que promovem a remoção de nitrogênio por desnitrificação biológica, utilizando metanol como fonte de carbono, tem tornado o processo pouco atraente apesar de sua elevada eficiência. Isto tem incentivado a busca de fontes de carbono mais baratos, dentre as quais ressaltamos a utilização do próprio esgoto bruto, como fonte de carbono alternativo.

Operação

O processo de desnitrificação biológica é levado a efeito em um reator dotado de agitação mecânica, semelhante aos reatores dos processos de lodos ativados (tanques de aeração), onde a mistura é controlada de forma a evitar a oxigenação do esgoto.

Com relação a manutenção, os pontos que requerem mais atenção são os misturadores e os dosadores de metanol, cuja dosagem insuficiente reduz à performance do processo, em termos de desnitrificação, enquanto seu excesso produz um efluente com alta DBO.

Eficiência na remoção de contaminantes

Na literatura, existe uma carência muito grande de dados a respeito da eficiência, e mesmo da confiabilidade, dos processos de desnitrificação. Assim sendo, apesar de estarmos nos referindo a processos com substrato em suspensão, na tabela 48 publicada por CULP, G. et al. (28) (1980), apenas os dados relativos ao sistema B refere-se ao método enfocado. Os demais -A e C- referem-se também a desnitrificação, porém, em leitos de material sólidos, conforme descrito a seguir:

A : Sistema de El Lago, Texas : desnitrificação em leitos de material sólido.

B : Contra Costa County Sanitation District, California : desnitrificação em tanques com substrato em suspensão.

C : Blue Plains, Washington DC : desnitrificação em leitos de material sólido.

Confiabilidade do processo

A confiabilidade do processo, expressa em termos de remoção nos percentís 10,50 e 90% é apresentada na tabela 49 onde os dados referem-se a sistemas de desnitrificação em leitos de material sólidos, por razões já apresentadas.

Aplicação em sistema de reuso

Conforme foi dito no ítem referente à nitrificação, a desnitrificação é indicada nos casos onde a presença de nitrato é indesejável, como por exemplo, em Reuso Potável Direto ou Indireto em concentrações superiores a 10 mg/l, em Aquacultura, etc.

Tabela 48 - PROCESSO DE DESNITRIFICAÇÃO: REMOÇÃO MÉDIA DE CONTAMINANTES (PORCENTAGEM DE REMOÇÃO)

CONSTITUINTES	PROCEDÊNCIA DOS DADOS				MÉDIA
	(*)	A (**)	B	C (**)	
DBO (5,20 C)	23	75	11	55	47
DQO		58		12	35
SST		67	0	60	42
N-NH3	43	28	35		32
N-NO3	94	88	98	79	89
FÓSFORO	39		52		52

Tabela 48 - PROCESSO DE DESNITRIFICAÇÃO: REMOÇÃO MÉDIA DE
CONTAMINANTES (PORCENTAGEM DE REMOÇÃO)

CONSTITUINTES	PROCEDÊNCIA DOS DADOS (continuação)				MÉDIA
	(*)	A (**)	B	C (**)	
TURBIDEZ			0		0
COT	+		+	22	22

(*) Remoção típica publicada em literatura

(**) Desnitrificação em leito de material sólido

(+) Experiência em andamento

DBO(5,20 C) = Demanda Bioquímica de Oxigênio (5 dias, 20 C)

DQO = Demanda Química de Oxigênio

SST = Sólidos em Suspensão Totais

N-NH₃ = Nitrogênio Amoniacal

N-NO₃ = Nitrogênio de Nitratos

COT = Carbono Orgânico Total

FONTE: Referência 28

Tabela 49 - PROCESSO DE NITRIFICAÇÃO: CONFIABILIDADE MÉDIA DO
PROCESSO

PROCEDÊNCIA DOS DADOS									
CONSTITUINTE	A			C			MÉDIA		
	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%
DBO (5,20 C)	96	78	48	75	56	41	86	67	45
DQO	80	64	32	22	11	1	51	36	17
SST	92	70	33	87	65	35	90	68	34
N-NH3	64	40	0				64	40	0
N-NO3	100	95	64	97	86	60	99	91	62
COT				48	20	3	48	20	3

FONTE: Referência 28

5.1.2 - PROCESSOS NATURAIS

A exemplo do que foi visto no item referente aos processos artificiais, neste serão estudados alguns processos unitários ditos naturais. Sob essa classificação enquadram-se aqueles que se utilizam de fatores presentes na natureza, tais como energia

solar, capacidade de auto depuração dos corpos de água, do solo e dos microorganismos e plantas que neles se desenvolvem. São eles: Capacidade de Auto-depuração e Diluição dos corpos de água, Lagoas de Estabilização e os métodos de Tratamento de Esgotos por Disposição no solo.

A auto-depuração proporcionada pelos corpos de água assume papel bastante importante nos casos de reuso planejado indireto de água e associada ao processo de diluição, pode conferir à água uma segurança adicional aos demais processos.

As diversas modalidades de Lagoas de Estabilização constituem-se num processo altamente eficiente e seguro na remoção de patógenos, sendo particularmente indicadas quando se dispõe de terra suficiente e a custos baixos e se deseja água com alto grau de pureza, em termos microbiológicos.

Com relação aos métodos de tratamento por disposição no solo, propiciam um efluente com qualidade compatível com uma série de possíveis aplicações para reuso de água. NUCCI, N.L.R. et. al (67) (1978) sustentam que, efluentes predominantemente não industriais, tratados por tais métodos, se prestam ao reuso para fins agropecuários, abastecimento e lazer.

Nesta dissertação serão estudados os métodos por Infiltração-Percolação, Irrigação e Escoamento Superficial. Enquanto no primeiro caso o objetivo é a recarga do aquífero e sua posterior utilização é que caracteriza o reuso, nos outros

dois casos o tratamento da água e o reuso podem ocorrer simultaneamente havendo necessidade, todavia, de projetar o sistema tendo em vista a otimização de um dos aspectos acima, já que a dos dois é praticamente impossível, pois enquanto do ponto de vista de tratamento deseja-se tratar a maior quantidade de esgotos no menor espaço possível, do ponto de vista do reuso o objetivo é o inverso, ou seja, deseja-se irrigar o máximo de área com o mínimo de água.

AUTODEPURAÇÃO

BRANCO, S.M. (18) (1978), define genericamente autodepuração propiciada por um curso de água à matéria orgânica afluyente, como sendo sua neutralização que inclui, principalmente, a diluição, a sedimentação e sua estabilização química. Está última, tanto quanto a poluição, medida em termos de oxigênio dissolvido e deficit de saturação, o que vale dizer que reoxigenação ou reaeração sejam sinônimos de autodepuração, embora os modelos matemáticos utilizados na previsão da curva de depressão de oxigênio, incluam dados da diluição e sedimentação de matéria orgânica poluidora.

Ainda segundo o citado autor (18), qualquer massa de água isenta de material redutor-despejos, matéria orgânica em decomposição — tem sua concentração de oxigênio dissolvido em permanente equilíbrio com a pressão parcial do oxigênio atmosférico e essa concentração, é proporcional à temperatura da água, podendo ser expressa em termos de porcentagem de saturação. Essa água, ao

receber uma carga poluidora - expressa em DBO - tem reduzido seu conteúdo em oxigênio dissolvido, devido a oxidação biológica da matéria introduzida, ocorrendo como decorrência um deficit de oxigênio em relação à saturação, que corresponde a diferença entre a concentração prevista teoricamente naquela temperatura e a concentração medida. Esse deficit de saturação, paulatinamente tende a ser compensado a custa de dois fenômenos: a reaeração propiciada de forma exógena pelo oxigênio atmosférico e a reoxigenação endógena, propiciada pelos organismos clorofilados através da fotossíntese.

Nessas condições, a tendência final será a recuperação inicial, em termos de oxigênio dissolvido, completando o processo da autodepuração.

O domínio do conhecimento dos fenômenos de autodepuração assume fundamental interesse no caso do Reuso Potável Indireto, já que nessa modalidade de reuso o fenômeno é considerado como um processo unitário de tratamento.

O modelo clássico de abordagem do problema é devido a Streeter e Phelps, que estudando o Rio Ohio propuseram uma metodologia que atribuía à desoxigenação carbonácea-consumo de oxigênio- e a reaeração atmosférica-adição de oxigênio - o valor do saldo do oxigênio dissolvido. Mais tarde, Camp ampliou as equações de Streeter e Phelps, agregando à demanda bentônica, sedimentação e revolvimento e a fotossíntese, permitindo, dessa forma, uma maior abrangência na análise do balanço do oxigênio dissolvido.

Embora clássicos, os modelos citados são bastante utilizados quando se estuda a autodepuração dos cursos de água. Somente para exemplificar citamos os trabalhos de VON SPERLING, M. (95) (1983), que apresenta detalhadamente os modelos, aplicando-os em vários corpos de água de Minas Gerais.

LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

- Descrição do Processo

Sob essa denominação agrupam-se alguns processos de tratamento, que tem em comum apenas o fato de utilizarem um tanque artificialmente construído, onde se desenrolam os fenômenos responsáveis pelo tratamento dos esgotos. Entretanto os objetivos dos diferentes processos, bem como a natureza dos mesmos, podem ser muito diferentes, guardando pouca relação entre si. Nessas condições, apresentamos a seguir alguns comentários extraídos das obras de diversos autores relativos aos tipos de lagoas, classificadas de acordo com MONTENEGRO, M. A. (61) (1980).

1 - Lagoa aerada

Unidade de tratamento destinada a estabilizar a matéria orgânica dos esgotos através da oxidação bioquímica, na qual o oxigênio necessário é inteiramente suprido por aeradores artificiais. Subdivide-se em aeradas aeróbias e aeradas facultativas, sendo que ALÉM SOBRINHO, P. & RODRIGUES, M.M. (1) (1982) recomendam a

densidade de potência, abaixo definida, como o parâmetro que deve ser utilizado para diferenciá-las.

D_p = Potência fornecida à lagoa/volume da lagoa

A tabela 50, preparada por esses autores (1), resume recomendações de diversos pesquisadores, encontradas na literatura especializada.

Tabela 50 - Densidade de potência para lagoas aeradas aeróbias e aeradas facultativas

	LAGOA AERÓBIA	LAGOA FACULTATIVA
AUTOR	(W/m ³)	(W/m ³)
Eckenfelder (1)	2,5-----4,0	0,7-----1,0
Bartsh & Randall (2)	20,0	3,0-----4,0
Bebin (3)	10,0-----30,0	3,0
Ramalho (4)	> 5,0	1,0-----5,0

FONTE: (1) Referência 35

(2) Referência 11

(3) Referência 13

(4) Referência 77

1.a) Lagoas aeradas aeróbicas: nestas unidades existe alta turbulência, o que faz com que a lagoa funcione em regime de mistura completa, ou seja, toda a biomassa é mantida em suspensão, o oxigênio dissolvido é distribuído por toda massa líquida garantindo, dessa maneira, um processo completamente aeróbio. O processo se desenrola como uma variante dos lodos ativados, na qual não há recirculação de lodo. A idade do lodo do processo será então idêntica ao tempo de detenção hidráulico. O teor de Sólidos em Suspensão Voláteis (SSV) dependerá da concentração de substrato no esgoto afluente e os parâmetros de dimensionamento são utilizados para o processo dos lodos ativados.

1.b) Lagoas aeradas facultativas: neste sistema a potência dos dispositivos de aeração é suficiente para suprir todo oxigênio necessário à estabilização bioquímica da matéria orgânica afluente, mas não o bastante para manter todos os sólidos em suspensão, havendo portanto, deposição de sólidos em certas áreas do fundo do tanque, onde entrarão em decomposição anaeróbia.

Ainda aqui o processo se desenvolve como uma variante do processo dos lodos ativados, porém a carga adicional gerada pelos produtos da decomposição anaeróbia do lodo do fundo, deve ser tomada em consideração no dimensionamento.

2 - Lagoas Anaeróbicas

Tanques no interior dos quais se lança o esgoto bruto, e onde todo o seu conteúdo se mantém anaeróbio, destinados ao pré-tratamento de esgotos por estabilização anaeróbia parcial da matéria orgânica afluyente.

O processo de desenrola como em grandes fossas sépticas. A matéria orgânica em suspensão se deposita no fundo da unidade, onde entra em digestão anaeróbia. A matéria orgânica contida no líquido sofre também uma parcial estabilização anaeróbia. O efluente dessas lagoas apresenta uma redução de DBO da ordem de 40% a 60%. As profundidades usuais se situam em torno dos 3 m, e os tempos de detenção na faixa dos 2 a 6 dias. O dimensionamento é feito com base na taxa de aplicação volumétrica de carga orgânica, sendo recomendadas taxas de aplicação da ordem de 0,2 a 0,3 kg DBO/dia x m³.

A eficiência da lagoa anaeróbia é maior no verão do que no inverno, em virtude da maior atividade bacteriana nas altas temperaturas. Lagoas anaeróbias tendem a apresentar problemas de odores, especialmente se submetidas a elevadas taxas de aplicação. Tais problemas podem ser evitados, caso a lagoa anaeróbia seja utilizada como pré-tratamento à montante de uma lagoa facultativa, pela recirculação de parte do efluente desta lagoa facultativa para a entrada da lagoa anaeróbia. Recomenda-se relações de recirculação na faixa de 0,1 a 0,4.

3- Lagoas Aeróbias

São tanques para os quais se encaminham os esgotos e onde, devido às condições ambientais propícias, proliferam algas em grande quantidade.

Estas algas, através da fotossíntese, liberam no líquido o oxigênio necessário à manutenção de condições aeróbias em toda a massa líquida e à estabilização bioquímica da matéria orgânica presente, por meio do metabolismo de organismos aeróbios.

Como a produção de oxigênio pelas algas depende da luz solar, lagoas estritamente aeróbias não podem ter profundidade elevadas, posto que os raios solares não penetrariam até as camadas inferiores. Para garantir condições aeróbias permanentes a profundidade não deveria exceder aos 0,45 m, o que exigiria a utilização de grande área. Mesmo mantendo a profundidade dentro dos limites recomendados, é praticamente impossível evitar a deposição de sólidos no fundo, onde se formaria então uma camada anaeróbia, o que torna a lagoa um dispositivo ideal, virtualmente impossível de se obter na prática.

4 - Lagoas de Maturação

Tanques que recebem o efluente de estações de tratamento convencionais ou outras lagoas, destinadas a "polir" o efluente, reduzindo principalmente os sólidos sedimentáveis e organismos patogênicos. Seriam praticamente dispositivos de tratamento terciário, não se destinando à estabilização da matéria orgânica, mas a uma "melhoria" na qualidade do efluente de instalações de

tratamento secundário.

5 - Lagoas Facultativas

Dispositivos de tratamento para os quais são encaminhados esgotos brutos ou pré-tratados, visando a estabilização bioquímica da matéria orgânica afluyente por meio do metabolismo de organismos aeróbios, que se utilizam do oxigênio produzido pelas algas que aí proliferam, devido a manutenção de condições ambientais favoráveis e de organismos anaeróbios que proliferam na camada de lodo que se deposita no fundo .

Lagoas facultativas constituem a imensa maioria das lagoas de estabilização existentes no mundo, e seu funcionamento, dimensionamento e operação serão aqui abordados mais detalhadamente.

Uma lagoa facultativa se caracteriza pela existência de uma camada superior onde predominam as condições aeróbias, e uma camada junto ao fundo onde predominam as condições anaeróbias. O oxigênio necessário á manutenção das condições aeróbias na camada superior provém, principalmente, das algas aí existentes, sendo geralmente desprezível o obtido por aeração natural. Essas algas utilizam-se dos produtos finais do metabolismo seja dos seres aeróbios das camadas superiores, seja dos seres anaeróbios junto ao fundo, para a fotossíntese. Há, portanto, uma constante interação entre os organismos presentes, conforme esquematizado pela figura 6. Uma lagoa facultativa se constitui, então, um

ecossistema, no qual a manutenção do equilíbrio biológico é fundamental para o funcionamento do processo.

O esgoto bruto introduz no ecossistema compostos de Carbono Inorgânico, compostos de Nitrogênio, Fósforo e demais nutrientes básicos e matéria orgânica instável, seja em solução, seja em suspensão.

Através da superfície líquida, penetram do ambiente exterior quantidades de Nitrogênio, Gás Carbônico do ar atmosférico, e luz solar em abundância, no período diurno.

As condições ambientais são propícias para a proliferação de algas que utilizando-se dos compostos de carbono inorgânico e dos compostos de N e P trazidos pelo afluente, do nitrogênio e gás carbônico difundido pela superfície, e principalmente dos produtos do metabolismo dos organismos aeróbios e anaeróbios (CO_2 , compostos de N e P), sintetizam a matéria orgânica de que necessitam e liberam oxigênio para o ambiente, através da reação básica da fotossíntese:

Além disso, as algas liberam para o líquido substâncias em suspensão sedimentáveis, seja sob a forma de produtos de metabolismo seja sob a forma de material celular morto, que se depositarão no fundo.

O oxigênio liberado pelas algas (além de pequena parcela obtida por reaeração natural) é utilizado pelos organismos aeróbios para metabolizar a matéria orgânica, em solução ou suspensão coloidal e parte dos compostos de N e P trazidos pelo afluente, além dos compostos orgânicos em solução liberados para o meio, oriundos do metabolismo dos organismos anaeróbios do fundo, através da reação básica do metabolismo aeróbio:

Grande parte do gás carbônico liberado é utilizado pelas algas, perdendo-se o restante pela superfície ou pelo efluente. Do metabolismo aeróbio resultam igualmente sólidos sedimentáveis, seja sob a forma de produtos do metabolismo seja sob a forma de material celular morto, que se depositam no fundo.

Figura 6- Lagoas facultativas- interação entre os organismos presentes.

Fonte: Adaptado da referência (61)

A liberação do oxigênio para o meio apenas se processa em parte das camadas superiores onde penetra a luz solar. A penetração da luz é dificultada pela turbidez do líquido, que é causada principalmente pela presença das próprias algas.

A produção de oxigênio por fotossíntese não depende apenas da energia luminosa, mas de diversos outros fatores, como disponibilidade de nutrientes e da temperatura do meio. Em meios onde haja fartura de nutrientes, tanto a temperatura quanto a luminosidade do ambiente podem se tornar fatores limitantes. Isso porque a fotossíntese, cuja representação sob a forma da reação química acima exposta é extraordinariamente simplificada, consiste no encadeamento altamente complexo de diversas reações bioquímicas, algumas fundamentalmente enzimáticas, outras basicamente fotoquímicas. Sobre as primeiras a influência da temperatura é decisiva, e se dá, segundo a Lei de Arrhenius, exponencialmente. Sobre as últimas, a temperatura não exercerá influência, mas a disponibilidade de luz é fundamental.

Nas camadas superiores, muito próximas da superfície, onde há abundância de energia luminosa, a temperatura será o fator limitante. Aí a luminosidade se faz presente em tal excesso, que apenas 5 a 7% da energia disponível será utilizada para a fotossíntese. Por outro lado, a velocidade da fotossíntese será controlada pela produção de enzimas e irá variar exponencialmente com a temperatura, numa faixa compreendida entre 4 C e 35 C.

A medida em que se penetra na direção do fundo da lagoa, a disponibilidade de energia luminosa vai decrescendo em virtude de absorção pela turbidez das camadas atravessadas. Chega-se então a um ponto em que, para as condições de temperatura vigentes, o fator limitante será a luminosidade. A produção de oxigênio irá decrescendo à medida que decresce a disponibilidade de energia luminosa, e atinge-se a um ponto no qual todo o oxigênio produzido por fotossíntese será consumido pela própria respiração das algas. Este ponto denomina-se ponto de compensação, e se manifesta nas lagoas a uma profundidade conhecida por profundidade de compensação, abaixo da qual não há liberação de oxigênio para o meio. Em lagoas de estabilização fotossintéticas essa profundidade se situa na faixa de 0,50 m a 0,70 m, e geralmente coincide com a metade da profundidade máxima alcançada pela luz.

Abaixo desse ponto, pode-se ainda encontrar oxigênio dissolvido por difusão em teores muito baixos e, principalmente, por mistura em virtude da ação dos ventos sendo a mistura extremamente importante para o desempenho da lagoa. Entretanto, em condições de calmaria o teor de OD decresce com o aumento da profundidade, e irá atingir zero no nível correspondente à profundidade de compensação. Abaixo desse ponto, predominarão as condições da anaerobiose, especialmente na camada do fundo, onde se depositam os sólidos sedimentáveis. Estes sólidos formam uma camada de lodo e, se constituem, principalmente por matéria orgânica biodegradável, seja trazida com o afluente, seja resultante dos processos metabólicos das algas e dos organismos aeróbios em

suspensão: esta matéria orgânica é metabolizada pelos organismos anaeróbios que proliferam junto ao fundo, segundo a reação básica.

O gás metano liberado se perde para a atmosfera e o gás carbônico é, em sua maior parte, utilizado pelas algas para a fotossíntese, juntamente com certos compostos de N e P igualmente liberados. Além disso, o metabolismo anaeróbio produz sólidos decantáveis estabilizados, que constituem o humus do fundo, e libera uma certa quantidade de compostos orgânicos solúveis, que são utilizados pelos organismos aeróbios presentes nas camadas superiores.

Esta liberação de compostos orgânicos instáveis provenientes do lençol de lodo adquire importância, particularmente em regiões onde há sensível variação de temperatura entre verão e inverno. Nesse caso, durante o inverno, a atividade bacteriana no fundo é inibida pelas baixas temperaturas (um decréscimo de 10°C na temperatura ambiente reduz à metade a atividade bacteriana). Nessa ocasião acumula-se matéria orgânica no fundo, e a espessura do lençol de lodo aumenta progressivamente. Com a elevação da temperatura, ao final do inverno, a atividade bacteriana aumenta, e toda a massa de lodo acumulada durante o inverno passa a ser rapidamente estabilizada, com a consequente liberação para o meio líquido de razoável quantidade de compostos orgânicos. Esta carga orgânica se somará à introduzida com o esgoto afluente, num

fenômeno de realimentação que, em certos casos, pode sobrecarregar o sistema e romper o equilíbrio biológico. Mesmo que isto não ocorra, deve-se verificar uma flutuação sazonal na qualidade do efluente, que tende a se deteriorar logo após o inverno. Esse fenômeno denomina-se "spring-turnover".

A espessura do lençol de lodo no fundo de uma lagoa facultativa varia, portanto, durante o ano. Logo após a entrada de unidade em funcionamento, a cada ano, haverá um pequeno acréscimo. Entretanto, após um dado período, atinge-se a um equilíbrio, quando todo o depósito que se efetua durante um ano é consumido durante aquele período. A espessura do lençol passará então a variar sazonalmente em torno de um valor médio, que não mais se alterará. Em climas quentes esse equilíbrio pode ser atingido em cerca de 05 anos, podendo, entretanto, tardar 20 anos para ser atingido em regiões de clima frios.

O afluente de uma lagoa facultativa conterá uma pequena quantidade de matéria orgânica em elevado grau de estabilização, compostos minerais e compostos de N e P em solução. Além disso, conterá uma certa concentração de bactérias e, sobretudo, uma grande quantidade de algas.

Operação

A grande aceitação das lagoas deve-se principalmente à simplicidade e custos reduzidos dos serviços relativos à manutenção e a operação do processo. A operação desses sistemas

resume-se em controlar e favorecer os fenômenos físicos, químicos e biológicos que caracterizam o processo e que foram considerados no projeto.

Após o estabelecimento do equilíbrio biológico, no início do funcionamento da lagoa, a operação fica restrita aos exames de rotina, na maioria das vezes realizados em casos de desequilíbrio, ou em estudos especiais. A maioria das medidas corretivas propostas para o reestabelecimento das condições normais de operação, diz respeito às tarefas de manutenção cuja omissão provoca distúrbios operacionais.

De uma forma geral, os operadores dos diversos tipos de lagoa devem receber treinamento para solucionar os seguintes tipos de problema:—

- Desprendimento de odores desagradáveis;
- proliferação de insetos;
- crescimento de vegetais;
- formação de espuma.

EFICIÊNCIA DO PROCESSO NA REMOÇÃO DE CONTAMINANTES

A eficiência das lagoas na remoção de contaminantes coloca esse processo em situação privilegiada, em relação aos demais,

principalmente nos países subdesenvolvidos onde processos que empregam equipamentos mecanizados, muitas vezes podem inviabilizar o sistema.

A tabela 51 apresentada por SILVA, S.A. et al (89) (1979) mostra o efluente de quatro lagoas facultativas (F2; F3; F4 e F5) com as porcentagens de redução de vários parâmetros, em experimento levado a efeito no período compreendido entre Junho de 1977 á Dezembro de 1978, pela Estação Experimental de Tratamento Biológicos de Esgotos Sanitários - EXTRABES , em Campina Grande na Paraíba.

Com relação a lagoas anaeróbias os mesmos autores (89) apresentam dados de duas lagoas (A2 e A3) em série e uma isolada (A4), que foram monitoradas no período de junho de 1977 a abril de 1978, conforme Tabela 52.

TABELA 51 - Resultados dos Médios dos Valores Médios Mensais e Porcentagem de Redução (% RED) dos Principais Parâmetros Físico-Químicos e Bacteriológicos de Quatro Lagos Facultativos (Junho 1977 a Dezembro de 1978)

PARÂMETROS	REATOR	ÁGUA RESID. BRUTA	EFLUENTE F2	% RED	EFLUENTE F3	% RED	EFLUENTE F4	% RED	EFLUENTE F5	% RED
Condutividade a 25 °C (µ mho/cm)		1590	1415	11	1417	11	1425	10	1404	12
Sólidos Totais (mg/l)		1191	891	25	983	24	892	25	913	23
Sólidos Totais Voláteis (mg/l)		718	652	9	662	8	651	9	673	6
Sólidos Totais Fixos (mg/l)		448	238	47	241	46	241	46	240	46
Sólidos Filtráveis (mg/l)		854	795	7	880	5	796	7	815	4
Sólidos em Suspensão (mg/l)		337	96	72	96	72	96	72	98	71
Sólidos Sedimentáveis (ml/l)		7.2	0.4	94	0.4	94	0.4	94	0.5	93
Coliformes Fecais (C.F./100 ml)		453×10^5	5.0×10^5	98.9	3.7×10^5	99.2	4.7×10^5	98.9	2.8×10^5	99.4
Estreptococos Fecais (E. F./100 ml)		94×10^5	0.37×10^5	99.6	0.30×10^5	99.7	0.41×10^5	99.6	0.26×10^5	99.7
Carga Orgânica (kg/ha dia)		-	300	-	300	-	400	-	200	-

FONTE: Referência 89

TABELA 51 - Resultados dos Médios dos Valores Médios Mensais e Porcentagem de Redução (% RED) dos Principais Parâmetros Físico-Químicos e Bacteriológicos de Quatro Lagos Facultativos (Junho 1977 a Dezembro de 1978)

PARÂMETROS	REATOR	ÁGUA RESID. EFLUENTE BRUTA	F2	% RED	F3	% RED	F4	% RED	F5	% RED
Temperatura (°C)		26.4	25.8	-	25.8	-	25.8	-	25,3	-
pH		7.5	7.5	-	7.5	-	7.5	-	7.7	-
DBO (5.20) (mg/l O ₂)		298	43	86	45	85	48	84	30	90
DQO (mg/l O ₂)		661	240	64	241	64	240	64	226	66
N-Amóniacal (mg N/l)		45	20	56	20	56	21	53	17	62
N.Nitrato (mg N/l)		0.27	0.24	11	0.22	19	0.24	11	0.27	0
Fósforo Solúvel (mg P/l)		6.25	3.60	42	3.69	41	3.60	42	3.31	47
Fosfato Solúvel (mg P/l)		4.00	2.95	26	3.07	23	3.02	25	2.68	33
Cloreto (mg C-/l)		377	379	- 5	382	-1	383	-2	377	0
Alcalinidade Total (mg C.CO ₃ /l)		343	278	19	280	18	281	18	265	23

continua

Tabela 52 - Resultados médios obtidos de lagoas anaeróbicas durante o período de Junho de 1977 a Abril de 1978.
(Variação de temperatura : 25°C -- 27°C)

REATOR	TEMPO DE DETEN ÇÃO HIDRÁULICA (DIAS)	DBO(5,20) (mg/l)	DQO mg/l	SS mg/l	COLIFORMES FECAIS POR 100ml	ESTREPTOCO- COS POR 100 ml
ÁGUA RESI- DUÁRIA BRUTA	-	234	576	329	5,0x10(7)	7,0x10(6)
EFLUENTE DA Lagoa A2	0,8	6,3	228	89	8,8x10(6)	4,1x10(5)
EFLUENTE DA Lagoa A3	0,4	48	197	71	6,5x10(6)	3,2x10(5)
EFLUENTE DA Lagoa a4	1,9	47	175	67	5,4x10(6)	2,8x10(5)

FONTE: Referência 89

A tabela 53 também retirada dos trabalhos de SILVA, S.A. et al (89) (1979) refere-se a Lagoas de Maturação. Nessa tabela, A1; F1; M1; M2; e M3 representam cinco lagoas em série, com tempo de detenção de 6,8; 5,4; 5,4; 5,4; e 5,8 dias sendo a primeira alimentada continuamente com águas residuárias brutas no período compreendido entre junho de 1977 e abril de 1978.

Tabela 53 - Resultados médios experimentais obtidos de uma série de cinco lagoas, durante o período de Junho de 1977 a Abril de 1978.

(Variação de temperatura: 25°C -- 27°C)

AMOSTRA	DBO(5,20) (mg/l)	DQO (mg/l)	SS (mg/l)	COLIFORMES FECAIS POR 100 ml	ESTREPTOCOCOS FECAIS POR 100 ml
ESGOTO BRUTO	234	576	392	5,0x10(7)	7,0x10(6)
EFLUENTE DA					
Lagoa A1	61	215	67	3,2x10(6)	2,7x10(5)
EFLUENTE DA					
Lagoa F1	42	208	75	2,4x10(5)	0,1x10(4)
EFLUENTE DA					
Lagoa M1	27	176	57	1,7x10(4)	1,5x10(3)
EFLUENTE DA					
Lagoa M2	19	135	47	205	46
EFLUENTE DA					
Lagoa M3	16	101	27	17	27

FONTE: Referência 89

APLICAÇÕES EM SISTEMAS DE REUSO

O método de tratamento de esgotos por lagoas de estabilização é o mais indicado, para anteceder outros processos unitários para qualquer modalidade de reuso, sendo particularmente recomendado

para o Brasil, em virtude do seu clima e dos custos relativamente baixos quando cotejados com os dos tratamentos alternativos.

IRRIGAÇÃO

Descrição do processo

É o método mais comum de disposição superficial de esgotos domésticos no solo, consistindo-se em sua descarga controlada, através de aspersores ou por derrame sobre a terra. Esse método é muito eficiente para remoção de contaminantes, causando poucos efeitos adversos no ambiente.

Entre as vantagens que esse método apresenta, podem ser citados o ganho econômico traduzido pelo retorno, pela venda da produção dos produtos obtidos, economia de água potável em região de escassez e preservação ou expansão de áreas verdes.

Neste processo uma parte do esgoto é removida pelas plantas, enquanto outra é perdida por evaporação e uma outra percola no solo, como pode ser visto na figura 7 . Assim sendo, a quantidade de água que escoar no solo é muito pequena, podendo, em alguns casos, existir drenos sub-superficiais para coleta de água.

De acordo com a STANLEY ASSOCIATES ENGINEERING LTD. (92) (1978) em um trabalho efetuado para o Environmental Protection Service do Governo Canadense, irrigação é uma forma de tratamento de esgoto por disposição no solo e que pode ser feita de três maneiras:

1a) Irrigação por aspersão: Por este método o efluente é aplicado à superfície do solo por um sistema de aspersores tipo "sprinkler" de forma semelhante a chuva. A aspersão é feita através de bocais que trabalham sob pressão, fornecida por bomba, conforme figura 8.

2a) Inundação: Consiste na inundação efetiva da terra com efluente, conforme o esquema da figura 9 . A altura da lâmina de água é determinada pela declividade, pela vegetação e tipo de solo. A superfície deve ser a mais plana possível, de maneira que a altura da lâmina de água seja uniforme. Para que não haja entupimento dos póros no solo, é necessário uma secagem periódica e a cobertura vegetal deve ser resistente a inundação.

3a) Elevação e Sulco: O efluente é conduzido através de sulcos. Essa técnica é restrita a solos bem planos e requer a construção prévia de elevações e sulcos, cujas larguras e profundidades variam com a vazão e o tipo de solo. Esquemáticamente a figura 10 é ilustrativa.

Em qualquer um dos processos de irrigação, a remoção dos poluentes é efetuada nos primeiros 60 a 120 cm. de solo. A oxidação do material carbonáceo, que ocorre durante o processo de aspersão se dá na camada superficial do solo, a medida que o esgoto percola no seu interior, ocorrendo também remoção de sólidos em suspensão e de organismos patogênicos remanescentes do pré tratamento. Quanto ao nitrogênio e ao fósforo são utilizados como nutrientes pelas plantas, no seu processo de desenvolvimento.

Com relação ao referido pré tratamento, nos sistemas de disposição no solo por irrigação, sua necessidade é devida não somente à proteção do equipamento utilizado, como também para remoção de sólidos em suspensão e da DBO, o que causa entupimento e outros problemas em bicos de pulverização. Além disso, para evitar problemas bacteriológicos veiculados pela água sob forma de aerossóis recomenda-se sua desinfecção, podendo-se também, indicar a remoção de outros compostos, dependendo do método de aplicação, do tipo de cultura e das características do solo.

Operação

A operação de um sistema de irrigação, embora relativamente simples do ponto de vista mecânica, requer um bom monitoramento do pré-tratamento, das condições do solo, e do desenvolvimento das plantas para se maximizar a produtividade dos vegetais e minimizar o tempo ocioso dos equipamentos. Além disso, os períodos de aplicação dos esgotos no solo devem ser bem controlados, tendo em vista a necessidade de se prever períodos de descanso para o solo e interrupção na aplicação no inverno por ocasião de geadas ou neve.

A taxa de aplicação também deve ser perfeitamente ajustada com a taxa de precipitação pluviométrica durante os períodos chuvosos, em função das particularidades de cada cultura. Caso haja necessidade, devem ser prevista complementações dos níveis de nutrientes, ou então, cuidados com super dosagens em termos de

proteção dos aquíferos subterrâneos.

Eficiência do processo na remoção de contaminantes

A performance de um sistema de irrigação pode ser medida de várias formas, podendo-se citar o monitoramento do aquífero subterrâneo, análises de laboratórios do solo e o acompanhamento do desenvolvimento dos vegetais. Nesse aspecto, VALIRON, F. et al (94) (1983) citam experiências desenvolvidas em fazendas experimentais de solos arenosos na Pennsylvania, com taxas de aplicação variáveis, em termos de nitrogênio e fósforo. Ali foram experimentadas culturas de arroz, aveia e trigo com aportes de fósforo variando entre 11 e 66 kg/ha, obtendo-se remoção da ordem de 20 á 80% enquanto para aportes de nitrogênio entre 40 e 400 kg/ha, obteve-se remoção de 40 á 100%.

Ainda segundo esses autores (94) em Muskegon, Michigan - o maior projeto de reuso agrícola dos Estados Unidos - foram conseguidas taxas de remoção, pelo conjunto de planta-solo, cerca de 66% para o nitrogênio, 98% para fósforo e 75% para potássio.

Em Tahalasse (USA), foram feitas experiências para estudar o comportamento de Grama das Bermudas com relação a remoção de nitrogênio e fósforo, obtendo-se:

NITROGÊNIO APLICADO

(KG/ha ano)

335

670

1010

TAXA DE REMOÇÃO PELAS PLANTAS

(%)

85

70

51

FÓSFORO APLICADO

(KG/ha ano)

24

47

94

TAXA DE REMOÇÃO PELAS PLANTAS

(%)

75

59

42

Essas taxas foram melhoradas fazendo-se rotação de culturas, chegando-se a uma taxa de remoção de 72% com um aporte de 1.000 kg de nitrogênio por hectare e por ano.

Confiabilidade do Processo

A confiabilidade de um processo deve ser estudada a partir da observação de um sistema durante muito tempo, o que ainda não é disponível na literatura consultada. Entretanto para alguns projetos , como é o caso do MUSKEGON, exames efetuados em amostras coletadas em drenos durante os anos de 1976 a 1977,

Indicam as seguintes faixas de valores:

PARÂMETRO	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO
DBO	0,01 mg/l	5,6 mg/l
NH ₄ -N	0,0 mg/l	7,34mg/l
NO ₃ -N	0,0 mg/l	13,5 mg/l
P-Total	0,040mg/l	0,25 mg/l
Coliformes	1 colonia/100ml	700 colonias /100 ml

Aplicação em sistemas de reuso

A irrigação é considerada um sistema de reuso com enorme potencial de aplicação em áreas onde as condições geológicas, de solo e de clima permitem, e onde terra é abundante e barata. O método de tratamento propicia benefícios à produção agrícola e a renovação da água é feita de forma natural, sendo bastante indicado para áreas áridas, como medida de conservação de água e para fins de potabilização.

INFILTRAÇÃO - PERCOLAÇÃO

Descrição do Processo

Esse método é semelhante a filtração intermitente em areia. A maior parte do esgoto penetra no solo, embora haja alguma perda por evaporação. Os solos arenosos, com altas taxas de infiltração

e de textura grosseira são os mais indicados. A figura 11 apresenta uma ilustração do processo.

Originalmente esse processo foi desenvolvido para recarga de aquíferos subterrâneos sendo, por esse motivo, a distinção entre tratamento e disposição não muito clara. Durante o processo infiltração-percolação o tratamento do esgoto ocorre durante a passagem pela camada de areia.

O principal objetivo desse método é a remoção física de sólidos em suspensão e bactérias, remanescentes de um pré-tratamento indispensável para evitar colmatção prematura do solo.

Operação

Trata-se de um sistema de operação bastante simples, onde se faz necessário um tempo de secagem que inibe a colmatção do solo, permitindo sua reoxigenação, já que em poucos dias de inundação ele torna-se anaeróbico.

Eficiência do Processo na Remoção de Contaminantes

Existe uma dificuldade bastante grande em se comparar eficiências de sistemas de tratamento por disposição no solo por infiltração-percolação, devido ao grande número de variáveis que intervêm no processo, podendo-se citar entre as principais, as diversas taxas e ciclos de aplicação superficial.

- Taxa de aplicação

Taxa Hidráulica

MET CALF & EDDY (57) (1985), classificam como moderadas, taxas hidráulicas entre 0,10 e 1,50 m/semana e como altas taxas hidráulicas, aquelas compreendidas entre 1,50 e 2,10 m/semana. Períodos de descanso entre 5 e 20 dias são essenciais para permitir que o oxigênio atmosférico penetre no solo, restabelecendo as condições aeróbicas para facilitar a ação das bactérias aeróbicas, que ativam a decomposição da matéria orgânica e a nitrificação. A decomposição da matéria orgânica ajuda a romper a camada que obstrue a passagem da água, enquanto a nitrificação microbiana propicia uma liberação dos pontos de

absorção de amônia sobre a superfície dos grãos de argila e humus. Quando o solo é inundado novamente, o nitrato formado se lixiviará com a água aplicada até que se verifiquem condições anaeróbicas e comece a desnitrificação.

Taxa de Nitrogênio

O mecanismo fundamental de eliminação de nitrogênio nos sistemas de infiltração-percolação é a desnitrificação, sendo nos sistemas de altas taxas hidráulicas o único mecanismo significativo. BOUWER, R. L. et. al (17) (1974) trabalhando alternativamente de forma anaeróbica e aeróbica, obtiveram até 80% de eliminação de nitrogênio como resultado combinado da absorção de amônia e de desnitrificação, durante a maior parte do período de inundação. Em um período de 4 anos foi conseguida eliminação de 30% de nitrogênio a uma taxa de aplicação de 23.450 kg/ha. ano. Com taxa de 50% menores, a remoção atingiu 80%.

Taxa Orgânica

Trata-se de uma característica muito importante por estar intimamente associada ao desenvolvimento das condições anaeróbicas. Para compensar a demanda de oxigênio devida a decomposição da matéria orgânica e do material nitrogenado, é necessário um esquema de intermitência que cria condições para que o ar penetre no solo e forneça oxigênio às bactérias, que oxidam a matéria orgânica e a amônia.

A tabela 54 apresenta as taxas orgânicas aplicadas em alguns empreendimentos

Tabela 54 - Cargas orgânicas típica para sistemas de infiltração-percolação

Empreendimentos	Taxa em DBO(5). kg/ha.dia	Relação entre o tempo de secagem e o tempo de aplicação.
-----------------	---------------------------------	--

"Efluentes de Indústrias

Alimentícias"

LEICESTER, N.Y.	560	5:1
DELHI, N.Y.	270	3:1
SUMTER, S.C.	120	2:1

"Efluentes Municipais"

SANTEE, CALIF.	64	-
FLUSHING MEADOWS, ARIZ.	50	1:1
WHITTIER NARROWS, CALIF.	22	1.6:1
LAKE GEORGE, N.Y.	21	13:1
WESTBY, WIS.	10	1:1

FONTE: Referência 57

Outros constituintes

Geralmente os solos utilizados para infiltração-percolação tem baixa capacidade de retenção de sais dissolvidos, porém conseguem reter parte dos metais pesados e fósforo aplicados, através de mecanismos de absorção e precipitação química.

Com relação ao aquífero subterrâneo, depois de 88 anos de operação as concentrações mínimas e máximas de fósforo observadas no lençol subterrâneo do projeto CALOMET, MICHIGAN foram 0,1 e 0,4 mg/l respectivamente, ficando demonstrado também, que a camada superficial de 0,3 m encontra-se saturada desse elemento. Em um outro projeto - LAKE GEORGE, NEW YORK - a concentração de fósforo medida no lençol subterrâneo, à 600 metros de distância dos pontos de infiltração, alcançaram valores máximos de 0,01 mg/l. após 48 anos de funcionamento. Nesse projeto a taxa de remoção de nutrientes e outros constituintes, compararam-se a de um filtro biológico, ou seja, remoção de Nitrogênio Amoniacoal em cerca de 96%; Nitrogênio Kjendal Total, 99%; Fósforo solúvel total, 97%; Cloretos 50% e Alcalinidade, 48%.

Ciclos de Aplicação

A alternância entre períodos de inundação e secagem é essencial, como já foi dito, para o restabelecimento das condições aeróbicas no interior do solo. Sua duração é determinada em função das taxas hidráulicas, do clima da concentração de sólidos no

efluente aplicado. BERNARDES, R.S. (14) (1986) recomenda 3 a 6 dias como período entre aplicações.

Confiabilidade do Processo

Com relação à confiabilidade, o melhor exemplo ainda é o LAKE GEORGE NEW YORK. Trata-se de um lago recreacional, que também é utilizado como manancial de água para potabilização. O efluente de um sistema de tratamento de esgoto a nível secundário é infiltrado pelo sistema infiltração-percolação, em leitos de areia emergindo em um tributário do lago.

Desde o início de seu funcionamento, em 1939, os levantamentos epidemiológicos efetuados não indicam nenhum problema de saúde pública.

Aplicação em sistema de reuso

Os projetos de infiltração-percolação são particularmente indicados onde se deseja o reuso da água de sub-solo, ou como forma de recarga de lençóis cuja produção esteja diminuindo. Além disso é uma alternativa barata do tratamento terciário, em regiões que apresentam condições geológicas e de solo, favoráveis. Finalmente, é bastante usado em regiões litorâneas, através da infiltração de efluentes municipais tratados nas bacias subterrâneas para afastamento e controle da cunha salina.

ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Descrição do Processo

É a descarga controlada, por aspersão ou outros meios, de grandes quantidades de efluentes sobre o solo. Na medida em que o efluente escoa pelo solo em declive, uma porção infiltra-se, enquanto que pequena quantidade evapora e o remanescente é coletado em canais. A depuração do esgoto se dá por filtração dos sólidos em suspensão pela vegetação rasteira e pela oxidação da matéria orgânica, através de bactérias que vivem nessa vegetação.

Solos com permeabilidade limitada, tais como argila e margas são especialmente apropriados para esse tipo de disposição, recomendando-se declividades moderadas (entre dois a oito por cento, de acordo com FIGUEIREDO, R.F. (40) (1985)) e ausência de depressões ou elevações, conforme figura 12.

Nos sistemas de disposição no solo por escoamento superficial podem ser usados efluentes tratados à nível secundário ou efluentes de sistemas avançados de tratamento de esgoto.

A camada anaeróbica formada sobre a superfície do solo promove desnitrificação, sendo por isso indicado para efluentes nitrificados. A desinfecção pode ser feita antes da aplicação do efluente no solo, ou após sua recuperação.

Operação

Esse método não requer muita atenção quanto à operação. A aplicação do esgoto no solo deve ser intermitente, no sentido de se permitir sua reaeração.

Eficiência do processo na remoção de contaminantes

Para que a qualidade da água retirada nos drenos de um campo de disposição por escoamento superficial entre em equilíbrio, há necessidade de um período de seis meses. Durante esse tempo desenvolve-se uma vegetação adequada e os microorganismos adaptam-se às características do esgoto, o que pode ser constatado pela crescente qualidade do esgoto tratado.

No campo de teste de ADA, OKLAHOMA, aplicando-se baixas taxas hidráulicas no inverno (0,07 m/semana) e taxas hidráulicas maiores no verão (0,10 m/semana) foram obtidas os resultados

apresentados na tabela 55. Como pode ser visto, existe uma pequena diferença na eficiência do processo em função da temperatura, o que em clima tropical pode ser desprezado.

Confiabilidade do Processo

Existem numerosos fatores que interferem numa análise de confiabilidade do processo de escoamento superficial, sendo a temperatura a mais importante, pois relaciona-se intimamente com a qualidade do efluente final, na medida em que nos meses frios há necessidade de se trabalhar com taxas hidráulicas reduzidas para manter uma taxa de nitrificação razoável.

Tabela 55 - Características do sistema de tratamento por disposição no solo (escoamento superficial de Ada, Oklahoma)

CONCENTRAÇÕES (mg/l)					
Parâmetro	Água Bruta	Água Recuperada		Porcentagem de remoção	
		Inverno	Verão	Inverno	Verão
SST	160	10	7	94	96
DBO 5(20c)	150	11	9	93	94
DQO	314	49	64	84	80
COT	89	17	20	81	78
N-TOTAL	23,6	6,5	2,3	72	90
N-NH3	17,0	1,3	0,8	92	95
N-NO3	0,8	3,3	0,4	-	50

Tabela 55 - Características do sistema de tratamento por disposição no solo (escoamento superficial de Ada, Oklahoma) (continuação)

CONCENTRAÇÕES (mg/l)				
Parâmetro	Água Bruta	Água Recuperada		Porcentagem de remoção
		Inverno	Verão	(1)
		Inverno	Verão	
P-TOTAL	10,0	5,0	4,2	50

(1) incluindo-se o pré tratamento constituído de gradeamento, decantação e remoção de gorduras para reduzir entupimentos nos equipamentos.

SST - Sólidos em Suspensão Totais

DB05(20C) - Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO - Demanda Química de Oxigênio

COT - Carbono Orgânico Total

N-TOTAL - Nitrogênio Total

N-NH3 - Nitrogênio Amoniacal

N-NO3 - Nitrogênio de Nitratos

P-TOTAL - Fósforo Total

FONTE: referência 28

Aplicação em sistema de reuso

Pela sua própria natureza, o sistema de aplicação superficial através do escoamento é um sistema de reuso. A água que normalmente seria descartada, neste sistema é usada para algum propósito. Embora os rendimentos auferidos com a comercialização dos produtos agrícolas obtidos representem nos Estados Unidos, menos do que 10% dos custos de operação e manutenção e operação. (28), trata-se de uma importante parcela que deve ser considerada como forma de viabilização econômica desse processo.

Quanto à qualidade do efluente de um sistema de escoamento superficial, este tem qualidade suficientemente alta para ser usado em inúmeras atividades agrícolas, ou mesmo industrial, dependendo da disponibilidade de fonte alternativas.

5.2 - SISTEMAS DE TRATAMENTO

Um sistema de tratamento, do ponto de vista de solução tecnológica adotada, é uma sequência de operações e processos unitários definidos em função de três requisitos:

- 1º) das características do líquido a ser tratado;
- 2º) dos objetivos pretendidos com o tratamento;
- 3º) da capacidade de remoção de cada processo unitário.

Essa sequência de operações e processos pode na realidade constar de uma única operação como, por exemplo, remoção de sólidos sedimentáveis por decantação, até um conjunto relativamente amplo que inclui oxidação biológica, coagulação química, filtração, remoção de sólidos dissolvidos, desinfecção, etc.

Algumas dessas sequências já são clássicas, tanto no tratamento de despejos como de água para abastecimento público, e por esse motivo são conhecidas por termos já consagrados como tratamento primário e secundário, no caso de despejos e tratamento convencional, no caso de água para abastecimento público. No caso de tratamento de esgotos municipais, por exemplo (portanto fixado o primeiro requisito referido no início), para disposição do efluente tratado num corpo d'água, sujeito a determinadas restrições legais, quanto a qualidade desses despejos (portanto, fixado o segundo requisito), o sistema de tratamento compatível poderá ser do tipo secundário, se as taxas de remoção forem suficientes para atender as restrições impostas.

Já no caso de tratamento de água para abastecimento público em que a fonte é superficial e de boa qualidade, o sistema de tratamento é o convencional, definido pela clássica sequência dos processos de coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção, dos quais se conhece suficientemente bem o grau de eficiência, ou de remoção dos contaminantes, sendo dessa forma possível garantir o atendimento aos padrões de qualidade.

Quando se trata de reuso de água, dada a grande variabilidade da fonte, que pode ser desde esgoto bruto até despejos razoavelmente diluídos, como da própria finalidade a que se destina o efluente tratado, ou tipo de reuso pretendido, é grande também a variedade de sistemas, ou sequências de processos possíveis de serem concebidos. O tratamento secundário dos esgotos urbanos de uma comunidade, por exemplo, pode ser uma fase de um sistema de tratamento de reuso, como ilustra o esquema da figura 13.

Figura 13 - Reuso Potável Indireto Típico

Para simplificação do estudo, a metodologia adotada na discussão das soluções tecnológicas possíveis será aquela proposta por CULP, G. et al. (28) (1980) em que, partindo de esgotos urbanos brutos de origem predominantemente doméstica, são analisadas sequências de processos, que resultam num efluente com características determinadas em função do desempenho previsto para cada processo unitário.

Esses autores desenvolveram sequências de processos capazes de produzir efluentes com qualidade variada, para usos benéficos potenciais. Em cada sequência, a ordem dos processos é baseada em experiência comprovada através da operação de instalações e das interrelações entre os processos. A discussão é feita de acordo com níveis de qualidade, onde para cada nível a sequência, ou sequências são discutidas e ilustradas com um esquema do processo, critérios de projeto, performance, confiabilidade global do sistema de tratamento, consumo de energia e custos.

De uma forma geral, os processos unitários são acrescentados sucessivamente formando sistemas de tratamento, para produção de níveis de tratamento cada vez mais altos, e portanto, de melhor qualidade do efluente. Na tabela 56 relacionamos os diversos níveis propostos, além de uma breve descrição de cada um deles, bem como indicação das figuras esquemáticas de cada um.

A definição dos níveis foi feita a partir de um nível mínimo de qualidade do efluente - nível 1 - evoluindo para outros

subsequêntes, pelo acrescimo de processos unitários. O nível mais baixo inclui o tratamento preliminar - gradeamento, remoção de areia e decantação primária - dos esgotos, como condição prévia para reuso.

Tabela 56 - Níveis de tratamento e descrição dos sistemas

NÍVEL DE TRATAMENTO	DESCRIÇÃO
1.a	Lodo ativado (fig. 14)
1.b	Filtro biológico (2.0m de enchimento de pedras) (fig. 15)
2.a	Nitrificação com aeração em 2 estágios (fig. 16)
2.b	Aeração prolongada (fig. 17)
3.a	Nitrificação-desnitrificação em dois estágios (fig. 18)
3.b	Troca iônica seletiva (fig. 19)
4	Filtração de efluente secundário (fig. 20)
5.a	Adição de sulfato de Alumínio no tanque de aeração (fig. 21)

Tabela 56 - Níveis de tratamento e descrição dos sistemas
(continuação)

NÍVEL DE TRATAMENTO	DESCRIÇÃO
5.b	Adição de cloreto Férrico no tratamento primário (fig. 22)
5.c	Tratamento terciário com cal, com ajuste de pH com H ₂ SO ₄ e recarbonatação (fig. 23)
6.a	Tratamento do efluente nitrificado, com cal (fig. 24)
6.b	Tratamento terciário com cal seguido de troca iônica (fig. 25)
7	Adsorção em carvão ativado do efluente do tratamento secundário filtrado (fig. 26)
8	Adsorção em carvão ativado, do efluente do tratamento terciário com cal (fig. 27)
9	Adsorção em carvão ativado, do efluente do tratamento terciário com cal e nitrificação (fig. 28)

Tabela 56 - Níveis de tratamento e descrição dos sistemas
(continuação)

NÍVEL DE TRATAMENTO	DESCRIÇÃO
10	Adsorção em carvão ativado, do efluente do tratamento terciário com cal e troca iônica (fig. 29)
11	Tratamento biológico e físico-químico seguido de osmose reversa (fig. 30)
12.a	Tratamento físico-químico com cal "Ammonia Stripping" (fig. 31)
12.b	Tratamento físico-químico com cloreto férrico e troca iônica (fig. 32)
13.a	Irrigação em condições favoráveis (fig. 33) Irrigação em condições moderadas (fig. 33) Irrigação em condições desfavoráveis (fig.33)

Tabela 56 - Níveis de tratamento e descrição dos sistemas
(continuação)

NÍVEL DE TRATAMENTO	DESCRIÇÃO
13.b	<p>Infiltração percolação em condições favoráveis (fig. 34)</p> <p>Infiltração percolação em condições moderadas (fig. 34)</p> <p>Infiltração percolação em condições desfavoráveis (fig. 34)</p>
13.c	<p>Escoamento superficial em condições favoráveis (fig. 35)</p> <p>Escoamento superficial em condições moderadas (fig. 35)</p> <p>Escoamento superficial em condições desfavoráveis (fig. 35)</p>

FONTE: Referência 28

Figura 14- Nível 1a: Lodos Ativados.

Figura 15- Nível 1b: Filtro Biológico

Figura 16- Nível 2a: Nitrificação com Aeração em Dois Estágios.

Figural7- Nível 2b: Aeração Prolongada.

Figura 18- Nível 3a: Nitrificação-Desnitrificação em dois estágios

Figura 19- Nível 3b: Troca Iônica Seletiva

Figura 20- Nível 4: Filtração de efluente secundário

Figura 21- Nível 5a: Adição de sulfato de alumínio no tanque de aeração.

Figura 22- Nível 5b: Adição de FeCl_3 no Tratamento Primário

Figura 23- Nível 5c: Tratamento Terciário com Cal.

Figura 24- Nível 6a: Tratamento do Efluente Nitrificado com Cal.

Figura 25- Nível 6b: Tratamento Terciário com Cal, seguido de Troca Iônica.

Figura 26- Nível 7: Adsorção em Carvão Ativado do efluente do Tratamento Secundário Filtrado.

Figura 27- Nível 8: Adsorção em Carvão Ativado do efluente do Tratamento Terciário com Cal.

Figura 28- Nível 9: Adsorção em Carvão Ativado do efluente do Tratamento Terciário com Cal e Nitrificado.

Figura 29- Nível 10: Adsorção em Carvão Ativado do efluente do Tratamento Terciário com Cal e Troca Iônica.

Figura 30- Nível 11: Tratamento Biológico e Físico Químico, seguido de Osmose Reversa.

Figura 31- Nível 12a: Tratamento Físico Químico com Cal e "Ammonia Stripping".

Figura 32- Nível 12b: Tratamento Físico Químico com Cloreto Férrico e Troca Iônica.

Figura 33- Nível 13a: Irrigação.

Figura 34- Nível 13b: Infiltração-Percolação.

Figura 35- Nível 13c: Escoamento Superficial.

Quanto as taxas de remoção e a confiabilidade para cada nível, esses valores podem ser encontrados na obra de CULP, G. et al. (28) (1980), enquanto que para estimação das taxas de remoção esperada para um dado sistema, recomendamos a metodologia desenvolvida por BLUM, J.R.C. (19) (1988) que parte das concentrações verificadas nos esgotos brutos e das taxas de remoção para cada processo unitário e chega a taxa de remoção, pela relação abaixo:

$$t = 1 - [(1-t_1).(1-t_2).(1-t_3)...(1-t_n)]$$

onde, t = taxa de remoção final do sistema e

$t_1, t_2, \dots, t_n$ = taxas de remoção individuais dos processos 1, 2, ..., n.

Essa mesma relação pode ser utilizada para determinar a confiabilidade do sistema, a partir das confiabilidades individuais dos processos que compõem esse sistema.

Com relação a concepção dos sistemas de tratamento, em função das várias modalidades de reuso, a tabela 57 adaptada de CHANEY, R.L. (26) (1984), AMARAL, R. (5) (1979) E CULP, G. et al. (28) (1980) mostra os mais indicados. Evidentemente esses sistemas de tratamento não são os únicos existentes para cada caso, senão os mais típicos.

Tabela 57 - Sistemas de tratamento indicado por modalidade
de reuso

USO BENÉFICO	SISTEMA DE TRATAMENTO
1 - IRRIGAÇÃO-FORRAGENS	1a OU 1b
2 - IRRIGAÇÃO-PLANTAS FRUTÍFERAS	1a OU 1b
3 - IRRIGAÇÃO DE PARQUES E JARDINS	4
4 - DESSEDENTAÇÃO DE REBANHOS E ANIMAIS SILVESTRES	1a OU 1b
5 - GERAÇÃO DE ENERGIA E REFRIGERAÇÃO INDUSTRIAL	
a) SEM RECIRCULAÇÃO	1a OU 1b
b) COM RECIRCULAÇÃO	6b
6 - CALDEIRAS-PRESSÃO MÉDIA	8

Tabela 57 - Sistemas de tratamento indicado por modalidade
de reuso (continuação)

USO BENÉFICO	SISTEMA DE TRATAMENTO
7 - USO INDUSTRIAL	
a) PETRÓLEO E CARVÃO	4
b) METALURGIA PRIMÁRIA	1a OU 1b
c) PAPEL E DERIVADOS	8
d) PRODUTOS QUÍMICOS E DERIVADOS	8
e) PRODUTOS ALIMENTÍCIOS	8
8 - PISCICULTURA	6b
9 - RECREAÇÃO	
a) CONTATO SECUNDÁRIO	4
b) CONTATO PRIMÁRIO	6b
10- ABASTECIMENTO PÚBLICO	
a) RECARGA DE LENÇOL POR ASPERSÃO	13b
b) RECARGA DE LENÇOL POR INJEÇÃO	11
c) SUPRIMENTO SUPERFICIAL	8
11- USO POTÁVEL DIRETO	11

FONTE: referência (26), (05) e (28)

sistemas de tratamento apresentados, na tabela 58 indicamos apenas os custos unitários, em centavos de dólares por metro cúbico, para os diversos níveis de qualidade de efluente, referidos a instalações de 1,0, 10,0 e 50,0 milhões de galões por dia. Além disso, nessa mesma tabela, apresentamos esses valores também em centavos de dólares norte americanos, trazidos para Fevereiro de 1988, considerando-se a inflação norte americana no período, de acordo com índices fornecidos pelo Banco Central e publicados pela REVISTA CENÁRIOS (78) (1988).

Evidentemente a simples transposição para o valor presente dos custos, considerando-se apenas a inflação no período, induz ao erro de se considerar constante no tempo os percentuais relativos a cada item considerado na composição dos custos. Entretanto, trata-se de uma simplificação que introduzimos face a inexistência de dados atuais e a necessidade de se ter uma ideia desses valores hoje.

Tabela 58 - Custo em centavos de dólares americanos
POR 1000 GALÕES, PARA DIVERSOS NÍVEIS
DE TRATAMENTO

CAPACIDADE DO SISTEMA (mg d)						
NÍVEIS DE TRATAMENTO	1		10		50	
	1.977	1.988	1.977	1.988	1.977	1.988
1a	77,5	147,7	30,3	57,7	21,8	41,5
1b	87,0	165,8	42,1	80,2	33,2	63,3
2a	108,2	206,2	41,7	79,5	30,2	57,6
2b	43,3	82,5	28,4	54,1	-	-
3a	127,7	243,4	56,1	106,9	41,5	79,1
3b	166,8	317,9	72,8	138,7	51,0	97,2
4	110,3	210,2	38,0	72,4	28,2	53,7
5a	120,3	229,3	46,1	87,9	35,7	68,0
5b	117,2	223,3	43,5	82,9	33,3	63,5
5c	146,4	279,0	57,3	109,2	44,5	84,9
6a	169,8	323,6	59,8	113,9	44,6	85,0
6b	194,7	371,1	84,5	161,0	62,4	118,9
7	154,0	293,5	55,6	106,0	42,7	81,4
8	189,0	360,2	75,0	143,0	59,4	113,2
9	216,6	412,8	77,4	147,5	59,5	113,4

Tabela 58 - Custo em centavos de dólares americanos
 POR 1000 GALÕES, PARA DIVERSOS NÍVEIS
 DE TRATAMENTO (continuação)

CAPACIDADE DO SISTEMA (mg d)						
NÍVEIS DE TRATAMENTO	1		10		50	
	1.977	1.988	1.977	1.988	1.977	1.988
10	238,3	454,2	102,1	194,6	77,1	146,9
11	368,6	702,5	190,2	362,5	157,0	299,2
12a	210,1	400,4	77,2	147,1	63,7	121,4
12b	220,5	420,3	84,7	161,5	64,5	123,0
13a						
condições	45,2	86,1	28,9	55,1	23,7	45,2
favoráveis						
13a						
condições	79,5	151,5	61,5	117,2	53,5	101,0
moderadas						
13a						
condições	224,7	428,3	197,8	377,0	187,9	358,1
desfavoráveis						

Tabela 58 - Custo em centavos de dólares americanos
POR 1000 GALÕES, PARA DIVERSOS NÍVEIS
DE TRATAMENTO (continuação)

CAPACIDADE DO SISTEMA (mg d)						
NÍVEIS DE TRATAMENTO	1		10		50	
	1.977	1.987	1.977	1.987	1.977	1.987
13b						
condições						
favoráveis	34,3	65,4	16,0	35,5	12,1	23,1
13b						
condições	38,1	72,6	19,7	37,5	15,8	30,1
moderadas						
13b						
condições	72,6	138,4	49,4	94,1	43,3	82,5
desfavoráveis						
13c						
condições	39,3	74,9	23,4	44,6	18,9	36,0
favoráveis						

Tabela 58 - Custo em centavos de dólares americanos
POR 1000 GALÕES, PARA DIVERSOS NÍVEIS
DE TRATAMENTO (continuação)

CAPACIDADE DO SISTEMA (mg d)						
NÍVEIS DE	1		10		50	
TRATAMENTO	1.977	1.987	1.977	1.987	1.977	1.987

13c

condições moderadas

52,4	99,9	35,4	67,5	30,1	57,4
------	------	------	------	------	------

13c

condições desfavoráveis

93,6	178,4	77,4	147,5	71,6	136,5
------	-------	------	-------	------	-------

FONTE: adaptado da referência 28 com correção de inflação dada
por índices publicados na referência 78.

Neste capítulo fizemos um resumo dos principais processos unitários utilizados pela tecnologia do reuso de água, introduzimos o conceito de sistemas de tratamento, bem como abordamos de forma simplificada os custos envolvidos. A seguir, apresentamos alguns casos de possibilidade de adoção de enfoque de Reuso de Água em São Paulo.

6 - EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DE REUSO DE ÁGUA

A finalidade deste capítulo é demonstrar através de alguns exemplos, de certa forma bastante conhecidos, que o Reuso de Águas é uma prática que não está na literatura dos países desenvolvidos como se fosse uma obra de ficção científica, à espera do século XXI. Pelo contrário, pretendemos mostrar as propostas já existentes para sua adoção em situações bastante próximas, como na Região Metropolitana de São Paulo, por exemplo.

Os exemplos que seguem não pretendem esgotar as possibilidades de adoção dessa metodologia, senão apresentar alguns casos, entre outros, a título de ilustração.

6.1 - Reuso Não Potável Agrícola no Estado de São Paulo

A implantação de programas de Reuso Não Potável Agrícola vem ganhando importância, não apenas em regiões de escassez de água mas onde isso não ocorre, como forma de diminuição das pressões sobre o meio ambiente. Dentro dessa linha, LAVRADOR FILHO (52) (1987) após um levantamento das diversas propostas feitas por pesquisadores brasileiros nesse sentido, estuda com razoável nível de detalhamento a possibilidade da implantação do reuso de água, para fins de irrigação agrícola de vegetais, que não são consumidos crus, no Estado de São Paulo.

Esse autor, citando NUCCI, N.L.R. et al. (67) (1978), afirma que a maior parte dos solos do Estado de São Paulo é potencialmente irrigável, e portanto apta à disposição de efluentes para tratamento, tanto com relação às culturas teoricamente indicadas às várias regiões, como àquelas efetivamente praticadas.

Nessa condições, os citados autores, argumentando que o reuso para irrigação e o tratamento de esgotos por disposição no solo podem ocorrer simultaneamente e, somado ao fato de que a presença de nutrientes nos efluentes contribui para a fertilização do solo, demonstram o grande potencial existente para o reuso planejado para fins de irrigação de produtos que não são consumidos crus no Estado de São Paulo, seja no atendimento aos usos consuntivos das plantas, seja para o tratamento e disposição dos esgotos das cidades, seja para fertilização dos solos.

6.2 - Reuso Não Potável Industrial na Região Metropolitana de São Paulo

Em 1980, o CNEC - Consórcio Nacional de Engenheiros Consultores - num estudo encomendado pela SABESP denominado "Estudo de Viabilidade e Programa de Fornecimento de Água da SABESP a Grandes Consumidores da Região Metropolitana de São Paulo", recomendava a adoção de dois níveis de qualidade de água para atendimento a essa demanda. Essas águas, teriam origem em fontes produtoras separadas em dois grupos:

Nível I : Águas que se destinariam a usos mais exigentes, em termos de qualidade, tais como: consumo humano, produção de vapor e alguns tipos de processos industriais (indústria de alimentos, por exemplo);

Nível II: Águas que se destinariam a outros usos, menos exigentes que os anteriores, em termos de qualidade.

Essas águas teriam origem em fontes produtoras separadas em dois grupos, de acordo com o quadro 10.

QUADRO 10 - AGRUPAMENTO DAS FONTES DE ÁGUA

GRUPO	CARACTERÍSTICA	FONTE PRODUTORA
-----	-----	-----
I	Água destinada a usos mais exigentes	- Mananciais destinados ao suprimento de água potável da RMSP (Sistema Integrado)
II	Água destinada a usos menos exigentes	- Outros mananciais superficiais não aproveitados ou não aproveitáveis para fins de abastecimento público - Efluentes das Estações Recuperadoras de Qualidade de Água.
-----	-----	-----

No caso das fontes do Grupo II, enquadradas como reuso de águas, o CNEC após a exclusão dos mananciais que integrarão os Sistemas Produtores de Água de Região Metropolitana de São Paulo para abastecimento público até o final do século, propunha a utilização de outros não aproveitáveis devido à qualidade de suas

águas, ou à localização geográfica ou ainda às potencialidades individuais. A relação desses mananciais apresentadas a seguir, previa a desativação da Estação de Tratamento de Água do Baixo Cotia;

- Sistema Baixo Cotia
- Sistema Baixo Juquerí
- Rio Tietê e Tamanduateí
- Pequenos afluentes do Rio Tietê :

- Rio Botujurú
- Ribeirão Baquirivú-Guaçú
- Ribeirão Cabuçú de Cima
- Ribeirão Guaió
- Ribeirão da Vargem

Após um estudo de demandas e de distribuição espacial dos possíveis consumidores, a proposta do CNEC recomendava como viável apenas três zonas num total de sete, onde a proximidade das fontes produtoras viabilizariam a proposta. Dessas três zonas, apresentadas no quadro II, apenas a primeira seria passível de abastecimento pelas fontes do quadro I, as demais seriam abastecidas pelos efluentes das Estações Recuperadoras de Qualidade (ERQ's) ABC e Suzano, submetidos a tratamento complementar em unidades denominadas Estações de Tratamento de Água Industrial (ETAI).

QUADRO 11 - ATENDIMENTO DAS DEMANDAS GRUPO II

OESTE	FONTE DE SUPRIMENTO	SUB-REGIÕES ATENDIDAS
-----	-----	-----
OESTE	SISTEMA BAIXO COTIA	QUITAUNA (OSASCO)
CENTRAL	ERQ/ETAI ABC	MOOCA (SÃO PAULO)
		VILA ALPINA (SÃO PAULO)
		SACOMÃ (SÃO PAULO)
		SÃO CAETANO DO SUL
		MUSSOLINI (SÃO BERNARDO)
		CURUÇÁ (SANTO ANDRÉ)
LESTE	ERQ/ETAI SUZANO	POÁ
		SUZANO
		MOGI DAS CRUZES

As zonas Leste e Central teriam sistemas que se utilizariam dos efluentes das ERQ's, tratados em unidades adicionais - ETAI's - enquanto os da Zona Oeste aproveitariam as instalações existentes do Sistema Baixo Cotia. As unidades adicionais das ETAI's seriam compostas por:

- tomada dos efluentes das ERQ's;
- captação dos Rios Tamanduateí ou Tietê;
- tratamento complementar (ETAI);
- estação elevatória;
- reservatório de distribuição;
- sistema de sub-adição, e
- redes de distribuição.

Dentro dessa concepção, o efluente de cada ERQ seria conduzido a uma unidade de tratamento complementar através de uma tubulação. Paralelamente à essa tomada existiria a captação do rio que lhe é próximo - Tietê ou Tamanduateí - que entraria em funcionamento quando ocorressem situações excepcionais na operação das ERQ's, permanecendo a maior parte do tempo parada, ou seja, foi previsto como segurança operacional do sistema.

Com relação ao tratamento complementar, a proposta baseava-se na experiência da consultora e não em critérios que pudessem ser classificados como objetivos. Assim sendo, o tratamento complementar seria composto por mistura rápida, coagulação-floculação, sedimentação, filtração e desinfecção.

Após esse tratamento complementar, a água seria recalçada até um reservatório de grande capacidade, a partir do qual seria distribuída em sistemas isolados.

Com relação à demanda da Zona Oeste, o CNEC propunha a desativação do Sistema Baixo Cotia, atualmente operando como

do Grupo I.

Evidentemente a adoção desta proposta, por parte de SABESP, inviabilizaria a continuação da utilização do Sistema Cotia para fins de abastecimento público, o que será proposto no item 6.3, apresentado a seguir.

6.3 - Reuso Potável Indireto na Região Metropolitana de São Paulo

Como exemplo de Reuso Potável Indireto na Região Metropolitana de São Paulo, escolhemos o Sistema de Abastecimento de Água do Baixo Cotia operado pela SABESP. Esse rio, um afluente da margem esquerda do Rio Tietê, localiza-se na região noroeste da citada região, tem suas águas captadas em dois pontos para serem tratadas em duas estações de tratamento. O primeiro ponto, localizado na Barragem da Graça em seu curso superior, abastece a Estação do Alto Cotia, enquanto que o segundo, localizado na Represa Isolina em seu baixo curso, abastece a Estação de Tratamento de Água do Baixo Cotia, conforme a figura 36. Enquanto a primeira estação de tratamento processa água procedente de manancial fisicamente protegido pela vegetação nativa e pela topografia local, a segunda usa água altamente poluída e contaminada, por ser o baixo curso desse rio, receptor natural dos esgotos domésticos de Cotia, de populações ribeirinhas que não dispõe de sistema de coleta de esgotos e dos despejos líquidos de um grande número de indústrias.

6.3.1 - Descrição da área em estudo

O município, que é composto do Distrito Sede, Granja Viana, Raposo Tavares e Caucaíia do Alto é atravessado pelo Rio Cotia, sendo que neste trabalho nossa atenção está voltada para o Distrito Sede, cuja zona urbana é atravessada pelo Ribeirão das Pedras, um tributário do Rio Cotia.

Em termos de macro divisão, as características de uso e ocupação do solo nessa região são bastante distintas. Dá área total de 350 Km², o município possui cerca de 120 Km² (30%) dentro da Área de Proteção de mananciais, enquanto que para o restante, existem diversos núcleos de ocupação urbana residencial e industrial de padrões diversos, ao lado de áreas livres ainda de grande porte.

O eixo principal de desenvolvimento é a Rodovia Raposo Tavares, ao longo da qual situam-se indústrias que se alternam com áreas residenciais, algumas já densamente povoadas. De modo geral as habitações são térreas, de médio e baixo padrão. Fora desse eixo, há diversos loteamentos tipo condomínio, com elevado padrão.

A topografia da região é extremamente acidentada, com grandes variações de cotas ao longo de toda área. Como decorrência a rede hidrográfica é bastante peculiar, com elevado número de córregos em inúmeros fundos de vales sendo que o Ribeirão das Pedras drena uma área de 10 km² e o Rio Cotia, cerca de 250 km². Face às características montanhosas do local, os rios tendem a apresentar elevados picos de enchentes que, em geral, são de curtas durações.

Para o Rio Cotia o Departamento de Água e Energia Elétrica do Estado de São Paulo - DAEE - possui um posto para medição de vazão situado próximo à ETA do Baixo Cotia. Esse posto, que é registrador, vem operando desde 1965, cobrindo uma área de drenagem de 247 km².

Com relação a situação do sistema de coleta e disposição final dos esgotos domésticos, este é bastante precário, pois para uma população de aproximadamente 25000 habitantes no Distrito Sede, tem-se cerca de 9 km de rede coletora de esgotos, o que atende cerca de 2400 habitantes.

Por outro lado, com base nos elementos disponíveis, pode-se constatar que em Cotia existem cerca de 130 estabelecimentos industriais, sendo que diversos apresentam elevado potencial poluidor, destacando-se o Frigorífico Cotia, Leiner do Brasil, Laboratório Welcome e Indusquímica. Muitos desses estabelecimentos possuem tratamento próprio, alguns com baixas eficiência. A figura 1 apresenta um esquema de localização das principais indústrias, bem como dos pontos de coleta de amostras para exame em laboratório.

6.3.2 - Descrição sucinta dos processos de tratamento de água das estações operadas pela SABESP

A figura 37 apresenta os fluxogramas dos processos de tratamento empregados pela Estação de Tratamento de Água do Alto Cotia e do

Baixo Cotia. Como pode ser visualizado nos esquemas, a Estação de Tratamento de Água do Alto Cotia utiliza-se de processo convencional com pré cloração ao break point. Quanto à Estação do Baixo Cotia, a partir de Setembro de 1987, teve início a aplicação de carvão ativado imediatamente a montante da pré cloração.

A tabela 59 apresenta as dosagens de produtos químicos utilizados pelas duas estações de tratamento, em situações de máxima e de mínima demanda de cloro durante o ano de 1987.

Figura 36- Bacia do Baixo Cotia: principais indústrias e pontos de amostragem.

ETA Alto Cotia: vazão média 800 l/s

ETA Baixo Cotia: vazão média 600 l/s

Figura 37- Fluxograma dos processos de tratamento de água das Estações de Tratamento do Alto e do Baixo Cotia.

Tabela 59 - DOSAGEM DE PRODUTOS QUÍMICOS UTILIZADOS NOS PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ÁGUA, DAS ESTAÇÕES DO ALTO E DO BAIXO COTIA, DURANTE 1987.

	ALTO COTIA		BAIXO COTIA	
Demanda de Cloro(*)	4,0	1,5	74,9	13,5
Carvão Ativado	+	+	9,37	9,37
Cal-Pré Alcalinização	13,8	9,0	149,3	89,5
Cal-Pós Alcalinização	9,2	6,0	+	+
Cloro-Pré Cloração	3,5	2,0	77,4	13,5
Cloro-Pós Cloração	2,0	1,0	+	+
Sulfato de Alumínio	29,0	17,0	+	+
Cloreto Férrico	+	+	46,3	26,8
Ácido Fluossilícico	0,7	0,8	0,5	0,5
Vazão Média (l/s)	830	905	535	556

(*) EXCETO QUANDO INDICADO, VALORES EM mg/l.

(+) NÃO USADO.

FONTE: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP

Como foi visto nos itens anteriores, o Rio Cotia em seu alto

curso tem águas com qualidade absolutamente compatível para servir como manancial de uma estação de tratamento de águas que se utiliza de metodologia convencional. Esse fato, que será discutido nos itens subseqüentes, pode ser observado, já na tabela 56 pelos valores da Demanda de Cloro e consumo de produtos químicos, quando comparadas as duas estações de tratamento.

A flagrante diferença de situações em termos de proteção de manancial decorrente da ocupação e parcelamento do solo na área de drenagem da bacia, caracteriza de acordo com as definições adotadas no capítulo 3 desta dissertação, numa situação de Reuso Potável Indireto não Planejado para a Estação do Baixo Cotia. Apesar disso as duas Estações adotam processos de tratamento de água semelhantes, sendo a principal diferença a aplicação de carvão ativado, no Baixo Cotia, introduzida em setembro de 1987 além da utilização de cloreto férrico como coagulante.

A aplicação de carvão ativado, embora seja um processo unitário altamente indicado, não é feita de forma conveniente, além de que o ponto de aplicação é absolutamente inadequado—imediatamente antes da pré cloração—prejudicando tanto a pretensa adsorção, quanto a desinfecção. Além do carvão, os demais processos e operações são semelhantes apesar da diferença de qualidade de água.

Assim sendo, o que se questiona é o seguinte: será que a tecnologia convencional de potabilização é suficiente para tratar qualquer tipo de água ? Será que uma bacia como a do Rio Cotia

onde todas as variáveis de gerenciamento de qualidade estão absolutamente soltas, tem qualidade de água constante a ponto de não exigir pelo menos uma homogeneização imediatamente a montante do tratamento ? Será que o monitoramento de qualidade da água produzida na Estação do Alto Cotia pode ser igual ao Baixo Cotia, diferindo apenas na intensidade ? Será que a tecnologia de tratamento avançado da água disponível e francamente utilizados pelos países desenvolvidos é dispensável ? Será que o conhecimento atual sobre a problemática dos organo-clorados, sobre a carcinogenicidade dos chamados elementos traços e dos problemas decorrentes da pré-cloração (prática introduzida entre nós na década de 60 e hoje condenada pelos países desenvolvidos) não devem ser considerados ? Enfim, existe riscos em se utilizar de um manancial como o do Baixo Cotia empregando apenas tecnologia convencional?

Para avaliação do risco, associado a utilização de mananciais poluídos por esgotos domésticos e industriais mediante tecnologia convencional, especialmente o que diz respeito a pré-cloração, é aconselhável a leitura dos trabalhos de FREITAS, A.R. (39) (1981), segundo o qual na Europa não se usa cloro em água bruta, dado o conhecimento atual sobre organo-clorados e a necessidade, por força legal, que a água tem de ser isenta de qualquer odor, inclusive de cloro. Ainda segundo o mesmo autor, os europeus dão muita ênfase às contaminações químicas, além das microbiológicas, enquanto que os americanos enfatizam mais estas últimas, daí o exagero do uso do cloro até pouco tempo atrás nos Estados Unidos e como consequência no Brasil.

Nos trabalhos e publicações americanas atuais, é flagrante a alteração no curso dessa tendência. Cada vez mais as agências americanas de meio ambiente estão recomendando uma revisão na prática da utilização de cloro ao break point na água bruta, fato este iniciado a partir das recomendações feitas pela EPA-Environmental Protection Agency (37) (1978), dos Estados Unidos.

Nessas condições, conclue-se que, embora o Sistema Baixo Cotia seja um exemplo bastante claro de Reuso Potável Indireto Não Planejado, a tecnologia utilizada, tanto no tratamento da água como no seu monitoramento, é convencional.

6.3.3 - Comparação entre o Sistema de Tratamento de Água do Baixo Cotia, o Potomac Estuary Experimental Water Treatment Plant e o Denver's Reuse Demonstration Plant

A seguir faremos uma descrição e comparação de um Sistema de Reuso Potável Indireto Planejado Norte Americano - O Potomac Estuary Experimental Water Treatment Plant com um Sistema de Reuso Potável Direto também Norte Americano - o Denver's Reuse Demonstration Plant - e com o Sistema Baixo Cotia, face aos padrões de qualidade de água brasileiros.

POTOMAC ESTUARY EXPERIMENTAL WATER TREATMENT PLANT

Trata-se de uma estação de demonstração concebida para operar dentro do conceito de Reuso Potável Indireto Planejado. Essa

unidade tem capacidade de 43,8 l/s e foi construída com os seguintes objetivos:

1º) Determinar a melhor sequência de operação e processos unitários de tratamento;

2º) Determinar a eficiência e a confiabilidade do sistema de tratamento adotado, com relação a um grande léque de parâmetros;

3º) Estimar os custos para uma planta em escala real com capacidade de 4,4 m³/s numa primeira etapa, e 8,8 m³/s em fim de plano;

4º) Verificar se a água produzida pela unidade de demonstração é potável, dentro dos conceitos microbiológicos e físicos químicos mais modernos.

Quanto a água bruta utilizada pela estação experimental, é a mesma que será tratada pela estação definitiva, ou seja, uma mistura de água do estuário do Rio Potomac e do efluente nitrificado da Estação de Tratamento de Esgoto de Blue Plains, inicialmente à razão de 50% de cada fonte podendo ser alterada em função dos resultados obtidos.

Descrição da estação e resultados

A estação foi projetada para incluir, além dos processos convencionais, pré-desinfecção como ozona ou cloro, possibilidade

de recirculação de lodo, adsorção em leitos carvão ativado com fluxo ascendente e descendente, desinfecção final com ozona, cloro ou radiação ultra violeta, conforme esquema da figura 38.

Alem dos processos descritos, a estação possui sistema de desmineralização por troca iônica, eletrodialise ou osmose reversa, sendo possível usar métodos alternativos para comparação.

Com relação aos resultados conseguidos com essa estação, o problema fundamental é determinar se a água tratada, a partir de uma mistura de um sistema de lodos ativados e de um estuário de um rio, pode ser definido como "potável". Até agora, do ponto de vista dos padrões monitorados, não está havendo objeções, embora no momento estejam sendo levados a efeito testes de limites toxicológicos, inclusive testes de Ames da mutagenicidade e testes de mutação em células de mamíferos. O resultado desses ensaios, "in vitro", embasarão as conclusões sobre os riscos associados a ingestão dessa água.

INSTALAÇÃO PILOTO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DO ESTUÁRIO DO RIO POTOMAC

FIGURA 38- INSTALAÇÃO PILOTO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DO ESTUÁRIO DO RIO POTOMAC

DENVER'S REUSE DEMONSTRATION PLANT

Essa estação de demonstração foi construída pelo Denver Water Department e o Environmental Protection Agency EPA - para operar dentro dos conceitos de Reuso Potável Direto, ou seja, sua água bruta é o efluente de um sistema do tratamento de esgotos domésticos não clorados, o Metropolitan Denver Sewage Disposal District a sua vazão de projeto é de 44 l/s. O sistema começou a operar em janeiro de 1.984 e os objetivos a serem alcançados, basicamente são os mesmos do sistema de Potomac.

Descrição da estação e resultados

O sistema de tratamento é composto dos seguintes processos unitários: coagulação com cal, precipitação, recarbonatação, filtração, troca iônica, adsorção em carvão ativado (primeiro estágio), ozonização, adsorção em carvão ativado (segundo estágio), osmose reversa, "ammonia-stripping" e a desinfecção com dióxido de cloro. Da mesma forma que a anterior, o sistema foi concebido tendo em vista a possibilidade de testar processos em paralelo, através de operação de registros. A figura 39 apresenta a sequência de tratamento utilizado por essa estação.

Com relação aos resultados qualitativos desse sistema, existem inúmeros trabalhos já publicados atestando potabilidade da água produzida, entretanto, estão em andamento estudos relativos aos efeitos à saúde humana a longo prazo, cuja duração está prevista

para até 1.990.

Figura 39- Estação de demonstração de Reuso Potável Direto de Denver, Colorado.

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DO BAIXO COTIA

Descrição da estação e resultados

Como já foi descrito no item 5.2.2, trata-se de um sistema que até setembro de 1987 utilizava-se de processo convencional de tratamento de água, uma vez que a partir dessa data foi introduzida a aplicação de carvão ativado em pó. Hoje, essa estação utiliza os seguintes processos unitários: aplicação de

carvão ativado em pó, pré-alcalinização, pré-cloração ao breakpoint, coagulação com cloreto férrico, floculação, decantação, filtração (filtros com camadas duplas de areia e antracito), pós-cloração e fluoretação.

Como também já foi dito, apesar da diferença de qualidade de água bruta desse sistema e dos demais existentes na cidade de São Paulo, o tratamento até há bem pouco tempo era praticamente o mesmo. Além disso, os parâmetros eleitos para o controle de qualidade são praticamente os mesmos, diferindo apenas na frequência de amostragem.

Quanto aos resultados qualitativos obtidos pelo sistema, atende aos padrões de qualidade dado pela portaria 56 do Ministério da Saúde de 1.977, uma vez que esse dispositivo é omissivo com relação a uma série de organismos que podem estar presentes nessa água, como por exemplo os vírus, sendo omissivo também em relação a micropoluentes, compostos organo-clorados e outros já discutidos.

COMPARAÇÃO DOS TRÊS SISTEMAS

A tabela 60 apresenta dados de água bruta do Sistema Potomac extraído dos trabalhos KAVANAUGH, M.C. (49) (1981), da Estação de Demonstração de Reuso Potável Direto de Denver tirados dos trabalhos de LAUER, W.C. et al. (57) (1984), do Sistema Baixo Cotia da SABESP fornecidos pela CETESB (24),(25)(1985 a 1987) e da Resolução CONAMA nº 20 de 18.06.1986, relativa à classe do Rio Cotia naquele trecho - classe 3.

Os dados relativos ao Sistema Potomac referem-se a uma situação de seca, onde as águas do Rio Potomac são misturadas com efluente nitrificado de Sistema de Tratamento de Esgoto, como foi dito anteriormente à razão de 50%, caracterizando dessa forma o caso de Reuso Potável Indireto Planejado de acordo com as definições adotadas.

Tabela 60 - DADOS COMPARATIVOS DA CAPTAÇÃO DO SISTEMA DE REUSO DO RIO POTOMAC (WASHINGTON), DENVER (COLORADO) DA ETA BAIXO COTIA (SÃO PAULO) E DOS PADRÕES DE QUALIDADE - RESOLUÇÃO CONAMA 20 PARA RIO CLASSE 3.

PARÂMETROS(1)	PADRÕES RESOL. CONAMA 20	SISTEMA POTOMAC WASHINGTON.DC	ESTAÇÃO DE REUSO DE DENVER.CO	ETA BAIXO COTIA SÃO PAULO
	(RIO CLASSE 3)	(INFLUENTE)	(INFLUENTE)	(INFLUENTE)
	(2)	(3)	(4)	(5)
Resíduo Total	-	-	340	282
Resíduo não filtrável	-	366	-	119
Cloretos	250	69	100	62
Fósforo Total	0,025	0,6	5,3	0,3
Manganês	0,5	-	0,11	0,42
Sufactantes	-	-	-	0,24
Cádmio	0,01	0,008	(*)	< 0,005
Cromo Total	0,05	0,004	0,017	0,01
Níquel	0,025	0,005	-	0,71
Chumbo	0,05	0,003	0,003	0,04
Zinco	5,0	0,04	-	0,06
Carbono Orgânico Total		8,5	17,9	9,2

Tabela 60 - DADOS COMPARATIVOS DA CAPTAÇÃO DO SISTEMA DE REUSO DO RIO POTOMAC (WASHINGTON), DENVER (COLORADO) DA ETA BAIXO COTIA (SÃO PAULO) E DOS PADRÕES DE QUALIDADE - RESOLUÇÃO CONAMA 20 PARA RIO CLASSE 3. (continuação)

PARÂMETROS(1)	PADRÕES RESOL. CONAMA 20	SISTEMA POTOMAC WASHINGTON.DC	ESTAÇÃO DE REUSO DE DENVER.CO	ETA BAIXO COTIA SÃO PAULO
	(RIO CLASSE 3)	(INFLUENTE)	(INFLUENTE)	(INFLUENTE)
	(2)	(3)	(4)	(5)
Turbidez (NTU)	100	1,5	7,2	8,0
pH	6,0 á 7,0 (6)	5,8 á 6,8 (6)	5,8 á 7,5 (6)	6,0 á 7,4 (6)
Oxigênio				
Dissolvido	4,0			3,1
DBO (5,20)	10,0	-	-	11,0
Coliformes				
Fecais (NMP/100ml)	4 x 10(3)	-	6,3 x 10(4)	1,7 x 10(4)
Coliformes Totais				
(NMP/100 ml)	2 x 10(4)	2 x 10(5)	7 x 10(5)	7 x 10(5)
Nitrogênio de				
Nitritos	1,0	-	0,02	0,09
Nitrogênio				

Tabela 60 - DADOS COMPARATIVOS DA CAPTAÇÃO DO SISTEMA DE REUSO DO RIO POTOMAC (WASHINGTON), DENVER (COLORADO) DA ETA BAIXO COTIA (SÃO PAULO) E DOS PADRÕES DE QUALIDADE - RESOLUÇÃO CONAMA 20 PARA RIO CLASSE 3. (continuação)

PARÂMETROS(1)	PADRÕES RESOL. CONAMA 20	SISTEMA POTOMAC WASHINGTON.DC	ESTAÇÃO DE REUSO DE DENVER.CO	ETA BAIXO COTIA SÃO PAULO
	(RIO CLASSE 3)	(INFLUENTE)	(INFLUENTE)	(INFLUENTE)
	(2)	(3)	(4)	(5)
Kjendahl	-	-	-	11,0
Nitrogênio Total	-	-	-	11,0
Nitrogênio				
Amoniacal	0,5	4,2	17,3	7,8
Nitrogênio de				
Nitratos	10,0	6,4	1,44	0,63
Bário	1,0	-	0,10	0,28
Cobre	0,5	-	-	0,01
Estanho	2,0	-	-	ND (7)
Mercúrio	0,002	-	0,0001	0,0006
Fenol	0,001	-	-	0,240
DQO	-	-	-	64

Tabela 60 - DADOS COMPARATIVOS DA CAPTAÇÃO DO SISTEMA DE REUSO DO RIO POTOMAC (WASHINGTON), DENVER (COLORADO) DA ETA BAIXO COTIA (SÃO PAULO) E DOS PADRÕES DE QUALIDADE - RESOLUÇÃO CONAMA 20 PARA RIO CLASSE 3. (continuação)

PARÂMETROS(1)	PADRÕES RESOL. CONAMA 20	SISTEMA POTOMAC WASHINGTON.DC	ESTAÇÃO DE REUSO DE DENVER.CO	ETA BAIXO COTIA SÃO PAULO
	(RIO CLASSE 3)	(INFLUENTE)	(INFLUENTE)	(INFLUENTE)
	(2)	(3)	(4)	(5)
Conductividade				
Específica (US/cm)	-	-	889	418
Ortofosfato Solúvel	-	-	-	0,06
Ferro Solúvel	5,0	-	0,09	9,05

(1) Unidades em mg/l, exceto onde indicado

(2) FONTE: Referência (63)

(3) FONTE: Referência (64)

(4) FONTE: Referência (65)

(5) FONTE: Referência (66)

(6) Menos valor observado no intervalo de tempo considerado

(7) ND= Não Detectado

(*) Menor que a sensibilidade do método de análise

Por outro lado para a Estação de Reuso Potável Direto de Denver, nessa mesma tabela foram colocados as médias geométricas dos valores observados no período compreendido entre Maio de 1983 e Agosto de 1984. No que diz respeito ao Sistema Baixo Cotia da SABESP, foram relacionados os maiores valores observados no período de Janeiro de 1985 a Agosto de 1987.

Analisando-se os dados dessa tabela, apesar da ausência de informações relativas aos mesmos parâmetros nos três sistemas, é possível concluir que tanto o Sistema Potomac quanto o Sistema de Denver utilizam-se de águas sem poluição industrial, enquanto que para o Rio Cotia a presença de esgotos industriais é grande. Isso é facilmente demonstrado pela evolução da relação DQO/DBO mostrada na tabela 61.

Nessa tabela, os valores da DQO são de 2,3 a 32 vezes superiores aos valores da DBO. Segundo ROCHA, A.A. (80) (1984), os valores da DQO revelam a concentração total de matérias oxidáveis existentes na água; a DBO corresponde à parcela biodegradável dessas matérias, isto é, que pode ser oxidada biologicamente por ação de bactérias e outros microorganismos existentes. No caso da DBO de 5 dias (que é o teste utilizado nas presentes determinações), considera-se apenas a parcela de matéria oxidável, que se estabiliza biologicamente nesse período de tempo. Assim sendo, a presença de matérias biodegradáveis mais resistentes à decomposição bacteriana e os compostos não biodegradáveis, mas que são oxidáveis quimicamente, não é refletida neste teste, mas

sim no teste de DQO. Em geral, em esgotos domésticos, a DQO é duas a três vezes maior que a DBO de 5 dias. Essa relação varia, tendendo a ser mais elevada nos esgotos das grandes cidades, onde são mais usados compostos orgânicos resistentes à biodegradação, tais como detergentes sintéticos, etc e, mais ainda, quando existem resíduos industriais misturados aos esgotos domésticos. O aumento dessa relação, à medida em que se processa a auto depuração ao longo de um rio, significa pois, tratar-se de compostos oxidáveis, porém altamente resistentes à biodegradação, ou seja poluição industrial.

Esse fato também é demonstrado pela presença de fenóis (0,24 mg/l), ferro (9,05 mg/l) e níquel (0,71 mg/l) - tabela 60.

O alto teor de matéria orgânica presente na água do Rio Cotia pode ser atestado ainda pelos altos índices de nitrogênio, nas suas várias formas, conforme tabela 62.

Tabela 61 - RIO COTIA: Dados de DBO (5,20), DQO e relação DQO/DBO
(Período: janeiro/85 a agosto/87)

	DBO(5,20)	DQO	DQO/DBO
MÊS / ANO	(mg/l)	(mg/l)	
JAN/85	4	23	5,7
MAR/85	6	14	2,3
MAI/85	3	11	3,7
JUL/85	4	24	6,0
SET/85	4	30	7,3
NOV/85	7	23	3,3
JAN/86	9	38	4,2
MAR/86	4	23	5,7
MAI/86	3	17	5,7
JUL/86	4	22	5,5
SET/86	11	30	2,7
NOV/86	2	64	32,0
FEV/87	2	23	11,5
ABR/87	7	26	3,7
JUN/87	< 1	< 6	6,0
AGO/87	2	26	13,0

FONTE: Referência (24) e (25)

Tabela 62 - RIO COTIA: Dados de Nitrogênio nas Suas Várias Formas
(Período: Janeiro/85 a agosto/87)

	N-	N-	N-	N-	N-	N-
	NITRATO	NITRITO	AMONIAC.	KJELD.	TOTAL	ORGÂNICO
MÊS/ANO	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
JAN/85	0,02	0,02	6,20	9,70	9,74	3,50
MAR/85	0,08	0,02	3,60	4,10	4,20	0,50
MAI/85	0,28	0,04	2,30	3,00	3,32	0,70
JUL/85	0,04	0,02	4,10	5,10	5,16	1,00
SET/85	0,63	0,05	3,00	4,00	4,68	1,00
NOV/85	0,06	0,005	3,20	3,70	3,77	0,50
JAN/86	0,04	<0,005	7,80	11,00	11,00	3,20
MAR/86	0,18	<0,02	2,90	3,30	3,50	0,40
MAI/86	0,42	0,04	1,60	3,20	3,66	1,60
JUL/86	0,24	0,02	4,10	6,70	6,96	2,60
SET/86	0,18	0,02	4,90	7,10	7,30	2,20
NOV/86	0,03	0,03	2,50	4,50	4,56	2,00
FEV/87	0,35	0,09	0,32	0,50	0,94	0,18
ABR/87	0,06	0,04	4,00	4,80	4,90	0,80
JUN/87	0,32	0,02	1,50	2,20	2,54	0,70
AGO/87	0,44	0,02	2,40	3,50	3,96	1,10

FONTE: Referências (24) e (25)

Quanto aos parâmetros estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 20 de 18/06/86, o Rio Cotia não se enquadra nos seguintes: fósforo total, manganês, níquel, DBO (5,20), coliformes fecais, coliformes totais, nitrogênio amoniacal, nitrogênio de nitrato e fenol.

6.3.4 - Proposta para o Sistema de Tratamento de Água do Baixo Cotia, dentro do enfoque do Reuso de Água.

Como foi visto, o Rio Cotia enquadra-se dentro da pior situação prevista pela literatura especializada, ou seja, trata-se de um sistema que opera dentro dos conceitos de Reuso Potável Indireto Não Planejado, onde todas as variáveis que intervêm no processo estão absolutamente fora de controle, apesar da atuação dedicada do órgão de controle de poluição e meio ambiente do Estado de São Paulo, a CETESB.

Nessas condições, dada a amplitude do problema, qualquer ação que não contemple o sistema como um todo, ou seja, toda a bacia hidrográfica, corre risco de insucesso dada a interdependência entre as variáveis. Pouco adiantaria intervenções a nível de estação de tratamento, se todas as fontes pontuais e não pontuais de poluição não tivessem sob controle.

Como uma proposta detalhada seria um trabalho multidisciplinar

que envolveria uma série de levantamentos que fogem, não só à nossa capacidade individual mas ao escopo desta dissertação. Apresentamos a seguir uma proposta genérica, indicando também alguns passos que devem ser dados para concretizá-la.

Proposta geral : Transformar o Sistema Baixo Cotia de Reuso Potável Indireto Não Planejado, para Reuso Potável Indireto Planejado.

Evidentemente, para alcançar esse objetivo, o primeiro passo a ser dado é o levantamento das cargas poluidoras. Como não tivemos acesso aos levantamentos anteriormente efetuados pela CETESB, nossa proposta fundamentou-se num trabalho efetuado pela QUEIROZ ORSINI - ENGENHARIA DE PROJETOS LTDA (76) (1985), para a SABESP. Nesse trabalho ficou demonstrado que a interceptação dos efluentes localizados no complexo industrial, junto à Rodovia Raposo Tavares - figura 36 - diminuiria em cerca de 80% a poluição industrial da bacia. A compensação da vazão retirada poderia ser feita por descargas controladas a partir da Represa Pedro Beicht, sem compromisso da segurança operacional daquela represa.

Os demais passos seriam:

- Tratamento conjunto dos esgotos da zona urbana de Cotia e do efluente tratado do Frigorífico Cotia, tendo como objetivo atender a classe do Rio Cotia prevista pela Resolução CONAMA 20, para aquele trecho do rio (Classe 3).

- Estudar matematicamente a auto depuração propiciada pelo Rio Cotia, nos diversos trechos.

- Implantar novos processos unitários de tratamento, a nível da Estação do Baixo Cotia, para dar conta da presença de substâncias refratárias aos processos de tratamento mais comuns.

A escolha da melhor sequência de operações, deve ser feita baseada no princípio das múltiplas barreiras, defendido por ROGER, S.E. & LAUER, W.C. (81) (1986). Segundo esse princípio nenhuma operação isoladamente deve ser responsável pela eliminação de um contaminante, por exemplo a precipitação com cal no caso de reuso potável direto é responsável pela remoção de fósforo e metais pesados, mas além desses elementos é efetiva na remoção de sólidos em suspensão, na redução do nível de carbono orgânico total e na inativação de vírus e bactérias.

Na maioria das vezes a sequência normal de trabalho é:

- caracterização da qualidade da água através de exames de laboratórios;
- testes de tratabilidade em laboratórios;
- projeto e construção de uma estação piloto;
- projeto e construção da estação em escala real;
- monitoramento da qualidade da água.

No caso específico da Estação do Baixo Cotia, como trata-se de

uma unidade já em operação, a sequência mais lógica dos trabalhos seria:

- caracterização da qualidade da água a montante e jusante de cada operação ou processo unitário, através de levantamento de dados já existentes e mediante análises de laboratórios;

- ensaios em laboratórios de alguns processos que serão inseridos;

- projeto e construção de algumas unidades pilotos a serem introduzidas e que foram determinadas no passo anterior;

- projeto e construção das modificações pertinentes;

- monitoramento da qualidade da água, por processo unitário.

**** **** **** **** ****

Apresentamos neste capítulo algumas possibilidades de reuso de água que, como foi dito no início, objetivava ilustrar o que foi apresentado nos capítulos anteriores através de exemplos que, embora conhecidos, até o momento não tem sido considerados sob o ângulo de reuso de água.

No capítulo que segue, a título de conclusão, entre outros aspectos teceremos algumas considerações sobre as vantagens da adoção desse enfoque.

7 - DISCUSSÃO FINAL E RECOMENDAÇÕES

No desenvolvimento deste trabalho tivemos a oportunidade de conceituar "Reuso de Água", estudar exemplos de aplicação dessa metodologia em vários países e os riscos a ela associados. Além disso, avaliamos os principais processos a disposição do Reuso de Água, bem como foram desenvolvidas associações de sistemas de tratamento, tendo em vista sua otimização a custos, os menores possíveis.

Nos exemplos de aplicação, estudamos alguns casos onde vem se praticando Reuso Potável Indireto de forma não planejada há vários anos, configurando uma situação de inadequação do controle e proteção dos mananciais, colocando em risco a qualidade da água produzida.

Com relação a questão da preservação do meio ambiente, a metodologia é bastante válida na medida em que ao se reusar um determinado insumo, em particular a água, diminui-se as pressões sobre o meio ambiente, tanto do lado da extração desse recurso, como do lado da disposição final dos sub produtos dessa atividade.

Um outro ponto bastante frizado na literatura consultada, é que a antiga fórmula da busca de água a distâncias cada vez maiores devido ao processo de poluição crescente dos mananciais mais próximos, é no mínimo irracional. Obviamente nossa idéia não é propor a substituição das políticas de proteção de mananciais

pelo reuso das águas anteriormente utilizadas. Pelo contrário, entendemos que o enfoque aqui proposto não só vem reforçar as políticas de proteção de mananciais, como também pretende disciplinar uma prática que já vem sendo adotada, porém de forma insegura e descontrolada, como no exemplo do Rio Cotia, apresentado no capítulo 6.

Dentro da idéia de diminuição das pressões sobre o meio ambiente, conseqüentemente de sua preservação, e também da utilização racional dos recursos hídricos, vimos ao longo deste trabalho inúmeros exemplos de reuso de água em várias regiões do mundo, nas suas várias formas. No caso específico da Região Metropolitana de Água de São Paulo, no Capítulo 6 apontamos somente alguns exemplos de aplicação de reuso de água já que seria impossível citar todos.

O que pretendemos, neste momento, é discutir algumas estratégias de utilização dessa tecnologia, bem como suas vantagens.

Reuso Potável: embora exista tecnologia disponível para se fazer reuso potável direto como foi visto no caso da Estação de Tratamento de Água de Windhoek, até o momento no Estado de São Paulo não existe necessidade de adoção dessa metodologia, o que entretanto não deve ser descartado na medida em que o crescimento desordenado da Região Metropolitana de São Paulo mostra-se irreversível, e também na medida que aumenta a oferta de água "usada" e tratada a nível secundário nessa região.

Nossa grande preocupação é com o Reuso Potável Indireto Não Planejado.

Essa é a prática mais empregada, ou seja, é a completa despreocupação com todo o processo de utilização dos recursos hídricos, ou seja, as sucessivas captações, tratamento, uso e disposição final num mesmo corpo de água.

Aqui se encontra a grande contribuição que o enfoque do reuso de água poderia dar. Em outras palavras como o não reuso é inevitável, trata-se de utilizar tecnologia adequada para cada caso.

Ao exemplo do Rio Cotia poderíamos acrescentar outros, como o Rio Paraíba com suas sucessivas captações e disposições finais, o Rio Tietê e a própria Represa Billings, que poderia ser utilizada como manancial de água a ser potabilizada.

Reuso Não Potável: essa modalidade de reuso é praticada quando há necessidade de economia de água potável ou quando é desnecessário imprimir tratamento à água, de forma a potabilizá-la, ou ainda, quando se pretende aumentar a oferta de água para fins industriais, em locais onde há abundância de águas já utilizadas.

Dentro dessa idéia, além do estudo desenvolvido pelo CNEC apresentado no item 6.2, essa metodologia é indicada em situações como a do Polo Industrial do Cubatão onde a proximidade da existência de água de baixa qualidade, passível de tratamento

para uso industrial, do seu consumo, ou seja, do efluente da Represa Billings do Polo Industrial, viabiliza o processo. Além de em situações já existentes, a metodologia pode ser empregada como instrumento de indução de criação de novos polos industriais, ou seja, criando-se oferta de água para uso industrial em determinados locais, onde se planeja criar aglomerados de indústrias.

Com relação a possibilidade do Reuso Não Potável Agrícola, NUCCI, N.L.R. et al (67) (1978), mostram a partir da análise da qualidade dos efluentes predominantemente não industriais, e dos tipos de solos do Estado de São Paulo, que os métodos de tratamento de esgotos por disposição no solo são aplicáveis nesse Estado, deixando entrever a possibilidade de irrigação com efluentes tratados.

A escassez de áreas de lazer como parques, jardins e lagos para múltiplos usos, inclusive recreacionais como natação, pesca, etc, em grandes centros como São Paulo, pode ser minimizada através de um programa de utilização racional de águas adequadamente tratadas para esses fins. Um exemplo disso é o da Represa Billings, que poderia ser usada de formas múltiplas, ou seja, como manancial abastecedor, como já foi dito, ou para fins recreacionais e turísticos, com um enorme potencial a ser explorado.

Evidentemente as possibilidades aqui apresentadas não tem a pretensão de esgotar o tema, mas apenas colocar alguns pontos

para uma reflexão sobre a necessidade da criação de uma mentalidade voltada para a questão da reutilização da água, um sub produto do desenvolvimento.

Para finalizar apresentamos a seguir algumas recomendações para a promoção de uma política de Reuso de Água.

- Criação de grupo de trabalho interdisciplinar, para desenvolvimento da idéia do Reuso de Água em todos seus aspéctos;
- Criação de um programa de monitoramento de qualidade de água, visando subsidiar o programa;
- Desenvolvimento de modelos de acompanhamento da qualidade das águas de superfície, que são utilizadas por várias comunidades como fonte de água bruta para abastecimento público, como no caso do Rio Paraíba;
- Desenvolvimento de padrões de qualidade de água que atendam, ao mesmo tempo, os requisitos ambientais como ao pretendido reuso, a exemplo dos apresentados no capítulo 4;
- Incentivar programas de reciclagem em indústrias e em estações de tratamento de água, visando a minimização das descargas nos corpos de água;
- Criação de condições para o Reuso Não Potável Agrícola como forma racional de disposição final dos esgotos, bem como da

utilização de seus nutrientes objetivando a produção de produtos agrícolas;

- Desenvolvimento nas empresas de saneamento básico, de programas de Reuso Não Potável Industrial, tendo em vista a diminuição dos custos da produção de água, sua economia e a criação de polos industriais;

- Desenvolvimento de áreas de lazer que utilizam águas recuperadas, de acordo com a metodologia do Reuso Não Potável Recreacional;

- Estudo e desenvolvimento dos chamados Sistemas Duplos de Distribuição para sua utilização no Reuso Não Potável Industrial e Doméstico;

- Criação de centro de pesquisa para desenvolvimento de processos avançados de tratamento de esgoto;

- Desenvolvimento e implantação de programas de adequação de mão de obra e treinamento, para qualificação de técnicos em processos avançados de tratamento, bem como de monitoramento em qualidade de água;

- Implantação de programas que visem equipar estações de tratamento que operem dentro do conceito de Reuso de Água, com equipamento de controle mais modernos e eficientes;

- Desenvolvimento e implantação da idéia de Reuso Potável Indireto Planejado em bacias, como por exemplo a do Rio Paraíba, onde atualmente se caracteriza uma situação de Reuso Potável Indireto Não Planejado, no sentido de aumentar a confiabilidade no tratamento.

Como consideração final, recomendamos que o tema seja objeto de estudos mais profundos, tanto por parte das empresas de saneamento e agências de meio ambiente, como na universidade, onde realmente há possibilidade de formação de uma mentalidade voltada para o assunto.

8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALÉM SOBRINHO, P. & RODRIGUES, M.M. Contribuição ao projeto de sistemas de lagoas aeradas aeróbias para tratamento de esgotos domésticos. REVISTA DAE Nº 128: p.45-62, 1982.
2. ALÉM SOBRINHO, P. Estudo dos fatores que influem no desempenho do processo de lodos ativados - determinação de parâmetros de projetos para esgotos predominantemente domésticos. REVISTA DAE, Nº 154: p.49-85, 1983.
3. AL-DHOWALTA, K. et al. Reuse of treated wastewater for agricultural irrigation at Riyadh. In: WATER REUSE SYMPOSIUM, 39. Proceedings. San Diego, Ca. USA, 2: p.1137-1149, 1984.
4. AMARAL E SILVA, C.C. A importância do saneamento do meio ambiente no disciplinamento do uso do solo e da ocupação do espaço. São Paulo, 1987. (Tese de Livre Docência - Faculdade de Saúde Pública - USP).
5. AMARAL, R. apud Environment of Canada. Water Quality Sourcebook. Canada, 1979.
6. AMARAL, R. Critérios para interpretação de análises físico-químicas de água. São Paulo, CETESB, 1984.

7. AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. Dual water systems. AWWA manual M 24. Denver, Co., 1980.
8. AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. Water reuse-Manual of practice SM-3 Systems Management. Washington D.C., 1983.
9. BAKER, M.N. The quest of pure water. 2^o ed. USA, American Water Works Association Inc., 1949.
10. BARTONE, C. et al. Aquacultura with treated wastewater: a status report on studies conducted in Lima, Peru. The Word Bank-Water Supply and Urban Development Department. Washington D.C., 1987.
11. BARTSH, E.H. & RANDALL, C.W. apud ALÉM SOBRINHO, P. & RODRIGUES, M.M. Contribuição ao projeto de sistemas de lagoas aeradas para tratamento de esgotos domésticos. REVISTA DAE. Nº 145: p. 45-62, 1982.
12. BATELLE-NORTHWEST. Mobile pilot plant studies and process design with electro chemical renovation of regenerant. EPA Contract/14-12-579. USA, 1971.
13. BEBIN, J. apud ALÉM SOBRINHO, P. & RODRIGUES, M.M. Contribuição ao projeto de sistemas de lagoas aeradas para tratamento de esgotos domésticos. REVISTA DAE Nº 145: p. 45-62, 1982.

14. BERNARDES, R.S. Estabilização de poluentes por disposição no solo. REVISTA DAE, 46: p.129-148, 1986.
15. BISHOP, D.F. et al. Physical-chemical treatment of raw municipal waste-water. USA. Environmental Protection Agency, 1973/
16. BLUM, J.R.C. Comunicação verbal, 15 de Setembro de 1986.
17. BOUWER, H. et al. High-rate land treatment II: water quality and economic aspects of the Flushing Meadows Project. J.W.P.C.F., 46: p.844-859, 1974.
18. BRANCO, S.M. Hidroniologia aplicada à engenharia sanitária. São Paulo, CETESB, 1978.
19. BROOKS, R. et al. Automated water quality monitoring for water reclamation. In: WATER REUSE SYMPOSIUM, 29. PROCEEDINGS. Washington, 3: p. 2369-2391, 1981.
20. BUCHAN, W. Domestic medicine; or a treatise on the prevention and cure of diseases. Philadelphia, Thomas Dobson, 1975.
21. CADIOU, A. et al. Drip irrigation with municipal sewage clogging of the distributors. In: WATER REUSE SYMPOSIUM, 39. Proceedings. San Diego, Ca., 1:p. 472-478, 1984.

22. CAST- COUNCIL FOR AGRICULTURAL SCIENCE AND TECHNOLOGY.
Applications of sewage sludge to cropland. In: MINISTER
OF SUPPLY AND SERVICES CANADA. Manual for land
applications of treated municipal wastewater and sludge.
Ontario, Canada, 1984.
23. CECIL, L.K. apud LAVRADOR FILHO, J. Contribuição para o
entendimento do reuso planejado da água e algumas
considerações sobre suas possibilidades no Brasil. São
Paulo, 1987 (Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica
de São Paulo - USP).
24. CETESB Qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo.
São Paulo, 1985.
25. CETESB Relatórios internos . São Paulo, 1987.
26. CHANEY, R.L. apud MINISTER OF SUPPLY AND SERVICES CANADA.
Manual for land application of treated municipal
wastewater and sludge. Ontario, Canada, 1984.
27. COLIN, F. apud VALIRON, F. et al. La reutilisation des eaux
usées. Paris. Editions du BRGM (Bureau de Recherches
Geologiques et Minières) et Technique et Documentation
(Lavoisier), 1983.

28. CULP, G. et al. Wastewater reuse and recycling technology.
New Jersey, USA. Noyes Data Corporation, 1980.
29. CULP, R.L. et al. Handbook of advanced wastewater treatment.
2^o ed. New York, USA. Van Nostrand Reinhold Environmental
Engineering Series, 1977.
30. DAHI, E. Perspective of combination of ozone and ultra-sound.
In: MARTIN, G. & ELMGHARI-TABIB, M. The use of ozone in
wastewater treatment in ozonation manual for water and
and wastewater treatment. New York, USA, John Wiley &
Sons, 1982. p. 96-102.
31. DA-RIN, B.P. Nitrificação e desnitrificação biológica. Rio de
Janeiro, FEEMA, 1980.
32. DEAN, R.B. et al. Water reuse: problems and solution. New
York, USA. Academic Press, 1981.
33. DEB, A.K. & EVANS, M.D. Dual distribution system analysis.
JAWWA, 2: p. 103-108, 1980.
34. DICK, M. The EPA Research & Development Program in Industrial
Wastewater Recycle/Reuse. In: WATER REUSE SYMPOSIUM, 2^o.
Proceedings. Washington D.C., 1: p. 493-497, 1981.

35. ECKENFELDER JR., W.W. & ADAMS JR., C.L. apud ALÉM SOBRINHO, P. & RODRIGUES, M.M. Contribuição ao projeto de sistemas de lagoas aeradas para tratamento de esgotos domésticos. REVISTA DAE. Nº 145: p. 45-62, 1982.
36. EDWARDS, P. Aquaculture: a component of low cost sanitation technology. World Bank Technical Paper Nº 36, Washington D.C., Library of Congress: 4, 1985.
37. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. An assesment of ozone and chlorine dioxide technologies for treatment of municipal water supplies. Cincinnati, Ohio, USA, 1978.
38. FEACHEM, R.G. et al. apud SHUVAL, H.I. Wastewater irrigation in developing countries; health effects and technical solutions. World Bank Technical Paper Nº 51, Washington D.C. USA, Library of Congress, 1986.
39. FREITAS, A.R. O uso do cloro em debate. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 11º Anais. Ceará, 1981.
40. FIGUEIREDO, R.F. Tratamento de esgotos pelo processo de escoamento superficial no solo. REVISTA DAE, 45, Nº 140: p.62-66, 1985.

41. GASTON, J.M. Public health risk of water reuse. In: WATER REUSE SYMPOSIUM, 3^o. Proceedings. San Diego, Ca. USA, 3: 1460-1473, 1984.
42. GREENBERG, A.E. & KUPKA, E. Tuberculosis transmission by wastewater; a review. Sewage Industrial Wastes, 29: p. 524-537, 1957.
43. GROMASCHEWSKII, L.W. Investigation of a massive helminth outbreak in Odessa and Ascaris epidemic children of Odessa. Odesskii Meditsinskii Zhurnal, 50: p.20-22, 42-44, 1930.
44. HARLIN J. & CURTS, C. apud BERNARDES, R.S. Estabilização de poluentes por disposição no solo. REVISTA DAE, 46, Nº 145: p. 129-148, 1986.
45. HUGES, B. apud VALIRON, F. et al. La reutilisation des eaux usées. Paris. Editions du BRGM (Bureau de Recherches Geologiques et Minières) et Technique et Documentation (Lavoisier), 1983.
46. IDELOVITCH, E. & MICHAIL, M. Soil aquifer treatment—a new approach to an old method of wastewater reuse. JWPCF, 56: p. 936-943, 1984.

47. JOHNS, F.J. et al. Design and operation for nitrogen removal for potable water reuse. The Denver Water Department experience in water reuse. In: WATER REUSE SYMPOSIUM, 3^o Proceedings. San Diego, Ca. USA, 3: p. 1173-1184, 1984.
48. KATZENELSON, E. & TELTCH, B. Dispersion of enteric bacterias in the air as a result of sewage spray irrigation and treatment processes. JWPCF, 48: p. 710-716, 1976.
49. KAVANAUGH, M.C. et al. The Potomac Estuary Experimental Water Treatment Plant: a case study of treating a heavily polluted source. In: WATER REUSE SYMPOSIUM, 2^o Proceedings. Washington D.C., 1: p.84-103, 1981.
50. LAU, S.L. et al. Improved emitter and network system design for reuse of wastewater in drip irrigation. In: WATER REUSE SYMPOSIUM, 3^o. Proceedings. San Diego, Ca. USA. 2: p. 452-471, 1984.
51. LAUER, W.C. et al. Denver's Potable Water Reuse Project. Current status. In: WATER REUSE SYMPOSIUM, 3^o Proceedings. San Diego, Ca. USA. 1: p. 316-336, 1984.
52. LAVRADOR FILHO, J. Contribuição para o entendimento do reuso planejado da água e algumas considerações sobre suas possibilidades no Brasil. São Paulo, 1987 (Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica de São Paulo - USP).

53. MARTIN G. & ELMGHARI-TABIB, M. The use of ozone in wastewater treatment. In: MASSCHELEIN, W.J. ed. Ozonization manual for water and wastewater treatment. New York, USA. John Wiley & Sons, 1982. p. 248-252.
54. MASSCHELEIN, W.J. Scope of joined action of ozone and ultraviolet light. In: MASSCHELEIN, W.J. ed. Ozonization manual for water and wastewater treatment. New York, USA. John Wiley & Sons, 1982. p. 103-104.
55. MEICHES, J. Contribuição para o estudo das limitações impostas pela qualidade das águas naturais para seu aproveitamento. O problema da poluição de águas e a sua recuperação para o uso em sistemas de abastecimento de água. São Paulo, 1964 (Tese de Livre Docência - escola Politécnica de São Paulo - USP).
56. MERON, A. Experience with reclamation systems. In: WATER REUSE SYMPOSIUM, 39 Proceedings. San Diego, Ca. USA, 2: p. 1125-1136, 1984.
57. METCALF-EDDY Ingeniaria Sanitária. Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. 29 ed. Barcelona, Espanha. Editorial Labor S/A, 1985.

58. MIDDLETON, F.M. Advanced wastewater treatment technology in
in water reuse. In: SHUVAL, H.I., Water renovation and
reuse 1^o ed. New York, USA, Academic Press, 1977.
59. MIDDLEBROOKS, E.J. Water reuse. London, England. An Arbor
Science, 1982.
60. MINISTER OF SUPPLY AND SERVICES CANADA. Manual for land
application of treated municipal wastewater and sludge.
Ontario, Canada, 1984.
61. MONTENEGRO, M.A. Lagoas de estabilização. Rio de Janeiro.
FEEMA, 1980.
62. MONTGOMERY CONSULTING, J.M. Water treatment principles &
design New York, USA. John Wiley & Sons, 1985.
63. MORRIS, J.C. Modern chemical methods. Delft, Netherlands.
Institute for Hydraulic and Environmental Engineering,
1983.
64. MULLER, W.J. apud LAURADOR FILHO, J. Contribuição para o
entendimento do reuso planejado da água e algumas
considerações sobre suas possibilidades no Brasil. São
Paulo, 1987 (Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica
de São Paulo - USP).

65. MULLER, W.J. apud SHUVAL, H.I. et al. Water renovation and reuse. New York, USA. Academic Press, 1977.
66. NOY, J. & FEINMESSER, A. In: SHUVAL, H.I. Water renovation and reuse. 1^o ed. New York, USA. Academic Press, 1977.
67. NUCCI, N.L.R. et al. Tratamento de esgotos por disposição no solo e sua aplicabilidade no Estado de São Paulo. São Paulo. Fundação Prefeito Faria Lima - Centro de Estudos e Pesquisas de Administração Municipal, 1978.
68. OFFICE OF THE WATER COMMISSIONER apud SHUVAL, H.I. et al. Wastewater irrigation in developing countries; health effects and technical solutions. Washington D.C. Library of Congress, 1986.
69. OKUN, D.A. Planned water reuse. JAWWA, 65: p. 617-622, 1973.
70. OKUN, D.A. A potencial for water reuse - dual supplies. In: AWWA SEMINAR ON REUSE. Proceedings. Minneapolis, Minn., 1975.
71. ONGERTH, H.J. & JOPLING, W.F. In: SHUVAL, H.I. Water renovation and reuse. 1^o ed. New York, USA. Academic Press, 1977. p. 219-256.

72. ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE. Controle das doenças transmissíveis pelo homem. Washington D.C., 1983.
73. PESSOA, C.A. & JORDÃO, E.P. Tratamento de esgotos domésticos. 2ª ed. Rio de Janeiro, Associação Brasileira Engenharia Sanitária, 1982.
74. PLACE, F.E. Water cleaning by copper. Journal of preventive medicine, 13. p. 379, 1905.
75. POUND, C.E. et al. In: CULP, R.L. et al. Handbook of advanced wastewater treatment. 2ª ed. New York, USA. Van Nostrand Reinhold Company, 1977.
76. QUEIROZ ORSINI. ENGENHARIA DE PROJETOS, LTDA. Estudos e projeto do sistema de esgotos sanitários e remanescente industrial da Bacia do Rio Cotia. São Paulo, 1985.
77. RAMALHO, J. apud ALÉM SOBRINHO, P. & RODRIGUES, M.M. Contribuição ao projeto de sistemas de lagoas aeradas para tratamento de esgotos domésticos. REVISTA DAE. Nº 145: p. 45-62, 1982.
78. REVISTA CENÁRIOS Melhores perspectivas para a balança comercial de 1988. Análise Editora, 7: p. 36-42, 1988

79. RICE, G.R. Application and potencial uses for ozonization in industrial water reuse. In: WATER REUSE SYMPOSIUM, 2º. proceedings. Washington D.C. USA, 3: p. 1097-1120, 1981.
80. ROCHA, A.A. A ecologia, os aspéctos sanitários e de saúde pública da Represa Billings na Região Metropolitana de São Paulo, uma contribuição à sua recuperação. São Paulo (Tese de Livre Docência - Faculdade de Saúde Pública - USP).
81. ROGER, S.E. & LAUER, W.C. Disinfection for potable reuse. JWPCF, 58 (3): p. 193-198, 1986.
82. SAGOH, M. et al. Reuse of water and recycling. In: WATER SUPPLY ASSOCIATION, INTERNATIONAL CONGRESS 12º. Proceedings Tokio, 1: p. H1-H6, 1978.
83. SANTOS, C.L. Trihalometanos - Resumo atual. Engenharia Sanitária, 26 (2) : p. 190-194, 1987.
84. SHUVAL, H.I. et al. Water renovation and reuse. 1º ed. New York, USA. Academic Press, 1977.
85. SHUVAL, H.I. et al. apud JEWELL, W.J. & SEABROOK, B.L. A history of land application as a treatment alternative. Washington D.C. USA, EPA 430/9 - 79.012, 1979.

86. SHUVAL, H.I. et al. apud SHENDE, G.B. & SUNDARESAN, B.B. Nutrients utilization from sewage effluente for crop irrigation. In: INDIA/FAO/NORWAY SEMINAR ON MAXIMIZING FERTILIZER USE EFFICIENCY. Proceedings. New Delhi, India, 1980.
87. SHUVAL, H.I. et al. Wastewater irrigation in developing countries - health effects and technical solutions. World Bank Technical Paper Nº 51. Washington D.C., USA, Library of Congress, 1986.
88. SILVA, R.J.C. et al. Guaracabi - plano de um novo Sistema-Sul de abastecimento de água da Grande São Paulo. REVISTA DAE 46: p. 236-246, 1986.
89. SILVA, S.A. et al. Tratamentos biológicos de águas redisuárias - lagoas de estabilização. Rio de Janeiro, BNH/ABES/CETESB, 1979.
90. SORBER, C.A. et al. Virus survival following wastewater spray irrigation of sandy soils. In: UNIVERSITY OF TEXAS. Virus survival in water and wastewater systems. Austin, Tx. USA, 1974.
91. SORBER, C.A. apud MINISTER OF SUPPLY AND SERVICES CANADA. Manual for land application of treated municipal wastewater and sludge. Ontario, Canada, 1984.

92. STANLEY ASSOCIATES ENGINEERING LTDA. Land application of food processing wastewater - design and operation manual. Ontario, Canada. Environmental Protection service of Canada, 1978.
93. THORNTON, J.R. et al. Reclaimed Water irrigation project - NAPA Sanitation District. In: WATER REUSE SYMPOSIUM, 3^o Proceedings. San Diego, California, USA, 1: p. 390-402, 1984.
94. VALIRON, F. et al. La reutilization des eaux usées. Paris, França, BRGM (Bureau de recherches Géologiques et Minières) et technique et Documentation (Lavoisier), 1983.
95. VON SPERLING, M. Autodepuração dos cursos de água. Belo Horizonte, 1983 (Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Minas Gerais).
96. WATER REUSE PROMOTION CENTER. Outlines of Water Re-Use Promotion Center. Tokio, Japão, 1985.
97. WEBBER, M.D. et al. apud MINISTER OF SUPPLY AND SERVICES CANADA. MANUAL FOR LAND APPLICATION OF TREATED MUNICIPAL WASTEWATER AND SLUDGE. Ontario, Canada, 1984.

98. WESTERHOFF, G.P. Un update of reserarch needs for water reuse. In: WATER REUSE SYMPOSIUM, 3rd Proceedings. San Diego, California, 3: p. 1731-1742, 1984.

99. WORLD HEALTH ORGANIZATION. Reuse of effluents: methods of wastewater treatment and health safeguards. of a WHO meeting of experts. Technical report series N^o 517. Genebra, 1973.