

# Sanare

REVISTA TÉCNICA DA SANEPAR

 SANEPAR

ISSN 0104-7175

V. 25 n.º 25 JULHO A DEZEMBRO DE 2006



### Expediente

Publicação da Companhia de Saneamento do Paraná  
Disponível em: [www.sanepar.com.br](http://www.sanepar.com.br), em Publicações.

### Conselho Editorial

Maria Arlete Rosa (presidente), Cleverson Vitório Andreoli, Cristóvão Vicente Scapulatempo Fernandes, Decio Jørgensen, Emilio Trevisan, Miguel Mansur Aisse, Nivaldo Rizzi, Samira Kauchakje, Tânia Lucia Gras de Miranda, Wilson Loureiro

### Assessoria Técnica

Dulcinéia Mesatto

### Unidade de Serviços de Comunicação Social

Lea Okseanberg

### Coordenação Executiva

Ary Haro dos Anjos Jr.

### Editora

Ivanilde Maria Muxfeldt Klais – DRT 1038 PR

### Pareceristas desta edição

Cristóvão S. Fernandes, Décio Jørgensen, Elenice Roginski M. Santos, Emilio Trevisan, Giancarlo Lupatini, Josete Fátima de Sá, Luis Hamilton Pospissil Garbosa, Miguel Aisse, Péricles S. Weber

### Fotografia

Capa e contracapa: João Henrique

### Arte e Diagramação

Carlos Eduardo Deitos

### Fotolito/Impressão

Artes Gráficas Renascer Ltda.

### Tiragem

2.800 exemplares

### Correspondência

Rua Engenheiros Rebouças, 1376 - Rebouças - Curitiba - PR - Brasil - CEP 80215900  
e-mail: [ivanildemk@sanepar.com.br](mailto:ivanildemk@sanepar.com.br)

### Ficha Catalográfica

Catálogo na Fonte  
Sanare/Companhia de Saneamento do Paraná. V.25  
Curitiba: Sanepar, 2006. - Semestral  
ISSN 0104-7175  
I.Saneamento. 2.Sanare - Periódico. I.Sanepar.  
Companhia de Saneamento do Paraná

### Editorial ..... 3

#### Automação de reatores anaeróbios operados em bateladas sequenciais para tratamento contínuo de esgoto sanitário

Arnaldo Sarti  
Antonio Wagner Lamon  
Paulo Eduardo Silveira  
Marcelo Zaiat  
Eugenio Foresti ..... 4

#### Avaliação preliminar do efeito de combinações de coagulantes e do tipo de meio filtrante na remoção de carbono orgânico total e na demanda de cloro da água tratada

Frederico de Almeida Lage Filho  
Luis Eduardo Rodrigues Botelho ..... 17

#### Flotação por ar dissolvido aplicada como pós-tratamento de efluentes de lagoas anaeróbias e facultativas utilizando cloreto férrico como coagulante

Roque Passos Piveli  
Aline Akabochi Fabreti  
Luis Fernando Rossi Léo  
Silvana Audrá Cutolo ..... 24

#### Novas propostas biotecnológicas para tratamento e remoção de nitrogênio de efluentes de reatores anaeróbios

Jenny Alexandra Rodriguez Victoria  
Luis Hamilton Pospissil Garbosa  
Katt Regina Lapa  
Alexandre Colzi Lopes  
Eugenio Foresti ..... 35

#### Proposição de sistema de avaliação do potencial de reúso de esgoto tratado em áreas agrícolas na Região Metropolitana de Curitiba

Josy Karla Brasil  
Cleverson Vitório Andreoli ..... 43

#### Sistema de Gestão Ambiental. Estudo do potencial de aplicação em empresas do Estado do Paraná

Fabiana de Nadai Andreoli  
Rafael Küster de Oliveira ..... 59

### Nossa capa:

Estação de Tratamento de Esgoto Padilha Sul

Os resultados do estudo que avaliou a viabilidade da automação, na operação simultânea de quatro diferentes configurações de reatores para o tratamento de esgoto doméstico, são apresentados nesta edição da **Sanare – Revista Técnica da Sanepar**. Foram analisados quatro reatores anaeróbios ASBR, operados em bateladas seqüenciais (escala-piloto). Durante 300 dias de estudo não foram detectados problemas mecânicos ou eletrônicos. Em função dos custos, os autores afirmam que os reatores ASBR podem ser incluídos como mais uma opção de tratamento biológico. O trabalho recebeu o título de *Automação de reatores anaeróbios operados em bateladas seqüenciais para tratamento contínuo de esgoto sanitário*.

Os autores da pesquisa *Avaliação preliminar do efeito de combinações de coagulantes e do tipo de meio filtrante na remoção de carbono orgânico total e na demanda de cloro da água tratada* concluíram que a remoção de COT e a demanda de cloro livre foram bastante semelhantes para os dois tipos de leitos filtrantes e que o cloreto férrico foi mais importante que o sulfato de alumínio na remoção do carbono orgânico.

Com o objetivo de buscar soluções que permitam aos sistemas de lagoas de estabilização atender aos limites de qualidade determinados pela Resolução Conama 357, foi desenvolvido o estudo *Flotação por ar dissolvido aplicada como pós-tratamento de efluentes de lagoas anaeróbias e facultativas utilizando cloreto férrico como coagulante*. Entre as conclusões obtidas está que o tratamento com cloreto férrico aplicado sobre o efluente de lagoa anaeróbia e facultativa promoveu a remoção quase completa de cistos de protozoários e ovos de helmintos. Também reduziu em quase duas unidades

logarítmicas a contagem de *E. coli*.

Três propostas de configurações de reatores são apresentadas no trabalho *Novas propostas biotecnológicas para tratamento e remoção de nitrogênio de efluentes de reatores anaeróbios*. Denominados Reator Misto Radial de Leito Fixo (RMRLF), Reator Aeróbio-Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo (RAAHLF) e Filtro Biológico Aeróbio/Anóxico (FBAA) os reatores foram avaliados quanto à capacidade de remoção de matéria orgânica, apresentando valores de DQO abaixo de 100 mg/L e remoção parcial de nitrogênio. Os resultados foram considerados promissores.

Nesta edição da **Sanare** também é apresentada a *Proposição de sistema de avaliação do potencial de reúso de esgoto tratado em áreas agrícolas na Região Metropolitana de Curitiba*. Foram avaliadas três estações de tratamento de esgoto, considerando a distância entre a estação e a área a ser irrigada com o efluente; qualidade do efluente gerado, o tratamento utilizado e o potencial de irrigação. O reúso do esgoto tratado – para não comprometer o desenvolvimento da cultura e a saúde da população – depende de uma série de fatores, cujas recomendações são publicadas a partir da página 56.

Para avaliar o potencial de aplicação do Sistema de Gestão Ambiental nas 1.000 maiores indústrias do Paraná foi realizada uma pesquisa de opinião. Dos 205 questionários respondidos, 6% já possuem a NBR ISO 14.001, 10% estão em fase de implantação, 48% têm interesse em implantar nos próximos cinco anos, 6% não têm conhecimento, 20% têm interesse em obter mais informações e 10% não têm interesse. Os autores concluem que há grande potencial de aplicação do SGA no Estado.

# Automação de reatores anaeróbios operados em bateladas seqüenciais para tratamento contínuo de esgoto sanitário



Arnaldo Sarti  
Antonio Wagner Lamon  
Paulo Eduardo Silveira  
Marcelo Zaiat  
Eugenio Foresti

Automation of anaerobic sequencing batch reactors for continuous treatment of domestic sewage

## Resumo

O presente trabalho mostra a análise da viabilidade de automação para operação simultânea de quatro diferentes configurações de reatores anaeróbios operados em bateladas seqüenciais (escala-piloto) para o tratamento de esgoto sanitário do Campus da Universidade de São Paulo (USP) em São Carlos (SP). Os reatores com volume total de 1,2 m<sup>3</sup> e mesma capacidade de tratamento de 0,65 m<sup>3</sup> (volume tratado) foram operados com ciclo total de 8 horas, considerando as etapas de enchimento, reação com agitação, sedimentação, descarga e repouso. Os tempos de duração, de cada etapa, no ciclo total de operação foram agendados como ações de acionamento de forma temporal por meio de software específico, instalado em computador, para atuação de válvulas automatizadas acopladas na entrada e saída dos reatores, motores dos agitadores e bombas de recirculação de líquido e alimentação de esgoto sanitário conforme a característica operacional de cada unidade de tratamento. O sistema automatizado implementado demonstrou ter potencial para viabilizar o tratamento contínuo de esgoto sanitário nas unidades, devido, principalmente, à aplicação inequívoca de aparatos eletromecânicos para a funcionalidade destes tipos de configurações de reatores anaeróbios.

**Palavras-chave:** automação, esgoto sanitário,

reator batelada, tratamento anaeróbio.

## Abstract

This essay viewed the viability of automatizing a system for simultaneous operation of four anaerobic sequencing batch reactors in different configurations (pilot-scale) applied for the treatment of domestic sewage in the São Paulo University Campus (São Carlos-Brazil). The reactors, with total volume of 1.2 m<sup>3</sup> and the same treatment capacity of 0.65 m<sup>3</sup> (treated volume), were operated with a total cycle of 8 hours considering the following steps: feeding, floating reaction, settling, discharge and rest. The timing for each step in the total operation cycle was scheduled as operating actions, time controlled by a specific software to perform on automatized valves adjusted to the entrance and exits of the reactors, floating motors and pumps for liquid recirculation as well as to the feeding pump for each treatment unit, respecting individual characteristics of the units. The automation system used, proved to have potential to viabilize the continuous treatment of domestic sewage in the units, mainly due to the correct use of electromechanical devices on the working of such type of anaerobic reactors.

**Key words:** automation, domestic sewage, batch reactor, anaerobic treatment.

**o sistema automatizado demonstrou potencial para o tratamento contínuo do esgoto**



## Introdução

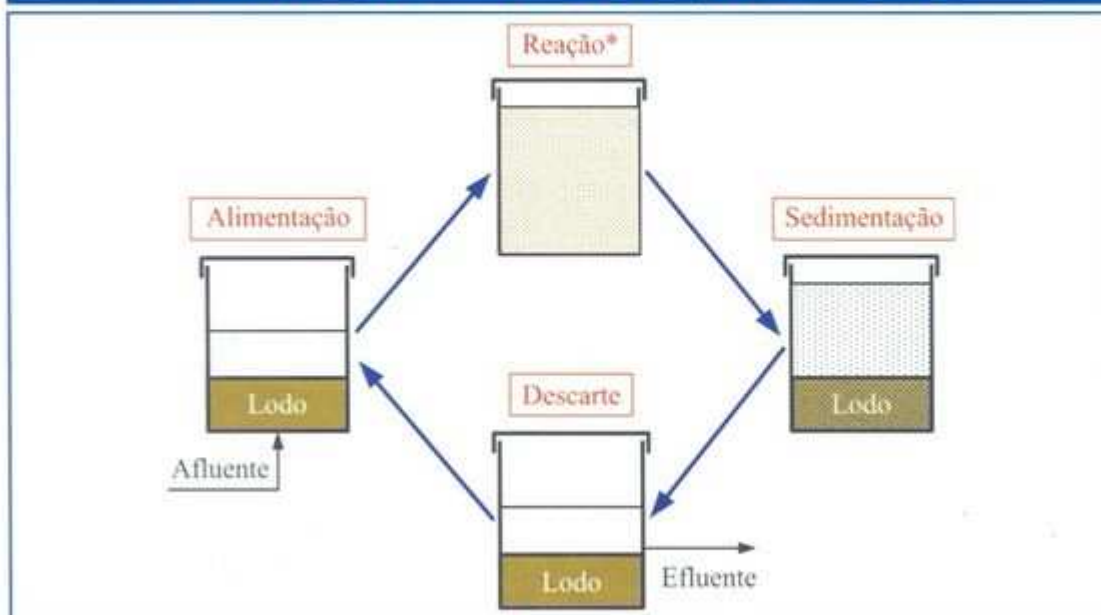
Como alternativa aos reatores anaeróbios de fluxo contínuo, o reator anaeróbio operado em batelada seqüencial (ASBR) vem recebendo maior atenção nos últimos anos, com pesquisas que visam sua aplicação prática no tratamento de águas residuárias em geral. O desenvolvimento desse tipo de reator anaeróbio é recente e os resultados obtidos indicam grande potencialidade destas unidades serem utilizadas no tratamento anaeróbio de diversos tipos de substratos (ZAIAT et al., 2001). Sua aplicação em maior escala no tratamento de águas residuárias pode ser justificada em casos especiais. Por exemplo, esgoto sanitário de pequenas comunidades, indústrias que lançam efluentes líquidos de forma descontínua ou atividades que geram efluentes de forma sazonal.

Estes reatores de fluxo intermitente vêm sendo estudados de forma efetiva, desde 1991, por grupos de pesquisadores da Universidade Estadual de Iowa (EUA) e da Universidade de Ottawa (Canadá) em escala de laboratório e, no Brasil, por grupos da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP), da Escola de Engenharia do Instituto Mauá de Tecnologia (EEM/IMT) e do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal

do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS). Nessas instituições brasileiras, os projetos de pesquisa têm como enfoque estudos que permitam a otimização operacional do reator ASBR, bem como novas propostas de configurações, a fim de viabilizar a aplicação do sistema operado em bateladas seqüenciais para tratamento de grandes volumes de águas residuárias (SARTI et al., 2006).

No ASBR, o tratamento biológico é realizado em uma única unidade, em uma seqüência operacional denominada ciclo, o qual compreende quatro etapas distintas: (i) **alimentação**: entrada da água residuária ou substrato, (ii) **reação**: contato, por meio de agitação, entre substrato e a biomassa presente (lodo biológico) para conversão da matéria orgânica a metano e dióxido de carbono, (iii) **sedimentação**: separação entre fase líquida e sólida (lodo biológico) e (iv) **descarte**: saída do líquido tratado e clarificado. Em alguns casos, após a etapa de descarte, faz-se necessária a presença da etapa de (v) **repouso**: para flexibilidade de operação conjunta de vários reatores. Os ciclos podem ser repetidos indefinidamente, desde que a duração do ciclo total forneça o tempo necessário para realização da seqüência de operação. A operação completa (ciclo total) do reator anaeróbio operado em bateladas seqüenciais pode ser vista na figura 1.

**FIGURA 1 - ETAPAS DO CICLO TOTAL DE OPERAÇÃO DO REATOR ASBR**



\*Etapa com agitação: recirculação de biogás, mecânica ou recirculação do líquido interno.

*o tratamento biológico no reator em batelada seqüencial (ASBR) compreende quatro etapas distintas*



Como foi enfocado especificamente quando da etapa de reação, o ASBR necessita de alguma forma de agitação (contínua ou intermitente). Neste caso, os tipos mais utilizados para agitação nesta configuração de reator são: a mecânica por meio de impelidores (TIMUR; ÖZTURK, 1999 e CYBIS; PESCADOR, 2000), a recirculação do líquido interno por meio de bomba (BRITO; RODRIGUES; MELO, 1997 e CUEVAS-RODRIGUES.; GONZÁLES-BARCELÓ; GONZÁLES-MARTINES, 1998) ou o borbulhamento do próprio biogás gerado na unidade (DAGUE; HABBEN; PIDAPARTI, 1992 e SUNG; DAGUE, 1995). Já na etapa de descarte do líquido tratado, o mesmo pode ser realizado por meio de tomada localizada em nível pré-determinado, com vazão regulada (válvula ou bomba), sendo que o tempo requerido é governado pelo volume total a ser descartado (removível) a cada ciclo.

A proposição de novas configurações de reatores visa resolver os problemas operacionais identificados nestes reatores operados em bateladas seqüenciais. Tais dificuldades estão diretamente relacionadas com a perda de sólidos biológicos juntamente com o efluente. Uma alternativa promissora seria o uso de suportes inertes que permitem maior retenção dos sólidos biológicos no interior do reator, para no caso evitar o arraste observado nos reatores ASBR convencionais (sem a presença de suporte inerte). Como vantagem principal, a biomassa anaeróbia fica aderida ao meio suporte ou imobilizada, o que possibilita a eliminação da etapa de sedimentação e conseqüentemente a redução do tempo total de ciclo. Nesse contexto, RATUSZNEI et al. (2000), por exemplo, propuseram nova configuração de reator ASBR contendo biomassa imobilizada utilizando como suporte inerte cubos de espuma de poliuretano. Tal configuração foi denominada de reator anaeróbio operado em bateladas seqüenciais com biomassa imobilizada.

Para os reatores operados em bateladas seqüenciais em maior escala, torna-se necessária a utilização de automação específica, devido à complexidade de operação de maneira manual, principalmente, quando se empregam vários

reatores. Tal metodologia pode envolver a presença de aparatos eletrônicos, eletromecânicos, computadores e *softwares* específicos para execução de todas as etapas envolvidas e variantes no processo de operação (ciclos). O uso dessa tecnologia eleva os custos de implantação destes reatores no tratamento de águas residuárias em comparação com sistemas anaeróbios contínuos de mesmo porte. Por isso, o grande mérito deste trabalho foi implantar um sistema automatizado para operação conjunta de vários reatores operados em batelada usando tecnologia própria a fim de propiciar o tratamento contínuo de esgoto sanitário.

Na operação do ASBR é requerido cuidadoso controle na coordenação das seqüências de acionamentos, tanto de válvulas (abertura/fechamento), como de bombas e agitadores (partida/parada), sendo gerenciados eficientemente por microcomputador. Com o emprego deste recurso é possível obter condições operacionais que maximizem a eficiência do tratamento e possibilitem a minimização dos custos de construção e operação de tais unidades em escala plena (ZAIAT, 2001).

Novas soluções operacionais e de controle com supervisão automática para os processos devem ser estudadas. Em qualquer processo físico dinâmico, a determinação das melhores condições operacionais é fundamental para uma boa operação do sistema, uma vez que tais condições podem ser mantidas por sistema de controle automático adequado (PENA, 1999).

Neste contexto, o aprimoramento necessário para efetivamente permitir a utilização de reatores de operação descontínua no tratamento de águas residuárias em várias unidades, passa pelo uso de automação, permitindo a variação de parâmetros operacionais como tempo de alimentação, agitação e descarte a fim de permitir o melhor desempenho das unidades de tratamento. Portanto, o enfoque principal do trabalho foi conceber sistema automatizado específico para viabilizar e aprimorar a operação simultânea de reatores operados em bateladas seqüenciais em escala-piloto, alimentados em série, a fim de possibilitar o tratamento de esgoto sanitário de maneira contínua.

**Implantar sistema automatizado para operação conjunta de vários reatores operados em batelada usando tecnologia própria**



## Material e métodos

A proposição e a implantação do sistema automatizado foram iniciadas após o projeto e a efetiva adequação de quatro reatores anaeróbios operados em bateladas seqüenciais na ETE (USP-São Carlos) concebidos para tratamento individual de 2 m<sup>3</sup>/dia de esgotos sanitários, coletados da rede que atravessa o campus da USP (São Carlos). Tais unidades tinham concepções físicas diferentes e envolveram dois tipos de agitação (mecânica e recirculação do líquido interno por bomba).

Existem poucos dados específicos, na literatura, para projetos de reatores anaeróbios operados em bateladas seqüenciais em maior escala. Por esse motivo, necessitou-se adotar alguns parâmetros para viabilizar o projeto das unidades em escala-piloto, já que, na maioria, são apresentados reatores em escala de bancada tratando substratos simples e que praticamente não retratam a realidade de sistemas em maior escala.

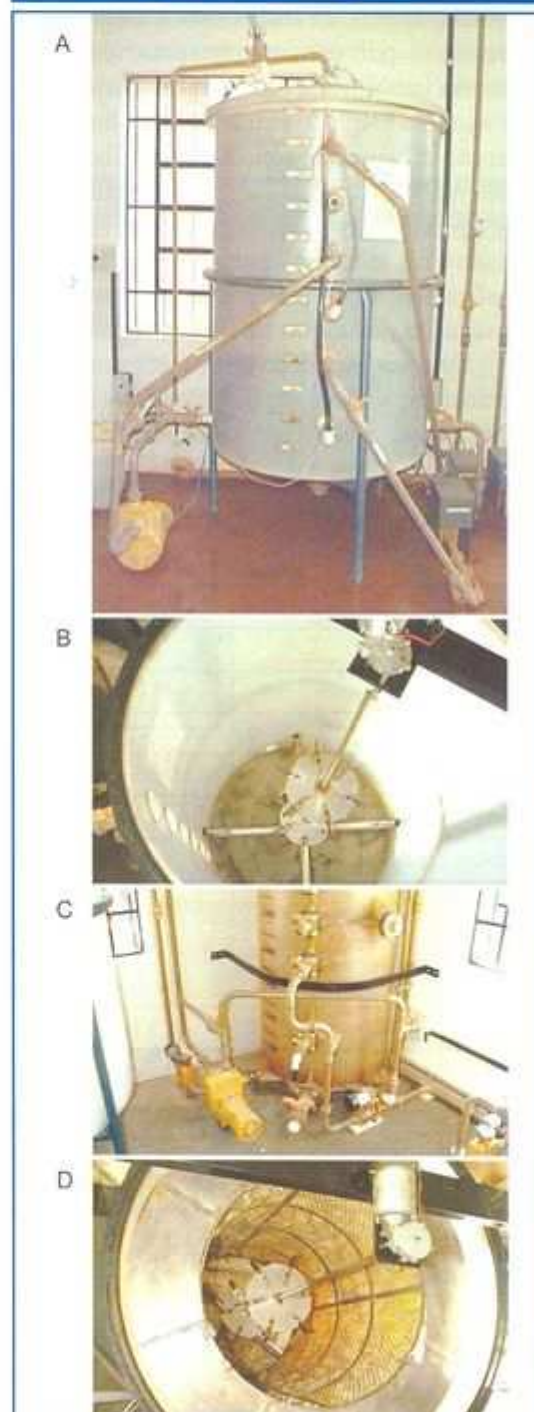
### Reatores ASBR e dados operacionais

Na configuração do tipo ASBR convencional, sem a presença de suportes inertes, foram projetadas as unidades ASBR1, ASBR2, ASBR3, cada uma com volume total de 1,20 m<sup>3</sup> e diferenciadas pelo tipo de agitação e característica geométrica (relação A/D ou altura/diâmetro). Dois reatores do tipo ASBR (ASBR1 e ASBR3) tinham como forma de agitação a recirculação do líquido interno por bomba centrífuga (modelo: Jacuzzi-5JL15), mas com relações A/D distintas. O ASBR2 possuía agitação mecânica de líquido, mas relação A/D igual a do ASBR1 concebido com recirculação do líquido interno. A agitação mecânica de líquido era composta de moto-redutor, eixo e 2 impelidores (tipo turbina com seis pás planas).

A unidade ASBR4 tinha o mesmo volume de 1,20 m<sup>3</sup>, mas a concepção era diferente em função da presença, no interior da unidade, de suportes inertes para imobilização da biomassa. Essa configuração utilizava agitação mecânica de líquido, sendo que os suportes inertes ficavam confinados em uma espécie de "cesto cilíndrico" ao redor do eixo de agitação. Os

suportes inertes usados foram cubos de espuma de poliuretano (50 mm de lado) com densidade aparente de 23 kg/m<sup>3</sup>. Na figura 2 apresenta-se os reatores ASBR1, ASBR2, ASBR3 e ASBR4 com os sistemas de agitação implementados.

**FIGURA 2 - REATORES ASBR1 (A), ASBR2 (B), ASBR3 (C) E ASBR4 (D)**



**os quatro reatores têm o mesmo volume, porém tipos de agitação diferenciados**

O tempo de ciclo total foi adotado de 8 horas para todos os reatores baseado no trabalho de RATUSZNEI et al. (2000) no tratamento de substrato sintético simulando esgoto sanitário. No caso dos reatores ASBR cada ciclo total correspondeu aos tempos de enchimento, reação, sedimentação, descarga e repouso. Na operação do ASBR4, todas as etapas foram mantidas, apenas foi dispensada a etapa de sedimentação por se tratar de reator contendo biomassa imobilizada em suportes inertes. Para este reator, a etapa de reação foi ampliada para obtenção de tempo de ciclo total semelhante aos outros ASBR. As principais características físicas e operacionais dos reatores ASBR são apresentadas na tabela 1, enquanto na tabela 2 visualizam-se os tempos das etapas envolvidas na execução dos ciclos totais dos reatores.

Deve ser ressaltado que os reatores tinham a mesma capacidade de tratamento ou volume tratado a cada ciclo (0,65 m<sup>3</sup>) e mantiveram-se

sob operação durante 300 dias no tratamento de esgoto sanitário. Foram alternadas as condições de agitação (contínua e intermitente) para avaliar o comportamento da automação implementada para controle efetivo da operação contínua, bem como o desempenho dos sistemas de tratamento de esgoto sanitário.

#### Automação dos reatores ASBR

A operação manual dos reatores implicou inicialmente na presença de vários operadores divididos em turnos, já que ocorria a realização de três ciclos totais por dia em cada reator. Portanto, pela complexidade da operação simultânea das diferentes configurações de reatores ASBR concebeu-se sistema de automação composta de válvulas automatizadas (8) para abertura e fechamento das tubulações (entrada e saída) dos reatores, motores dos agitadores (2), bombas de recirculação do líquido interno (2) e

foram alternadas as condições de agitação (contínua e intermitente) para avaliar o comportamento da automação

**TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E OPERACIONAIS DOS REATORES ASBR**

Reator	ASBR1	ASBR2	ASBR3	ASBR4
Material	Polietileno	Polietileno	Fibra de vidro	Polietileno
Altura (A)	1,5 m	1,5 m	2,4m	1,5 m
Diametro (D)	1,0 m	1,0 m	0,8 m	1,0 m
Relação A/D	1,5	1,5	3,0	1,5
*Volume removível	0,65 m <sup>3</sup>	0,65 m <sup>3</sup>	0,65 m <sup>3</sup>	0,65 m <sup>3</sup>
Tempo de ciclo (horas)	8	8	8	8
Ciclos/dia	3	3	3	3
Tipo de agitação	Recirculação	Mecânica	Recirculação	Mecânica
Equipamento (agitação)	Bomba centrífuga	Impelidores (tipo turbina)	Bomba centrífuga	Impelidores (tipo turbina)
Rotação/vazão	1,5 m <sup>3</sup> /h	30 rpm	1,5 m <sup>3</sup> /h	30 rpm

\*Volume tratado por ciclo

**TABELA 2 - ETAPAS DE OPERAÇÃO DOS REATORES PARA CICLO TOTAL DE 8 HORAS**

ASBR1/ASBR2/ASBR3	ASBR4
Enchimento: 2 h	Enchimento: 2 h
Reação com agitação: 3 h	Reação com agitação: 5 h
Sedimentação: 2 h	Não há etapa de sedimentação
Descarga: 0,5 h	Descarga: 0,5 h
Repouso: 0,5 h	Repouso: 0,5 h



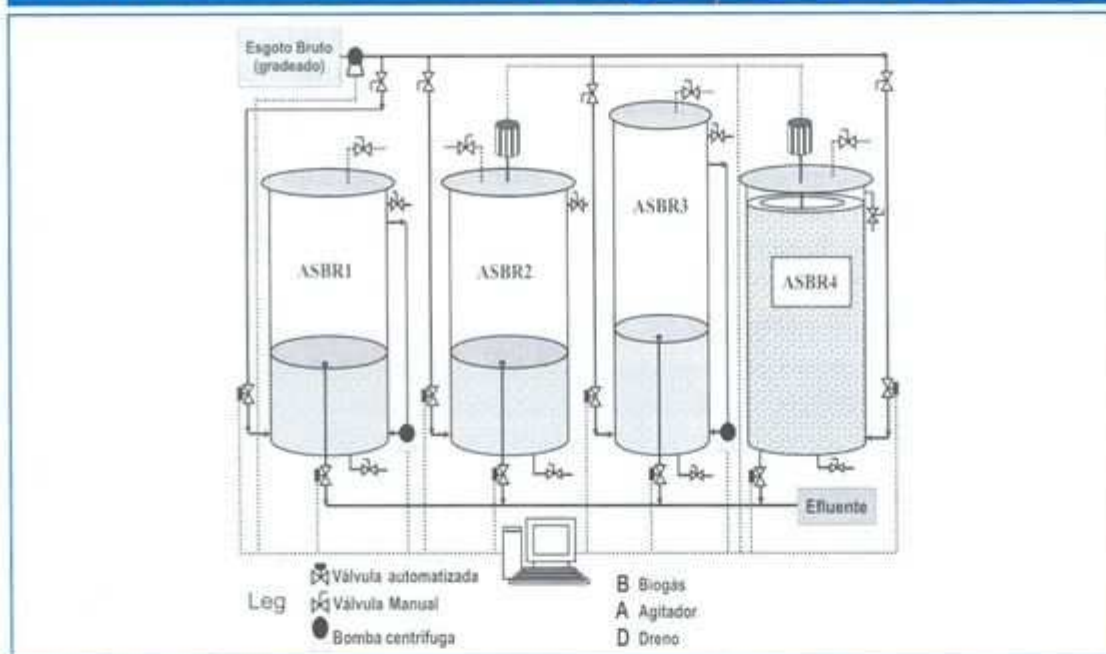
bomba de alimentação de esgoto bruto (gradeado) para as unidades. Todos esses dispositivos foram interligados para controle supervisionado por microcomputador de forma temporal para permitir os acionamentos automáticos. Na figura 3, visualiza-se o fluxograma esquemático de operação simultânea (série) dos reatores para tratamento contínuo de esgoto sanitário.

Inicialmente foi desenvolvido *software* específico em DELPHI3, operado em ambiente MS-Windows, com intuito de viabilizar o agendamento de ações ou acionamentos em se-

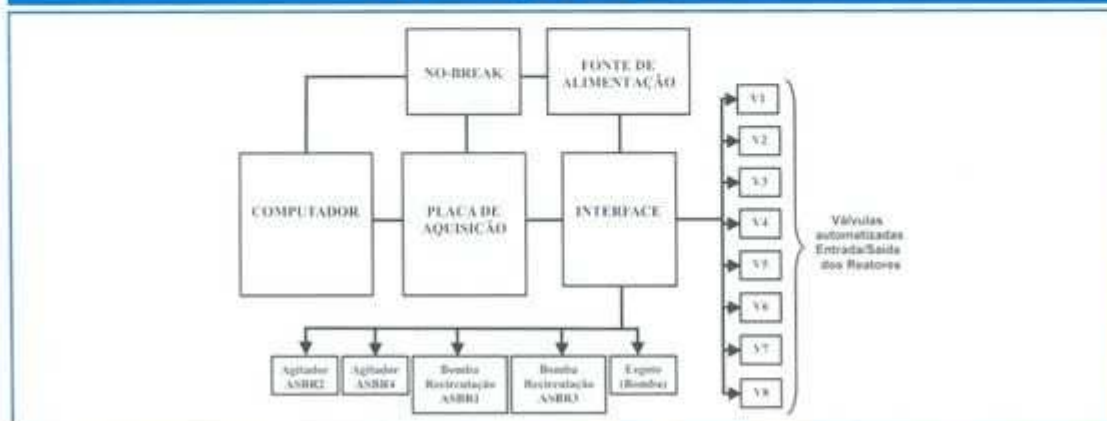
quência para operação contínua dos ASBR. As ações seqüenciais (acionamentos) para cada etapa dos ciclos totais (enchimento, reação, sedimentação ou não, descarga e repouso) foram agendadas no *software*, para cada reator ASBR, de forma temporal (minutos).

Para a tarefa de agendamento das ações, empregou-se uma placa de aquisição de dados (entradas e saídas digitais e analógicas) instalada no microcomputador e interligada aos reatores, por meio de interface, conforme diagrama de blocos apresentado na figura 4. A seqüência

**FIGURA 3 - FLUXOGRAMA ESQUEMÁTICO DE OPERAÇÃO SIMULTÂNEA DOS REATORES ASBR**



**FIGURA 4 - DIAGRAMA DE BLOCOS DO CIRCUITO ELETRÔNICO DA AUTOMAÇÃO DOS REATORES**



as ações seqüenciais para cada etapa dos ciclos totais foram agendadas no software, para cada reator ASBR

lógica das ações seqüenciais era empreendida pelo uso do *software* nas ações de acionamento para a bomba de alimentação de esgoto bruto (gradeado), abertura/fechamento de válvulas automatizadas (etapa de alimentação e descarte), bem como as bombas de recirculação de líquido interno e agitadores mecânicos na etapa de reação.

Na tabela 3, visualiza-se as etapas do ciclo total de operação dos reatores, que foi utilizada como base para a estruturação das ações seqüenciais a serem executadas de forma temporal por unidade de tratamento ASBR alimentada em série.

A fabricação de oito válvulas automatizadas são um capítulo à parte, já que, para reduzir os custos, evitou-se comprar válvulas servo-assistidas vendidas no mercado. Foram utilizadas válvulas de PVC de esfera ( $\phi 1\frac{1}{2}$ "") compradas comercialmente com o acoplamento de moto-reductor (24 Vdc - 1/3 cv) para rapidez e segurança de fechamento (estanqueidade). Nessas válvulas adaptaram-se chaves de "fim de curso" a fim de limitar-se o ângulo de abertura

das válvulas visando o controle de vazão de alimentação. Essas válvulas foram acopladas às tubulações de PVC ( $\phi 1$ "") de entrada e saída dos reatores. Na figura 5 podem ser observados a válvula automatizada e o controle supervisionado pelo computador.

Nos reatores ASBR1 e ASBR3, com recirculação por bomba, instalou-se *pressostatos* (2), os mesmos usados em máquinas de lavar roupa, que tinham a função de sensores de nível e, também de proteção, para que as bombas de recirculação de líquido interno não acionassem com volume inferior a 1,0 m<sup>3</sup> nos reatores ASBR1 e ASBR3, no caso de eventual falta de energia durante a operação de enchimento dos reatores. Dos moto-redutores dos agitadores (24 Vdc - 1/3 cv) dos reatores ASBR2 e ASBR4, apenas o acionamento foram mantidos ao microcomputador. O controle da velocidade de rotação (rpm) foi feito utilizando-se regulador eletrônico (Tipo PWM), sendo o ajuste realizado por meio de medidas fornecidas por tacômetros instalados nos eixos dos referidos reatores.

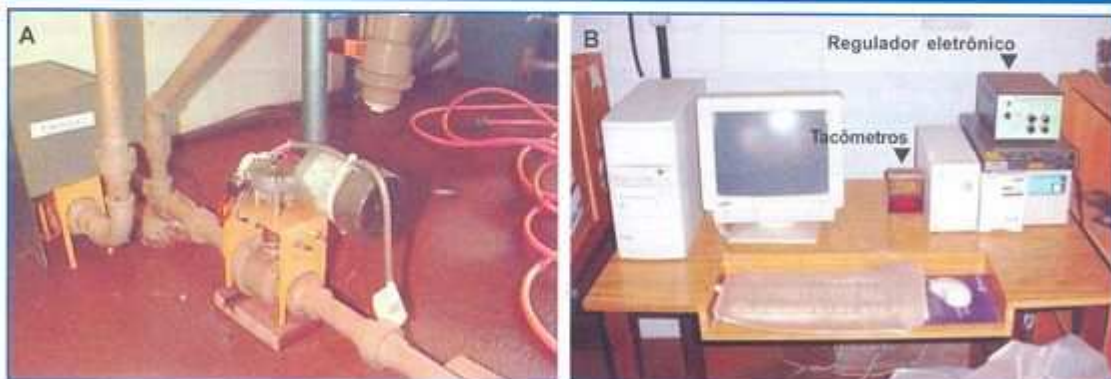
**TABELA 3 - ETAPAS DE OPERAÇÃO DOS ASBR ALIMENTADOS EM SÉRIE NO PERÍODO DE 24 HORAS**

Reator	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ASBR1	E	E	R	R	S	S	S	D	E	E	R	R	S	S	S	D	E	E	R	R	S	S	S	D
ASBR2	S	D	E	E	R	R	S	S	S	D	E	E	R	R	S	S	S	D	E	E	R	R	S	S
ASBR3	S	S	S	D	E	E	R	R	S	S	S	D	E	E	R	R	S	S	S	D	E	E	R	R
ASBR4	R	R	R	R	R	D	E	E	R	R	R	R	R	D	E	E	R	R	R	R	R	D	E	E

Legenda: E - enchimento, R - reação, S - sedimentação e D - descarga e repouso.

o controle da velocidade de rotação (rpm) foi feito utilizando-se regulador eletrônico (Tipo PWM)

**FIGURA 5 - VÁLVULA AUTOMATIZADA (A) E MICROCOMPUTADOR UTILIZADO PARA AUTOMAÇÃO (B)**



No caso de falta de energia elétrica, para manter o sistema de automação atuando, principalmente nas válvulas automatizadas, instalou-se sistema "No-Break" para dar prosseguimento às ações agendadas no *software* por período de até 3 horas. Ressalta-se que para evitar o transbordamento na etapa de alimentação, já que toda automação é realizada de forma temporal, instalou-se drenos no nível máximo permitido de líquido nos reatores ASBR.

No *software* desenvolvido foram geradas duas telas de apresentação. A primeira tela de apresentação (figura 6) representa o input das ações seqüenciais de acionamento nos campos Equipamento (válvula, bomba ou agitador), Estado (*acionado*: Aberta e *desligado*: Fechada) e Tempo em minutos de forma crescente. Ao final do agendamento de todas as ações seqüenciais de acionamento dos ASBR, para operação com alimentação em série, o agendamento foi salvo, sendo depois especificada a quantidade de ciclos a serem realizados pelos reatores na barra "Número de ciclos".

Na segunda tela de apresentação (figura 7) consta o "status" atual dos acionamentos referentes ao agendamento de ações seqüenciais implementado. Nessa tela, tanto o início de operação dos reatores, como o acionamento manual de equipamentos era visualizado e se caso fosse necessário, era realizado com toque do cursor, na tela do *software*, sobre a figura do dispositivo correspondente a ser ligado fora das seqüências de ações agendadas.

### Resultados e discussão

Durante 300 dias de operação dos reatores ASBR, os resultados obtidos foram realmente satisfatórios em relação ao uso do sistema de automação viabilizado para o tratamento contínuo de esgoto sanitário. Neste caso específico, a automação empregada permitiu perfeito controle físico do processo de tratamento proposto, vantagem esta que conferiu alta confiabilidade ao sistema (reatores e automação). Não foram

**FIGURA 6 - TELA DE APRESENTAÇÃO DO SOFTWARE PARA AGENDAMENTO DAS AÇÕES SEQÜENCIAIS (VÁLVULAS 1 A 8, AGITADOR 1 E 2 - ASBR2 E ASBR4, BOMBA 1 A 3 - ESGOTO BRUTO, ASBR1 E ASBR3)**



Agendamento das ações

Condição dos equipamentos no tempo zero

Equipamento	Estado	Tempo
Válvula 1	Aberta	1
Válvula 2	Aberta	1
Válvula 3	Aberta	1
Válvula 4	Aberta	1
Válvula 5	Aberta	1
Válvula 6	Aberta	1
Válvula 7	Aberta	1
Válvula 8	Aberta	1
Agitador 1	Aberta	1
Agitador 2	Aberta	1
Bomba 1	Aberta	1
Bomba 2	Aberta	1
Bomba 3	Aberta	1

Remover Adicionar Confirmar e Sair

Ação	Equipamento	Estado	Tempo
70	Válvula 9	Fechada	1387
71	Válvula 8	Aberta	1388
72	Válvula 7	Aberta	1389
73	Válvula 6	Aberto	1390
74	Válvula 5	Aberto	1391
75	Válvula 8	Fechada	1432
76	Válvula 7	Fechada	1438
77	Válvula 6	Fechada	1439
78	Válvula 5	Fechada	1440

Número de ciclos: 1 Lendo Salvando

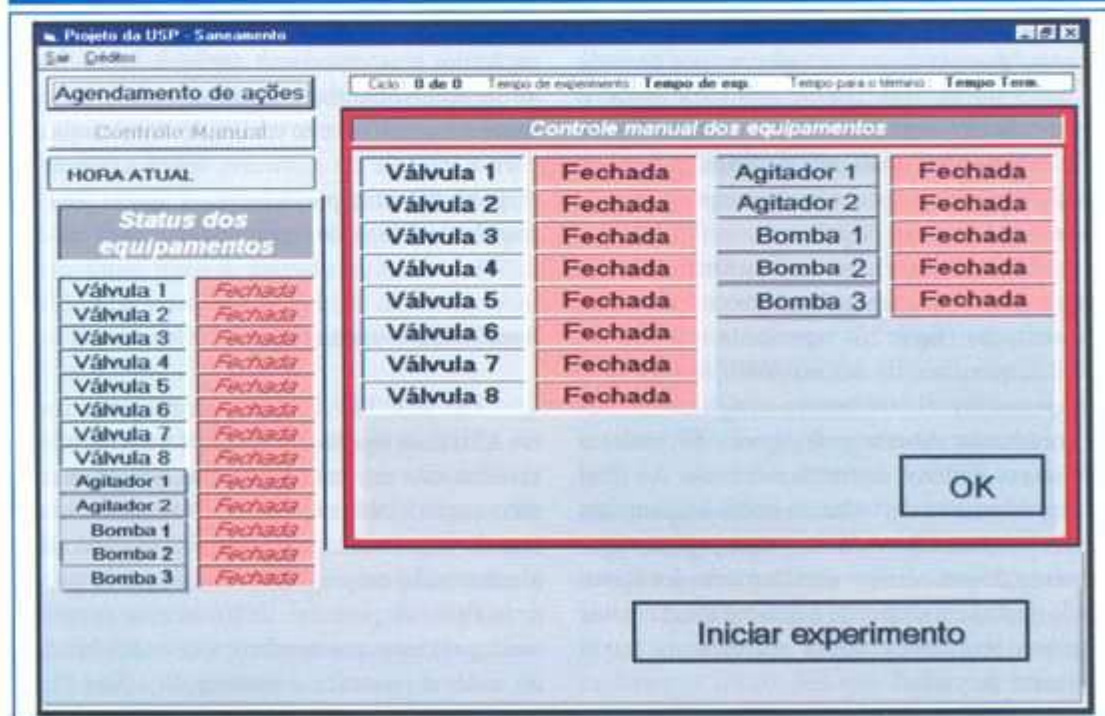
Editar Lista de Ações

Remover ação 1 OK

Adicionar ação 1 OK

a automação empregada permitiu perfeito controle físico do processo de tratamento proposto

**FIGURA 7 - TELA DO SOFTWARE DE CONTROLE MANUAL DOS ACIONAMENTOS E "STATUS" DE ACIONAMENTOS**



**a alimentação dos reatores em série permitiu o tratamento contínuo de 8 m<sup>3</sup>/dia de esgoto sanitário**

detectados no período problemas específicos que pudessem prejudicar a automação instalada. Apenas ocorreram dificuldades de fechamento estanque quando se formaram incrustações no interior do corpo das válvulas de esfera de PVC (automatizadas). Adotou-se frequência de limpeza para desobstrução das esferas internas durante o tempo de operação, não sendo sentido o problema novamente.

Como o sistema foi automatizado, a presença de pessoas para a operação dos reatores foi reduzida. Apenas um operador fazia a rotina (diária) de análise do "status" de acionamentos dos equipamentos (via tela do computador) e a comparava em tempo real pela observação visual. Os principais problemas ocorridos eram corrigidos pelo operador na tela de acionamentos manuais (figura 7), como por exemplo, não enchimento, não acionamento de bomba ou agitadores. Ressalta-se que houve problemas com falta de energia (2 a 3 horas), mas como havia "No-Break" instalado, tal fato, não causou perturbações sérias aos sistemas de tratamento, bem como da automação, sendo prontamente

retomada no retorno da energia.

A alimentação dos reatores em série permitiu o tratamento contínuo de 8 m<sup>3</sup>/dia de esgoto sanitário, isto representa cerca de 50 habitantes, considerando 160 litros de esgoto sanitário gerados por habitante. Para aumentar o volume tratado para 10,5 m<sup>3</sup>/dia, e sem prejuízo em termos de eficiência no tratamento biológico, fez-se a redução do ciclo total dos ASBR para 6 horas. Atingiu-se com este volume tratado a população de 65 habitantes.

Para a redução dos ciclos houve a necessidade da variação de parâmetros operacionais importantes como: tempo de enchimento, de reação e sedimentação, de descarte e ainda do repouso. Em termos de eficiência do tratamento biológico do esgoto sanitário em termos de DQO (demanda química de oxigênio) nas amostras brutas e sólidos suspensos totais (SST) foram analisadas para comparação das operações com os tempos de ciclo total de 8 e 6 horas. Nesse trabalho, também foi possível fazer variações na forma de agitação e vazão utilizadas nos reatores ASBR com recirculação do líquido interno

(ASBR1 e ASBR3), alternando de agitação contínua para intermitente, bem como a dos reatores ASBR2 e ASBR4, conforme visualizado na tabela 4.

Para análise da qualidade do efluente produzido pelos reatores ASBR ao longo de 300 dias, após várias alterações propostas nas condições de operação das unidades e permitidas pelo sistema de automação, usou-se o percentil para representar de forma global os dados obtidos, em termos de DQO (amostras brutas) e

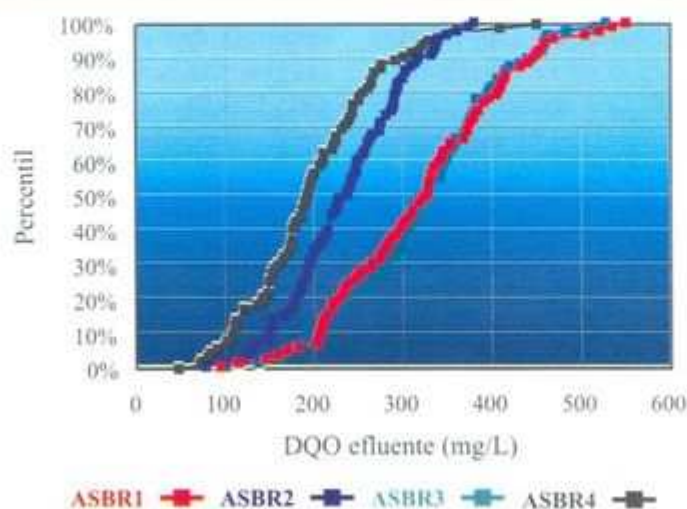
sólidos suspensos totais. Tais resultados são apresentados nas figuras 8 e 9. Como percentual de referência para comparação entre os reatores ASBR usou-se o valor pontual abaixo de 80% dos dados obtidos em termos de DQO e SST.

Na tabela 5 podem ser visualizados os valores de DQO e SST no efluente dos reatores abaixo de 80% dos dados obtidos, bem como as eficiências finais para DQO ( $E_{DQO}$ ) e SST ( $E_{SST}$ ).

**TABELA 4 - CONDIÇÕES DE AGITAÇÃO APLICADAS AOS REATORES ASBR DURANTE 300 DIAS DE OPERAÇÃO**

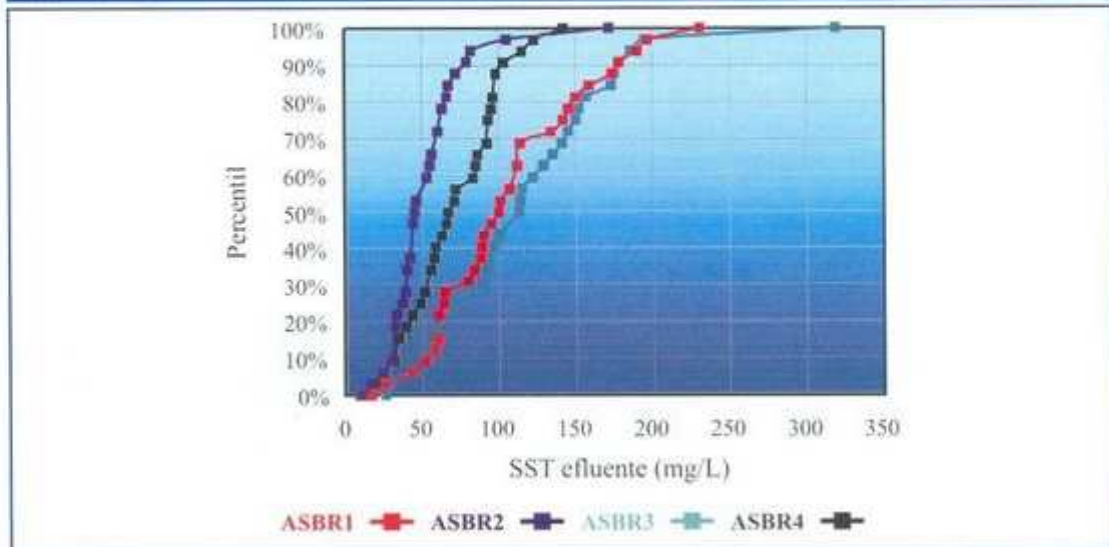
Reator	Tipo de agitação	Forma de agitação: Vazão/rotação
ASBR1	Recirculação de líquido	1) Contínua: 1,5 m <sup>3</sup> /h 2) Intermitente: 1,5 m <sup>3</sup> /h (5min/h) 3) Intermitente: 1,5 m <sup>3</sup> /h (10min/h)
ASBR2	Agitação mecânica	1) Contínua: 30 rpm 2) Intermitente: 30 rpm (10 min/h)
ASBR3	Recirculação de líquido	1) Contínua: 1,5 m/h 2) Intermitente: 1,5 m <sup>3</sup> /h (5min/h) 3) Intermitente: 1,5 m <sup>3</sup> /h (10min/h)
ASBR4	Agitação mecânica	1) Contínua: 30 rpm 2) Intermitente: 30 rpm (10 min/h)

**FIGURA 8 - VALORES DE CONCENTRAÇÃO DE DQO NO EFLUENTE EM FUNÇÃO DO PERCENTIL NOS REATORES ASBR1, ASBR2, ASBR3 E ASBR4.**



para  
comparação  
usou-se o valor  
pontual abaixo  
de 80% dos  
dados obtidos  
em termos de  
DQO e SST

**FIGURA 9 - VALORES DE CONCENTRAÇÃO DE SST NO EFLUENTE EM FUNÇÃO DO PERCENTIL NOS REATORES ASBR1, ASBR2, ASBR3 E ASBR4**



**TABELA 5 - VALORES DE DQO E SST NO EFLUENTE DOS REATORES ASBR ABAIXO DE 80% DOS DADOS OBTIDOS E EFICIÊNCIAS DE TRATAMENTO DO ESGOTO SANITÁRIO**

Reator	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	$E_{DQO}$ (%)	$E_{SST}$ (%)
ASBR1	407	150	35	64
ASBR2	293	66	58	76
ASBR3	397	157	35	61
ASBR4	255	96	60	73

**outras variáveis podem ser alteradas para otimizar a operação e obter-se melhor desempenho do sistema**



Durante todo o período experimental, os reatores ASBR1 e ASBR3 com recirculação de líquido apresentaram, dados de DQO e SST no efluente, abaixo de 80%, maiores que os obtidos nos reatores ASBR2 e ASBR4 (figura 8 e 9). Provavelmente, a baixa eficiência de remoção de sólidos ( $E_{SST}$ ) e, conseqüentemente, a maior presença de sólidos no efluente influenciou nos valores de  $E_{DQO}$  obtidas (tabela 5). Portanto, as melhores qualidades de efluente no tratamento de esgoto sanitário foram conseguidas no reator ASBR2 (293 mgDQO/L e 66 mgSST/L) e no ASBR4 (255 mgDQO/L e 96 mgSST/L) com valores abaixo de 80% em termos de DQO e SST.

As configurações com maiores condições de tratamento de esgoto sanitário são ambas compostas de agitação mecânica, sendo uma com biomassa imobilizada em espuma de

poliuretano. Mas, as outras duas unidades com recirculação necessitam aperfeiçoamentos conceituais para efetivamente atingirem qualidade ideal de efluente. Entretanto, deve ser enfatizado que para todas as unidades ensaiadas haveria a necessidade da melhoria na qualidade dos efluentes produzidos em sistemas biológicos aeróbios para adequação nos padrões permissíveis de lançamento.

Aproveitando-se da flexibilidade que o sistema de automação proporcionou, outras variáveis podem ser alteradas na expectativa de otimização da operação e busca de melhores condições para o tratamento anaeróbio visando o máximo desempenho destes diferentes tipos de reatores operados em bateladas seqüenciais. Deve-se deixar claro que todas as mudanças realizadas ao longo do período experimental implicam em vários dias ou meses para serem sen-

tidas e assimiladas, já que o processo é biológico, não físico-químico. Por isso, o trabalho de otimização deve ser continuado nessas configurações de reatores ASBR juntamente com a automação, a fim de permitir realmente a adoção destas unidades como alternativa no tratamento de esgoto sanitário, também, em maiores escalas.

Pelo menos na literatura especializada não se encontraram reatores tipo ASBR para tratamento de esgoto sanitário em escala piloto ou maior, mas apenas em escala de laboratório. Assim, não se tem referência específica para basear os resultados, muito menos em relação ao sistema de automação. Por isso, como sendo o pioneiro, este trabalho pode ser considerado como o primeiro passo dos vários que devem ser dados para a implantação dos reatores ASBR no tratamento de grandes volumes de águas residuárias de forma contínua. Logicamente, a partir dessa primeira experiência vários avanços precisam ser realizados para atingir tal finalidade.

### Conclusões

Em relação ao sistema de automação, não foram detectados problemas mecânicos ou eletrônicos, no período de 300 dias de operação. Desta forma, comprovou-se a flexibilidade e confiabilidade do sistema, garantindo, assim, o bom desempenho operacional ocorrido nas unidades de tratamento. Tal implementação tecnológica veio facilitar a operação de reatores anaeróbios operados em bateladas seqüenciais, bem como sua aplicação nas várias unidades visando o tratamento contínuo de esgoto sanitário.

Deve-se considerar, no entanto, que a automação implantada foi realmente interessante no caso dos sistemas experimentais em escala-piloto para o desenvolvimento de pesquisas, mas também, o seu uso passa a ser uma opção viável para pequenas comunidades e indústrias com lançamento descontínuo de efluentes. Suas principais vantagens foram sentidas em termos de redução de pessoal operacional, bem como a precisão na execução das ações agendadas.

Logicamente, no projeto de grandes reatores ASBR, o emprego de novas tecnologias, como o uso de controles lógicos programáveis (CLP) como supervisor e válvulas servo-assistidas ou pneumáticas (comerciais) permitirão maior flexibilidade e confiabilidade de operação, bem como o controle, via sensores e atuadores, de variáveis como, por exemplo: vazão, nível líquido, temperatura, pH e potencial redox para intervenção quando necessário na manutenção das condições ideais para a estabilidade do processo de tratamento biológico.

Os custos destes equipamentos modernos já não são tão altos para inviabilizar o emprego dos ASBR, como poderia se afirmar no passado, quando comparados com reatores anaeróbios contínuos. Portanto, em termos do custo da automação dessas unidades de tratamento pode-se afirmar como certeza que tais reatores podem ser incluídos como mais uma opção de tratamento biológico. O custo total relativo à implantação da automação permitiu a redução de 30 a 40%, comparando-se com sistemas de automação comerciais cotados. Somente a confecção das válvulas automatizadas permitiu a redução de custos em torno de 70 %.

A partir deste trabalho, relativo ao desempenho dos reatores ASBR, permite-se vislumbrar diversas opções de emprego desta configuração de reator, em maiores escalas, podendo ser alternativa futura para o tratamento de águas residuárias em geral de forma contínua e em grandes quantidades fazendo-se uso de várias unidades em série seguidas de unidades aeróbias para polimento do efluente final.

### Referências

BRITO, A.G.; RODRIGUES, A.C.; MELO, F.L. Feasibility of a pulsed sequencing batch reactor with anaerobic aggregated biomass for the treatment of low strength wastewaters. *Water Science and Technology*, v. 35, n. 1, p. 193-198, 1997.

CUEVAS-RODRIGUES, G.; GONZÁLES-BARCELÓ, O.; GONZÁLES-MARTINES, S. Wastewater fermentation and nutrient removal

**não foram detectados problemas mecânicos ou eletrônicos, no período de 300 dias de operação**



in sequencing batch reactors. **Water Science and Technology**, v. 38, p. 255-264, 1998.

CYBIS, L.S.; PESCADOR, F.S. Emprego de reatores seqüenciais em batelada anaeróbios (RSBAn) para tratamento de esgotos domésticos. In: LATIN-AMERICAN WORKSHOP AND SEMINAR ON ANAEROBIC DIGESTION, 6., 2000, Recife. **Anais...** Brazil, Recife, PE.: UFPE, 2000. v. 1, p. 90-97. (In Spanish).

DAGUE R. R.; HABBEN C.E.; PIDAPARTI S.R.. Initial studies on the anaerobic sequencing batch reactor. **Water Science and Technology**, v. 26, n. 9-11, p. 2429-2432, 1992.

PENA, R. T. **Desenvolvimento e controle de sistema de tratamento de esgotos por processos anaeróbios**: relatório final do projeto. Belo Horizonte, MG.: FAPEMIG, 1999. (FAPEMIG -TEC 1277/95).

RATUSZNEI, S. M. et al. Feasibility of a stirred anaerobic sequencing batch reactor containing immobilized biomass for wastewater treatment. **Bioresource Technology**, v. 75, p. 127-133, 2000.

SARTI, A. The performance of an anaerobic sequencing batch biofilm reactor treating domestic sewage colonized by anoxygenic phototrophic bacteria, **Chemosphere**, v. 62, p. 1437-1443, 2006.

SUNG S.; DAGUE R. R. (1995). Laboratory studies on the anaerobic sequencing batch reactor. **Water Environmental Research**, v. 67, n. 3, p. 294-301, 2000.

TIMUR, H.; ÖZTURK, I. Anaerobic sequencing bath reactor treatment of landfill leachate. **Water Research**, v. 33, n. 15, p. 3225-3230, 1999.

## Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do

Estado de São Paulo (Fapesp), ao Programa de Núcleo de Excelência (Pronex - projeto nº 664093/1997-3) pelo apoio financeiro na execução do trabalho e ao programa de pós-graduação do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos (USP-São Carlos).

## Autores

**Arnaldo Sarti**,  
engenheiro químico (UFSCar), doutor em Engenharia Civil - Departamento de Hidráulica e Saneamento, pós-doutor do Departamento de Hidráulica e Saneamento (EESC/USP).

**Antonio Wagner Lamon**,  
técnico de laboratório (EESC/USP) - Departamento de Hidráulica e Saneamento.

**Paulo Eduardo Silveira**,  
engenheiro eletricitista, mestre em Engenharia Civil (EESC/USP), professor do Departamento de Engenharia Mecânica - Universidade São Francisco (Itatiba - SP).

**Marcelo Zaiat**,  
engenheiro químico (UFSCar), doutor em Engenharia Civil - Departamento de Hidráulica e Saneamento, professor do Departamento de Hidráulica e Saneamento (EESC/USP).

**Eugenio Foresti**,  
engenheiro civil, doutor em Engenharia Civil (EESC/USP) - Departamento de Hidráulica e Saneamento, professor titular do Departamento de Hidráulica e Saneamento (EESC/USP).

as válvulas  
automatizadas  
apresentam  
redução de  
custos da  
ordem de 70%





# Avaliação preliminar do efeito de combinações de coagulantes e do tipo de meio filtrante na remoção de carbono orgânico total e na demanda de cloro da água tratada



Frederico de Almeida Lage Filho  
Luis Eduardo Rodrigues Botelho

Preliminary assessment of the effect of coagulant combinations and filter media type on total organic carbon removal and chlorine demand of filtered water

## Resumo

Este trabalho apresenta as conclusões obtidas após realização de ensaios, em escala piloto, que avaliaram de forma preliminar os efeitos da combinação de coagulantes e do tipo de meio filtrante sobre a demanda de cloro e a remoção de carbono orgânico total (COT) no tratamento de águas eutróficas do Reservatório do Guarapiranga. O tipo de meio filtrante não influenciou a demanda de cloro livre da água filtrada ou a remoção de COT na água filtrada. Na avaliação das combinações de coagulantes, sempre com dosagem total pré-otimizada igual a 32 mg/L, a maior eficiência de remoção de COT foi obtida com uma dosagem composta de 12 mg/L ou 37,5 % de sulfato de alumínio e 20 mg/L ou 62,5 % de cloreto férrico. Cloreto férrico foi mais importante que sulfato de alumínio na remoção de carbono orgânico total. Os resultados também indicaram a possibilidade de correlação entre a demanda de cloro de uma hora e o teor de COT.

**Palavras-chave:** carbono orgânico total, demanda de cloro, meios filtrantes, tratamento convencional

## Abstract

This essay presents the conclusions obtained

after experimental tests, in pilot scale, that assessed on preliminary basis the effects of coagulant combinations and filter media type on the chlorine demand and the total organic carbon (TOC) removal in the treatment of eutrophic waters from the Guarapiranga reservoir. The filter media type did not influence the free chlorine demand from the filtered water or the TOC removal in the filtered water. Regarding the assessment of coagulant combinations, always with pre-optimized total dose of 32 mg/L, the highest efficacy in the TOC removal was obtained with a dosage composed by 12mg/L or 37,5% of aluminum sulfate and 20 mg/L or 62,5 % of ferric chloride. Ferric chloride was more important than aluminum sulphate on the total organic carbon removal. The results also indicated the potential correlation between the one hour chlorine demand and the TOC concentration.

**Key words:** total organic carbon, chlorine demand, filter media, conventional treatment.

## Introdução e objetivos

Um estudo de tratabilidade de águas eutrofizadas do Guarapiranga, SP (LAGE FILHO, 1998) havia mostrado que a utilização conjunta dos coagulantes cloreto férrico e sul-

*o tipo de meio filtrante não influenciou a demanda de cloro livre da água filtrada*



fato de alumínio proporcionou ótima eficiência de remoção de algas, cor e turbidez, que foram consistentemente obtidas em vários ensaios, o que não ocorreu com a utilização de um ou outro coagulante separadamente. BOTELHO (2004), utilizando a água do mesmo reservatório, também obteve ótimos resultados de remoção de cor aparente e turbidez com a combinação de coagulantes, com dose ótima igual a 32 mg/L na faixa de pH 5,8 a 6,2, sendo que a parcela de sulfato de alumínio na dose ótima esteve na faixa de 50 a 40% em peso e a parcela correspondente de cloreto férrico esteve na faixa de 50 a 60%.

No entanto, um aspecto de tratabilidade não investigado foi o de remoção de carbono orgânico total (COT). A remoção adequada de COT no tratamento é muito importante, pois os compostos orgânicos que a constituem podem formar, na presença de cloro residual, subprodutos tais como trihalometanos (THMs) e ácidos haloacéticos (AHAs), potencialmente prejudiciais à saúde dos consumidores da água. Além disso, a remoção adequada de COT minimiza o potencial de recrescimento biológico bacteriano, inclusive de bactérias patogênicas, na rede de distribuição de água tratada.

Assim sendo, com base nas pesquisas anteriormente citadas, alguns ensaios piloto foram realizados com a mesma água bruta e mesma combinação de coagulantes, para avaliar os efeitos da proporção dos mesmos na dosagem ótima de coagulante e do tipo de meio filtrante na remoção de carbono orgânico total e na demanda de cloro. Esse trabalho apresenta e discute os resultados de tais ensaios.

## Materiais e métodos

### Estação de tratamento-piloto

Operada em regime contínuo por várias horas (pelo menos 6 horas) em cada ensaio, e constituída pelos componentes:

- 1 - reservatório de fibro-cimento para água bruta, com capacidade para 375 litros;
- 2 - bomba diafragma de água bruta, de fabricação da Prominent;

- 3 - câmara de mistura rápida/coagulação de seção retangular em acrílico, com tempo de detenção de um minuto para vazão de 0,25 L/min (vazão de operação), eixo e pás de mistura e tubo de alívio de ar;

- 4 - três câmaras de floculação em série com seção transversal retangular em acrílico, cada uma com tempo de detenção de 10 minutos para vazão de 0,25 L/min, eixo e pás de mistura para cada um, tubo de alívio de ar na última câmara;

- 5 - decantador do tipo convencional, de seção transversal retangular em acrílico e fluxo horizontal, recebendo a água da floculação por meio de um tubo perfurado de distribuição da vazão afluyente; tempo de detenção de 2,5 horas para vazão de 0,25 L/min e taxa de decantação de 10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia;

- 6 - dois filtros A e B do tipo coluna filtrante, alimentadas por duas bombas diafragma fabricadas pela Prominent. Cada coluna possuía 14 pontos de medição de pressão via tubos plásticos presos a um quadro de leitura dos níveis de água (quadro piezométrico); cada coluna de acrílico com seção transversal circular com 2,0 cm de diâmetro e uma altura útil (do topo dos meios filtrantes a um tubo lateral extravasor) de 130 cm. A taxa de filtração esteve na faixa 360-390 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, bem acima da taxa normal praticada, em torno de 240 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, de acordo com DI BERNARDO (2005). As configurações dos filtros foram:

- Filtro A, de carvão ativado granular sobre areia fina, composto de: 34 cm de CAG (10% de material com diâmetro efetivo 1,0 mm, e 0,84 mm como diâmetro do menor grão; 90% de material com diâmetros na faixa 1,19 – 1,42 mm do maior grão, coeficiente de uniformidade = 1,2); 10 cm de areia fina, diâmetros na faixa 0,5 – 0,71 mm; 7 cm de meio suporte (2cm, 2,5 cm e 2,5 cm de, respectivamente, pedregulhos de diâmetros 2,0 – 2,5, 5 e 10 mm).
- Filtro B, de carvão antracito sobre areia fina, composto de: 34 cm de antracito, diâmetros na faixa 1,2 – 1,4 mm, diâmetro efetivo 1,0 mm; 10 cm de areia fina (mesma configuração do Filtro A); 7 cm de meio suporte (mesma configuração do Filtro A).

**a remoção adequada de COT minimiza o potencial de recrescimento biológico bacteriano**



7 - bomba peristáltica de 12 canais de fabricação da Ismatec, Suíça, para alimentação de soluções químicas em qualquer parte do sistema-piloto.

#### *Obtenção das curvas de demanda de cloro*

Seguiu-se a seguinte metodologia:

**Passo 1** - Amostras de água tratada dos filtros A e B foram colocadas em frascos volumétricos de 200 mL pré-lavados, com tampa.

**Passo 2** - Uma solução-padrão de cloro de 10 mg/L foi preparada na hora, com água desionizada.

**Passo 3** - Uma diluição da solução padrão, com concentração 3,6 mg/L de cloro livre, foi aplicada em cada amostra, com um intervalo de tempo adequado entre as aplicações (15 minutos) nas amostras dos filtros A e B.

**Passo 4** - O cloro residual em cada amostra foi medido imediatamente após a aplicação de cloro e após alguns intervalos de tempo desde a aplicação (vide tabela 3), a partir de alíquotas de 30 mL retiradas das amostras. As concentrações foram medidas com um espectrofotômetro modelo 2100P de fabricação da Hach Corporation, EUA.

**Passo 5** - Quando alíquotas não eram retiradas dos frascos, estes permaneciam fechados, no escuro e refrigerados a 4°C, para impedir a volatilização do cloro e sua degradação pela luz e temperatura ambiente.

Todos os três ensaios-piloto receberam solução de hipoclorito de sódio com 5,0 mg/L de cloro livre, logo antes do ponto de aplicação dos coagulantes. O residual de cloro da água decantada foi de apenas 0,06 mg/L, que foi reduzido a zero na filtração, sem influenciar a determinação das demandas de cloro da água filtrada.

#### *Procedimento seguido durante os ensaios-piloto*

**Passo 1** - No início de ensaio de tratabilidade em escala-piloto, era iniciada a alimentação

contínua da ETA-piloto com água bruta, sem pré-cloração, coletada no ponto de captação do Reservatório do Guarapiranga, SP. Foram realizados três ensaios-piloto, um para cada combinação de dosagens de sulfato de alumínio e cloreto férrico especificadas na tabela 2. A dose total de coagulante sempre foi 32 mg/L; variou-se somente o percentual contribuinte de cada coagulante (vide tabela 2). A aplicação do pré-oxidante e da combinação de coagulantes na ETA-piloto também era realizada desde o início.

**Passo 2** - Quando a operação da ETA-piloto estava em regime constante, com turbidez do efluente tratado inferior a 0,5 UNT (tipicamente após 1 a 2 horas de operação), era feita a amostragem do efluente de ambas as colunas.

**Passo 3** - Uma alíquota de cada amostra era preparada para envio ao laboratório da ETA Alto da Boa Vista da Sabesp para análise do carbono orgânico total.

**Passo 4** - Preparo de solução-padrão de cloro; execução do procedimento para obtenção das curvas de demanda de cloro livre.

**Passo 5** - Quando a turbidez na saída dos filtros começava a aumentar, após ter mantido um valor constante (abaixo de 0,3 UNT) em regime, ficava caracterizado que as carreiras de filtração deveriam ser terminadas. Normalmente as perdas de carga nas colunas eram então elevadas (bem próximas de 2 metros de coluna d'água), conforme leituras no quadro piezométrico (vide item 6 da descrição da ETA-piloto). A seguir, as carreiras dos filtros eram interrompidas e o funcionamento da ETA-piloto interrompido.

**Passo 6** - Os filtros eram retrolavados como se segue: aplicação de ar comprimido por meio de mangueira de um compressor de ar para soltar o material colmatado por cerca de 5 minutos, tomando-se cuidado para não perder meio filtrante; a seguir, cerca de 3 minutos de aplicação de água por meio de uma mangueira, com vazão na faixa de 0,9 a 1,2 L/min, com a saída

*aplicou-se  
solução de  
hipoclorito de  
sódio com 5,0  
mg/L de cloro  
livre, logo antes  
do ponto de  
aplicação dos  
coagulantes*



da água bastante turva pelo topo do filtro; ocasionalmente a aplicação de água era interrompida apenas por alguns segundos, quando havia ameaça de saída de meio filtrante pelo topo do filtro, sendo então retomada a aplicação da água de retrolavagem. No final desse procedimento, os filtros estavam prontos para novas carreiras de filtração e novo ensaio de tratabilidade, a ser executado com outra combinação de dosagens de sulfato de alumínio e cloreto férrico e com a mesma dosagem anterior de hipoclorito de sódio como pré-oxidante (5 mg/L).

**Passo 7** - Preparo de nova solução de hipoclorito de sódio (para a pré-oxidação) e de nova combinação de coagulantes para aplica-

ção na ETA-piloto.

**Passo 8** - Reinício da alimentação da ETA-piloto com água bruta e produtos químicos, retomando-se o Passo 1.

### Resultados e discussão

A tabela 1 mostra características da água bruta para os 3 grupos de ensaios. A tabela 2 é um resumo dos resultados dos testes. A tabela 3 mostra os valores médios e desvios-padrões de cloro residual ao longo do tempo. A tabela 4 é um resumo das concentrações de COT obtidas, para os três grupos de ensaios realizados.

**TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA BRUTA**

Característica	Unidade	Intervalo	Característica	Unidade	Intervalo
Sólidos susp. tot.	mg/L	10 - 14	Turbidez	UNT	2,3 - 2,6
Sólidos susp. vol.	mg/L	8 - 11	pH	-	7,0 - 7,5
Sólidos diss. Tot.	mg/L	55 - 80	Cor aparente	un. Pt-Co	39 - 49
Sólidos diss. Vol.	mg/L	36 - 50	Alcalinidade	mg CaCO <sub>3</sub> /L	20 - 27
Cloretos	mg/L	8 - 23	COT	mg C/L	7,7 - 8,4
Sulfatos	mg/L	26 - 41	Temperatura	°C	22 - 25

**TABELA 2 - RESUMO DOS TESTES PRATICADOS**

Grupo de ensaios:	Sulfato de alumínio 18-hidrato (mg/L)	Cloreto Férrico 6-hidrato (mg/L)	pH de Coagulação
1	20	12	6,3
2	16	16	6,2
3	12	20	6,2

Obs.: a dosagem total de coagulante sempre foi 32 mg/L (vide item 1).

**TABELA 3 - RESIDUAIS DE CLORO LIVRE (MÉDIAS DE TRÊS ENSAIOS)**

Tempo de contato (min)	Cloro Residual, Filtro CAG/areia (mg/L)	Cloro Residual, Filtro antracito/areia (mg/L)
0	3,60	3,60
5	1,78 ± 0,22	1,84 ± 0,29
25	1,49 ± 0,21	1,41 ± 0,34
60	1,40 ± 0,17	1,24 ± 0,36
105	1,28 ± 0,10	1,15 ± 0,31
140	1,24 ± 0,16	1,09 ± 0,34

novo ensaio de tratabilidade, executado com outra combinação de dosagens de sulfato de alumínio e cloreto férrico



**TABELA 4 - DETERMINAÇÕES DE CONCENTRAÇÕES DE COT (MG C/L)**

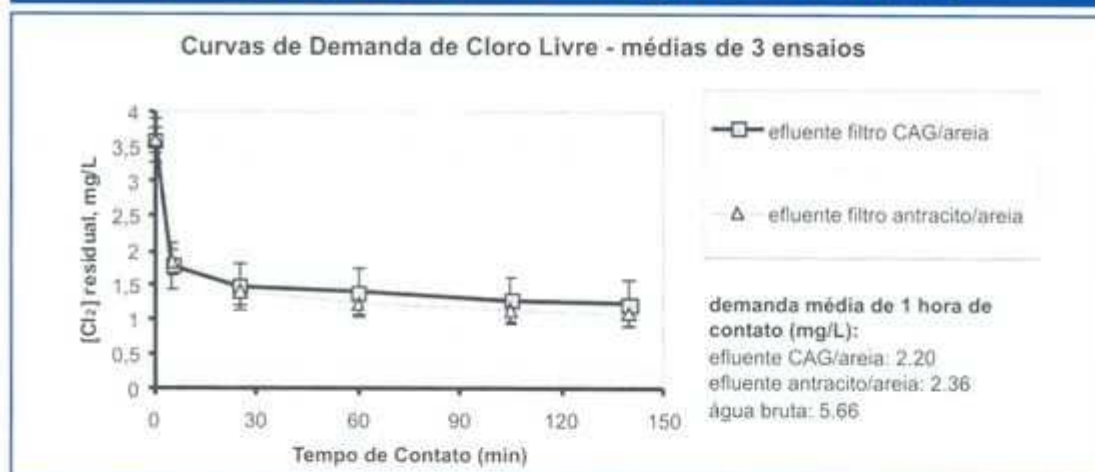
Grupo de ensaios:	Água bruta	Efluente filtro CAG/areia	Efluente filtro Antracito/areia
1	7,68	5,31	6,97
2	8,04	4,08	4,47
3	8,37	4,48	3,90

A figura 1 mostra as médias (dos 3 grupos de ensaios) de cloro residual em função do tempo de contato. As demandas de cloro de uma hora foram então obtidas pela diferença entre os residuais de cloro em uma hora de contato. Não houve diferença significativa entre as curvas de cloro residual dos dois filtros.

#### Demandas de Cloro Livre

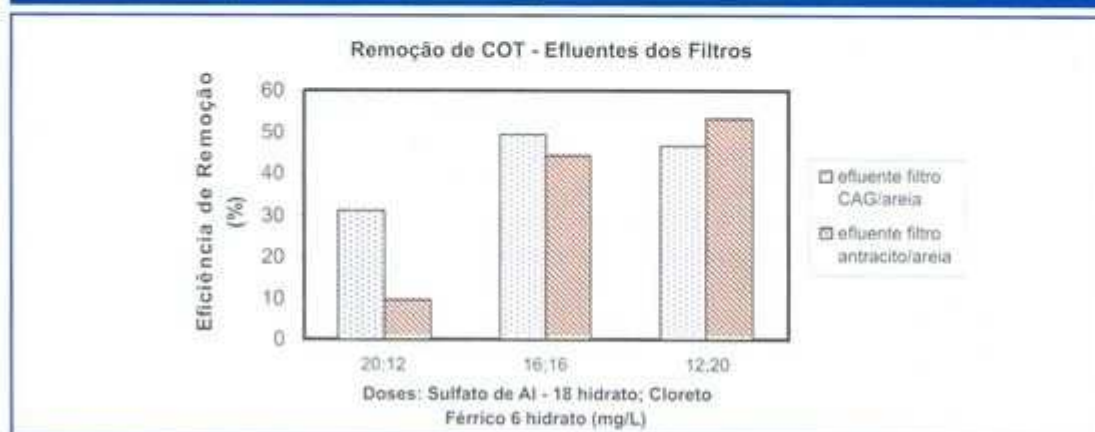
Observando a figura 1, nota-se que não houve diferença significativa entre as demandas de cloro dos filtros A e B, independentemente do tipo de tratamento executado. A maior diferença foi de 11%; as incertezas relativas às determinações dos residuais de cloro livre cer-

**FIGURA 1 - CLORO LIVRE RESIDUAL EM FUNÇÃO DO TEMPO DE CONTATO**



*não houve diferença significativa entre as curvas de cloro residual dos dois filtros*

**FIGURA 2 - REMOÇÃO DE COT POR COMBINAÇÃO DE COAGULANTES E TIPO DE LEITO FILTRANTE**



tamente não estão abaixo disso, devido às perdas de cloro por volatilização e degradação pela luz durante manipulação de amostras. As médias dos 3 grupos de ensaios para a turbidez na saída dos filtros de CAG/areia e antracito/areia foram  $(0,44 \pm 0,05)$  e  $(0,43 \pm 0,05)$  UNT. Não houve variação significativa da cor aparente nos efluentes A e B (ambas na faixa 4-9 unidades Pt-Co). Não houve variação significativa de turbidez ou cor aparente que pudesse ter influenciado os resultados de COT ou demanda de cloro de um filtro para outro ou de um tratamento para outro. A variação ocorrida na turbidez não é significativa para influenciar a demanda de cloro.

Segundo WEST e LAGE FILHO (1994), para turbidez de efluente filtrado acima de 0,1 UNT, as partículas de diâmetro  $\leq$  microns basicamente não são removidas, e tal faixa granulométrica foi a principal responsável pela demanda de cloro dentre todas as faixas. A área por unidade de volume das partículas aumenta com a redução do diâmetro e o número de partículas de 2 microns ou menores foi sempre bem acima (80-90 % do total de partículas) dos números de partículas de outras faixas. Isso foi observado em centenas de ensaios-piloto de tratabilidade, utilizando diversos tipos de mananciais e meios filtrantes, e fazendo uso de contadores de partículas operados manualmente e automaticamente (WEST e LAGE FILHO, 1994).

## Remoção de COT

A figura 2 mostra as eficiências de remoção por tipo de filtro e combinação de coagulantes. A maior eficiência com filtração em antracito sob areia foi com a dosagem composta por 12 mg/L de sulfato de alumínio e 20 mg/L de cloreto férrico, ou seja, com o maior percentual de cloreto férrico. Para filtração com carvão ativado granular sob areia, a maior eficiência foi obtida com dosagem de parcelas iguais de cloreto férrico e sulfato de alumínio; porém não houve diferença significativa com a eficiência obtida com a dosagem com o maior percentual de cloreto férrico (62,5%). Para os dois filtros, a eficiência de remoção tendeu a

aumentar com o aumento da parcela de cloreto férrico na dosagem total; para o filtro de CAG sobre areia houve aumento da eficiência de remoção com o aumento do percentual de cloreto férrico de 37,5 % para 50 %, e houve uma diminuição insignificante da eficiência de remoção com o aumento do percentual de cloreto férrico de 50 % para 62,5 % da dosagem total.

Os poucos dados obtidos (só três ensaios) mostraram que proporções iguais de cada coagulante na dose total de 32 mg/L proporcionaram boa remoção para ambos os filtros (faixa de 44% a 50 %), enquanto que a proporção de 62,5 % de cloreto férrico e 37,5 % de sulfato de alumínio proporcionou remoções na faixa de 46% a 53%. Remoções de 30-50% de COT das águas brutas são típicas de estações americanas com boa operação (WEST e LAGE FILHO, 1994).

A figura 3 mostra os valores médios da demanda de cloro de uma hora e de COT (médias e desvios padrões das 2 variáveis para os 3 grupos de ensaios). O coeficiente de correlação ( $R^2 = 0,9922$ ) foi muito bom, porém deve ser encarado com reservas, pois apenas três pontos foram obtidos, uma vez que esse estudo teve caráter preliminar - não havia tempo hábil para um estudo extenso.

## Conclusões

Após realização dos ensaios, pôde-se concluir que:

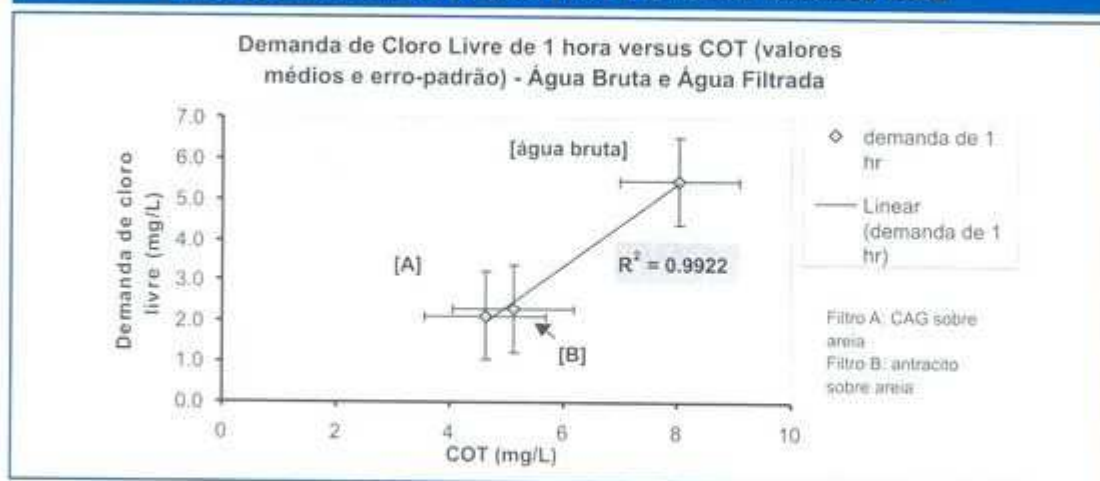
- A remoção de COT e a demanda de cloro livre foram bastante semelhantes para os dois tipos de leitos filtrantes, exceto no primeiro ensaio (dosagem composta por 20 mg/L de sulfato de alumínio e 12 mg/L de cloreto férrico, com maior percentual de sulfato de alumínio), onde a remoção de COT no filtro de CAG sobre areia foi de 31% enquanto que no filtro de antracito sobre areia a remoção foi de 10 %.

- O cloreto férrico foi mais importante que sulfato de alumínio na remoção de carbono orgânico total praticada em tratamento piloto convencional: na avaliação das combinações de coagulantes totalizando dosagem pré-otimizada

**a variação  
ocorrida na  
turbidez não é  
significativa  
para influenciar  
a demanda de  
cloro**



**FIGURA 3 - DEMANDA DE CLORO LIVRE E CARBONO ORGÂNICO TOTAL**



de 32 mg/L, a maior eficiência de remoção de COT foi obtida com a predominância de cloreto férrico (20 mg/L ou 62,5 % da dosagem) sobre sulfato de alumínio (12 mg/L ou 37,5 % da dosagem).

Alguns resultados de demanda de cloro de uma hora e teores de COT em águas brutas e filtradas apontaram possível correlação entre os mesmos.

#### Referências

BOTELHO, L. E. R. *Efeitos da Pré-ozonização como auxiliar de coagulação no tratamento de águas eutrofizadas*. São Paulo, 2004. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade.

DI BERNARDO, L. *Métodos e técnicas de tratamento de água*. 2. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2005. v. 1, 2.

LAGE FILHO, F. A. *Investigação da tratabilidade de águas reservadas eutróficas com proliferação significativa de algas do Reservatório do Guarapiranga*: Relatório Científico final de bolsa de pós-doutorado da FAPESP, São Paulo, 43f., 1998.

WEST, T. E.; LAGE FILHO, F. A. *Hetch hetchy*

*source treatability report*. San Francisco, CA.: Relatório para o Departamento de Águas e Energia Elétrica de San Francisco, CA, Estados Unidos, 330 f., 1994.

#### Agradecimentos

À Sabesp, em especial aos funcionários do Sistema Guarapiranga e ETA Alto da Boa Vista, pela inestimável contribuição na coleta de água bruta e determinações de COT.

#### Autores

**Frederico de Almeida Lage Filho**, mestre e Ph.D. em Engenharia Sanitária e Ambiental pela UC Berkeley, professor do Depto. de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da USP.

**Luis Eduardo Rodrigues Botelho**, engenheiro civil pela Faculdade Armando Álvares Penteado (FAAP), mestre em Engenharia Hidráulica e Sanitária pela Escola Politécnica da USP.

*na proporção de 62,5% de cloreto férrico e 37,5% de sulfato de alumínio, obteve-se remoção de COT entre 46% e 53%*



# Flotação por ar dissolvido aplicada como pós-tratamento de efluentes de lagoas anaeróbias e facultativas utilizando cloreto férrico como coagulante



Roque Passos Piveli  
Aline Akabochi Fabreti  
Luís Fernando Rossi Léo  
Silvana Audrá Cutolo

Dissolved air flotation applied as post-treatment of effluents from anaerobic and facultative ponds using ferrous chloride as coagulant

## Resumo

No presente estudo objetivou-se a comparação entre a aplicação da flotação com ar dissolvido no efluente de lagoa anaeróbia e no efluente de lagoa facultativa. A motivação principal para o desenvolvimento da pesquisa foi a dificuldade que os sistemas de lagoas de estabilização apresentam para atender aos limites de qualidade da água impostos pela Resolução 357/2005 do Conama para os corpos receptores de despejos, visando principalmente a remoção de fósforo, que é o fator limitante no fenômeno da eutrofização. Utilizou-se um sistema de fluxo contínuo de coagulação, floculação e flotação com ar dissolvido em escala piloto, determinando-se dosagens prévias de cloreto férrico em ensaios em escala de laboratório. Nos ensaios em escala piloto, aplicou-se 50 mg Fe/L no efluente da lagoa facultativa, enquanto que no efluente da lagoa anaeróbia aplicou-se apenas 20 mg Fe/L. Concluiu-se que o pós-tratamento do efluente da lagoa anaeróbia resulta mais eficiente e menos oneroso do que o mesmo tratamento aplicado ao efluente da lagoa facultativa, levando à reflexão sobre a utilidade desta quando se pretende implementar a remoção química de fósforo. A concentração de fósforo residual no efluente da lagoa anaeróbia pós-tratado permaneceu na faixa de 0,6 mg P/L, enquanto que no efluente da facultativa resultou em 1,1 mg P/L. A remoção de DQO do efluente da lagoa fa-

cultativa foi maior com o pós-tratamento físico-químico do que no pós-tratamento da lagoa anaeróbia. O tratamento com cloreto férrico aplicado, tanto sobre o efluente da lagoa anaeróbia quanto da facultativa, promoveu a remoção quase completa de cistos de protozoários e ovos de helmintos, além da redução de quase duas unidades logarítmicas na contagem de *E. coli*.

**Palavras-chave:** cloreto férrico, flotação por ar dissolvido, lagoa anaeróbia, lagoa facultativa, pós-tratamento.

## Abstract

This study focused the comparison between the application of air dissolved flotation in the effluent of an anaerobic pond and the effluents of a facultative pond. The main interest for the research development was the difficulty that the settling pond systems present to fulfill the quality standards imposed by Resolution 357/2005 from CONAMA for the wastewater receptors, mainly viewing the phosphorous removal, being this a restraining factor in the eutrophication phenomena. A system of continuous flow of coagulation, floculation and flotation with dissolved air was used in pilot scale, with previously determined ferrous chloride dosage in tests in laboratory scale. In the pilot scale tests, the facultative pond

o pós-tratamento do efluente da lagoa anaeróbia é mais eficiente do que em lagoa facultativa





effluents received 50mg Fe/L, while the anaerobic pond effluents received only 20mg Fe/L. It was observed that the post-treatment of the anaerobic pond effluent comes to be more efficient and less costly than the same treatment applied to the facultative pond effluent, leading to a reflexion about the utility of it when it is intended to implement the chemical phosphorous removal. The phosphorous remainder concentration in the post-treated effluent from the anaerobic pond was around 0.6mg P/L, while in the effluent from the facultative pond turned to be 1.1mg P/L. The QOD removal from the facultative pond effluent was higher with the physical-chemical post-treatment than it was on the anaerobic pond post-treatment. The ferrous chloride treatment applied to both effluents from anaerobic and facultative ponds, promoted the almost complete removal of protozoa cysts and helminth eggs, besides the reduction of almost two logarithmical units in the count of *E.coli*.

**Key words:** ferrous chloride, dissolved air flotation, anaerobic pond, facultative ponds, post-treatment

## Introdução

Os sistemas de lagoas de estabilização constituídos de lagoas anaeróbias seguidas de lagoas facultativas são os mais utilizados no tratamento de esgotos de cidades de pequeno porte. O custo de implantação desses sistemas pode ser considerado baixo e a operação é simples, quando comparados com outros processos mecanizados. Assim, podem ser considerados bastante adequados em vista da realidade econômica e da capacidade operacional das companhias de saneamento brasileiras. Com este tipo de tratamento, se consegue remover cerca de 80% da matéria orgânica biodegradável e reduzir consideravelmente a presença de patógenos presentes no esgoto sanitário. Porém, a eficiência na remoção dos macronutrientes pelos sistemas de lagoas é baixa. Além disso, o esgoto tratado possui quantidades significativas de algas. A Resolução 357/2005 do Conama, visando o controle da eutrofização dos corpos d'água

naturais, impõe padrões de classificação restritivos para as concentrações de nitrogênio e fósforo, limitando também a presença de cianobactérias e de clorofila *a*. Supondo-se a referida legislação exercida em sua plenitude, pode-se antever a impossibilidade prática de os sistemas de lagoas de estabilização atenderem a essas exigências, principalmente nas inúmeras situações em que a capacidade de diluição do corpo receptor é limitada. Ainda não foi proposto um sistema de tratamento alternativo que possa solucionar os problemas mencionados mantendo os baixos custos e a simplicidade dos sistemas de lagoas. Processos físicos para a remoção de algas de efluentes de lagoas facultativas por filtração em meios de diferentes granulometrias não têm demonstrado viabilidade operacional e capacidade para reduzir a concentração de nutrientes ao nível necessário. Restam, portanto, os processos mecanizados e os físico-químicos para a complementação de um processo de tratamento caracterizado pela simplicidade, tornando a concepção integral do sistema uma alternativa de difícil aceitação.

Faz-se necessária, portanto, a caracterização das dificuldades inerentes a estes tratamentos complementares, embasando a reflexão sobre a própria viabilidade do emprego de lagoas anaeróbias ou facultativas e a busca de caminhos que conduzam a um aumento das possibilidades do aproveitamento dos sistemas de lagoas existentes.

OLIVEIRA E GONÇALVES (1999), em estudos visando o pós-tratamento de efluente de lagoas de estabilização composta por lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa, verificaram que, com relação à remoção de organismos patogênicos, as lagoas terciárias e a microfiltração apresentam os melhores resultados. Com relação à remoção de nitrogênio amoniacal, os autores destacaram o processo Petro (sistema composto por reator aeróbio/anaeróbio com câmara de fermentação, seguido de lagoa de estabilização, filtro percolador e tanque de sedimentação de lodo), bem como os biofiltros aerados. No que se refere à remoção do fósforo, fator limitante no processo de eutrofização dos corpos d'água, enfatizaram os processos físico-químicos.

**ainda não foi proposto um sistema de tratamento alternativo que possa solucionar os problemas mencionados**



PENETRA *et al.* (1999) estudaram o pós-tratamento de efluente de reator Uasb através de processo físico-químico utilizando cloreto férrico na coagulação, floculação e flotação com ar dissolvido. Empregando a dosagem de 40 mg Fe/L foi obtido efluente final com 0,2 mg P/L, com eficiência de remoção de fósforo de 98%.

YOSHIDA (2005) avaliou a eficiência do processo físico-químico, composto por coagulação, floculação e decantação acelerada, aplicado também como pós-tratamento de efluente de reator Uasb, utilizando cloreto férrico como coagulante. Com a dosagens de 10 a 20 mg Fe/L foi obtido efluente final com média de 0,46 mg P/L e eficiência média de remoção de fósforo de 90%.

Neste trabalho, avaliam-se as potencialidades técnicas do emprego do cloreto férrico como coagulante em processo de coagulação, floculação e flotação com ar dissolvido, aplicado a efluentes de lagoas anaeróbias e de lagoas facultativas. Tendo por objetivo principal a remoção de fósforo e o atendimento geral às exigências do Conama, a aplicação de polieletrólitos exclusivamente pode ser descartada e a alternativa principal envolve o emprego de sulfato de alumínio, que pode ter sua aplicação limitada pela presença de residuais de alumínio no lodo separado do processo, dificultando sua disposição final ou uso, bem como dissolvido no efluente final, comprometendo o lançamento do efluente final a ser lançado em águas naturais. Isto não significa que sua aplicação esteja descartada, pois pode ser vantajosa em relação ao cloreto férrico em termos de eficiência de remoção de constituintes importantes, apenas se recomenda a avaliação mais aprofundada destes aspectos colaterais.

Um resultado possível é o de, quando se pretende incorporar o pós-tratamento do efluente da lagoa facultativa por processo físico-químico, as condições operacionais e a qualidade do efluente final sejam desfavoráveis em relação ao tratamento físico-químico aplicado ao efluente da lagoa anaeróbia, trazendo importante questionamento sobre a funcionalidade das lagoas facultativas em um sistema completo. Afinal, o efluente da lagoa facultativa possui um problema a mais, associado à presença de algas

e as conseqüentes dificuldades de atendimento aos padrões para cianobactérias e clorofila *a*. Portanto, se a remoção de fósforo e os efeitos paralelos sobre a remoção de DQO, SST e indicadores biológicos forem equivalentes ou superiores quando se realiza o pós-tratamento do efluente da lagoa anaeróbia, a facultativa torna-se plenamente dispensável. Afinal, o importante problema de obediência aos limites estabelecidos pela Resolução 357/2005 do Conama para nitrogênio amoniacal, que se iniciam pela necessidade de atendimento ao padrão de emissão de 20 mg N/L, não pode ser resolvido pela utilização de lagoas anaeróbias ou facultativas, com ou sem pós-tratamento físico-químico. Esta é uma outra pendência que tem que ser enfrentada e que também repercutirá decisivamente sobre a viabilidade da continuidade da implantação de sistemas de lagoas de estabilização visando a remoção de nutrientes.

Num plano mais geral, pretende-se associar o emprego das lagoas de estabilização à utilização agrícola do efluente da lagoa facultativa, prática ainda não regulamentada no Brasil. Sob o mote "nutrientes, ruim para as águas, bons para o solo" a aplicação de esgoto tratado na agricultura pode ser interessante, em situações em que se comprove a irrelevância de problemas como a salinização ou a sodificação do solo. Com isso, o principal óbice associado ao tratamento físico-químico, associado ao custo do coagulante consumido e demais necessidades operacionais, pode ser substancialmente reduzido pela utilização do tratamento físico-químico apenas quando não for possível a irrigação com o esgoto. Como este fato ocorre principalmente nas estações chuvosas, com o aumento da capacidade de diluição do corpo receptor tem-se a vantagem adicional relacionada com a maior flexibilidade de atendimento aos padrões de qualidade da água do corpo receptor, podendo-se inclusive selecionar dosagens menores em função da qualidade prevista para o efluente final.

A presente pesquisa não tem por objeto final a proposição de alguma concepção de tratamento e sim, contribuir com subsídios que norteiem a discussão das necessidades associadas ao atendimento à Resolução n.º 357 do Conama, que entrou em vigor no ano de 2005.

... viabilidade  
da implantação  
de sistemas de  
lagoas de  
estabilização  
visando a  
remoção de  
nutrientes



## Objetivo

O objetivo da presente pesquisa é a avaliação comparativa da eficiência do processo de tratamento à base de coagulação e floculação com cloreto férrico e flotação com ar dissolvido, aplicado aos efluentes de lagoa anaeróbia e facultativa. O objeto principal de avaliação é a remoção de fósforo, observando-se os efeitos paralelos sobre a DQO, sólidos suspensão, indicadores biológicos e outras variáveis secundárias. Objetiva-se também determinar o consumo de coagulante necessário para o tratamento de cada um dos efluentes, de forma a subsidiar a avaliação econômica do processo.

## Metodologia

A Estação de Tratamento de Esgoto de Lins- SP (figura 1) é composta por três módulos em paralelo de lagoas anaeróbias seguidas de lagoas facultativas.

O sistema opera recebendo a carga plena considerada no projeto, desde o ano de 1997, sem que se tenha providenciado ainda a remo-

ção de lodo acumulado no fundo das lagoas. O monitoramento efetuado durante o ano de 2005 chegou aos resultados médios e desvios-padrão apresentados na tabela 1.

A principal variável de controle estudada foi a dosagem do coagulante, associada principalmente à remoção de fósforo além da remoção de DQO, sólidos em suspensão entre outros parâmetros. Foram feitos ensaios exploratórios utilizando “flotatestes”, sendo utilizadas dosagens de 20 a 60 mg Fe/L, objetivando a orientação dos testes definitivos no sistema piloto de fluxo contínuo (figuras 2, 3 e 4), que operou com vazão de 200 L/h.

A mistura rápida (coagulação) teve duração de 1,5 min sob o gradiente de velocidade utilizado de  $1000 \text{ s}^{-1}$ . A mistura lenta foi realizada em tanque subdividido em três câmaras, com tempo de detenção de 15 min e gradientes de velocidade decrescentes de  $60 \text{ s}^{-1}$ ,  $45 \text{ s}^{-1}$  e  $30 \text{ s}^{-1}$ .

O tanque de flotação operou com tempo de detenção de 24 min. A câmara de saturação de ar possui tempo de detenção de 30 min (esta unidade está superdimensionada) sendo a pressão de saturação de 5 bar e a vazão de recirculação de 50 L/h, ou seja, 25 % da vazão de alimentação

**FIGURA 1 - SISTEMA DE LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO, ETE - LINS/SP**



*avalia-se a remoção de fósforo, observando-se os efeitos paralelos sobre a DQO*



**TABELA 1 - RESULTADOS DO MONITORAMENTO DO SISTEMA DE LAGOAS DE LINS/SP**

Característica	n	Efluente do tratamento preliminar	Efluente da lagoa anaeróbia	Efluente da lagoa facultativa
DBO <sub>5,20</sub> (mg/L)	2	250 ± 136	69 ± 27	63 ± 22
DQO (mg/L)	2	753 ± 357	279 ± 96	206 ± 89
NTK (mgN/L)	2	55 ± 24	41 ± 13	34 ± 11
N-Amon (mgN/L)	2	48 ± 12	35 ± 12	26 ± 8
P - Total (mgP/L)	0	5,7 ± 2,8	4,3 ± 2,0	3,8 ± 2,1
SST (mg/L)	2	405 ± 135	205 ± 73	190 ± 83
<i>E. coli</i>	2	2,5x10 <sup>7</sup> ±5,0x10 <sup>7</sup>	4,1x10 <sup>6</sup> ±8,0x10 <sup>6</sup>	4,4x10 <sup>5</sup> ±8,8x10 <sup>6</sup>
<i>Cryptosporidium</i> (oocistos/L)	0	213 ± 172	77 ± 38	15 ± 15
<i>Giardia</i> (cistos/L)	0	499 ± 171	179 ± 123	44 ± 48
Helmintos (ovos/L)	0	5,0 ± 1,5	4,5 ± 4,1	1,7 ± 2,7

**FIGURA 2 - TANQUE DE COAGULAÇÃO E DE FLOCULAÇÃO**



**FIGURA 4 - CÂMARA DE SATURAÇÃO**



**FIGURA 3 - TANQUE DE FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO**



a concentração de fósforo no efluente era maior na lagoa facultativa

com o efluente da lagoa facultativa.

As dosagens que resultaram em eficiência superior à mínima desejável foram reproduzidas nos estudos em escala piloto. Nestes, os efluentes em que foram aplicadas as dosagens "ótimas" de coagulantes, indicadas pela remoção de DQO e fósforo, foram utilizadas para análises completas, incluindo, além dos

parâmetros físico-químicos, diversos indicadores biológicos. As dosagens escolhidas foram 50 mg Fe/L para o efluente da lagoa facultativa e 20 mg Fe/L para o efluente da lagoa anaeróbia. As análises laboratoriais foram desenvolvidas conforme os preceitos da 20.ª edição do "Standard Methods for Examination of Water and Wastewater" da AWWA.

### Resultados e discussão

Na tabela 2 são apresentados os resultados e os parâmetros estatísticos das concentrações de fósforo obtidas nos efluentes nos diversos ensaios.

Os resultados de concentração de fósforo obtidos nos ensaios são lançados em gráfico sob a forma de diagramas "box-plot", como se de-

monstra na figura 5.

Os resultados são surpreendentes: mesmo com dosagem menor de ferro, a eficiência na remoção de fósforo foi maior quando o tratamento foi aplicado ao efluente da lagoa anaeróbia. Aplicando-se 50 mg Fe/L ao efluente da lagoa facultativa, obteve-se 83,5% de remoção de fósforo, reduzindo a concentração de 6,41 para 1,06 mg P/L, enquanto que para o efluente da lagoa anaeróbia obteve-se 90,5% de eficiência, reduzindo-se a concentração de fósforo de 5,80 para 0,61 mg P/L. Observe-se que no período em que os ensaios foram realizados, a concentração de fósforo no efluente da lagoa facultativa era maior do que no efluente da lagoa anaeróbia. Estes resultados permitem concluir que, além de substancial economia, o tratamento com cloreto férrico traz maior facilidade para o enquadramento do efluente lançado às restri-

**TABELA 2 - RESULTADOS E ÍNDICES ESTATÍSTICOS DA CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO TOTAL (6 ENSAIOS)**

	Fósforo Total (mgP/L)			
	Lagoa facultativa	Flotação 50 mg Fe/L	Lagoa anaeróbia	Flotação 20 mg Fe/L
Média	6,41	1,06	5,80	0,61
D. Padrão	0,44	0,14	1,90	0,37
Coef. Var.	0,07	0,13	0,33	0,61
Máx.	6,8	1,3	9,4	1,3
Mín.	5,5	0,8	3,7	0,3
Eficiência	-	83,5%	-	90,5%

**FIGURA 5 - CONCENTRAÇÕES DE FÓSFORO NOS EFLUENTES DA LAGOA ANAERÓBIA E DA LAGOA FACULTATIVA, ANTES E DEPOIS DO TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO**



*a lagoa anaeróbia pode constituir um pré-tratamento para a flotação com ar dissolvido e cloreto férrico*

tivas exigências da resolução 357/2005 do Conama.

Resultados semelhantes aos deste estudo para o efluente da lagoa anaeróbia foram obtidos por PENETRA (1999) e YOSHIDA (2005) com efluente de reator Uasb, indicando que onde não houver outras restrições, o emprego de lagoa anaeróbia pode constituir um pré-tratamento mais simples para a flotação com ar dissolvido e cloreto férrico.

Na tabela 3 são apresentados os resultados e os parâmetros estatísticos das concentrações de DQO obtidas nos efluentes nos diversos ensaios.

Os resultados de concentração de DQO obtidos nos ensaios são lançados em gráfico sob a forma de diagramas "box-plot", conforme se vê na figura 6.

Com relação à DQO dos efluentes, foram obtidos melhores resultados com a flotação do efluente da lagoa facultativa. Enquanto se obte-

ve 68,9% de eficiência de remoção, reduzindo a DQO do efluente de 210 mg/L para 65 mg/L com a aplicação de 50 mg Fe/L, com o efluente da lagoa anaeróbia a eficiência foi de 49,6%, tendo a DQO sido reduzida de 231 mg/L para 106 mg/L com a aplicação de 20mgFe/L. Evidentemente, a dose de cloreto férrico aplicada ao efluente da lagoa anaeróbia foi bastante inferior à aplicada no efluente da facultativa. Em análises de  $DBO_{5,20}$  durante os ensaios de tratamento do efluente da lagoa facultativa, obteve-se redução de 120 mg/L para 48 mg/L, enquanto que para o efluente da lagoa anaeróbia a redução de  $DBO_{5,20}$  foi de 83mg/L para 23 mg/L. Este resultado mostra que é possível atender ao padrão de emissão de 60 mg/L estabelecido para a  $DBO_{5,20}$  em alguns estados brasileiros, com a flotação do efluente da anaeróbia. Entretanto, é necessário obter-se um volume de dados que abranjam mais consistentemente as variações de concentração a que estão sujeitos os efluentes, haja vista a ele-

**TABELA 3 - RESULTADOS E ÍNDICES ESTATÍSTICOS DA CONCENTRAÇÃO DE DQO (06 ENSAIOS)**

	DQO (mg/L)			
	Lagoa facultativa	Flotação 50 mg Fe/L	Lagoa anaeróbia	Flotação 20 mg Fe/L
Média	210	65	231	106
D. Padrão	26	20	36	63
Coef. Var.	0,12	0,30	0,15	0,60
Máx.	248	96	302	214
Mín.	180	41	208	52
Eficiência	-	68,9%	-	49,6%

quanto à DQO, os melhores resultados com a flotação foram obtidos no efluente da lagoa facultativa

**FIGURA 6 - CONCENTRAÇÕES DE DQO NOS EFLUENTES DA LAGOA ANAERÓBIA E DA LAGOA FACULTATIVA, ANTES E DEPOIS DO TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO**



vada concentração de  $DBO_{5,20}$  determinada no efluente da lagoa facultativa (120 mg/L).

Na tabela 4 são apresentados os resultados e os parâmetros estatísticos das concentrações de sólidos em suspensão obtidas nos efluentes nos diversos ensaios.

Os resultados de concentração de sólidos em suspensão obtidos nos ensaios são lançados em gráfico sob a forma de diagramas "box-plot", na figura 7.

De maneira geral, pode se observar que durante a realização dos ensaios, a lagoa facultativa não trabalhava em boas condições, sendo que seu efluente apresentou características próximas às respectivas do efluente da lagoa anaeróbia. Inclusive, foi observado incremento na concentração de fósforo e de sólidos em suspensão do efluente da lagoa anaeróbia para o da facultativa,

em função do crescimento excessivo de algas. Após o tratamento com cloreto férrico e flotação com ar dissolvido, os efluentes das lagoas anaeróbia e facultativa apresentaram concentrações de sólidos em suspensão totais muito semelhantes, 36 e 34 mg/L, respectivamente. A eficiência de remoção de SST do efluente da lagoa facultativa foi maior, 69,5% contra 50,7% do efluente da lagoa anaeróbia, porque a concentração inicial no efluente da lagoa facultativa era maior, 118 mg/L contra apenas 69 mg/L do efluente da anaeróbia. A produção de lodo determinada foi de 0,250 kg ST/m<sup>3</sup> de esgoto tratado para a flotação do efluente da lagoa anaeróbia com 20 mg Fe/L e de 0,330 kg ST/m<sup>3</sup> para o efluente da facultativa tratada com 50 mg Fe/L.

Na tabela 5 são apresentados alguns outros resultados.

**TABELA 4 - ÍNDICES ESTATÍSTICOS DA CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO (06 ENSAIOS)**

	Fósforo Total (mgP/L)			
	Lagoa facultativa	Flotação 50 mg Fe/L	Lagoa anaeróbia	Flotação 20 mg Fe/L
Média	118	36	69	34
D. Padrão	20	14	18	9
Coef. Var.	0,17	0,39	0,26	0,25
Máx.	133	61	96	50
Mín.	83	20	52	24
Eficiência	-	69,5 69,8%	-	50,7 71,2%

**FIGURA 7 - CONCENTRAÇÕES DE SST NOS EFLUENTES DA LAGOA ANAERÓBIA E DA LAGOA FACULTATIVA, ANTES E APÓS O TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO**



*a concentração de sólidos em suspensão foi semelhante nos efluentes de ambas as lagoas*



Observa-se que o efluente da lagoa facultativa possui alcalinidade um pouco superior à alcalinidade do efluente da lagoa anaeróbia, em média 135 contra 107 mg CaCO<sub>3</sub>/L, o que fez com que mesmo adicionando-se maior quantidade de coagulante ao efluente da lagoa facultativa, seu pH tornou-se idêntico ao do efluente da lagoa anaeróbia pós-tratado por processo físico químico, isto é, 6,9. Este valor encontra-se um pouco acima do valor ótimo para a remoção de fósforo por precipitação química, situado entre 5,0 e 6,0 unidades. Mesmo assim, o tratamento demonstrou-se eficiente, indicando que um pequeno desvio de pH não contribui para a perda significativa de qualidade do efluente, lembrando também que a remoção por floculação é outro mecanismo atuante.

Observa-se também, segundo os resultados apresentados na tabela 5, maior remoção de turbidez na flotação do efluente da lagoa facultativa, porém, resultando em efluentes muito semelhantes com valores em torno de 40 UNT. Estes resultados são equivalentes aos descritos para a concentração de sólidos em suspensão. Deve ser observado também que a redução na concentração de clorofila *a* no efluente da lagoa facultativa não foi muito alta, com efluente final demandando ainda graus de diluição elevados no corpo receptor para enquadramento aos restritivos limites impostos pela Resolução 357/

2005 do Conama para este constituinte. Esta é uma vantagem importante do efluente da lagoa anaeróbia em relação ao da facultativa, pois nas lagoas anaeróbias não há desenvolvimento significativo de algas. Adicionalmente, causou estranheza a concentração residual bem mais elevada de ferro no efluente da lagoa anaeróbia em relação ao da facultativa, sem que houvesse desenvolvimento de cor no efluente tratado.

A diferença entre as produções de lodo medidas foi muito grande, 0,330 kg ST/m<sup>3</sup> de efluente da lagoa facultativa tratado com 50 mg Fe/L contra apenas 0,025 kg ST/m<sup>3</sup> de efluente da lagoa anaeróbia tratado com 20 mg Fe/L. Os motivos principais podem ter sido a diferença entre as doses de cloreto férrico aplicadas e a presença de elevadas concentrações de algas no efluente da lagoa facultativa em determinadas épocas do ano, que coincidiram com o período de realização dos ensaios. Se estes resultados vierem a ser confirmados, ou se a diferença se mantiver significativa, tem-se uma importante vantagem adicional da aplicação do tratamento físico-químico no efluente da lagoa anaeróbia.

Com relação à remoção de cistos de protozoários, enquanto que o tratamento com 50 mg Fe/L do efluente da lagoa facultativa promoveu a redução da densidade de *Cryptosporidium sp* de 17 oocistos/L para apenas 1

obteve-se  
eliminação total  
dos ovos viáveis  
de helmintos

**TABELA 5 - OUTROS RESULTADOS DO TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO**

	pH	Turbidez (UNT)	Alcalinidade (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	Clorofila <i>a</i> (µg/L)	Fe total (mg/L)
Lagoa Facultativa	7,9 ± 0,21	135 ± 43	361 ± 24	968 ± 219	-
Flotação 50 mg Fe/L	6,9 ± 0,11	41 ± 11	240 ± 28	526 ± 146	1,90 ± 0,36
Lagoa Anaeróbia	7,1 ± 0,11	107 ± 18	345 ± 30	-	-
Flotação 20 mg Fe/L	6,9 ± 0,11	40 ± 11	263 ± 20	-	8,5 ± 0,93

**TABELA 6 - RESULTADOS DE COLIFORMES TOTAIS E E. COLI**

	Coliformes totais	Escherichia coli
Lagoa facultativa	1,1 x 10 <sup>5</sup>	1,1 x 10 <sup>5</sup>
Flotação com 50 mg Fe/L	2,4 x 10 <sup>4</sup>	2,2 x 10 <sup>3</sup>
Lagoa anaeróbia	5,0 x 10 <sup>6</sup>	5,0 x 10 <sup>6</sup>
Flotação com 20 mg Fe/L	2,4 x 10 <sup>4</sup>	1,7 x 10 <sup>4</sup>



oocisto/L e a remoção completa dos 75 cistos/L de *Giardia* detectados, o tratamento do efluente da lagoa anaeróbia com 20 mgFe/L promoveu a eliminação completa dos 49 oocistos/L de *Cryptosporidium sp* detectados e a redução da densidade de *Giardia sp* de 58 cistos/L para apenas 03 cistos/L.

Em ambos os casos, obteve-se eliminação total dos ovos viáveis de helmintos com o tratamento físico-químico.

Na tabela 6 são apresentados os resultados de colimetria.

Observa-se que ambos os tratamentos físico-químicos trazem razoável contribuição para a redução da densidade de coliformes nos efluentes. A concentração inicial é maior no efluente da anaeróbia em relação ao da facultativa e, com isso, a contagem de *E. coli* no efluente da lagoa facultativa reduziu-se em uma unidade logarítmica a mais, aproximadamente, quando se aplicou o tratamento físico-químico.

Foi utilizado como coagulante o cloreto férrico comercial 38% ( $d = 1396 \text{ g/L}$ ), cuja análise feita em espectrofotômetro de absorção atômica resultou em uma concentração de 152 mg Fe/L. Este composto custa aproximadamente R\$ 1.105,30/t de  $\text{FeCl}_3$ , sendo assim utilizando uma dosagem de 20 mg Fe/L custaria R\$ 0,06/m<sup>3</sup> de esgoto tratado e para a dosagem de 50 mg Fe/L o preço seria de R\$ 0,16/ m<sup>3</sup> de esgoto tratado.

### Conclusões e recomendações

Este estudo permite concluir que o tratamento do efluente da lagoa anaeróbia por processo à base de coagulação e floculação com cloreto férrico e flotação com ar dissolvido é mais eficiente e menos oneroso que se aplicado ao efluente da lagoa facultativa, levando à reflexão sobre a utilidade desta última quando se pretende implementar a remoção química de fósforo. Enquanto que o residual de fósforo no efluente da lagoa anaeróbia pós-tratado permaneceu na faixa de 0,6 mg P/L, o da facultativa resultou em 1,1 mg P/L. Além disso, aplicou-se apenas 20 mg Fe/L no efluente da lagoa anaeróbia, enquanto que no efluente da lagoa facultativa foram adicionadas 50 mg Fe/L. Esta diferença acarreta uma redução no custo relativo

ao consumo de coagulante de R\$ 0,16/m<sup>3</sup> de esgoto tratado para R\$ 0,06/m<sup>3</sup>.

A remoção de DQO do efluente da lagoa facultativa foi maior com o pós-tratamento físico-químico, resultando em efluente com 65 mg/L, contra a DQO de 106 mg/L do efluente da lagoa anaeróbia pós-tratado. Ainda assim, é possível manter-se a  $\text{DBO}_{5,20}$  deste último abaixo de 60 mg/L com a flotação complementar, padrão de emissão adotado em alguns estados brasileiros, tendo-se obtido, em um dos ensaios, redução de  $\text{DBO}_{5,20}$  de 83 mg/L para apenas 23 mg/L, enquanto que a  $\text{DBO}_{5,20}$  do efluente da lagoa facultativa, em um dia de concentração elevada, reduziu-se de 120 mg/L para 48 mg/L com o tratamento com cloreto férrico.

A concentração de sólidos em suspensão e a turbidez dos efluentes tratados foram muito semelhantes, com resultados em torno de 35 mg/L e 40 UNT, respectivamente. Demonstra-se assim que o nível de clarificação dos efluentes é elevado, tornando-os adequados para receberem processo de desinfecção final.

Deve ser lembrado que este tratamento não possui habilidade para reduzir a concentração de nitrogênio amoniacal ao nível desejado, sendo necessários estudos para o enfrentamento desta outra importante questão. Outro aspecto a ser encaminhado é o tratamento e a destinação do lodo gerado no processo físico-químico.

O tratamento com cloreto férrico, aplicado tanto sobre o efluente da lagoa anaeróbia quanto da facultativa, promoveu a remoção quase completa de cistos de protozoários e ovos de helmintos, além da redução de quase duas unidades logarítmicas na contagem de *E. coli*.

### Referências

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE, Resolução CONAMA n. 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 18 mar. 2005.

**a concentração de sólidos em suspensão e a turbidez dos efluentes tratados foram muito semelhantes**



OLIVEIRA, F. F.; GONÇALVES, R. F. Principais tecnologias empregadas no polimento do efluente de lagoas de estabilização. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., 1999, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 1999.

PENETRA, R. G. et al. Post-treatment of effluents from anaerobic reactor treating domestic sewage by dissolved-air flotation. **Water Science and Technology**, v. 40, n. 8, p. 137-143, 1999.

STANDARD methods for the examination of water and wastewater. 20 th ed. Washington, D.C: APHA, 1999. 1134 p. (CD ROM)

YOSHIDA, F. **Remoção de matéria orgânica e fósforo de efluente de tratamento anaeróbio por processo físico-químico**. São Paulo, 2005. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

ZAIAT, M. et al. Anaerobic sequencing batch reactors for wastewater treatment: a developing technology. **Applied Microbiology Biotechnology**, v. 55, p. 29-35, 2001.

**o tratamento  
com cloreto  
férico removeu  
cistos de  
protozoários e  
ovos de  
helmintos**



## **Autores**

**Roque Passos Piveli**,  
engenheiro civil, mestre em Hidráulica e Saneamento – EESC/USP, doutor em Engenharia Hidráulica e Sanitária - Escola Politécnica da USP, professor do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária – EP/USP.

**Aline Akabochi Fabreti**,  
engenheira civil, mestranda do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo – PHD/EP/USP.

**Luís Fernando Rossi Léo**,  
engenheiro civil, doutorando do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo – PHD/EP/USP.

**Silvana Audrá Cutolo**,  
bióloga, mestre e doutora em Saúde Pública pela Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, bióloga do Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo.

# Novas propostas biotecnológicas para tratamento e remoção de nitrogênio de efluentes de reatores anaeróbios



Jenny Alexandra Rodriguez Victoria  
Luís Hamilton Pospissil Garbossa  
Katt Regina Lapa  
Alexandre Colzi Lopes  
Eugenio Foresti

New biotechnological proposals for treatment and removal of nitrogen from of anaerobic reactors effluents

## Resumo

Diante das condições ambientais e econômicas dos países da América Latina, soluções funcionalmente simples, com alta relação custo-benefício e apropriadas às realidades locais, devem ser consideradas no tratamento das águas residuárias. Além disso, a crescente preocupação em relação aos nutrientes presentes nas águas residuárias tratadas, e a necessidade de melhorar a qualidade dos efluentes de reatores anaeróbios, têm gerado uma maior atenção à pesquisa e aplicações concernentes aos sistemas combinados anaeróbio/aeróbio. Portanto, além de se estudar configurações de sistemas convencionais, também é necessário evoluir no conhecimento da potencialidade do emprego de novas configurações, para permitir o desenvolvimento de tecnologias eficientes que apresentem unidades otimizadas e adequadas para se atingir as eficiências desejadas. Com base nessas observações e seguindo a linha de pesquisa do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos-USP, apresenta-se três propostas de configurações de reatores, o RMRLF (Reator Misto Radial de Leito Fixo), o RAAHLF (Reator Aeróbio-Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo) e o FBAA (Filtro Biológico Aeróbio/Anóxico). Neste artigo estão apresentados os resultados preliminares de operação dos reatores, os quais obtiveram valores promissores

de remoção de matéria orgânica, apresentando valores de DQO abaixo de 100 mg/L e remoção parcial de nitrogênio.

**Palavras-chave:** aeróbio, anaeróbio, esgoto sanitário, remoção de nitrogênio, sistemas combinados

## Abstract

Considering the environmental and economical conditions of the countries in Latin America, simple and functional solutions, with a high cost/benefit rate and adequate to the local reality should be considered when treating wastewater. Also, the growing concern towards the nutrients present in the treated wastewaters and the need to improve the effluent quality from anaerobic reactors, has been calling greater attention to researches and application of combined anaerobic/aerobic systems. Therefore besides studying the conventional systems configurations, it is also necessary to develop knowledge of potential use of new configurations, to enable the development of efficient technologies that present optimized and adequate units to reach the desired efficacy. Observing this and following the research line of the *Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos-USP*, it is presented here, three reactor configurations, the RAAIB (radial flow

apresenta-se  
três propostas  
de  
configurações  
de reatores, o  
RMRLF, o  
RAAHLF e o  
FBAA



anaerobic/aerobic immobilized biomass reactor), the HAAIB (horizontal flow aerobic/anaerobic immobilized biomass reactor) and the AABF (aerobic/anoxic biological filter). In this article, the preliminary reactors operational results are presented, with promising results in the organic matter removal presenting QOD values below 100 mg/L and partial nitrogen removal.

**Key words:** wastewaters, combined systems, anaerobic, aerobic, nitrogen removal

## Introdução

Estudos (van LOOSDRECHT e JETTEN, 1998) mostram que processos microbianos alternativos envolvendo as transformações de compostos de nitrogênio podem ocorrer em estações de tratamento de esgotos (ETEs), tais como: desnitrificação aeróbia, nitrificação heterótrofa, oxidação anaeróbia da amônia ou desnitrificação pelas bactérias nitrificantes. Essas possíveis conversões fazem o estudo da remoção do nitrogênio complexo, pois o próprio balanço de massa do processo torna-se difícil.

Os requerimentos ambientais para que tanto a nitrificação quanto a desnitrificação ocorram, bem como as características de crescimento dos microrganismos envolvidos nos processos, fazem com que a utilização de reatores com bactérias imobilizadas seja um método eficiente para obter a remoção biológica de nitrogênio. Reatores de filme fixo podem garantir altos tempos de retenção celular, condição favorável para a ocorrência eficiente da nitrificação e desnitrificação, além da possibilidade de que os dois processos possam desenvolver-se em um único reator.

As primeiras investigações sobre a nitrificação terciária, em filtro biológico (FB) (DUDDLES *et al.*, 1974; GULLICKS e CLEASBY, 1986; BOLLER e GUJER, 1986; PARKER *et al.*, 1989), indicaram que o filtro com meio suporte plástico é uma unidade estável, capaz de produzir um efluente de boa qualidade, ainda que sob condições adversas. Demonstrou-se sua

simplicidade de operação e seu baixo custo. Estudos posteriores (OKEY e ALBERSTSON, 2000 *apud* METCALF & EDDY, 2002) mostraram a possibilidade de ocorrência de combinação dos processos de oxidação da matéria orgânica e da nitrificação no filtro, com ótimos resultados.

Os primeiros estudos sobre nitrificação e desnitrificação em reatores de fluxo radial permitiram a obtenção de resultados promissores, conforme reportado pela literatura (VIEIRA *et al.* 2000, GARBOSSA *et al.* 2003)

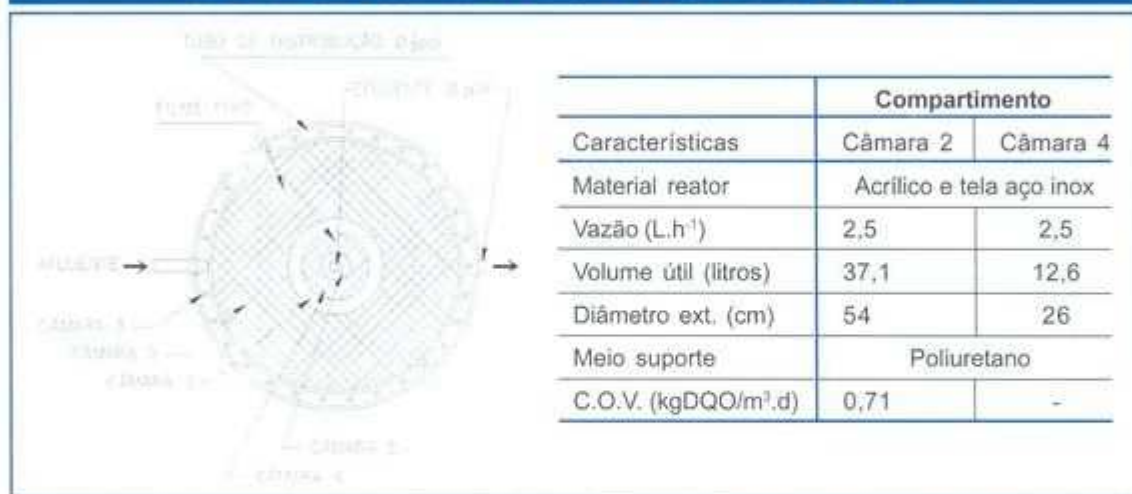
Estudos em reator anaeróbio horizontal de leito fixo (RAHLF) foram inicialmente desenvolvidos por ZAIAT *et al.* (1997). Os resultados obtidos em diversas pesquisas com esse reator mostram potencial de uso para tratamento de diversos efluentes (de NARDI *et al.* 2002).

## Reator Misto Radial de Leito Fixo (RMRLF)

O RMRLF apresenta resultados promissores para ser utilizado como unidade única de tratamento de esgoto sanitário e remoção de nitrogênio. Sua configuração em anéis circuncêntricos e a biomassa imobilizada nos anéis promove eficiente transferência de  $O_2$  para o líquido na câmara de aeração. O RMRLF foi construído em acrílico, com 25 cm de altura útil e 60 cm de diâmetro, resultando no volume total de 70,7 L. O reator é dividido em compartimentos circuncêntricos, separados por telas de aço inox 316, com diâmetros de 6, 26, 32 e 54 cm a partir do centro do reator. Na câmara aerada foram colocadas oito pedras porosas junto ao fundo, uniformemente distribuídas, ligadas a um compressor para promover aeração e agitação do líquido no interior desta câmara. As câmaras anterior e posterior foram preenchidas com cubos de espuma de poliuretano, com 1 cm de aresta, para a imobilização da biomassa. Depois de preenchido com cubos de espuma de poliuretano, o reator apresenta uma porosidade do leito de aproximadamente 40%, o que resulta no volume útil de aproximadamente 40,9 L.

Na figura 1 é apresentada a vista superior e as principais características do RMRLF.

**o RMRLF apresenta resultados promissores para ser utilizado como unidade única de tratamento de esgoto e remoção de nitrogênio**

**FIGURA 1 - VISTA SUPERIOR E PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO RMRLF**


### Reator Aeróbio-Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo (RAAHLF)

A escolha pela utilização do RAAHLF é devida ao seu comportamento hidráulico tender ao pistonado e, também, devido ao fato de o líquido percorrer o reator em sentido horizontal e o fornecimento de ar comprimido e biogás ocorrer em sentido vertical, e possibilitar melhor transferência de massa entre os gases e o meio líquido.

O RAAHLF em escala de bancada foi construído com tubo de PVC, dividido em dois módulos com 150 cm de comprimento e 15 cm de diâmetro, resultando em volume total de 53 L, aproximadamente. Depois de preenchido com meio suporte para imobilização da biomassa, o volume útil reacional do reator passou a ser de 21 L, aproximadamente, com porosidade do lei-

to de cerca de 40%.

No interior do reator foram instaladas, próximas à entrada e à saída, redes com malha menor que 1 cm, para evitar arraste do meio suporte e o conseqüente entupimento das tubulações. Existem 5 pontos de amostragem (PA) ao longo do reator. Foram instaladas 6 pedras porosas de 10 cm de comprimento uniformemente distribuídas e coladas no fundo do reator. As entradas estão localizadas em 3 pontos na parte superior de cada módulo. Essas pedras servem para o fornecimento de ar (no primeiro módulo) e biogás (no segundo módulo) ao reator. Na figura 2 é demonstrado o esquema do reator.

### Filtro Biológico Aeróbio-Anóxico (FBAA)

O estudo do FBAA foi proposto devido às possíveis vantagens em relação à operação, cus-

**no RAAHLF, o líquido percorre o reator em sentido horizontal; o biogás flui no sentido vertical**

**FIGURA 2 - ESQUEMA E PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO RAAHLF**


to e eficiência da combinação UASB-FBAA para remoção de matéria orgânica e nutrientes. O estudo de uma nova configuração de FB, que incorpore um compartimento para a nitrificação e outro para a desnitrificação, configura-se como uma alternativa bastante interessante para se obter a remoção completa de nitrogênio, em uma única unidade.

Na figura 3 são apresentados um esquema do reator e as características operacionais do filtro biológico.

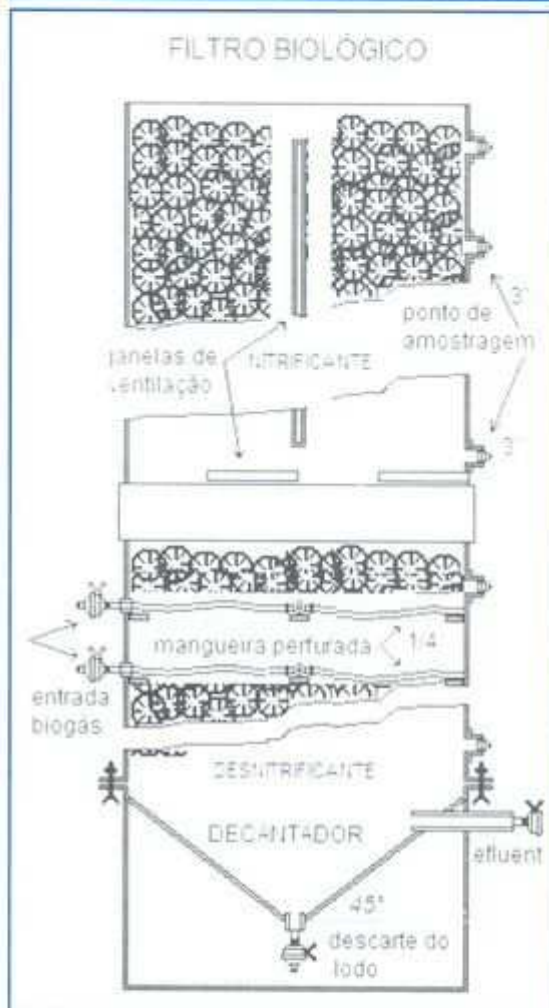
O FBAA é constituído de dois compartimentos construídos em tubos de PVC, com fluxo descendente e meio suporte não-submerso. O primeiro compartimento tem uma configuração de filtro biológico percolador para promover a nitrificação. O ar atmosférico é utilizado como fonte de  $O_2$ . Para otimizar o fornecimento de  $O_2$ , foram construídas janelas verticais e perimetrais. O segundo compartimento tem uma configuração de filtro anóxico desnitrificante. Para suprir a deficiência de doador de elétrons na desnitrificação, o biogás produzido no reator anaeróbico é injetado na parte inferior do filtro.

A água residuária utilizada na avaliação dos reatores é o esgoto proveniente de emissário que passa pelo Campus da USP. Após o gradeamento, a água residuária é recalçada pela estação elevatória e armazenada em um reservatório elevado denominado de pulmão. Para o RMRLF, o esgoto é fornecido por gravidade para um reservatório de 100 L, no qual é peneirado em peneira de 2 mm para retirada de sólidos mais grosseiros e então é utilizado continuamente. No caso do FBAA e do RAAHLF, o esgoto que alimenta os reatores é proveniente do efluente de reator Uasb, que trata o esgoto armazenado no reservatório pulmão.

Na tabela 1, apresenta-se as principais características do esgoto utilizado no estudo.

O monitoramento dos reatores é feito por meio de análises de DQO total, DQO da amostra filtrada (DQOf), pH, alcalinidade, ácidos voláteis totais, série de nitrogênio e série de sólidos das amostras da entrada e saída dos reatores. As análises são executadas segundo métodos preconizados pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1998).

**FIGURA 3 - ESQUEMA ILUSTRATIVO EM CORTE E PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO FBAA**



Características do reator	Compartimento	
	Nitrificação	Desnitrificação
Material	Polipropileno	Polipropileno
Vazão (L.d <sup>-1</sup> )	800	800
Volume útil (litros)	230	50
Área útil (m <sup>2</sup> )	2,38	0,51
Á.suporte (m <sup>2</sup> )	27,48	4,95
Diâm.inter. (cm)	35	35
Meio suporte	plástico	Plástico
Rn teor. (gN/m <sup>2</sup> .d)	0,65	1,03
C.O.V. (kgDQO/m <sup>3</sup> .d)	0,17	-

## Resultados e Discussão

O RMRLF mostrou-se muito estável para remoção de matéria orgânica. Mesmo com as

**o FBAA é de fluxo descendente e meio suporte não-submerso**



**TABELA 1- CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS UTILIZADAS**

Parâmetro	unidade	Afluente bruto	Afluente Bruto Peneirado	Efluente Uasb
Alcal. Bicar.	mg.L <sup>-1</sup>	77 ± 39	53 ± 35	224 ± 138
AVT	mg.L <sup>-1</sup>	54 ± 22	65 ± 25	24 ± 10
DQO total	mg.L <sup>-1</sup>	564 ± 261	427 ± 222	139 ± 33
DQO filtrada	mg.L <sup>-1</sup>	206 ± 69	233 ± 76	93 ± 22
N-NTK	mg.L <sup>-1</sup>	42 ± 11	40 ± 6	40 ± 8
N-AMON	mg.L <sup>-1</sup>	27 ± 6	30 ± 6	36 ± 6
S T	mg.L <sup>-1</sup>	534 ± 154	458 ± 145	447 ± 106
SST	mg.L <sup>-1</sup>	185 ± 108	84 ± 62	22 ± 11
SSV	mg.L <sup>-1</sup>	153 ± 86	79 ± 23	18 ± 10

mudanças de condições operacionais, o reator apresentou ótimo equilíbrio, como pode ser observado nas figuras 4 e 5.

O TDH total do reator variou de um máximo de 30 h até o mínimo de 14 h e a concentração média de DQO afluente ao reator até o

momento foi de 427 ± 222 mg.L<sup>-1</sup> e a concentração média de DQO efluente foi de 54 ± 47 mg.L<sup>-1</sup>. O limitante para o aumento da vazão afluente ao reator foi a etapa de nitrificação, que depende de vazão de aproximadamente 2,2 L.h<sup>-1</sup> para manter boa eficiência.

Conforme apresentado na figura 5, a nitrificação foi detectada logo no início da operação. Contudo, o TDH ideal foi encontrado somente 12 semanas após o início da operação. Se for considerado que o equilíbrio dinâmico da nitrificação ocorreu na 14.<sup>a</sup> semana de operação, a eficiência de remoção de N-NTK e N-Amon atingiu valores médios de 96% e 98%, respectivamente.

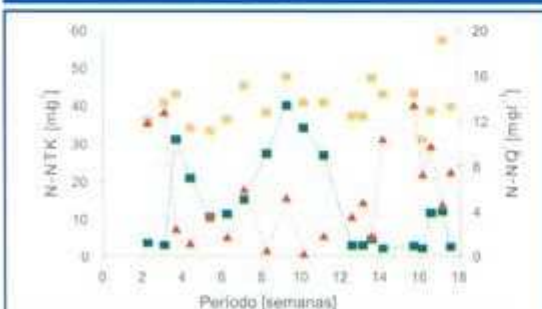
O RAAHLF mostrou-se estável e os resultados obtidos demonstram que esse tipo de configuração pode ser uma alternativa viável para o pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios e de biogás. A remoção de matéria orgânica apresentou resultados satisfatórios como pode ser observado na figura 6. A média da eficiência de remoção foi de 48% e produziu um efluente clarificado, indicando que o reator tem alta capacidade de retenção de sólidos.

Após a detecção do início da nitrificação, na sétima semana de operação, foi iniciada a dosagem de alcalinizante. Se for considerado que o equilíbrio dinâmico da nitrificação ocorreu na 15.<sup>a</sup> semana de operação, quando a vazão era de aproximadamente 2 L.h<sup>-1</sup>, correspondendo ao TDH total de aproxima-

**FIGURA 4 - CONCENTRAÇÕES DE DQO AFLUENTE (■), DQOF AFLUENTE (▲), DQO EFLUENTE (●) E DQOF EFLUENTE (◐) NO RMRLF**



**FIGURA 5 - CONCENTRAÇÕES DE N-NTK AFLUENTE (■), N-NTK EFLUENTE (●) E N-NO<sub>3</sub> EFLUENTE (▲) NO RMRLF**



**a eficiências de remoção de N-NTK e N-Amon atingiu valores médios de 96% e 98%**

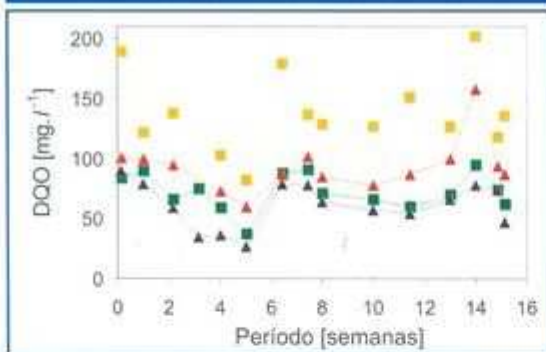


damente 10 horas (5 horas no módulo aerado), a eficiência na remoção de N-NAmom atingiu valor aproximado de 84%. Entretanto, duas semanas após o início do fornecimento do biogás ao segundo módulo (14.<sup>a</sup> semana), detectou-se a completa desnitrificação do efluente do primeiro módulo, conforme pode ser observado na figura 7.

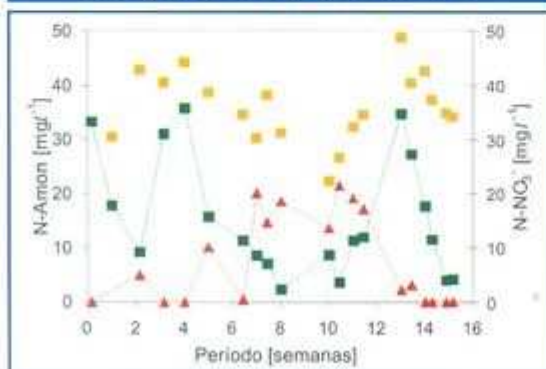
O FBAA apresenta um comportamento estável para remoção de matéria orgânica, como pode ser observado na figura 8, tendo alcançado eficiência média de remoção de DQO total de 50%.

Conforme pode ser observado na figura 9, o reator apresenta boas eficiências de nitrificação. Supõe-se que a configuração do reator, que contém janelas verticais de ventilação, aumente a oxigenação, favorecendo o processo. Num pas-

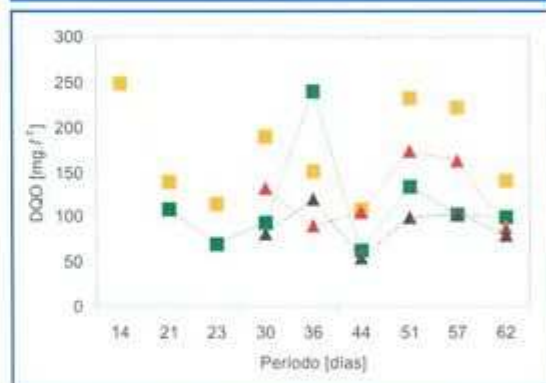
**FIGURA 6 - CONCENTRAÇÕES DE DQO AFLUENTE (■), DQOF AFLUENTE (▲), DQO EFLUENTE (●) E DQOF EFLUENTE (▲) NO RAAHLF**



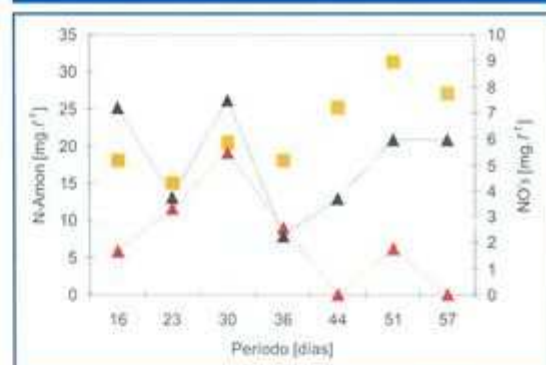
**FIGURA 7 - CONCENTRAÇÕES DE N-AMON AFLUENTE (■), N-AMON EFLUENTE (●) E N-NO<sub>3</sub> EFLUENTE (▲) NO RAAHLF**



**FIGURA 8 - CONCENTRAÇÕES DE DQO AFLUENTE (■), DQOF AFLUENTE (▲), DQO EFLUENTE (●) E DQOF EFLUENTE (▲) NO FBAA**



**FIGURA 9 - CONCENTRAÇÕES DE N-AMON AFLUENTE (■), N-AMON EFLUENTE (▲) E NITRATO EFLUENTE (●) NO FBAA**



**o RAAHLF mostrou-se eficiente para o polimento de efluente de reator Uasb e para remoção de nitrogênio**

so posterior, será fornecido biogás como fonte exógena de carbono visando, dessa forma, potencializar a desnitrificação do líquido no compartimento anóxico do filtro. Embora não estejam disponíveis ainda dados suficientes para completa avaliação do reator, os resultados iniciais são animadores, podendo essa configuração se constituir em opção bastante interessante e eficiente, para o polimento de efluente de reator Uasb e para remoção de nitrogênio.

A tabela 2 apresenta as médias efluentes de quatro parâmetros analisados nos diferentes reatores apresentados.

## Conclusões

É possível verificar que os sistemas alternativos em desenvolvimento, destinados ao tra-



**TABELA 2 - MÉDIA DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DE MONITORAMENTO DOS REATORES (mg.L<sup>-1</sup>)**

Reator	Análises							
	DQO		N-NTK		N-Amo		N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
RAAHLF	139	73	40,1	17,7	35,9	15,4	0	7,7
FBAA	171	95	30,4	17,0	20,0	8,6	0	5,1
RMRLF	378	69	40,2	12,7	29,9	9,8	0	5,3

tamento de esgotos sanitários e remoção de nutrientes, são viáveis e podem contribuir para que os padrões de lançamento de efluentes em corpos receptores, normalmente adotados em países em desenvolvimento, sejam alcançados, no que se refere à remoção de carbono e nitrogênio. Resultados preliminares indicam que essas configurações podem atingir alta eficiência a baixos custos de construção e operação, além de apresentarem simplicidade operacional.

A utilização do biogás de reatores anaeróbios apresentou-se como opção viável como fonte de doadores de elétrons na desnitrificação.

Contudo, é necessário aprofundar os estudos sobre esses reatores, para determinar parâmetros de projeto para o aumento de escala destas unidades.

A combinação de tecnologias anaeróbia e aeróbia e o aproveitamento dos subprodutos gerados nos processos como complemento ao tratamento dos efluentes desponta como caminho a ser seguido na busca por alternativas viáveis para a realidade de países em desenvolvimento.

#### Referências

BOLLER, M.; GUJER, W. Nitrification in tertiary trickling filters followed by deep bed filters. *Water research*, v. 20, n. 11, p. 1363-1373, 1986.

DE NARDI, I. R. et al. Anaerobic degradation of BTEX in a packed-bed reactor. *Water Science and Technology*, v. 45, n. 10, p. 175-180, 2002.

Duddles, G. A.; Richards, S. E.; Barth, E. F.

Plastic-medium trickling filters for biological nitrogen control. *Journal of water pollution control federation*, v. 46, n. 10, p. 2327-2339, 1974.

FAZOLO, A.; FORESTI, E.; ZAIAT, M. Estimativa dos parâmetros cinéticos e de transferência de massa em um reator aeróbio de leito fixo utilizado no pós-tratamento de efluente anaeróbio. In: SEMINÁRIO DO PROJETO TEMÁTICO, 1., 2002, São Carlos. *Anais...* São Carlos, SP.: EESC-USP, 2002. p. 232-41.

GARBOSSA, L. H. P.; LAPA, K. R.; FORESTI, E. Avaliação de desempenho de reator misto radial de leito fixo para tratamento e remoção de nitrogênio de esgoto sanitário. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE FERMENTAÇÕES, 14., 2003, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis, SC.: UFSC, 2003. (CD-ROM)

GULLICKS, H. A.; CLEASBY, J. Design of trickling filter nitrification towers. *Journal of water pollution control federation*, v. 58, n. 1, p. 60-67, 1986.

METCALF & EDDY. *Wastewater engineering: treatment and reuse*. 4 th edition, McGraw-Hill: New York, 2002. p. 1334.

PARKER, D. et al. Enhancing reation rates in nitrifying trickling filters through biofilm control. *Journal of water pollution control federation*, v. 58, n. 9, p. 618-630, 1989.

VAN LOOSDRECHT, M. C. M.; JETTEN, M. S. Microbiological conversions in nitrogen removal. *Water Science and Technology*, v. 38, n. 1, p. 1-7, 1998.

**resultados  
preliminares  
indicam alta  
eficiência,  
baixo custo e  
simplicidade  
operacional**



VIEIRA, L. G. T. et al. Desenvolvimento de reator aeróbio radial de leito fixo para remoção de nitrogênio de esgoto sanitário pré-tratado em reator anaeróbio. In, CHERNICHARO, C. A. L. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: PROSAB, 2000. p. 135-142

ZAIAT, M. et al. Rational basis for designing horizontal-flow anaerobic immobilized sludge (HAIS) reactor for wastewater treatment. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 14, n. 1, p. 1-8, 1997.

*a combinação  
de tecnologias  
anaeróbia e  
aeróbia  
apresenta-se  
como  
alternativa  
viável para  
países em  
desenvolvimento*



## **Autores**

**Jenny Alexandra Rodríguez Victoria**,  
engenheira sanitária, doutora em  
Hidráulica e Saneamento pela Escola de  
Engenharia de São Carlos EESC/USP,  
professora e pesquisadora da Universidad del  
Valle, Cali-Colômbia.

**Luis Hamilton Pospissil Garbossa**,  
engenheiro civil, mestre e doutor em  
Hidráulica e Saneamento pela Escola de  
Engenharia de São Carlos EESC/USP,  
pesquisador da APD/DMA - SANEPAR.

**Katt Regina Lapa**,  
engenheira civil, mestre e doutora em  
Hidráulica e Saneamento pela Escola de  
Engenharia de São Carlos EESC/USP,  
professora do SENAI CIC - CETSAM.

**Alexandre Colzi**,  
mestre em Hidráulica e Saneamento pela  
Escola de Engenharia de São  
Carlos EESC/USP.

**Eugenio Foresti**,  
engenheiro civil, mestre e doutor em  
Hidráulica e Saneamento pela Escola de  
Engenharia de São Carlos EESC/USP,  
professor titular do Departamento de  
Hidráulica e Saneamento da Escola de  
Engenharia de São Carlos.

# Proposição de sistema de avaliação do potencial de reúso de esgoto tratado em áreas agrícolas na Região Metropolitana de Curitiba



Josy Karla Brasil  
Cleverson Vítório Andreoli

Proposal of an assessment system for the reuse potential of treated sewage in agricultural areas in the metropolitan area of Curitiba

## Resumo

O reúso de esgoto tratado é uma prática que promove a economia da água doce existente e a preservação de mananciais que recebem descartes provenientes de estações de tratamento de esgoto. Neste trabalho, objetivou-se estudar estações de tratamento de esgoto, bem como o respectivo efluente gerado, para avaliar a viabilidade da implantação da atividade de reúso de esgoto tratado na agricultura. Avaliou-se três ETEs com relação à distância entre a estação de tratamento e a área a ser irrigada, a qualidade do efluente gerado, o tratamento utilizado e o potencial de irrigação. Todas as estações avaliadas possuem áreas agrícolas próximas e vazões apropriadas para reúso, porém os parâmetros de qualidade, normalmente analisados, não são suficientes para avaliar a viabilidade do reúso. Realizou-se então, uma comparação entre os dados existentes e as normas referentes ao reúso e verificou-se que nenhuma das estações estudadas gera um efluente adequado para reúso, considerando as normas da Usepa, Tunísia, Kuwait, Arábia Saudita e a Resolução 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), editada em 2005. Os critérios de reúso que regulamentam esta atividade são extremamente rigorosos, por isso deve-se avaliar cada caso em

separado, considerando as peculiaridades do local, do cultivo e do efluente utilizado, neste caso seriam necessárias alternativas técnicas de pós-tratamento e/ou desinfecção. Além disso, foi apresentada uma proposta de avaliação do potencial de reúso de esgoto tratado na irrigação de culturas agrícolas.

**Palavras-chave:** efluente tratado, estação de tratamento de esgoto, irrigação, reúso de efluentes

## Abstract

The reuse of treated sewage is a practice that promotes the saving of the existing water, and the preservation of sources that receive wastewater proceeding from sewage treatment units. This essay was meant to study sewage treatment units, as well as their effluents, to assess the viability of implanting the activity of reuse of treated sewage in agriculture. Three sewage treatment units were assessed, with regards to the distance between the unit and the area to be irrigated, the effluent quality, the treatment used and the potential for irrigation. All the units assessed have agricultural areas nearby and appropriate outflows for the reuse.

*avaliou-se três ETEs quanto à qualidade do efluente, o tratamento utilizado e o potencial de irrigação*



However the quality standards regularly analysed are not enough to assess viability for the reuse. Then, a comparison between the existing data and the water reuse regulation was performed, and it was observed that none of the studied units generate an adequate effluent for reuse, considering the water reuse regulations from USEPA, Tunisia, Kuwait, Saudi Arabia and resolution 357 from *Conselho Nacional do Meio Ambiente* (CONAMA). The criteria for reuse that regulate this activity are extremely strict, therefore it is necessary to assess each case on a one by one basis, considering the local peculiarities, the cultivation and the effluent used, in this case it would be necessary to find alternative technics for post-treatment and/or disinfection. Furthermore, a proposal to assess the potential reuse for the treated sewage in agricultural cultures was presented.

**Key words:** treated effluents, sewage treatment unit, irrigation, reuse of effluents

## Introdução

A sobrevivência das gerações futuras depende diretamente das decisões que estão sendo tomadas sobre a forma com a qual o homem se relaciona com a água. Embora as fontes hídricas sejam abundantes, freqüentemente elas são mal distribuídas na superfície do planeta. Em alguns locais a demanda é tão elevada, em relação à oferta, que a disponibilidade superficial de água está sendo reduzida e os recursos subterâneos rapidamente esgotados (TRENTIN, 2005).

Uma alternativa para o uso racional da água doce é a substituição de água de melhor qualidade por águas residuárias tratadas. Além disso, esta prática possibilita o aumento da disponibilidade de recursos hídricos para finalidades que requerem padrões de qualidade mais exigentes, como o abastecimento domiciliar e industrial (MONTE, 2001).

Segundo BASTOS (2003), as taxas de aplicação de esgotos devem ser compatibilizadas às boas práticas agrícolas, limitadas pelas características do solo e da água, das

condições climáticas, do tipo de cultura irrigada e da técnica de irrigação: hidroponia, irrigação por inundação, por sulcos, gotejamento e aspersão. Sendo assim, se observadas as boas práticas e vencidas as resistências de natureza cultural, a utilização de esgotos sanitários apresenta-se como uma solução sanitariamente segura, economicamente viável e ambientalmente sustentável.

Como no Brasil as experiências em reúso planejado e institucionalizado são incipientes, é necessário implantar projetos-piloto. Essas unidades devem enfatizar todos os aspectos relativos ao reúso agrícola, e deverão fornecer subsídios para o desenvolvimento de padrões e códigos de práticas, adaptados às condições e características nacionais. Após esta fase é possível a realização de demonstrações, treinamentos e como consequência o desenvolvimento da prática (HESPANHOL, 2002).

Com relação às questões legais e normativas, a Resolução 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente de 2005, estabelece níveis máximos de concentração de substâncias na água para sua utilização na irrigação de plantas alimentícias ou não. Especificamente, existe uma nova resolução que trata do reúso direto não-potável de água e expõe que as diretrizes e parâmetros a serem adotados serão estabelecidos em resoluções específicas, que ainda não foram definidas. Em outros países como Kuwait, Arábia Saudita, Tunísia e EUA existem regulamentações específicas que tratam da prática do reúso com valores mais restritivos para a irrigação de culturas consumidas cruas e menos exigentes para a irrigação de culturas processadas industrialmente ou cozidas (USEPA, 1992).

Este estudo tem por objetivo avaliar estações de tratamento de esgoto, para a utilização do produto gerado em áreas agrícolas como substituto da água de irrigação, os itens avaliados foram: distância da estação até a área agrícola, qualidade do efluente gerado, vazão para irrigação e tipo de tratamento utilizado. Além disso, objetivou-se comparar os parâmetros de qualidade do efluente obtidos, tanto na prática, quanto na teoria, com os valores estabelecidos por normas nacionais e internacionais e por fim teve-se a intenção de unir os critérios estudados

**o reúso permite  
aumentar a  
disponibilidade  
de recursos  
hídricos para  
finalidades que  
exigem água de  
melhor  
qualidade**



com a apresentação de uma proposta de avaliação do potencial de reúso de esgoto tratado na agricultura.

## Material e métodos

### Escolha e critérios de avaliação das estações de tratamento estudadas

A escolha das estações de tratamento de esgoto foi baseada na dissertação de mestrado de TRENTIN (2005), que em seu estudo chegou à conclusão que, entre as dez maiores estações de tratamento de esgoto (ETEs) da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar) de Curitiba e Região Metropolitana, as ETEs Cambui, Colombo Sede e Lapa são as que possuem maior potencial para o fornecimento de efluentes para irrigação das áreas agrícolas, isto devido à proximidade destas estações com o local a ser irrigado, o tipo do solo, a drenagem, e a declividade do local de irrigação.

O presente trabalho estudou e avaliou as três estações, citadas acima, segundo quatro fatores: a distância mais precisa da estação até a área agrícola, a qualidade do efluente gerado, a capacidade de irrigação através da vazão e o tipo de tratamento utilizado. Estes itens foram levantados separadamente em cada estação, para logo após comparar e discutir os resultados obtidos.

### Levantamento das informações existentes sobre cada ETE

Foram realizadas visitas às estações e à Unidade de Serviços de Esgoto de Curitiba e Região Metropolitana (Useg) da Sanepar, onde foram solicitadas as seguintes informações: quantidade do efluente gerado, população atendida, tipo de tratamento utilizado, localização das estações, início de operação da ETE, corpo receptor do efluente tratado, existência de áreas agrícolas na região da ETE e um levantamento histórico dos dados referentes à qualidade dos efluentes.

Os principais parâmetros de qualidade do efluente pesquisados foram: nitrogênio, fósforo, potássio, por serem macronutrientes utilizados

em fertirrigação, DBO para avaliação da carga orgânica, coliformes totais e fecais para verificação de contaminação fecal sendo este parâmetro um indicador microbiológico, metais pesados para a avaliação da toxicidade, sódio, cálcio, magnésio para verificação do risco de sodificação, condutividade elétrica e sólidos dissolvidos totais para verificar risco de salinização.

### Comparação dos valores de qualidade do efluente com referenciais legais

Após a obtenção dos resultados das análises, realizadas no efluente duas vezes ao mês pela Companhia de Saneamento do Paraná, foi possível compará-los com os parâmetros de qualidade da água estabelecidos por normas nacionais e internacionais, referentes ao reúso e à irrigação.

Os parâmetros de grande importância para avaliação da possibilidade do envio do efluente para reúso agrícola, que não são analisados pela Sanepar ou não foram fornecidos, foram levantados na literatura e avaliados também em comparação com a legislação vigente e com a proposta de avaliação da qualidade da água para irrigação segundo CHRISTIANSEN e OLSEN (*apud* BERNARDO, 1986).

Para a avaliação do risco de sodificação foram utilizadas as concentrações de sódio, cálcio e magnésio, em miliequivalente por litro, na fórmula da Razão de Adsorção de Sódio, apresentada na equação 1. Já para a quantificação da percentagem de sódio foi usada a equação 2 e as concentrações dos elementos já citados também em miliequivalente por litro.

#### EQUAÇÃO 1

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

Onde:

RAS = Razão de Adsorção de Sódio

Na = teor de sódio na água de irrigação (meq/L)

Ca = teor de cálcio na água de irrigação ou em equilíbrio na solução do solo (meq/L)

Mg = teor de magnésio na água de irrigação (meq/L).

*avaliou-se a distância entre a ETE e a área agrícola, a qualidade do efluente e a capacidade de irrigação*

### EQUAÇÃO 2

$$\%Na = \frac{Na^+ \times 100}{Ca^{++} + Mg^{++} + Na^+}$$

Onde:  
%Na = Percentagem de sódio

#### Localização das áreas agrícolas e das ETEs e a distância entre as mesmas

Para a obtenção dos dados referentes às áreas agrícolas foi levantada junto à Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (Suderhsa) a relação de agricultores irrigantes que possuem outorga para irrigação nas três regiões de interesse, bem como a vazão captada em metros cúbicos por hora, o bombeamento em horas por dia, as coordenadas geográficas, latitude e longitude, do ponto de captação da água utilizada na irrigação e o nome do manancial utilizado.

As coordenadas geográficas das estações de tratamento de esgoto foram levantadas na Sanepar. A distância entre as áreas agrícolas e as estações de tratamento foi calculada através do programa Google EARTH, sendo necessário transformar as coordenadas geográficas para graus, minutos e segundos.

Após o cálculo das distâncias foi estabelecido um critério de avaliação, no qual objetivou-se indicar níveis de proximidade entre o local de origem do efluente e a área de sua aplicação na agricultura. Isto foi realizado como indicativo da

viabilidade econômica do projeto de reúso, partindo do princípio de que quanto mais próximo menor o custo.

## Resultados e Discussões

### Características das estações avaliadas

A tabela 1 apresenta os resultados de todo o processo de tratamento realizado nas ETEs Cambuí, Colombo Sede e Lapa, desde a recepção do efluente até o lançamento no corpo receptor.

O processo de desinfecção na ETE Cambuí iniciou-se em 01/01/2005 e foi testado até agosto do mesmo ano quando começou a ser utilizado rotineiramente.

Sendo os parâmetros bacteriológicos os mais importantes para a irrigação e, não dispondo deste indicador, pode-se dizer que, segundo SPERLING (1996), a concentração de coliformes fecais varia de  $10^5 - 10^8$  no esgoto doméstico bruto e a eficiência na remoção de coliformes, através de um Ralf (Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado), varia de 60 - 90%.

Nos países que possuem regulamentação para reúso, normalmente é exigido um nível específico de tratamento para que o efluente possa ser usado na agricultura. Na tabela 2 são apresentados os tratamentos recomendados por: United State - Environmental Protections Agency (USEPA), Kuwait, Tunísia (USEPA, 1992) e Organização Mundial da Saúde (WHO, 1989).

as distâncias foram calculadas como indicativo da viabilidade econômica do projeto de reúso

TABELA 1 - TIPOS DE TRATAMENTO REALIZADO EM CADA ETE ESTUDADA

ETE	Tratamentos Aplicados
Lapa	Gradeamento, desarenador, correção de pH, Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado (RALF).
Cambuí	Adição de cal a 2% caso necessário, gradeamento 20mm, desarenador ciclônico, separador de óleo, 2 Ralfs, coagulação c/ cloreto férrico, floculação flotação, desinfecção com dióxido de cloro.
Colombo Sede	Gradeamento, gradeamento secundário, desarenador ciclônico, Ralf, filtro biológico anaeróbio c/ camadas de pedras.

Fonte: SANEPAR, USEG.

**TABELA 2 - NÍVEL DE TRATAMENTO REQUERIDO PARA QUE O EFLUENTE POSSA SER USADO NA IRRIGAÇÃO EM PAÍSES COMO EUA, KUWAIT, TUNÍSIA E ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE**

Tipo de irrigação	USEPA		Kuwait		OMS	Tunisia
	Irrestrita	Restrita	Irrestrita	Restrita	Restrita	Restrita
Nível de tratamento	Secundário filtração desinfecção	Secundário desinfecção	Avançado	Avançado	Lagoas de estabilização	Secundário com cloração

Fonte: USEPA, 1992; OMS, 1989.

Considerando as exigências apresentadas, apenas o tratamento realizado na ETE Cambuí seria capaz de promover um efluente apropriado para irrigação restrita, já que inclui em seu processo a etapa de desinfecção, recomendada pelos países citados na tabela 2. Contudo é perfeitamente viável a implantação de sistemas de desinfecção específicos nas outras estações.

Os dados referentes às estações Cambuí, Colombo Sede e Lapa, como vazão, localização, corpo receptor e início de operação, foram obtidos na Sanepar e nas estações, e constam da tabela 3.

Apenas a ETE Lapa está operando com 100% da vazão de projeto e deve ser ampliada em breve para atender a crescente demanda. A ETE Cambuí opera com 60% da capacidade máxima e a ETE Colombo Sede está operando com pouco menos de 10% da vazão de projeto.

#### *Qualidade do efluente gerado em cada ETE*

O controle da qualidade do efluente, rea-

lizado pela Sanepar, é feito através da realização de análises periódicas no esgoto bruto e no esgoto tratado, com frequência quinzenal. Como os dados obtidos são referentes ao ano de 2005, obteve-se 24 análises de cada parâmetro e calculou-se a média entre eles. A tabela 4 apresenta os valores médios, o valor máximo e o valor mínimo resultantes das análises realizadas no esgoto tratado de cada ETE estudada. Na tabela 5 estão presentes as médias dos valores de coliformes totais e fecais encontrados no efluente da estação Cambuí no ano de 2005.

Para a realização da comparação entre os valores apresentados e os recomendados por regulamentações específicas, são apresentados na tabela 6 alguns parâmetros indicadores da qualidade da água para irrigação e as respectivas concentrações máximas permitidas em países como EUA, Arábia Saudita, Kuwait, Tunisia e Brasil. Apenas a resolução brasileira 357 (2005), do Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama) não trata de valores específicos para reúso, e sim para água de irrigação.

*apenas a ETE Cambuí seria capaz de promover um efluente apropriado para irrigação restrita*

**TABELA 3 - CARACTERÍSTICAS DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO ESTUDADAS**

Dados das ETES	Colombo Sede	Cambuí	Lapa
Vazão atual	4 L/s	60 L/s	30 L/s
Vazão de projeto	43 L/s	100 L/s	30 L/s
População atendida	2.300 habitantes	34.500 hab.	17.200 hab.
Localização	Colombo	Campo Largo	Lapa
Corpo receptor	Córrego afluente do Rio Atuba	Rio Cambuí	Córregos Passo dos Neves e Ronda
Início de operação	2002	1998	1995

Fonte: SANEPAR, USEG.

Na ETE Cambuí os processos de coagulação com cloreto férrico e de flotação têm a finalidade de eliminar alguns compostos tóxicos que, porventura, estejam presentes no efluente e de reduzir os sólidos provenientes do reator anaeróbio. Porém, como demonstrado na tabela 4, os sólidos sedimentáveis não são removidos satisfatoriamente, já que apresentam uma concentração média para o ano de 2005 de 2,93 ml/L/h.

O processo de desinfecção realizado na ETE Cambuí promove a redução de quase

100% dos coliformes, como apresentado na tabela 5. No entanto, não existe tratamento para ovos de helmintos, que segundo HESPANHOL (2002) só é alcançado através de lagoas de estabilização. Para que isto seja comprovado deve-se analisar o efluente para verificação da presença deste organismo, o que não é feito atualmente.

Quando TRENTIN (2005) realizou seu trabalho, os dados obtidos no efluente da estação Cambuí, para a análise de coliformes, foram referentes ao ano de 2004. Na época, ainda não

**TABELA 4 - VALORES MÉDIOS, MÍNIMOS E MÁXIMOS DOS PARÂMETROS ANALISADOS NO EFLUENTE FINAL DAS ETES CAMBUÍ, COLOMBO SEDE E LAPA NO ANO DE 2005**

ETE Cambuí						
Valores	DBO (mg/L)	Sólidos Suspensos (mg/L)	Sólidos Sedimentáveis (ml/L/h)	Alcalinidade (mg/L)	pH	DQO (mg/L)
Médio	30,33	65,67	2,93	165,23	6,6	110,43
Mínimo	11	11	0,2	22,72	5,4	20
Máximo	70	180	16	307,7	7,3	207
ETE Colombo Sede						
Valores	DBO (mg/L)	Sólidos Susp. (mg/L)	Sólidos Sed. (ml/L/h)	Alcalinidade (mg/L)	pH	DQO (mg/L)
Médio	46,55	23,1	< 0,1	380,43	6,99	109,95
Mínimo	12	2	< 0,1	220,13	6,65	64
Máximo	75	131	< 0,1	555,03	7,3	204
ETE Lapa						
Valores	DBO (mg/L)	Óleos e Graxas	Sólidos Sedimentáveis	pH	DQO (mg/L)	
Média	72,75	11,57	1,01	6,66	188,58	
Mínimo	0	5,00	0,10	6,40	16	
Máximo	127	26,30	1,90	6,90	346	

Fonte: SANEPAR, USEG.

**TABELA 5 - VALORES MÉDIOS REFERENTES ÀS ANÁLISES DE COLIFORMES NO EFLUENTE DA ETE CAMBUÍ EM 2005**

	Coliformes totais	Coliformes fecais	Unidades
Afluente	132180	19458	UFC/100ml
Efluente	245	19	UFC/100ml
Remoção	99,81	99,90	%

Fonte: SANEPAR, USEG.

*a Resolução 357 do Conama não trata de valores específicos para reúso, e sim para água de irrigação*



**TABELA 6 - VALORES DE QUALIDADE DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO, RECOMENDADOS POR PAÍSES COMO EUA, KUWAIT, ARÁBIA SAUDITA, TUNÍSIA E BRASIL**

	CONAMA 357	USEPA	Kuwait	Arábia saudita	Tunisia *
Parâmetros	Classe 2	Irrigação restrita	Irrig. Restrita	Irrig. irrestrita	Máxima conc.
Coliformes (por 100 mL)	1000 CF	≤200 CF	< 10.000 CT	< 2.2 CT	-
PH	6-9	6-9	-	6-8,4	6,5-8,5
DBO (mg/L)	5	≤30	10	10	30
SS (mg/L)	-	≤30	10	10	30
DQO (mg/L)	-	-	40	-	90
OG (mg/L)	Ausente			Ausente	

Fonte: CONAMA 357/2005; USEPA, 1992.

\* Para irrigação de árvores frutíferas, forragem, vegetais cozidos.

CT: Coliforme Total CF: Coliforme Fecal.

existia o processo de desinfecção e os resultados gerados foram extremamente elevados. Neste estudo, realizado após a implantação do sistema de desinfecção com cloro, avaliando-se este parâmetro e comparando as tabelas 5 e 6, pode-se dizer que o efluente atenderia as normas estudadas, não se enquadrando apenas na regulamentação da Arábia Saudita por se tratar de irrigação irrestrita.

TRENTIN (2005) avaliou o efluente considerando a Resolução 20 (1986) do Conama e concluiu que o pH do efluente da ETE Cambuí estava fora do permitido para utilização na irrigação e a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) foi considerada inadequada, para todas as ETES. Comparando-se os valores destes parâmetros demonstrados na tabela 4, com as normas estudadas, apresentadas na tabela 6, é possível dizer que ambos continuam com o mesmo problema. Apesar do valor médio de pH encontrar-se dentro do recomendado, existe o valor mínimo que representa a possibilidade de ocorrência de valores fora do permitido, e as concentrações de DBO de todas as estações encontram-se acima dos valores recomendados.

Por outro lado, segundo HESPANHOL (2002), a matéria orgânica age como um condicionador do solo, aumentando a sua capacidade de reter água. Sendo assim é benéfico que a água contenha concentrações significativas de matéria orgânica, sendo permitido

manter a concentração de DBO em até no máximo 100 mg/L.

As concentrações de sólidos suspensos encontradas nos efluentes das ETES Cambuí e Colombo Sede também ultrapassam os valores citados na tabela 6, pois variam muito possuindo valores próximos de 10 mg/L até valores maiores do que 100 mg/L, provavelmente, devido à natureza heterogênea do efluente. Esta variação é muito influenciada pela oscilação de vazão do afluente, especialmente em dias de chuva.

Não foi encontrado em nenhuma das normas estudadas: Conama 357, Organização Mundial da Saúde (OMS, 1989) e Usepa (1992), (que considera as regulamentações do Kuwait, Arábia Saudita, Tunísia e EUA), um valor específico para sólidos sedimentáveis, no entanto a única estação que apresenta valores baixos é a ETE Colombo Sede, já as outras possuem grandes quantidades deste parâmetro de avaliação.

Segundo MANCUSO (2003), a presença de íons carbonato e bicarbonato (alcalinidade) podem precipitar o cálcio aumentando o efeito do sódio na solução do solo. Porém as normas estudadas não fazem referência ao valor máximo permitido de alcalinidade para que não ocorram problemas com a estrutura do solo. Pode-se dizer que os valores encontrados nas ETES Cambuí e Colombo Sede variam muito entre si e de uma estação para outra como visto na tabela 4.

*a matéria orgânica age como um condicionador do solo*



A concentração de óleos e graxas encontrada no efluente da ETE Lapa não se enquadra no recomendado pelas normas que fazem referência a este parâmetro. Também as concentrações de Demanda Química de Oxigênio (DQO), encontram-se fora do permitido, além disso, os valores de DQO variam muito, o que dificulta a avaliação do parâmetro.

### *Distância da ETE até a área agrícola e o potencial de irrigação*

Durante as visitas nas estações foram observadas nas imediações da ETE Cambuí pequenas áreas agrícolas onde são plantados: milho, feijão e batata. Na estação Colombo Sede existem plantações de hortifrutigranjeiros não muito próximas à estação. Já na ETE Lapa, são encontradas áreas agrícolas próximas a ETE onde são cultivados: soja, batata, milho e feijão.

Os dados fornecidos pela Suderhsa podem ser visualizados nas tabelas 7, 8 e 9 e apresentam a relação de locais nos municípios de Campo Largo, Colombo e Lapa respectivamente, com agricultores que possuem outorga para irrigação e os seguintes dados: bombeamento (h/dia), manancial, latitude e longitude do ponto de captação (decimal), e vazão (m<sup>3</sup>/hora).

As coordenadas UTM das estações são: Cambuí X: 646748 Y: 7180135; Colombo Sede X: 676802 Y: 7201504 e Lapa X: 628164 Y: 7151281. Com os dados acima foi possível calcular as distâncias entre as áreas agrícolas, cadastradas na Suderhsa e a ETE de cada região. Ordenou-se, então, estes valores em ordem crescente de distância e adicionou-se a vazão acumulada em cada ponto. Estes dados também constam nas tabelas 7, 8 e 9.

Segundo critério adotado por GIORDANI (2002), os estudos iniciais para um projeto de reúso são realizados em uma área circular de 5 km de raio ao redor de cada ETE, seguidos por averiguações até um raio de 10 km e, finalmente um raio de 15 km. Seguindo este raciocínio, adotou-se quatro níveis de viabilidade econômica para avaliar a distância entre a estação de tratamento e a área agrícola. A tabela 10 apresenta estes níveis.

Caso fosse considerada apenas a distância entre a área a ser irrigada e a estação de tratamento a ETE Colombo Sede seria a mais apropriada economicamente, já que esta possui várias áreas agricultáveis ao seu redor apresentadas na tabela 8, sendo algumas áreas cultivadas muito próximas umas das outras promovendo menor custo de transporte do efluente.

Levando-se em consideração a vazão do efluente gerado na ETE Colombo Sede, 14,4 m<sup>3</sup>/h, é possível verificar que o efluente não é capaz de irrigar todas as áreas cadastradas na Suderhsa, visualizadas na tabela 8, pois juntas apresentam uma vazão de 81,5 m<sup>3</sup>/h. Sendo assim, um critério para priorização pode ser o parâmetro adotado na tabela 10 e avalia-se, então, a possibilidade de condução e aplicação do efluente, já que esta região possui várias áreas com alto nível de viabilidade.

Na região da estação Lapa existem nove áreas de irrigação cadastradas na Suderhsa, apresentadas na tabela 9, porém cinco delas foram desconsideradas por estarem no nível 4 de viabilidade conforme metodologia definida. Tendo a ETE Lapa uma vazão de 108 m<sup>3</sup>/h, o efluente poderá ser usado para irrigação das quatro áreas agrícolas consideradas, já que a soma das vazões captadas pelos agricultores é de 62,95 m<sup>3</sup>/h, este valor leva em consideração as horas de bombeamento realizadas por dia.

Já a ETE Cambuí possui em sua região, apenas uma área agrícola cadastrada na Suderhsa, apresentada na tabela 7. Apesar da distância se enquadrar no nível 3 de grau de viabilidade, a vazão captada é muito baixa, o que inviabilizaria o transporte por se tratar de um pequeno volume. A ETE Cambuí possui pequenas áreas agrícolas ao seu redor que, provavelmente fazem irrigação de suas culturas, porém não são cadastradas. A vazão de efluente, 216 m<sup>3</sup>/h maior valor encontrado neste estudo, pode ser utilizada pelas áreas não cadastradas, caso haja interesse do agricultor e compatibilidade entre o efluente tratado e a cultura irrigada.

A ETE Lapa também pode fornecer efluente para as áreas não cadastradas, pois esta estação possui agricultores irrigantes em

**as normas estudadas não fazem referência ao valor máximo permitido de alcalinidade**



seus arredores e vazão disponível de efluente. Além disso, a disponibilidade de esgoto tratado para fertirrigação pode interessar os produto-

res rurais da região, que não irrigam suas culturas, para iniciar a prática, aumentando a produtividade, reduzindo custos com fertilizantes

**TABELA 7 - LOCALIZAÇÃO DO AGRICULTOR IRRIGANTE COM OUTORGA EM CAMPO LARGO E A RESPECTIVA DISTÂNCIA DESTE LOCAL ATÉ A ETE**

Local	Bomb. (h/dia)	Manancial	Latitude (Decimal)	Longitude (Decimal)	Vazão (m <sup>3</sup> /hora)	Distância (km)
1	24	Mina 1	-25,431813	-49,440173	0,5	11,00

Fonte: SUDERHSA.

**TABELA 8 - LOCALIZAÇÃO DE AGRICULTORES IRRIGANTES COM OUTORGA EM COLOMBO E A RESPECTIVA DISTÂNCIA DESTE LOCAL ATÉ A ETE**

Bomb. (h/dia)	Manancial	Latitude (Decimal)	Longitude (Decimal)	Vazão (m <sup>3</sup> /hora)	Distância (km)	Vazão acumulada (m <sup>3</sup> /hora)
24	Mina 1	-25,287231	-49,259408	8,0	1,25	8,0
24	Mina S	-25,290652	-49,213282	2,0	3,86	10,0
24	CSN	-25,276678	-49,200083	4,5	4,73	14,5
24	CSN	-25,276677	-49,199984	2,5	4,75	17,0
24	Mina S	-25,27838	-49,198966	2,0	4,81	19,0
24	Mina S	-25,276392	-49,198796	4,0	4,82	23,0
24	Mina 1	-25,272308	-49,197069	3,0	5,27	26,0
24	Rio Água Comprida	-25,257443	-49,207018	8,0	5,38	34,0
24	Mina 1	-25,25735	-49,206821	0,5	5,43	34,5
24	Rio Serrinha	-25,256126	-49,206392	5,0	5,52	39,5
24	CSN Ponto 3	-25,273854	-49,190593	3,5	5,67	43,0
24	CSN	-25,275568	-49,190468	6,5	5,68	49,5
24	CSN	-25,275568	-49,190468	4,5	5,68	54,0
24	Mina S	-25,267295	-49,193172	2,0	5,70	56,0
24	CSN	-25,267729	-49,191776	2,5	5,76	58,5
24	CSN Ponto 2	-25,271673	-49,189434	3,5	6,00	62,0
24	Mina S	-25,285775	-49,183564	1,0	6,08	63,0
24	CSN Ponto 1	-25,270742	-49,187164	3,5	6,17	66,5
24	CSN	-25,270201	-49,187172	5,5	7,35	72,0
24	Mina	-25,245872	-49,188734	5,0	7,52	77,0
24	CSN	-25,289616	-49,151235	0,5	9,27	77,5
24	CSN Ponto 3	-25,276722	-49,138126	0,5	10,73	78,0
24	Mina 1	-25,272641	-49,180086	1,0	10,77	79,0
24	CSN Ponto 1	-25,275639	-49,138142	1,5	10,78	80,5
24	Mina 2	-25,272827	-49,138523	1,0	10,82	81,5

Fonte: SUDERHSA, CSN: Córrego Sem Nome.

*quatro níveis de viabilidade econômica para avaliar a distância entre a estação de tratamento e a área agrícola*



**TABELA 9 - LOCALIZAÇÃO DE AGRICULTORES IRRIGANTES COM OUTORGA NA LAPA E A RESPECTIVA DISTÂNCIA DESTA LOCAL ATÉ A ETE**

Bomb. (h/dia)	Manancial	Latitude (Decimal)	Longitude (Decimal)	Vazão (m³/hora)	Distância (km)	Vazão acumulada (m³/hora)
15	Arroio da Restinga	-25,674242	-49,762422	80,0	9,00	80,0
12	Arroio Paulista	-25,708119	-49,81584	18,9	10,00	98,9
24	Mina S	-25,708119	-49,81584	2,0	10,00	100,9
24	Mina S	-25,712743	-49,59718	1,5	13,00	102,4
5	Mina S	-25,836649	-49,929142	40,0	22,00	142,4
15	Rio dos Correias (P 1)	-25,787707	-50,032817	70,0	31,00	212,4
15	Rio dos Correias (P 2)	-25,79768	-50,025455	70,0	31,00	282,4
5	CSN	-25,451627	-49,887163	12,6	37,00	295,0
5	CSN	-25,451627	-49,887163	15,6	37,00	310,6

**TABELA 10 - GRAU DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA APLICAÇÃO DO EFLUENTE EM UMA DETERMINADA ÁREA CONSIDERANDO A DISTÂNCIA DA ETE ATÉ O LOCAL DE IRRIGAÇÃO**

Nível	Distância	Grau de viabilidade econômica
1	Até 5 km	Alto
2	De 5 a 10 km	Médio
3	De 10 a 15 km	Baixo
4	Superior a 15 km	Inviável

**A ETE Lapa também pode fornecer efluente para as áreas não cadastradas**

e desenvolvendo novos usuários.

**Avaliação dos parâmetros teóricos segundo critérios legais**

Já que os dados disponíveis de qualidade do efluente tratado não são suficientes para a avaliação da possibilidade de reúso deste efluente na irrigação de culturas agrícolas, serão apresentadas a seguir as tabelas 11 e 12 com a composição normalmente encontrada em esgotos tratados por processos biológicos. Além disso, a tabela 12 apresenta as concentrações permitidas para alguns compostos, segundo regulamentações de países como EUA, Arábia Saudita e Tunísia. Os dados existentes nas tabelas são referentes apenas aos

parâmetros não analisados em nenhuma das estações estudadas.

Segundo CROOK (1993) as concentrações aceitáveis de nitrogênio situam-se abaixo de 5 mg/L, e acima de 30 mg/L podem causar graves problemas, pois concentrações de nitrogênio podem prejudicar a produção de frutas devido ao crescimento excessivo da vegetação além de reduzir a qualidade nutricional de culturas alimentícias e afetar o sabor e a textura de plantas comestíveis. No entanto as forragens usualmente se beneficiam com grandes quantidades de nitrogênio. Sendo assim, o efluente da tabela 11 apresenta limitações dependendo da cultura a ser irrigada. Porém, pode-se mudar a vazão aplicada, de forma a atender as necessidades de nitrogênio da cultura. Outra alternativa viável seria o aumento das áreas de fertirrigação, nos casos onde há maior concentração de nitrogênio no efluente.

A Razão de Adsorção de Sódio e a Percentagem de Sódio foram calculadas com os dados da tabela 11 através das equações 1 e 2 e obtiveram-se os valores de 4,74 de RAS e 56,57 de % de sódio. Comparando estes dados com a proposta de avaliação da qualidade da água para irrigação segundo CHRISTIANSEN e OLSEN (apud BERNARDO, 1986), que estabelece seis classes de qualidade sendo a classe um excelente e a seis péssima, este efluente se enquadra entre as classes um e dois para os parâmetros

**TABELA 11 - DADOS TEÓRICOS DE QUALIDADE DO EFLUENTE APÓS TRATAMENTO SECUNDÁRIO**

Nitrogênio Amoniacal	Nitrogênio Total Kjeldahl	Cálcio	Magnésio	Sódio
9,5	13,9	66,7	39,3	198

Fonte: METCALF & EDDY, 2003. Todas as unidades estão em mg/L.

**TABELA 12 - MÁXIMA CONCENTRAÇÃO PERMITIDA PARA COMPOSTOS PRESENTES NA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO NOS EUA, ARÁBIA SAUDITA E TUNÍSIA E A CONCENTRAÇÃO TEÓRICA DE ELEMENTOS EM EFLUENTES APÓS TRATAMENTO SECUNDÁRIO**

Parâmetros (mg/L)	Usepa <sup>1</sup>	Usepa <sup>2</sup>	Arábia Saudita	Tunisia *	Efluente
Arsênio	0,10	2,00	0,10	0,10	0,0025
Boro	0,75	2,00	0,50	3,00	0,42
Cádmio	0,01	0,05	0,01	0,01	0,0012
Cromo	0,10	1,00	0,10	0,10	0,002
Cloreto	-	-	280	2000	238
Cobre	0,20	5,00	0,40	0,50	0,043
Ferro	5,00	20,0	5,00	5,00	0,18
Chumbo	5,00	10,0	0,10	1,00	0,008
Manganês	0,20	10,0	0,20	0,50	0,039
Mercúrio	-	-	0,001	0,001	0,0001
Níquel	0,20	2,00	0,02	0,20	0,004
Nitrato	-	-	10,0	-	1,4
Selênio	0,02	0,02	0,02	0,05	0,002
Zinco	2,00	10,0	4,00	5,00	0,024

Fonte: USEPA, 1992. METCALF & EDDY, 2003.

<sup>1</sup> Uso por um longo período (superior a 20 anos).

<sup>2</sup> Uso por um curto período (inferior a 20 anos).

\* Para irrigação de árvores frutíferas, forragem, vegetais cozidos.

avaliados. Os outros parâmetros inclusos nesta proposta não foram avaliados por falta de dados para comparação.

Comparando-se os valores apresentados na tabela 12 pode-se dizer que estes parâmetros analisados no efluente estão dentro do permitido pelas normas citadas. Isto confirma o exposto por MANCUSO (2003) e BASTOS (2003) de que as concentrações de metais pesados, encontradas no efluente doméstico são baixas e, geralmente, não representam maiores problemas.

Os dados apresentados neste item são um indicativo da possibilidade do aproveitamento de efluentes, provenientes de processos secundá-

rios de tratamento de esgoto, para reúso agrícola, já que os parâmetros apresentados nas tabelas 11 e 12 atenderam aos requisitos avaliados. Entretanto, na prática existem vários outros fatores que influenciam na qualidade do efluente gerado que devem ser avaliados para um estudo mais completo.

Em seguida, será apresentada uma proposta de avaliação do potencial de reúso de esgoto tratado na irrigação de culturas agrícolas, pois apesar dos dados avaliados fornecerem importantes indicações de viabilidade da substituição da água de irrigação por efluentes, existem outros fatores de grande importância que devem ser avaliados para que a atividade

**concentrações de nitrogênio podem prejudicar a produção de frutas**



seja realizada com garantia e segurança.

## *Proposta de avaliação do potencial de reúso de esgoto tratado na agricultura*

Os caminhos básicos a serem seguidos quando se pretende fazer a irrigação de uma determinada área, utilizando efluentes de estações de tratamento, podem ser visualizados na figura 1. Alguns dos passos iniciais para se avaliar um sistema de tratamento tendo em vista o reúso de efluente na agricultura já foram discutidos neste trabalho e podem ser seguidos da seguinte maneira:

- Verificação da localização da estação de tratamento, se a mesma possui áreas agrícolas em sua região e qual a distância entre elas;
- Verificação do tratamento realizado, se existe processo de desinfecção;
- Avaliação da vazão de efluente gerada, se a mesma é capaz de atender a demanda de irrigação.

Além desses itens é de extrema importância avaliar a qualidade do efluente tratado, através de análises realizadas rotineiramente para comprovação da repetitividade e reprodutibilidade dos valores. Os parâmetros principais a serem analisados são: nitrogênio, condutividade elétrica, sódio, cálcio, magnésio, sólidos dissolvidos totais, metais pesados, como arsênio, cádmio, cromo, chumbo, mercúrio, prata entre outros, pH e coliformes totais e fécas.

Uma sugestão para avaliar a qualidade da água para irrigação é seguir a classificação proposta pelos técnicos do Laboratório de Sali-

nidade dos Estados Unidos, U.S. Salinity Laboratory Staff, baseada na condutividade elétrica (CE), como indicadora de perigo de salinização do solo, e na Razão de Adsorção de Sódio (SAR), como indicadora de perigo de alcalinização ou sodificação do solo, esta classificação é apresentada nos quadros 1 e 2 (BERNARDO, 1986).

Após as análises e a verificação de que a água não representa risco de sodificação e salinização deve-se avaliar se a mesma possui os parâmetros de qualidade dentro do exigido pelas normas vigentes do local de reúso.

Caso algum dos itens apresentados para avaliação do efluente encontre-se fora do ideal, deve-se avaliar a possibilidade de modificações no tratamento realizado pela estação ou implantação de processos adicionais, principalmente para remoção de patógenos. Deve-se fazer também a avaliação da região existente ao redor da estação com relação ao cultivo em função dos elementos limitantes e benéficos presentes no efluente.

Os parâmetros apresentados até este ponto podem ser utilizados como critérios de triagem. Uma vez atendidos estes parâmetros, pode-se partir para levantamentos mais detalhados como o levantamento topográfico, onde é apresentada uma descrição minuciosa da área que se pretende irrigar. A existência ou não deste levantamento terá influência direta nos custos operacionais de implantação do projeto.

Por tudo isso, não se deve iniciar a atividade de reúso sem a execução de todas as etapas necessárias, pois estas irão garantir a preservação do solo, das águas subterrâneas e da saúde pública. Assegurando-se esta garantia, é possível avaliar a viabilidade econômica do empreendimento.

**existem outros fatores que devem ser avaliados para que a atividade seja realizada com garantia e segurança**

**QUADRO 1 - RISCO DE SALINIZAÇÃO**

	Salinidade	Condutividade elétrica (CE)	Utilização
C1	Baixa	Entre 0 e 250	Na maioria das culturas e dos solos
C2	Média	Entre 250 e 750	Grau moderado de lixiviação
C3	Alta	Entre 750 e 2250	Plantas com boa tolerância aos sais
C4	Muito alta	Entre 2250 e 5000	Não apropriada sob condições normais

Fonte: BERNARDO, 1986. CE em micromhos/cm, a 25°C.

**QUADRO 2 - RISCO DE SODIFICAÇÃO**

	Concentração de sódio	Razão de Adsorção de Sódio	Utilização
S1	Baixa	$\leq 18,87 - 4,44 \log CE$	Em quase todos os solos
S2	Média	$18,87 - 4,44 \log CE < SAR \leq 31,31 - 6,66 \log CE$	Solos de textura grossa ou orgânicos c/ boa permeabilidade
S3	Alta	$31,31 - 6,66 \log CE < SAR \leq 43,75 - 8,87 \log CE$	Boa drenagem, alta lixiviação e adição de matéria orgânica
S4	Muito alta	$SAR > 43,75 - 8,87 \log CE$	Imprópria para irrigação

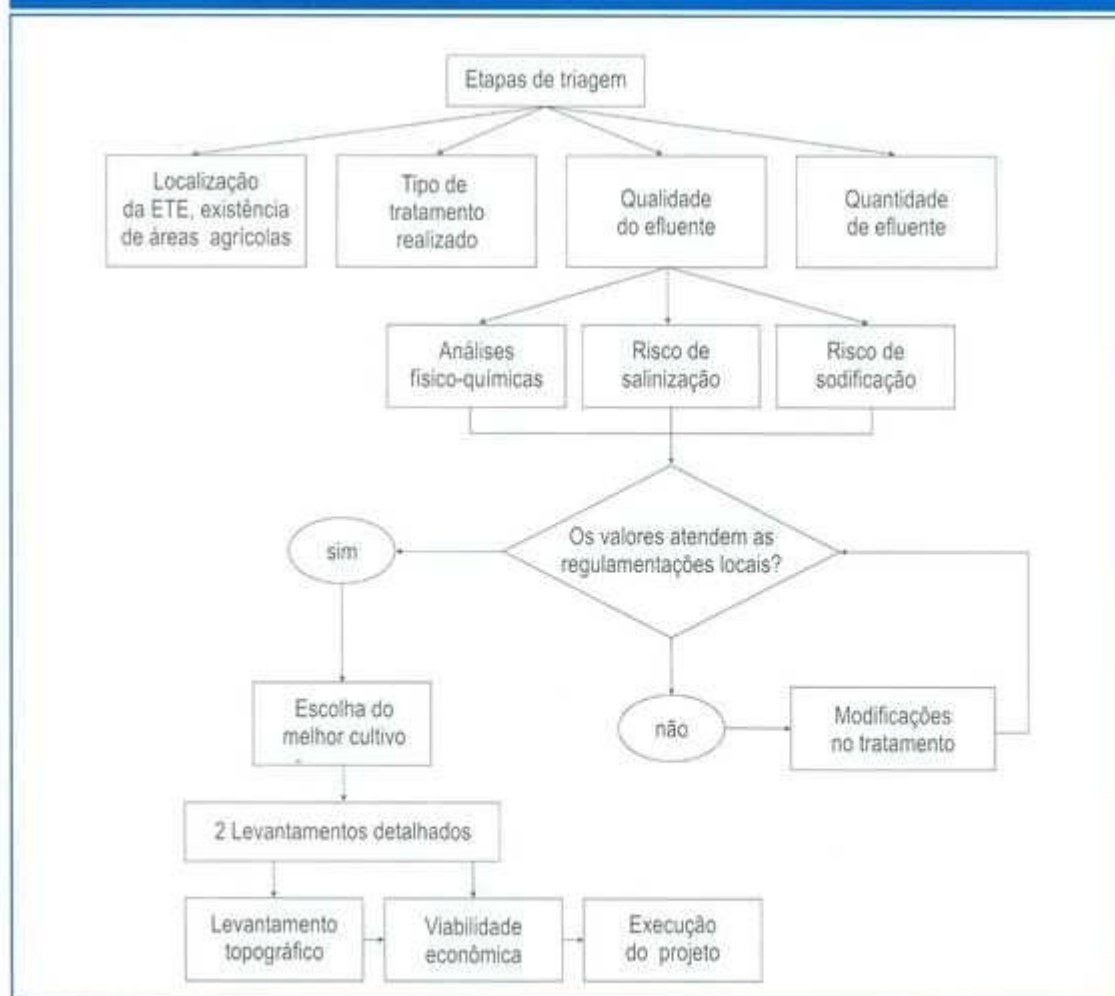
Fonte: BERNARDO, 1986. CE em micromhos/cm, a 25°C.

### Conclusões

Após o exposto, pode-se concluir que todas as estações de tratamento de efluentes avaliadas possuem áreas agrícolas próximas.

Com base no critério de viabilidade adotado neste estudo, a estação Colombo Sede apresenta maior viabilidade econômica tendo em vista o grande número de áreas agrícolas em seus arredores e as respectivas proximidades.

**FIGURA 1 - PROPOSTA DE AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE REÚSO DE ESGOTO TRATADO NA AGRICULTURA**



*não se deve iniciar a atividade de reúso sem a execução de todas as etapas*



o que facilita o transporte e possibilita menores gastos para a implantação de um projeto de reúso.

As três estações avaliadas possuem vazões suficientes para atender a demanda por água de irrigação na agricultura da região de interesse, os efluentes gerados são capazes de irrigar total ou parcialmente as áreas que possuem outorga e outras áreas não cadastradas na Suderhsa. Caso o agricultor tenha interesse em utilizar o efluente gerado, e este seja compatível com a cultura plantada, há ainda a possibilidade de utilização do efluente em áreas que não praticam irrigação, para que a produção não dependa da ocorrência de chuvas aumentando a produtividade e reduzindo custos com fertilizantes.

A estação que possui o tratamento mais adequado para uso do efluente em áreas agrícolas é a ETE Cambuí, devido à desinfecção com cloro após o tratamento biológico, promovendo a redução dos coliformes totais e fecais, que são indicadores microbiológicos de contaminação fecal, tendo em vista o risco à saúde pública. No entanto, é possível implantar sistemas de redução destes organismos nas outras estações de tratamento.

Na avaliação dos parâmetros indicadores da qualidade do efluente constatou-se que todas as estações de tratamento geram produtos fora dos padrões estabelecidos por resoluções de países como EUA, Arábia Saudita, Kuwait e Tunísia, específicas para reúso e também não atenderam a Resolução Conama 357 para água de irrigação. Já na avaliação dos valores obtidos na literatura, todos os parâmetros enquadraram-se nos itens recomendados pelas normas.

As normas utilizadas são extremamente rigorosas e tratam de valores específicos para o local, a cultura e o clima da região que pratica a atividade de reúso. Como no Brasil as normas ainda estão em estudo, deve-se adequar os valores recomendados para a realidade brasileira com relação às condições ambientais, técnicas e culturais.

A atividade de reúso de efluente tratado na irrigação de culturas agrícolas depende de diversos fatores e estes devem ser avaliados com

o devido cuidado. Para que a atividade do reúso não comprometa o desenvolvimento da cultura e a saúde da população, alguns fatores de extrema importância constam na proposta de avaliação do potencial de reúso de esgoto tratado para irrigação agrícola:

- Avaliação da distância entre a estação de tratamento e a área a ser irrigada;
- Verificação do tipo de tratamento realizado na ETE;
- Verificação da vazão gerada de efluente tratado;
- Avaliação da qualidade do efluente gerado;
- Avaliação do risco de salinização, através da condutividade elétrica do efluente;
- Avaliação do risco de sodificação, através da Razão de Adsorção de Sódio;
- Análise dos parâmetros de qualidade do efluente para identificar se os mesmos se enquadram nos valores recomendados pelas normas vigentes;
- Verificação da possibilidade de modificações no tratamento, caso necessário;
- Verificar qual o cultivo ideal para ser irrigado com o efluente em questão;
- Levantamento topográfico;
- Avaliação da viabilidade econômica do projeto.

## Agradecimentos

À Soraia Giordani, pelas críticas e sugestões a este projeto.

## Referências

BASTOS, Rafael Kopschitz Xavier (Coord.). **Utilização de esgotos tratados em**

**as três estações possuem vazões suficientes para atender a demanda de irrigação**





**fertirrigação, hidroponia e piscicultura.** Rio de Janeiro: RiMa; ABES; PROSAB, 2003.

BERNARDI, Cristina Costa. **Reúso de água para irrigação.** Brasília, 2003. Monografia (Especialização em Gestão Sustentável de Agricultura Irrigada) - Instituto Superior de Administração e Economia, Fundação Getúlio Vargas.

BERNARDO, Salassier. **Manual de irrigação.** 4. ed. Viçosa, MG: Imprensa Universitária, 1986.

CHERNICHARO, Carlos Augusto et al. Avaliação de um sistema de escoamento superficial de esgotos no solo aplicado ao pós-tratamento de efluentes de reatores UASB. In: CAMPOS, José Roberto (Coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo.** São Carlos: PROSAB, 2000. (Coletânea de trabalhos técnicos)

CROOK, James. Critérios de Qualidade da Água para Reúso. **Revista DAE,** São Paulo, v. 53, n. 174, p. 10-18, nov./dez. 1993.

ENVIRONMENTAL PROTECTIONS AGENCY. **Guidelines for water reuse. technology transfer manual.** Washington, D.C.: USEPA, 1992. EPA/625/R-92/004

FELIZATTO, Mauro Roberto. ETE Cagif: projeto integrado de tratamento avançado e reúso direto de águas residuárias. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABES, 2001. Disponível em: <[http://www.usp.br/cirra/arquivos/trabalho\\_felizatto.pdf](http://www.usp.br/cirra/arquivos/trabalho_felizatto.pdf)> Acesso em: 08 jan. 2006.

FOLEGATTI, Marcos Vinícius (Coord.). **Fertirrigação:** citrus, flores, hortaliças. Guaíba, RS.: Agropecuária, 1999.

GIORDANI, Soraia. **Averiguações das possibilidades de reúso de efluentes domésticos tratados nas bacias do Alto Iguaçu e Alto Ribeira.** Curitiba, 2002, 218 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) - Univer-

sidade Federal do Paraná.

HESPANHOL, Ivanildo. Potencial de Reúso de Água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos,** Porto Alegre, v. 7, n. 4, p. 75-95, 2002.

MANCUSO, Pedro Caetano Sanches; SANTOS, Hilton Felício dos. **Reúso de água.** Barueri, SP: Manole, 2003.

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: treatment and reuse.** 4 th edition, McGraw-Hill: New York, 2003.

MOTA, Suetano (Org.), et al. **Reúso de águas:** a experiência da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza: Imprensa Universitária da UFC, 2000.

MONTE, Margarida Marecos do. **Gestão de águas residuais tratadas para rega de campos de golfe.** Lisboa, PT.: Instituto Superior Técnico, 2001. Disponível em: <<http://meteo.ist.utl.pt/~jjdd/LEAMB/LEAmb%20TFC%20site%20v1/2000-2001/Monte%20sumario.pdf>> Acesso em: 12 fev. 2006.

SANTOS, Alex Paulus Ribeiro dos. **Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado, rico em sódio, em propriedade químicas e físicas de um argissolo vermelho distrófico cultivado com capim-tifton 85.** Piracicaba, 2004. 95 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

TRENTIN, Clodoveu Valdeni. **Diagnóstico voltado ao planejamento do uso das águas residuárias para irrigação, nos cinturões verdes da Região Metropolitana de Curitiba-PR.** Curitiba, 2005. 129 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal do Paraná.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Health guidelines for the use of wastewater**

**a ETE Cambuí, por conta da desinfecção com cloro, possui o tratamento mais adequado**



**in agriculture and aquaculture.** Geneva: WHO, 1989.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios básicos do tratamento de esgotos.** 2. ed. Belo Horizonte: FCO; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

*no Brasil, as normas para a atividade de reúso ainda estão sendo estudadas*



## **Autores**

**Jossy Karla Brasil,**  
tecnóloga em Química Ambiental, especialista em Sistemas de Gestão Ambiental (PUC).

**Cleverson Vitório Andreoli,**  
engenheiro agrônomo, doutor em Meio Ambiente e Desenvolvimento, gerente de Pesquisa da Sanepar, professor da UniFAE – Centro Universitário e da Pós-Graduação da PUC.

# Sistema de Gestão Ambiental. Estudo do potencial de aplicação em empresas do Estado do Paraná



Fabiana de Nadai Andreoli  
Rafael Küster de Oliveira

Environment management system. Study on  
the application potential in companies in  
Parana State

## Resumo

A finalidade do Sistema de Gestão Ambiental (SGA) é equilibrar os desempenhos ambiental e econômico da organização. O objetivo deste trabalho consiste em avaliar o potencial de aplicação do Sistema de Gestão Ambiental nas 1.000 maiores indústrias do Estado do Paraná. O trabalho foi desenvolvido a partir da pesquisa realizada junto às maiores indústrias paranaenses, com a aplicação de questionário e apoio de visitas técnicas. Obteve-se o retorno de 26,3 % dos questionários enviados. Das 205 indústrias que responderam sobre seus interesses em relação à certificação NBR ISO 14.001 (2004), aproximadamente 6% já a possuem, 10% estão em fase de implantação, 48% têm interesse nos próximos cinco anos, 6% não têm conhecimento, 20% têm interesse em obter mais informações e apenas 10% não têm interesse. Desta amostra, 65% consideram que o SGA ganhará importância no futuro, e 35% opinaram que este é importante para o mercado no momento, enquanto que nenhuma o considerou um modismo. Considerando o positivo interesse e visão das organizações paranaenses perante a certificação, aliado ao alto índice de resposta obtido por meio do retorno dos questionários, pode-se identificar um grande potencial de aplicação do SGA no Estado do Paraná.

**Palavras-chave:** ecoeficiência, gestão ambiental, ISO 14.001, Sistema de Gestão Ambiental

## Abstract

The purpose of the Environment Management System (EMS) is to balance the environmental and economic performances of the organization. The aim in this essay consists in assess the application potential of the EMS in the 1,000 bigger industries in Parana state. The study was developed from a research held in the 1,000 bigger industries from Parana, using a questionnaire and support from technical visits. Out of the 205 industries that answered about their interests related to certification NBR ISO 14.001 (2004), approximately 6% already have it, 10% are on the stage of implantation, 48% are interested in the next coming 5 years, 6% have no knowledge of it, 20% are interested in more information about and only 10% have no interest at all. From this sampling, 65% consider that the EMS will be important for the future and 35% believe it is important for the market now, while none of them considered it only as a fashionable trend. Considering the positive interest and the view of the organizations from Parana towards the certification, together with the high number of responses obtained by means of the returned questionnaire, it was possible to identify a good potential for application of the EMS in Parana state.

**Key words:** ecoefficiency, environmental management, ISSO 14.001, Environment Management System.

*das 205  
indústrias que  
responderam ao  
questionário,  
apenas 10%  
não tem  
interesse no  
SGA*



## Introdução

A finalidade da ecoeficiência é buscar equilibrar ganhos ambientais com econômicos. Segundo ALMEIDA (2003), para que uma empresa seja ecoeficiente, ela precisa conhecer o sistema natural em que opera, respeitando sua resiliência. Esta (resiliência) diz respeito à capacidade de um sistema de absorver as tensões criadas por perturbações externas sem que sua estrutura e função sejam alteradas. Um ecossistema resiliente é capaz de retornar às suas condições originais de equilíbrio dinâmico após sofrer estresses por alterações ambientais, como, por exemplo, devido à descarga de poluentes (MOUSINHO, 2003).

Ignorar a resiliência do sistema natural em que opera e no qual interfere é um risco mortal para a empresa. O uso excessivo do recurso natural rompe o equilíbrio entre os sistemas ambiental, social e econômico. A busca da ecoeficiência na produção abrange até a não-produção, produzindo tendências como a desmaterialização, na qual os fluxos de material são substituídos por fluxos de conhecimento. As tecnologias da informação, por exemplo, possibilitam a identificação das demandas do consumidor individual. Esse conhecimento, por sua vez, permite adequar produtos e serviços tendo em vista a redução do desperdício: menos rejeitos são gerados quando bens e serviços indesejados pelo consumidor são identificados. ALMEIDA (2003) descreve os sete princípios da ecoeficiência como:

- Redução dos gastos de materiais com bens e serviços;
- Redução do gasto de energia com bens e serviços;
- Redução da emissão de substâncias tóxicas;
- Intensificação da reciclagem de materiais;
- Maximização do uso sustentável de recursos renováveis;
- Prolongamento da durabilidade dos produtos;
- Agregação de valor aos bens e serviços.

As normas de gestão ambiental têm por objetivo prover as organizações de elementos para um adequado Sistema de Gestão Ambiental

(SGA), de modo que estes possam ser amplamente integrados a outros requisitos de gestão na perseguição da ecoeficiência dos processos produtivos.

De modo geral, o SGA preconizado pela norma ISO 14.001 (International Standard Organization) é estruturado com base no ciclo de melhoria contínua PDCA – sigla das iniciais em inglês dos verbos planejar, executar, verificar e agir corretivamente. Isto se traduz, por um lado, na necessidade da elaboração de objetivos e metas para melhorias; por outro, no planejamento e na realização de ações preventivas e corretivas, considerando as deficiências encontradas na operação do SGA no dia-a-dia (AGUIAR & PHILIPPI, 2005).

O ponto fundamental do SGA, baseado na NBR ISO 14.001, é a política ambiental, a qual consiste numa declaração da empresa acerca de suas diretrizes de gestão ambiental. Ressalta-se que a norma exige que a política inclua o compromisso com o cumprimento dos requisitos ambientais aplicáveis. Para que a empresa seja atestada de que implantou um SGA conforme os requisitos da NBR ISO 14.001 (2004), ela deverá evidenciar a sua conformidade com a certificação, por meio da auditoria por um Organismo Certificador Credenciado (OCC).

Deve-se salientar que a empresa é a única responsável pela adoção de um SGA e, por conseguinte, de uma política ambiental. Entretanto, depois de adotados, deve-se cumprir o estabelecido sob pena de cair num tremendo descrédito no que se refere a sua responsabilidade sobre questões ambientais (AMBIENTE BRASIL, 2006).

O planejamento da implantação de um SGA, como qualquer atividade de planejamento, exige alguns cuidados básicos para que as intenções possam ser transformadas em ações reais. As organizações devem formular um plano para cumprir sua política ambiental. Para iniciar o planejamento propriamente dito, a organização deve estabelecer e manter procedimentos que permitam avaliar, controlar e melhorar os aspectos ambientais da empresa, especialmente no que diz respeito ao cumprimento da legislação, normas, uso racional de matérias-primas e insumos e minimização de danos ambientais, dentre outros (AMBIENTE BRA-

**a busca da  
ecoeficiência  
na produção  
abrange até a  
não-produção**



SIL, 2006).

A ISO 14.001 constitui um importante instrumento para conservação ambiental. A implementação do Sistema de Gestão Ambiental de acordo com estas normas, pelas empresas, está vinculada a uma melhor relação entre os processos produtivos e o meio ambiente, obtendo-se: produtos e processos mais limpos; a conservação ambiental dos recursos naturais, destinação adequada dos resíduos industriais, o uso racional de energia, o controle da poluição ambiental. Tudo isso resultará em uma melhor qualidade de vida da população (MOTA, 1997).

Para a conquista e manutenção do certificado ISO 14001 são necessários investimentos consideráveis em equipamentos, mão-de-obra especializada, consultorias, dentre outros, que devem ser alvo de intenso controle financeiro com o objetivo de otimizar a utilização dos recursos empregados. (SANTOS et al, 2002)

Um aspecto ambiental é definido pela NBR ISO 14.001 (2004) como o elemento das atividades, produtos ou serviços de uma organização que pode interagir com o meio ambiente. O aspecto ambiental é dito significativo quando gera ou pode gerar um impacto ambiental significativo. Este impacto ambiental significativo é caracterizado como qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, como resultado de um aspecto ambiental significativo.

Segundo ALVES e PHILIPPI (2005), a norma não apresenta indicadores para a identificação e avaliação de impactos ambientais. Estes indicadores devem estar presentes predominantemente nas leis ambientais e em outros requisitos voluntariamente adotados pela organização, sendo que alguns são ainda elaborados pela mesma. Essa característica consiste num dos pontos básicos para que a norma seja aplicável de maneira universal, mas é também um dos pontos mais questionados e criticados:

A legislação não considera a resiliência do ambiente em que a organização está inserida. Este fato, juntamente com a existência de uma significativa carência de indicadores de ecoeficiência, gera muitas dúvidas sobre a representatividade do Levantamento dos Aspectos e Impactos Ambientais (LAIA) das organizações.

O desenvolvimento de adequados sistemas de indicadores de ecoeficiência também pode ser muito útil para base de comparação entre organizações e para orientação tendo em vista maximizar o custo-efetividade de investimentos ambientais.

Com o advento do fim da Guerra Fria e do início de um período de trégua entre o Ocidente e o Oriente, o meio ambiente adquiriu um grande destaque como enfoque de pressões internacionais – da parte de governos, de organizações não-governamentais, da mídia, de sindicatos e de associações científicas, entre outras entidades. Atualmente pressões econômicas fazem com que os potenciais impactos ambientais de projetos sejam ponderados para financiamentos internacionais, da mesma forma com que os passivos ambientais e os riscos ao ambiente sejam levados em conta no valor do prêmio de seguradoras (MAIMON, 1996, n. 1).

A incorporação da variável ambiental nas empresas brasileiras, em descompasso com os países ditos desenvolvidos, deu-se quando se consolidou uma legislação muito mais pertinente no início da década de 80 (MAIMON, 1996).

Apesar de as empresas se restringirem predominantemente ao controle da poluição, observa-se significativa evolução no desempenho ambiental de empresas brasileiras de maior projeção no cenário internacional e de algumas multinacionais, as quais são orientadas a implantar programas ambientais nas subsidiárias brasileiras em resposta às pressões de investidores e consumidores nos países de origem (MAIMON, 1996, n. 2).

Este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de aplicação do Sistema de Gestão Ambiental, em conformidade com as normas série ISO 14000 e identificar as razões que definem o interesse e a resistência a este instrumento, em levantamento junto as 1.000 maiores empresas do Estado do Paraná

#### Material e Método

O trabalho foi desenvolvido a partir do levantamento de informações realizadas junto às 1.000 maiores indústrias paranaenses, com a

**para a  
conquista e  
manutenção do  
certificado ISO  
14001 são  
necessários  
investimentos  
consideráveis**



aplicação de questionário fechado e apoio de visitas técnicas,

O questionário foi formulado a partir de estudo da aplicação, princípios e elementos de um sistema de gestão ambiental realizando perguntas significativas para o desenvolvimento do estudo. De acordo FIEP (2001), SENAI (1997 e 1998) e MAROUN (2002), o questionário foi montado com as seguintes características: impresso em uma folha frente e verso, incluindo o ofício; perguntas objetivas com alternativas para respostas; a distribuição das perguntas foi breve e prática de ser preenchido; a apresentação do questionário teve aspecto visual agradável e não tinha identificação da empresa participante.

No CD do cadastro da FIEP (2001) através do software Access obteve-se os endereços das 1.000 maiores indústrias do Paraná para o envio do questionário. Em planilha Excel, as empresas foram classificadas em função do número de funcionários, estratificando as empresas em três tipos: 10 a 100 funcionários (pequeno porte), 101 a 500 funcionários (médio porte) e acima de 500 foram consideradas de grande porte.

O envio do questionário foi via correio incluindo na correspondência o envelope da PUCPR etiquetado para retorno sem identifica-

ção da empresa. As empresas poderiam responder o questionário via e-mail, ou via correio.

## Resultados e discussão

### O retorno do questionário

O retorno obtido dos questionários enviados foi satisfatório, superando a expectativa prevista no projeto. Segundo MAROUN (2002), os índices usualmente alcançados giram em torno de 2 a 3%; embora, em pesquisa realizada por este autor, atingiu-se 8,21%. Em sua pesquisa, foram encaminhados questionários para 4,1 mil indústrias (fluminenses) e foram feitas entrevistas (visitas realizadas em 25 indústrias no Estado do Rio de Janeiro). Como representado na figura 1, dos 1.000 questionários enviados, foram respondidos 236, totalizando 23,6% de retorno. O grande número de dados possibilita a geração de informações representativas da situação das empresas do Estado do Paraná frente ao SGA.

A tabela 1 apresenta o número de questionários recebidos relacionados com o porte das 228 empresas que responderam a este item. Observa-se que as empresas de pequeno porte (10 a 100 funcionários) se mostraram mais interes-

*o retorno obtido dos questionários enviados foi satisfatório*

**FIGURA 1- LEVANTAMENTO DO RETORNO DOS QUESTIONÁRIOS ENVIADOS**



**TABELA 1 - RELAÇÃO ENTRE O PORTE DAS EMPRESAS E O RETORNO DOS QUESTIONÁRIOS**

N.º Funcionários	Questionários Enviados	Questionários Recebidos	Retorno
10 a 100	93	61	65,6%
101 a 500	448	126	28,1%
Acima de 500	459	41	8,9%

sadas em expor sua visão com relação ao SGA, apresentando 65,6 % de retorno. Em segundo lugar estão as empresas médias (101 a 500 funcionários), com 28,1 %, seguidas as de grande porte (acima de 500 funcionários), as quais representam 8,9 %, como observado na tabela 1.

### Interesse geral das empresas pelo SGA

Conforme demonstrado na figura 2, das 205 indústrias que responderam sobre seus interesses em relação à certificação ISO 14.001, aproximadamente 6% já a possui, 10% estão em fase de implantação, 48% têm interesse nos próximos cinco anos, 6% não têm conhecimento, 20% têm interesse em obter mais informações e apenas 10% não têm interesse.

A figura 3 representa a tendência do potencial de aplicação do SGA. Estipulando-se

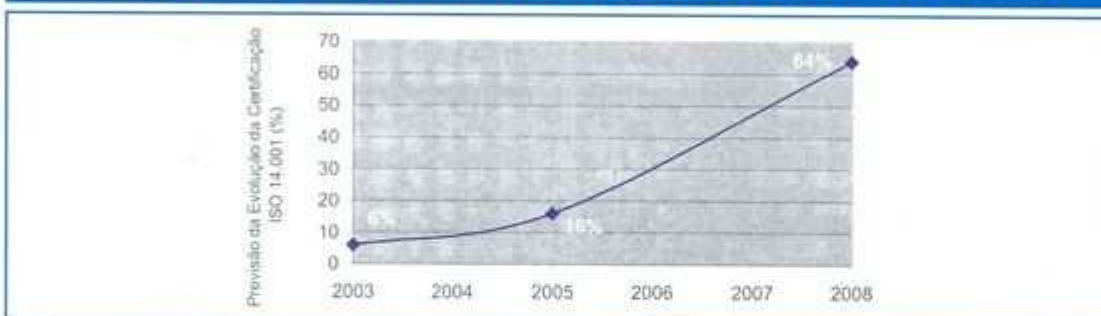
três anos como o período para que uma empresa em fase de implantação obtenha a certificação ISO14001, pode-se estimar que 16% das indústrias estarão certificadas no ano de 2006. Em 2008 esta porcentagem poderá atingir 64%, considerando juntamente as empresas que apontaram interesse pela certificação dentro de cinco anos.

Desta mesma amostra, 65% consideram que o SGA ganhe importância no futuro, 35% opinaram que ele seja importante para o mercado no momento e nenhuma o considerou um modismo (figura 4). Estas porcentagens demonstram o grau de conscientização do empresariado paranaense de que a necessidade da conciliação dos interesses econômicos e ambientais da organização através do SGA é uma realidade inexorável.

**FIGURA 2 - POSIÇÃO DAS EMPRESAS FRENTE AO SGA**

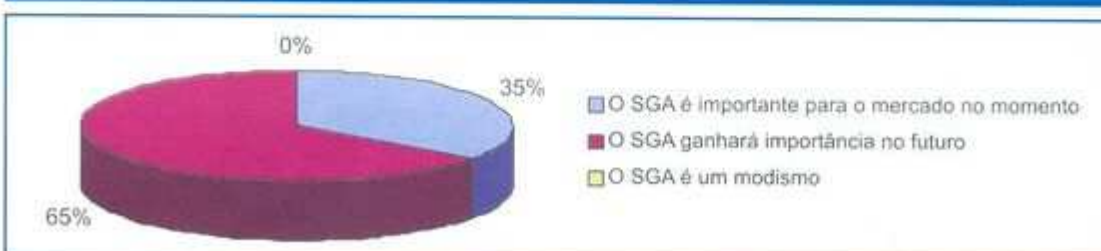


**FIGURA 3 - TENDÊNCIA DO POTENCIAL DE APLICAÇÃO DO SGA NO ESTADO DO PARANÁ**



*estima-se que, em 2008, 64% das indústrias estarão certificadas*

**FIGURA 4 - VISÃO DAS EMPRESAS SOBRE O SGA**



### Capital Acionário Majoritário

As empresas pesquisadas foram classificadas como nacionais ou internacionais em função da predominância de seus acionistas. De acordo com a tabela 2, as empresas com interesse pela certificação nos próximos cinco anos possuem 88% de capital acionário majoritário nacional; e as empresas em fase de implantação, 76%. A classe das empresas certificadas destaca-se ao apresentar 54% de capital acionário majoritário internacional, sendo a única a obter maior porcentagem de acionistas estrangeiros.

### Mercado

As empresas pesquisadas foram classificadas em função de seus mercados dentre as seguintes opções: Mercado Interno, Mercosul, Americano, Europeu (CCE) e Outros. Primeiramente, foram enquadradas em dois grupos considerando os mercados nacional e internacional. As classes das empresas com interesse nos próximos cinco anos, em fase de implantação e certificadas apresentam maior projeção no mercado internacional. Verifica-se que as empresas certificadas e em processo de implantação são as únicas nas quais predomina o mer-

cado externo (tabela 3). As figuras 5, 6 e 7 mostram as porcentagens dos mercados atendidos por estas três classes de indústrias.

A globalização das questões ambientais atinge mais diretamente as empresas inseridas no mercado internacional: empresas transnacionais e empresas exportadoras para os países ditos desenvolvidos. As empresas transnacionais vêm adequando seu desempenho ambiental por pressões de acionistas e de consumidores dos países de origem, cujos padrões e normas legais são muitas vezes mais rigorosos que os aplicados no Brasil. As empresas exportadoras enfrentam um novo protecionismo que surge no mercado internacional: a discriminação de produtos e serviços por barreiras ambientais; seja em relação à observância de padrões técnicos exigidos, seja por adesão voluntária às normas estabelecidas no âmbito nacional das certificações ambientais (MAIMON, 1996, n. 1).

Compradores, principalmente importadores, estão exigindo mais e mais a certificação ambiental, tal como a NBR ISO 14.001 (2004). Tais exigências são voltadas para a concessão do "Selo Verde", mediante a rotulagem ambiental. Acordos internacionais, tratados de

**TABELA 2 - RELAÇÃO ENTRE OS CAPITAIS ACIONÁRIOS MAJORITÁRIOS E INTERESSE DAS EMPRESAS PELO SGA**

INTERESSE DAS INDÚSTRIAS	RETORNO DOS QUEST.	CAPITAIS ACIONÁRIOS MAJORITÁRIOS	
		NAC.	INTERN.
Tem interesse nos próximos 5 anos	10%	NAC.	88%
		INTERN.	12%
Em fase de implantação	48%	NAC.	76%
		INTERN.	24%
Possui a certificação	6%	NAC.	46%
		INTERN.	54%
Não tem conhecimento	6%	NAC.	100%
		INTERN.	0%
Não tem interesse	10%	NAC.	86%
		INTERN.	14%
Tem interesse em obter mais informações	20%	NAC.	95%
		INTERN.	5%

NAC. = Nacional e INTERN. = Internacional

das empresas certificadas, 54% são de capital acionário majoritário internacional





comércio e mesmo tarifas alfandegárias inserem questões ambientais na pauta de negociações, resultando em exigências não tarifárias que geralmente afetam os países exportadores (AMBIENTE BRASIL, 2006).

O Mercosul mostra sua forte influência ao exigir a ecoeficiência das indústrias paranaenses, sendo o mercado internacional predominante das três classes industriais em questão, seguido da CCE.

Na preparação para implantação do Mercosul, tentou-se minimizar os conflitos econômicos e políticos através da harmonização das normas internas dos países, inclusive as

ambientais. A disparidade entre a legislação brasileira – mais exigente – e a dos demais países membros resultou na adoção da regra do destino, isto é, a exportação é permitida desde que respeitadas as exigências legais do país de destino, o que favoreceu o Brasil (MAIMON, 1996, n. 1).

#### Setores de Atividades

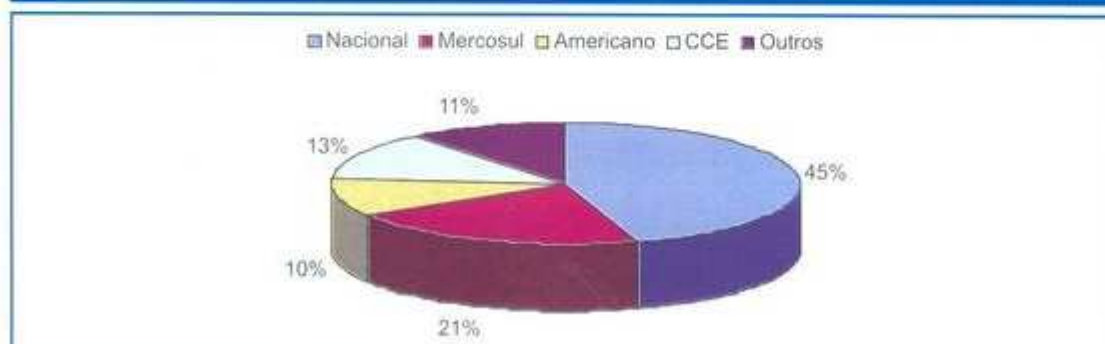
O potencial de aplicação do SGA no Estado do Paraná pode ser refletido pelos setores de atividades pertencentes às classes das industriais certificadas, em fase de implantação ou interessadas nos próximos cinco anos. Com base neste preceito, o setor de Eletroeletrônico, Eletrome-

**TABELA 3 - RELAÇÃO DO MERCADO E INTERESSE DAS INDÚSTRIAS PELA CERTIFICAÇÃO**

INTERESSE DAS INDÚSTRIAS	RETORNO DOS QUEST.	CAPITAIS ACIONÁRIOS MAJORITÁRIOS	
		NAC.	INTERN.
Tem interesse nos próximos 5 anos	10%	NAC.	55%
		INTERN.	45%
Em fase de implantação	48%	NAC.	41%
		INTERN.	59%
Possui a certificação	6%	NAC.	23%
		INTERN.	77%
Não tem conhecimento	6%	NAC.	69%
		INTERN.	31%
Não tem interesse	10%	NAC.	53%
		INTERN.	47%
Tem interesse em obter mais informações	20%	NAC.	58%
		INTERN.	42%

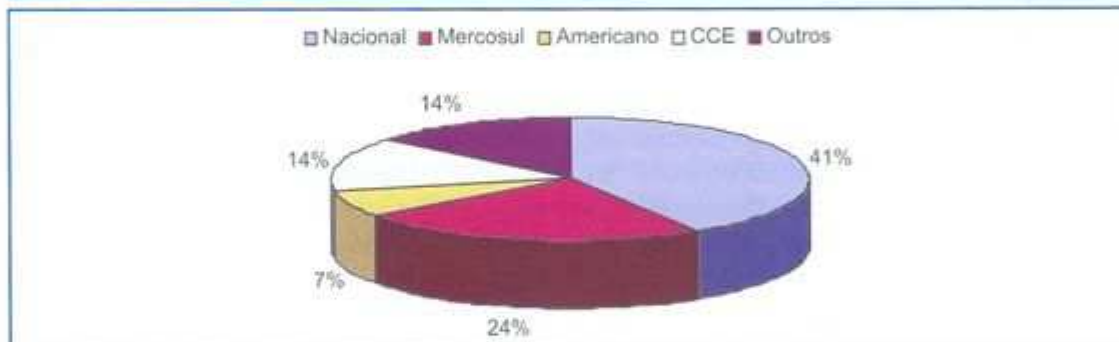
NAC. = Nacional e INTERN. = Internacional

**FIGURA 5 - PORCENTAGEM DOS MERCADOS DAS EMPRESAS COM INTERESSE PELA CERTIFICAÇÃO NOS PRÓXIMOS CINCO ANOS**

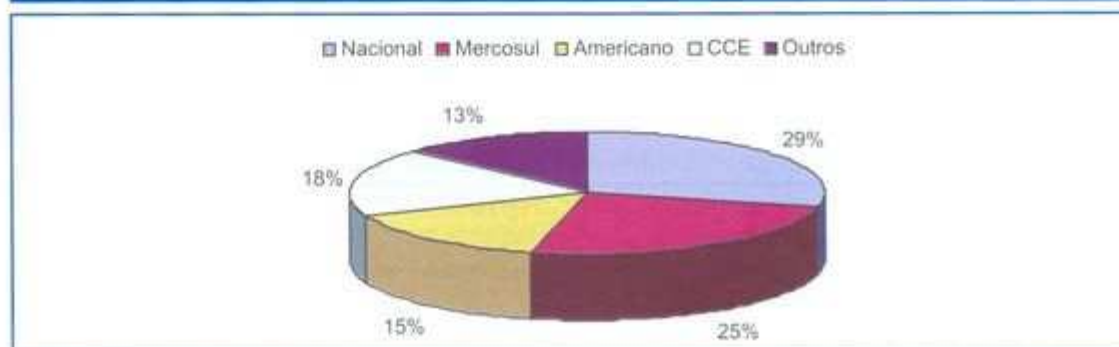


*o Mercosul mostra sua forte influência ao exigir a ecoeficiência das industriais paranaenses*

**FIGURA 6 - PORCENTAGEM DOS MERCADOS DAS EMPRESAS QUE ESTÃO EM FASE DE IMPLANTAÇÃO**



**FIGURA 7 - PORCENTAGEM DOS MERCADOS DAS EMPRESAS CERTIFICADAS**



cânico e Eletrônico é o principal representante deste potencial, com 100% de suas indústrias enquadradas neste critério; em segundo o de automotivo (80%); e em terceiro o de Metal

Mecânica e Mecânica (75%), conforme mostrado na tabela 4.

Os setores de atividades com menos participação neste grupo especial de indústrias foi o

*o setor de Eletroeletrônico, Eletromecânico e Eletrônico apresenta maior potencial para certificação*

**TABELA 4- RELAÇÃO DAS EMPRESAS REPRESENTANTES DO POTENCIAL DE APLICAÇÃO DO SGA E OS SETORES DE ATIVIDADES**

SETORES INDUSTRIAIS	TOTAL
Alimentos/Bebidas	72%
Automotivo	80%
Eletroeletrônico/Eletromecânico/Eletrônico	100%
Higiene/Limpeza/Cosméticos	0%
Metal Mecânica/Mecânica	75%
Metalurgia/Siderurgia	45%
Mineração	33%
Papel/Celuloso/Agroflorestal/Florestal/Madeira/Reflorestamento/Moveleiro	69%
Plásticos/Borrachas	57%
Química/Petroquímica/Farmacêutica	67%
Têxtil/Calçados	42%
Outros setores	52%

de Higiene, Limpeza e Cosméticos (0%) e o de Mineração (33%). Outros dados do trabalho mostram que 67% das indústrias do setor de Mineração não têm interesse na certificação, sendo também o setor industrial menos interessado em se informar sobre a mesma. Em contrapartida, as indústrias integrantes do setor de Higiene, Limpeza e Cosméticos (67%) foram as mais interessadas em obter estas informações, seguidas do setor de Química, Petroquímica e Farmácia (33%).

Destaca-se que o setor de Minerais Não-Metálicos foi um dos que apresentou maior incidência de empresas que enfrentaram problemas em obter o licenciamento ambiental em 2005, enquanto que o setor Farmacêutico foi identificado como o que apresentou o menor número de empresas com esta dificuldade (CNI, 2006).

#### ***Dificuldades no controle da poluição e na implantação do SGA***

Foram avaliados os principais motivos e dificuldades no controle da poluição e implantação do SGA para estas empresas. Dentre as alternativas das dificuldades no controle da poluição, o custo de equipamentos e tecnologias

foi apontado por 64% das indústrias; em segundo o custo dos projetos, por 52%; em terceiro ficou o custo operacional de manutenção, por 37%; em quarto a dificuldade ao acesso às informações, por 26%; em quinto a disponibilidade de pessoal capacitado em projeto, por 19%; em seguida a cultura da empresa, por 17% e por último a disponibilidade de pessoal capacitado em operação, por 13%, conforme mostrado na tabela 5.

Na tabela 6 pode-se avaliar os resultados encontrados no trabalho com relação às dificuldades na implantação do SGA, o receio de que o SGA gere muitas atividades foi apontado para 62% das indústrias; o custo de implantação ficou representado por 56%; o desconhecimento das vantagens do SGA, por 36%; a falta de cursos que preparam pessoas para atuarem no SGA, por 23%; a falta de consultores capacitados, por 17% e a falta de livros e revistas com informações adequadas sobre o SGA, por 11%.

Avaliando apenas as empresas certificadas que responderam ao questionário, a falta de consultores capacitados não se caracteriza como dificuldade, sendo o custo de implantação, com 33%, foi avaliado como a sua maior dificuldade.

**TABELA 5 - DIFICULDADES NO CONTROLE DA POLUIÇÃO**

DIFICULDADE	TOTAL
Custos de equipamentos e tecnologias	64%
Custo dos projetos	52%
Custo de operação e manutenção	37%
Acesso às informações	26%
Disponibilidade de pessoal capacitado em projeto	19%
Cultura da empresa	17%
Disponibilidade de pessoal capacitado em operação	13%

**TABELA 6 - DIFICULDADES NA IMPLANTAÇÃO DO SGA**

DIFICULDADE	TOTAL
Receio de que o SGA gere muitas atividades	62%
Custo de implantação	56%
Desconhecimento das vantagens do SGA	36%
Falta de consultores capacitados	17%
Falta de livros e revistas com informações adequadas sobre o SGA	11%

**67% das indústrias do setor de Mineração não têm interesse na certificação**



A busca pela conformidade com a legislação ambiental é apresentada como o principal motivo tanto no controle da poluição quanto na implantação do SGA (tabelas 7 e 8).

De acordo com ALVES e PHILIPP (2005), o cumprimento da legislação é um compromisso assumido através da política ambiental da organização de acordo com a ISO 14001. O SGA deve ser elaborado visando garantir o cumprimento da política ambiental, de forma que a sua constatação pelo auditor torna obrigatória a verificação da conformidade legal. O não-cumprimento de um requisito legal implica numa não-conformidade com a política ambiental da organização, sendo impeditivo para a certificação de acordo com os critérios do INMETRO (Instituto Brasileiro de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial), salvo os casos em que haja planos de ação acordados com os órgãos públicos competentes, como, por exemplo, um Termo de Ajustamento de Conduta. A norma também estabelece que a organização deve estabelecer e manter procedimentos para identificar e ter acesso à legislação considerando os aspectos ambientais de suas atividades, produtos e serviços. Finalmente, a norma estabelece que a organização deve estabelecer e manter um pro-

cedimento para a avaliação periódica do atendimento à legislação.

### Conclusões

O potencial de aplicação do SGA no Estado do Paraná pode ser refletido por 68% das empresas paranaenses, as quais se enquadraram nesta pesquisa como certificadas, em fase de implantação ou interessadas nos próximos cinco anos. A enorme projeção de empresas certificadas até 2008 caracteriza uma forte demanda por profissionais especializados na área ambiental e por tecnologias, principalmente nacionais, adequadas à situação das empresas paranaenses.

O capital acionário, o mercado e o setor de atividade foram confirmados como importantes agentes indutores à certificação. Verificou-se que as empresas representantes do potencial de aplicação do SGA atingiram maior porcentagem referente ao capital acionário majoritário internacional e à exportação em comparação às demais empresas. O setor de Eletroeletrônico, Eletromecânico e Eletrônico é o maior representante deste potencial, pois está sendo esti-

**o SGA deve ser elaborado visando garantir o cumprimento da política ambiental**

**TABELA 7 - MOTIVOS DA IMPLANTAÇÃO DO SGA**

MOTIVO	NOTA	ENQUADRAMENTO
Conformidade com a legislação	4,2	Forte a muito forte
Economia de matéria-prima	4,1	Forte a muito forte
Orientação no retorno de investimentos ambientais	3,7	Regular a forte
Relação com vizinhos e sociedade	3,6	Regular a forte
Exigência do mercado ou marketing ambiental	3,6	Regular a forte

**TABELA 8 - MOTIVOS NO CONTROLE DA POLUIÇÃO**

MOTIVO	NOTA	ENQUADRAMENTO
Conformidade com a legislação	4,2	Forte a muito forte
Política interna da empresa	4,0	Forte
Pressão de ONGs	3,5	Regular a forte
Exigência do mercado ou marketing ambiental	3,5	Regular a forte
Exigência do IAP/Ibama	2,6	Fraco a regular
Pressão da vizinhança	2,3	Fraco a regular

mado que todas as suas indústrias estarão certificadas até 2008. O setor de Mineração, em contrapartida, estará com apenas 33% de suas indústrias certificadas até aquele ano, sendo também apresentado como o grupo industrial menos interessado em obter informações sobre o SGA. Verifica-se que, por um lado, a legislação é o motivo mais bem avaliado tendo em vista a implantação do SGA; por outro, a dificuldade em cumpri-la representa um dos maiores obstáculos frente à certificação, fato este observado no setor de Mineração, o qual, além de desinteressado pela norma, é apontado na literatura como um dos setores que têm apresentado maiores problemas na relação com os órgãos ambientais.

A economia de matéria-prima e a orientação no retorno dos investimentos ambientais também foram classificadas como motivos muito favoráveis ao SGA, denotando que as empresas paranaenses realmente acreditam que ele seja um efetivo instrumento na busca da ecoeficiência empresarial. Destaca-se que o sucesso da implantação do SGA depende da representatividade do Levantamento dos Aspectos e Impactos Ambientais, cujos parâmetros não são contemplados pela norma, caracterizando uma forte demanda por indicadores de ecoeficiência, os quais possam ser amplamente adotados considerando as peculiaridades da organização e do meio no qual esta opera e interfere.

Considerando o positivo interesse e visão das organizações paranaenses perante a certificação, aliado ao alto índice de retorno dos questionários, onde predominou a participação de empresas de pequeno porte, pode-se identificar um grande potencial de aplicação do SGA no Estado do Paraná.

## Referências

AGUIAR, A & PHILIPPI, A. *Auditoria Ambiental*. In: Curso Interdisciplinar de Direito Ambiental. 1 ed. São Paulo. Ed. Manole Ltda, 2005. 953p.

ALMEIDA, F. *O mundo dos negócios e o*

*meio ambiente no século 21*. In: Meio Ambiente no Século 21. 1 ed. Rio de Janeiro. Ed. Sextante, 2003. 367p.

ALVES, A.; PHILIPPI, A. *Apresentação*. In: Curso Interdisciplinar de Direito Ambiental. 1 ed. São Paulo. Ed. Manole Ltda, 2005. 953p.

AMBIENTE BRASIL. *Gestão Ambiental*, Revista Eletrônica Ambiente Brasil. Disponível em: <http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./gestao/index.html&conteudo=./gestao/sistema.html>. Acesso em 02 de junho de 2006.

NBR ISO14001, *Sistemas de Gestão Ambiental, Diretrizes para uso e Especificações*. Rio de Janeiro: ABNT; 2004.

CNI. Sondagem Especial sobre o meio ambiente, 2006. Revista Eletrônica CNI. Disponível em: <http://www.cni.org.br/f-ps-sondind.htm>. Acesso em 22 de abril de 2006.

FIEP, Sistema Federação das Indústrias do Estado do Paraná. **Cadastro das Indústrias do Estado do Paraná**, 2001, CD.

MAIMON, D. et al. *Globalização Impõe a Gestão Ambiental*. Gazeta Mercantil, n. 1, p. 4, Março 1996.

MAIMON, D. et al. *Exportadoras e Multinacionais Lideram Mudanças*. Gazeta Mercantil, n. 2, p. 4, Março 1996.

MAROUN, C; OLIVEIRA, J. *A Gestão Ambiental nas Indústrias do Estado do Rio de Janeiro*. Revista Meio Ambiente Industrial, v. 7, n. 39, p. 28-34, Sept./Oct. 2002.

MOTA, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 1ª Edição. Rio de Janeiro: ABES, 1997. 292p.

MOUSINHO, P. *Glossário*. In: Meio Ambiente no Século 21. 1 ed. Rio de Janeiro. Ed. Sextante, 2003. 367p;

SANTOS, A.O.; SILVA, F.B.; SOUZA, S.

**68% das empresas do Paraná são certificadas, ou estão implantando o SGA ou pretendem fazê-lo em cinco anos**



**Contabilidade Ambiental- um estudo sobre sua aplicabilidade em empresas brasileiras.**

In: Revista Meio Ambiente Industrial, ano 6º, edição 35 nº: 71-75 janeiro/fevereiro de 2002.

SENAI, Serviço Nacional de Aprendizagem nas Indústrias. **Levantamento das Agroindústrias Paranaenses nos Setores de Laticínios, matadouros/Abatedouros e Óleos vegetais em Relação ao Meio Ambiente**, 1997.

SENAI, Serviço Nacional de Aprendizagem nas Indústrias. **Situação das Indústrias Paranaenses em Relação ao Meio Ambiente**, 1998.

*as empresas  
paranaenses  
realmente  
acreditam que  
SGA seja um  
efetivo  
instrumento na  
busca da  
ecoefficiência  
empresarial*

## **Autores**

**Fabiana de Nadi Andreoli**,  
engenheira civil, mestre em Engenharia Ambiental, professora adjunta da PUCPR do Departamento de Engenharia Ambiental e coordenadora das pós-graduações: MBA em Sistema de Gestão Ambiental e Minimização, Reúso e Controle da Poluição Ambiental.

**Rafael Küster de Oliveira**,  
engenheiro ambiental.

### Normas editoriais

1 - São aceitos artigos técnicos ou opinativos, inéditos ou não, desde que obedçam às normas para apresentação de documentos científicos. Os artigos serão submetidos à apreciação do Conselho Editorial que pode aprovar ou não a publicação.

2 - A Sanepar reserva-se o direito de fazer correções ortográficas, sem alterar o conteúdo original, bem como adotar padronizações estabelecidas pela Gramática e Editoria da **Sanare - Revista Técnica da Sanepar**.

3 - Os artigos são publicados em língua portuguesa, e seus respectivos resumos, em inglês.

4 - Os artigos publicados na **Sanare - Revista Técnica da Sanepar** podem ser reproduzidos total ou parcialmente, desde que citada a fonte.

5 - O conteúdo do material publicado é de responsabilidade exclusiva do (s) autor (es), podendo não representar as políticas da Sanepar. O (s) autor (es) se responsabilizam pela veracidade das fontes e informações que subsidiaram seus trabalhos.

### Normas para apresentação dos artigos

A **Sanare - Revista Técnica da Sanepar** é publicada de acordo com os padrões editoriais recomendados pela UFPR e ABNT. São publicados artigos em dois formatos: Opinião e Técnicos. Os autores devem obedecer aos seguintes critérios: **Opinião:** os textos opinativos devem ter entre 3 mil e 6 mil caracteres. Estes artigos são textos corridos, sem tabela, fotografia ou figura.

**Técnicos:** devem ter no mínimo 10 mil caracteres e no máximo 25 mil caracteres.

**Formato e Apresentação:** os artigos devem ser digitados em Word for Windows, e enviados por e-mail. Devem ser escritos em português utilizando a fonte Arial 12, em espaçamento simples. O currículo do (s) autor (es) deve ter no máximo 3 linhas com a primeira letra em maiúscula e as demais, referentes a cargos, funções e títulos em minúsculas.

**Título do artigo:** em no máximo 3 linhas. Não colocar o título em caixa de texto.

**Nome do autor ou autores:** devem ser escritos na ordem direta. Exemplo: Pedro Antônio Almeida Filho. Se houver mais de um autor, o nome do coordenador pode figurar em primeiro lugar. Os demais devem ser escritos em ordem alfabética.

**Resumo:** Máximo de 200 palavras, em português, apresentado em um único parágrafo.

**Palavras-chave:** até cinco palavras, representativas dos assuntos tratados no artigo, apresentadas em ordem alfabética, separadas por vírgula.

**Tradução do resumo:** o abstract é providenciado pela Sanepar.

**Agradecimentos:** se houver, apresentar no final do artigo.

**Introdução, Materiais e métodos, Discussão, Resulta-**

**dos e todas as demais sessões:** escrever em negrito, com alinhamento à esquerda e, somente com a letra inicial em maiúscula. Em subtítulo se aparecerem nomes próprios, usar apenas a primeira letra em maiúscula. Não utilize itálico em títulos e subtítulos.

**Siglas:** escrever com letras maiúsculas as siglas com até três letras, como IAP, FAO, OMS PND, ETA, ETE (no plural ETAs; ETEs, ONGs). Esta recomendação vale para todos os casos, ou seja: quando mencionadas no texto, em citações e referências. As siglas, com quatro letras ou mais que não formem palavra, como BNDES, devem ser grafadas com todas as letras em maiúsculas e, quando formam palavras possíveis de serem lidas, como Unesco, devem ser grafadas apenas com a primeira letra em maiúscula.

**Citações:** menção aos documentos consultados para compor o artigo. Podem aparecer de duas formas, dependendo do contexto. Ex: iniciando frase: Segundo LEE (1997), ou após a idéia do (s) autor (es): (LEE, 1997). Para até dois autores citar o nome de ambos, da seguinte forma ANDREOLI e FERNANDES (2001) ou (ANDREOLI; FERNANDES, 2001). Para as citações com três autores, ou mais, deve ser utilizada a expressão et al. No corpo do texto, segundo FERREIRA et al. (2001) ou no final do parágrafo (FERREIRA et al., 2001).

**Tabela, quadros, figuras:** A tabela é utilizada para apresentar dados numéricos. O quadro contém texto e a figura é a ilustração que complementa visualmente um texto, como desenhos, diagrama, estampa, esquemas, fluxogramas, fotografias, gráficos, material cartográfico, plantas e outras. Sempre que forem apresentados dados numéricos, as unidades deverão estar claramente expressas. As tabelas, os quadros e figuras devem ser auto-explicativos. Devem ter legenda, que facilite a compreensão das informações apresentadas. No corpo do artigo, as palavras tabela, quadro ou figura devem ser grafadas em minúsculas e seguidas do seu número de ordem. No título escreve-se com todas as letras em maiúsculas, exemplo TABELA 1 - Observe que depois do número e antes do título há um hífen. O título deve ser escrito na parte superior com todas as letras em maiúsculas. O conteúdo das tabelas e quadros deve ser delimitado geográfica e cronologicamente. (ex.: TABELA 1 - PRODUÇÃO DE LODO DE ESGOTO NA ETE - BELÉM - CURITIBA, 1995 - 2000). Se houver fonte, deve figurar abaixo da tabela, quadro ou figura transcrita em Arial 11. Exemplo FONTE: SANARE, 1999.

**Fotografias:** Identificadas no texto como figura, devem ser em formato digital, com resolução mínima de 300DPIs, extensão JPG ou TIFF. A legenda da fotografia obedece aos padrões acima descritos.

**Referências:** Seguir o que preconiza a NBR-6023 da ABNT, de agosto de 2000, inclusive para textos extraídos da Internet. Exemplos: BRUCKMAN, A. Approaches to managing deviant behavior in virtual communities. Disponível em: <ftp.media.mit.edu/pub/asb/papers/chiance-chi94> Acesso em: 04 dez. 1994.

**Informações:** (0xx41) 3330-3153.

**Remessa:** Os artigos devem ser enviados para o e-mail sanare@sanepar.com.br aos cuidados de Ary Haro/APD/ **Sanare - Revista Técnica da Sanepar**, Companhia de Saneamento do Paraná, Rua Engenheiros Rebouças, 1376, Bairro Rebouças, CEP 80215-900, Curitiba/PR.



Centro de Reservação Campo de Santana - Região Metropolitana de Curitiba,