

# PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTE DE REATOR UASB POR FILTRAÇÃO EM PEDRISCO

Vieira, S. M. M. e Pomarolli, J. M. A

CETESB- Cia de Tecnologia de Saneamento Ambiental  
Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345 - CEP 05489-900, São Paulo, SP

## Resumo

O tratamento de esgotos domésticos através de Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manto de Lodo (reator UASB) necessita pós-tratamento. Sistemas de filtração em meio granular como o pedrisco, vem sendo utilizados para pré filtração de águas brutas que serão submetidas a filtração para fins de abastecimento. É um sistema de construção e operação simples, necessita pouca área e os custos de instalação e operação são relativamente baixos. Ensaio efetuados em escala piloto mostraram que a filtração em meio granular é uma alternativa para remoção suplementar de partículas em suspensão de efluentes de reatores UASB. Operando com taxa de 160 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, o filtro com granulometria de 15,9 mm; 12,7 mm; 5,7 mm e 2,4 mm, apresentou boa eficiência na remoção de SST de cerca de 78% e remoção de matéria orgânica particulada medida em DQO em torno de 40%. O desempenho do sistema mostrou ser influenciado pelas condições de operação, regime contínuo ou semi contínuo, com descarga de fundo ou não, volume e frequência das descargas. Estas condições deverão ser adequadas às necessidades de cada comunidade a ser atendida.

Reator UASB, biodigestor, pós-tratamento, esgotos, tratamento, filtração, filtração em pedrisco.  
Introdução

O Brasil como muitos países em desenvolvimento, necessita dispor de tecnologia simples e econômica para o tratamento de esgotos domésticos urbanos. O Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manto de Lodo - Reator UASB incorpora estas qualidades.

Seu grande interesse reside na economia de

energia e na minimização do lodo produzido na forma estável.

Entretanto, o efluente obtido por este tratamento não está adequado à legislação do Estado de São Paulo referente ao padrão de emissão para de efluente tratado em corpos d'água. Por tal padrão, o efluente precisa apresentar DBO de, no máximo, 60 mg/L, ou ter passado por processo de tratamento com eficiência de remoção de DBO de 80%.

Para um esgoto doméstico urbano típico de São, cuja DBO varia entre 100 e 250 mg/L, o reator UASB consegue efluente com DBO variando entre 40 e 80 mg/L e uma eficiência de remoção de aproximadamente 70%. Com estes resultados é necessário um pós-tratamento para atender aos padrões de emissão no caso de lançamento em corpo d'água.

Como a DBO do efluente do reator UASB se deve em grande parte à elevada quantidade de sólidos suspensos de origem orgânica, a idéia proposta para o presente estudo foi remover esses sólidos suspensos do efluente. A remoção de material particulado promove a melhoria da qualidade do efluente em termos estéticos, e remove matéria orgânica medida em SST, DBO e DQO.

Baseando-se nos resultados experimentais e práticos de pré-tratamento de águas brutas para o abastecimento público (Di Bernardo, 1986) utilizou-se neste trabalho, para o pós-tratamento de efluente de biodigestor um filtro de pedrisco de fluxo ascendente.

A filtração é um dos processos mais utilizados para tratamento de águas. Seu emprego para o

tratamento complementar de efluentes de tratamento de águas residuárias é uma prática mais recente. (Metcalf and Edy, 1991)

O desempenho desse sistema estudado em escala piloto são aqui apresentados.

### Filtração em meio granular

A filtração através de leito de pedrisco é um processo de remoção de partículas em suspensão de uma fase líquida, obtida através da passagem do fluido pelo meio granular.

A filtração depende, entre outros fatores, do tamanho do material particulado ( Letterman, 1987):

a) Se o particulado é maior que o interstício:

a retenção do particulado se dá por peneiramento ou coagem;

o aumento de deposição ou retenção do particulado diminui o interstício, diminuindo o tamanho do particulado retido;

a eficiência da remoção do particulado não depende da interação entre as superfícies particulado/grãos do leito, portanto não importa a natureza do leito, importa a natureza dos grãos.

b) Se o particulado é menor que o interstício, a retenção pode se dar por:

**Interceptação:** devido ao seu tamanho, o particulado contacta a superfície, envolvendo forças de ligação superficiais;

**Sedimentação:** a velocidade de deposição da partícula é maior que a velocidade do fluido no interstício.

Se as partículas são grandes, com baixa densidade, a interceptação e sedimentação tem igual importância, mas se o particulado tem densidade maior, a sedimentação prevalece como mecanismo de remoção.

c) Se o particulado é menor que 1 mm:

a retenção dessas partículas submicrométricas se dá por adesão partícula-grão, dependendo da interação entre as superfícies do movimento do particulado à superfície do grão, o qual é devido à difusão browniana.

A eficiência com que o filtro consegue reter o material particulado depende das características construtivas do filtro, do material particulado a ser removido e das condições de operação. Assim tem-se que (Letterman, 1987; di Bernardo et al., 1986): quanto maior a densidade, maior a retenção, se o mecanismo preponderante é a sedimentação.

quanto maior a espessura do leito, maior a remoção.

quanto maior o tamanho dos poros (interstícios, cujo tamanho é proporcional ao tamanho dos grãos do leito), menor a remoção.

Usualmente a filtração é uma operação descontínua. Conforme as partículas retidas no leito filtrante se acumulam, a energia necessária envolvida no fluxo do fluido cresce, até que se atinge o limite disponível para o sistema filtrante. É quando se deve efetuar a operação de limpeza e iniciar nova operação. (Simone, 1990). Assim, o aumento da perda de carga ao longo da operação do filtro é a principal variável determinante do tempo que uma carreira pode ter.

A rapidez com que varia a perda de carga depende da rapidez com que é retido o material particulado, o que significa que depende da concentração do material particulado no afluente, da taxa de filtração, do tamanho dos interstícios e da espessura do leito [Letterman, 1987; di Bernardo et al., 1986].

Os filtros são utilizados habitualmente no sistema de tratamento de água bruta. Vários meios granulares filtrantes podem ser utilizados como: areia, antracito, pedrisco. O filtro pode conter uma ou mais variedades de granulometrias. Podem ser horizontais ou verticais e estes últimos, de fluxo ascendente ou descendente. Entre as vantagens que a filtração ascendente oferece em comparação com a filtração lenta por gravidade pode-se citar (Simone, 1990):

- redução nas dimensões físicas dos filtros;

- redução da quantidade de produtos químicos (necessários no tratamento de água bruta);

- filtração no sentido ascendente da granulometria, aproveitamento toda a altura do meio filtrante para a remoção de impurezas, além de aumentar o leito disponível, aumentando a capacidade de armazenamento de sujeira.

- redução da taxa de elevação da perda de carga durante a carreira, pois parte dos sólidos fica retida na parte de maior granulometria do leito, onde existe menor influência na perda de carga.

A taxa de aplicação pode ser constante ou declinante conforme aumenta a perda de carga.(Metcalf and Edy, 1991)

No tratamento de água bruta para abastecimento público verificou-se na prática ser interessante, a determinados intervalos de tempo, fazer interrupção na alimentação do filtro e promover uma lavagem em contra-fluxo (em filtro de fluxo ascendente) [Simone, 1990; di Bernardo et al.,1986). Consegue-se assim aumentar o tempo de carreira e melhorar a operação de lavagem do filtro ao final da carreira, por torná-la mais rápida e utilizar menos água limpa na lavagem. Esta lavagem em contra-fluxo consiste numa descarga, pelo fundo, do líquido retido, sendo vantajosa para remover o particulado retido na parte inferior do filtro. Para melhorar ainda mais a remoção de particulado por essa descarga, injeta-se inicialmente ar comprimido na base do filtro por aproximadamente 2 minutos.

Na lavagem do filtro, após cada carreira, adota-se injetar ar comprimido no início dessa operação e, posteriormente, ar e água no sentido ascendente. A utilização de filtro ascendente (no tratamento de água bruta), para obtenção de água para abastecimento público começou a ser utilizada no Brasil em 1971, em Colatina no Espírito Santo (Simone, 1990). Utilizou-se um filtro de 16m<sup>2</sup> de área, que foi operado a uma taxa de 160m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d. O leito tinha 2 camadas, uma superior, com 2m de espessura de areia de 0,5 a 2,4mm e, uma inferior (suporte) com 60cm de espessura de pedregulho de 2,4 a 2,5mm. Como o filtro apresentou bom desempenho, inclusive em relação à simplicidade de operação e baixo custo das instalações, foi feita uma recomendação para que a técnica da filtração ascendente fosse adotada no país.

Uma instalação seguinte, em Ponta Grossa, beneficiava 170.000 habitantes, com custo de implantação 2,5 menor que o de uma Estação de Tratamento de Água convencional, mostrando que este sistema pode ser usado para comunidades grandes (Simone, 1990).

Na Universidade de São Paulo, em São Carlos, o Prof. Luiz di Bernardo vem efetuando estudos de pré filtração de água bruta em pedrisco (5). Foram efetuados contactos verbais com o Prof. que colaborou com informações e orientação a cerca do trabalho.

### **Materiais e métodos**

Um filtro de pedrisco anteriormente desenvolvido para o pré-tratamento de águas brutas e recomendado por Di Bernardo (1986, 1993) foi inicialmente testado na CETESB para se determinar a taxa de filtração e as granulometrias do leito filtrante com melhor desempenho para a remoção de sólidos suspensos do efluente do reator UASB. O filtro de área transversal cilíndrica de 0,05 m<sup>2</sup> continha na base 8 cm de pedras de diâmetro médio de 30 mm servindo como suporte para a camada filtrante com espessura de 62 cm. As granulometrias testadas foram de 15 e de 5 mm de diâmetro médio. A segunda montagem de dois filtros em série foi realizada levando em consideração a orientação de di Bernardo.(1995) Como se pretendia testar um filtro que contivesse leitos com granulometrias diferentes e o material disponível para construção dos filtros fosse de apenas 70 cm de altura, passou-se a utilizar dois filtros em série com duas granulometrias diferentes em cada um dos leitos de 35 cm de espessura (Figura 1). O arranjo continha leitos com as seguintes granulometrias: !5,9 mm; 12,7 mm; 5,7 mm e 2,4 mm.

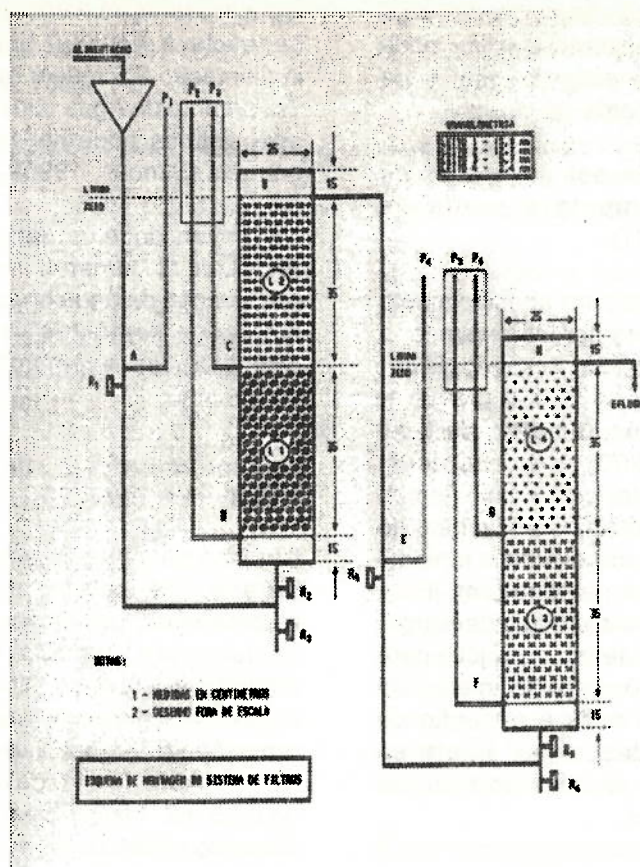


Figura 1 . Filtros cilíndricos em série utilizados no tratamento de efluente de reator UASB

### Operação

Em todos os ensaios o filtro foi alimentado com efluente do reator UASB de 120 m<sup>3</sup> instalado na CETESB e em operação desde 1987 (Vieira 1988). O filtro foi alimentado a taxa constante por uma bomba de diafragma. Para garantir a opção pela taxa constante, utilizou-se um arranjo das tubulações de alimentação, tal como representado na Figura 1. O tubo elevado da alimentação permitia que o líquido afluente, bombeado à vazão constante fosse se acumulando, aumentando a coluna de líquido, conforme o aumento da perda de carga no filtro.

Ao longo da operação foram feitas leituras de perda de carga nos piezômetros instalados ao longo do filtro e coletadas amostras para análises das variáveis monitorizadas (Turbidez, DQO e SST). Entre cada carreira, o filtro foi lavado com água limpa e ar comprimido injetados pela base do filtro, sempre no sentido do escoamento normal da

operação de filtração. Inicialmente injetava-se ar comprimido (aproximadamente um minuto) e depois ar e água simultaneamente por 3 minutos. Numa primeira etapa, foram realizados ensaios com três taxas de aplicação. Para cada taxa foram realizados três ensaios, cada um com a duração de oito (8) horas diárias, sem descarga de fundo. Eram coletadas três amostras por dia para avaliação das eficiências de remoção.

A seguir, utilizando-se a taxa definida como ótima na primeira etapa, os ensaios foram programados para indicar qual regime de operação produzia efluente de melhor qualidade. Foram efetuados três ensaios contínuos, sendo um sem descarga de fundo e os outros dois com descarga de fundo (5 ou 7 litros de cada filtro). Durante a descarga de fundo a alimentação era interrompida. Foi também experimentado um regime semi-contínuo com descarga de fundo de 5 litros, alimentando-se o filtro durante 8 horas do dia (interrupções de 16 horas).

## Resultados e discussão

Nos ensaios preliminares realizados com a primeira configuração de filtro com apenas uma granulometria de pedrisco além da camada suporte, os resultados mostraram um aumento na eficiência de remoção de turbidez e de SST, para taxas acima de 50 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia. As granulometrias testadas foram de 15 e de 5 mm de diâmetro médio. Baseado nesses resultados que apontaram para a possibilidade de operação do filtro, mesmo com taxas superiores a 50 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, realizaram-se ensaios com dois filtros em série.

Nos ensaios com filtros em série confirmou-se os dados promissores de eficiência de remoção de turbidez, SST e DQO, mesmo com taxas superiores a 50 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia.

A primeira série de ensaios teve a finalidade de avaliar as eficiências de remoção das taxas de remoção sugeridas a serem utilizadas pelos ensaios preliminares. Os resultados destes ensaios são mostrados na tabela abaixo

**Tabela 1. Resultados obtidos no pós-tratamento de efluente de reator UASB com filtro de pedrisco de granulometria de 15,9 mm; 12,7 mm; 5,7 mm e 2,4 mm.**

Taxa aplic. M <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia	DQO total			SST			TURBIDEZ		
	afi. mg/l	efi. mg/l	% rem.	afi. mg/l	efi. mg/l	% rem.	afi. NTU	efi. NTU	% rem.
50	89	64	28	26	12	54	32	23	28
100	94	59	37	24	13	46	35	22	37
160	128	69	46	68	24	65	41	24	41

Com base nesses resultados, escolheu-se operar o sistema com a taxa de aplicação de 160 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, pois apresentou as maiores remoções e qualidade do efluente final semelhante a das outras taxas. Além disso taxas maiores apresentam vantagens com relação ao tamanho dos filtros e velocidade de tratamento.

Na segunda etapa foram estudadas as formas de operação do sistema.

Primeiro verificou-se quanto tempo o sistema poderia operar continuamente, sem descarga de fundo. Para isso adotou-se como critério de término do ensaio, a máxima leitura possível da perda de carga medida pelos piezômetros (aproximadamente 450 mm de coluna d'água). Após 32 horas de operação contínua a operação foi encerrada. O acompanhamento do comportamento analítico da alimentação e efluente são mostrados nas Figura 2. O sistema de filtros apresentou remoção média de 71% de SST, 56% de remoção de turbidez e 37% de remoção de DQO.

Em seguida estudou-se a influência da descarga de fundo dos filtros sobre as remoções de sólidos, turbidez e carga orgânica, tanto em relação ao volume descartado, quanto a sua frequência. Para um volume de 5 litros retirado a cada 8 horas (alimentação semi-contínua) obteve-se uma remoção média de 79% de sólidos, 54% de remoção de turbidez e 42% de remoção de carga orgânica, com um tempo de operação equivalente a 120 horas.

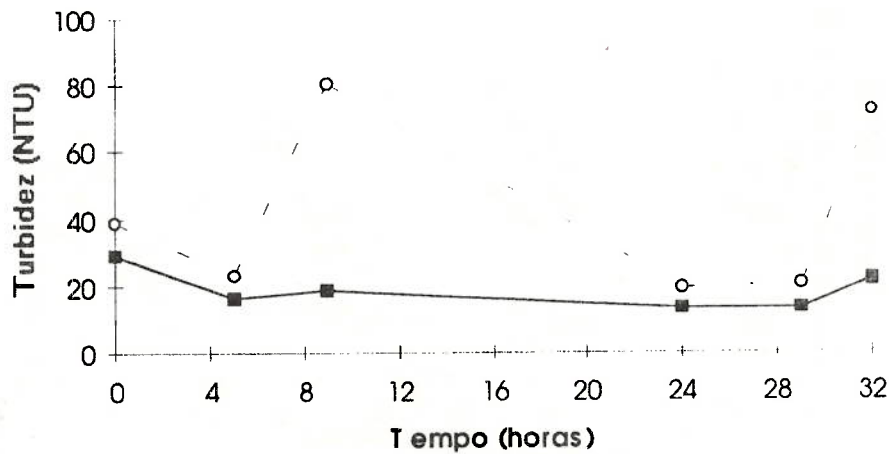
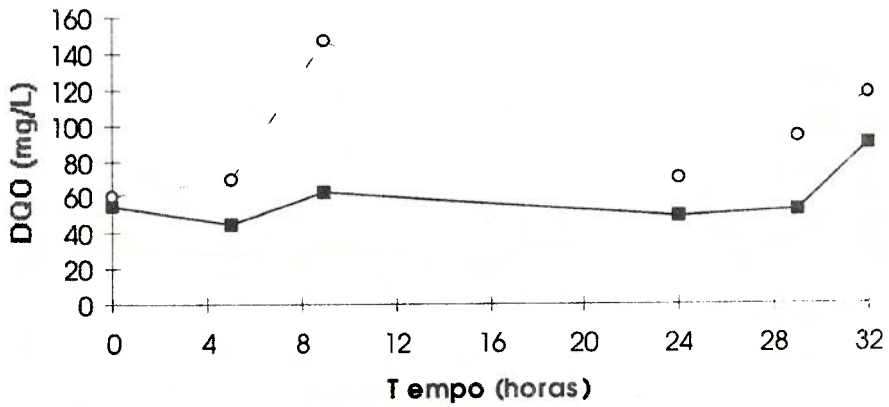
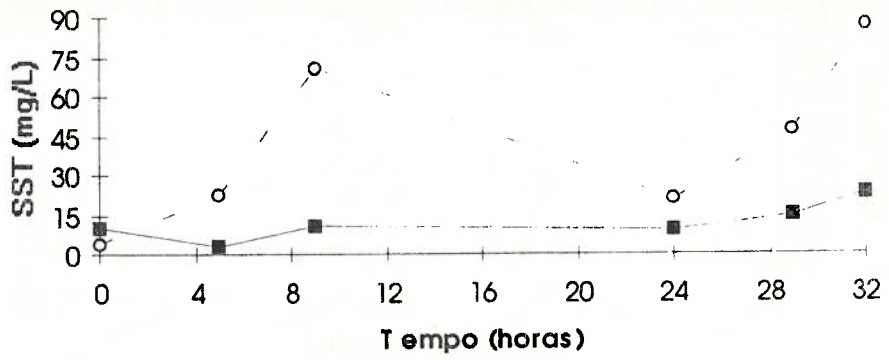
Quando se removeu do sistema 5 litros do fundo dos filtros alimentados de forma contínua a cada 24 horas, os resultados observados apresentaram sensível piora: remoção média de 38% de sólidos, 34% de remoção de turbidez e 13% de remoção de carga orgânica, sendo que o tempo de operação foi de 100 horas.

Procurou-se então operar o sistema com uma descarga de fundo maior, com o objetivo de promover um aumento no tempo de carreira do sistema. O máximo volume possível de ser descartado, sem que o meio filtrante ficasse

exposto ao ar foi de 7 litros. Com este volume de descarga de fundo a cada 24 horas o sistema forneceu novamente bons resultados. Observou-se que a remoção média de sólidos foi de 78%, a remoção de turbidez foi de 27% e a remoção de carga orgânica foi de 40%, com tempo de duração de 76 horas. (Figuras 3). Neste ensaio a alimentação foi interrompida por 3 dias, devido à falta de alimentação tendo então sido operado de

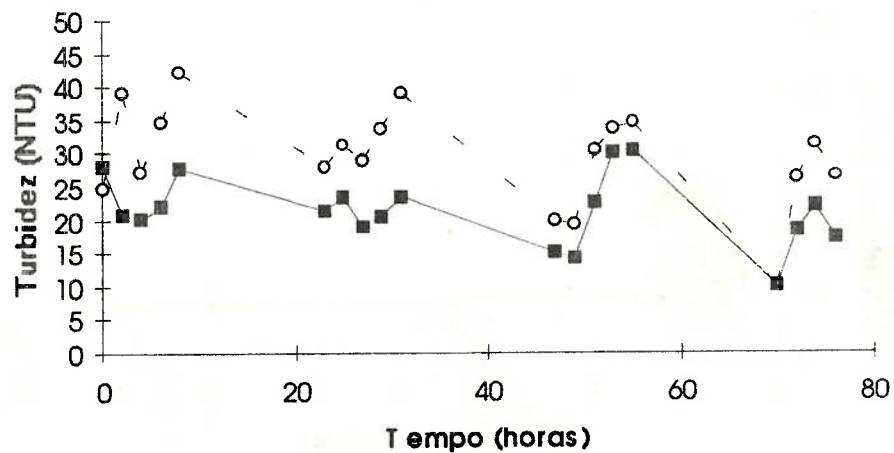
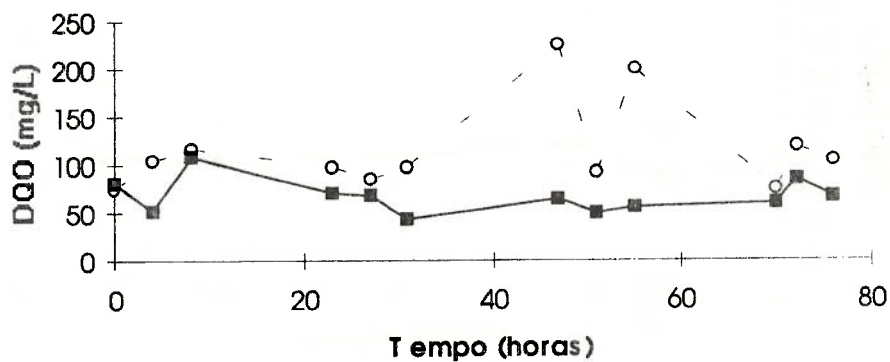
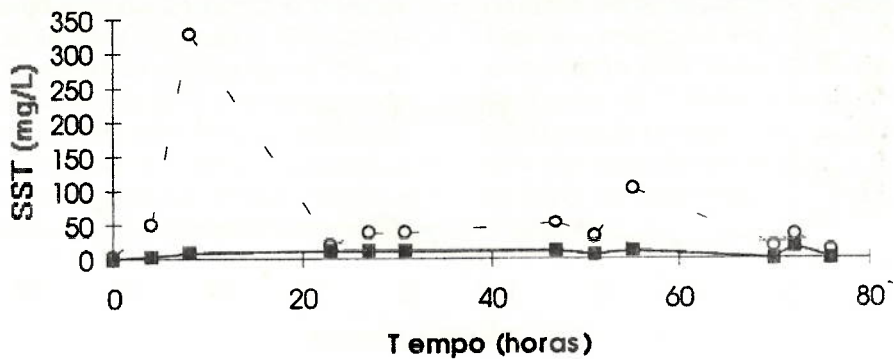
forma semi-contínua, o que parece ter auxiliado na eficiência de remoção de sólidos em suspensão. Mais um ensaio foi efetuado sem interrupção da alimentação ( de forma contínua) com descarga de fundo de 7 litros a cada 24 horas, tendo apresentado remoção média de 54% de sólidos, 44% de remoção de turbidez e 37% de remoção de DQO, sendo o tempo de operação de 98 horas (Figura 4).

Tempo (horas)		Temperatura (°C)		pH		Remoção (%)	
Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Sólidos	Turbidez
20	20	35	35	7.5	7.5	78	27
40	40	35	35	7.5	7.5	78	27
60	60	35	35	7.5	7.5	78	27
80	80	35	35	7.5	7.5	78	27
100	100	35	35	7.5	7.5	78	27
120	120	35	35	7.5	7.5	78	27
140	140	35	35	7.5	7.5	78	27
160	160	35	35	7.5	7.5	78	27
180	180	35	35	7.5	7.5	78	27
200	200	35	35	7.5	7.5	78	27
220	220	35	35	7.5	7.5	78	27
240	240	35	35	7.5	7.5	78	27
260	260	35	35	7.5	7.5	78	27
280	280	35	35	7.5	7.5	78	27
300	300	35	35	7.5	7.5	78	27
320	320	35	35	7.5	7.5	78	27
340	340	35	35	7.5	7.5	78	27
360	360	35	35	7.5	7.5	78	27
380	380	35	35	7.5	7.5	78	27
400	400	35	35	7.5	7.5	78	27
420	420	35	35	7.5	7.5	78	27
440	440	35	35	7.5	7.5	78	27
460	460	35	35	7.5	7.5	78	27
480	480	35	35	7.5	7.5	78	27
500	500	35	35	7.5	7.5	78	27
520	520	35	35	7.5	7.5	78	27
540	540	35	35	7.5	7.5	78	27
560	560	35	35	7.5	7.5	78	27
580	580	35	35	7.5	7.5	78	27
600	600	35	35	7.5	7.5	78	27
620	620	35	35	7.5	7.5	78	27
640	640	35	35	7.5	7.5	78	27
660	660	35	35	7.5	7.5	78	27
680	680	35	35	7.5	7.5	78	27
700	700	35	35	7.5	7.5	78	27
720	720	35	35	7.5	7.5	78	27
740	740	35	35	7.5	7.5	78	27
760	760	35	35	7.5	7.5	78	27
780	780	35	35	7.5	7.5	78	27
800	800	35	35	7.5	7.5	78	27
820	820	35	35	7.5	7.5	78	27
840	840	35	35	7.5	7.5	78	27
860	860	35	35	7.5	7.5	78	27
880	880	35	35	7.5	7.5	78	27
900	900	35	35	7.5	7.5	78	27
920	920	35	35	7.5	7.5	78	27
940	940	35	35	7.5	7.5	78	27
960	960	35	35	7.5	7.5	78	27
980	980	35	35	7.5	7.5	78	27
1000	1000	35	35	7.5	7.5	78	27



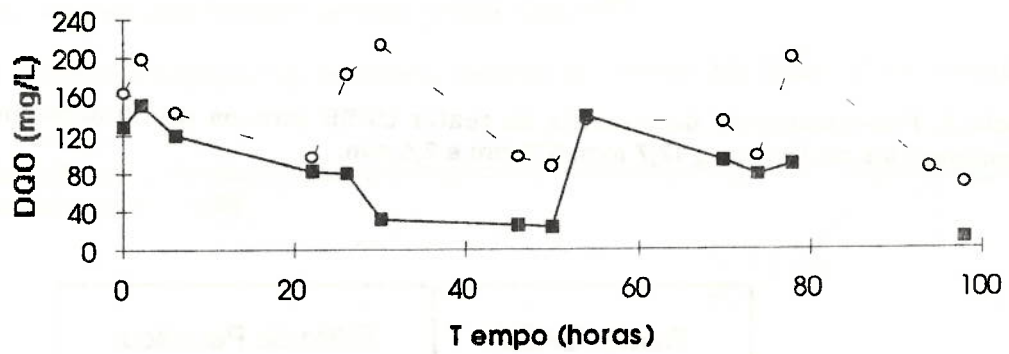
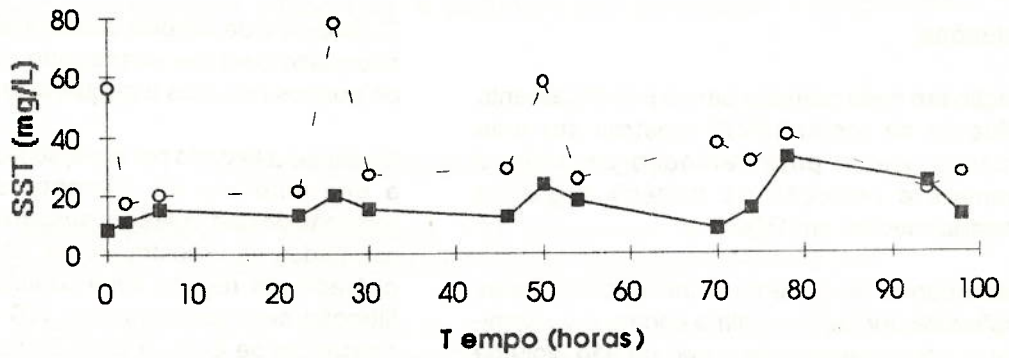
○ - Alimentação —■— Efluente

Figura 2. SST, DQO e Turbidez do pos-tratamento em filtro de pedrisco. Operação contínua sem descarga de fundo.

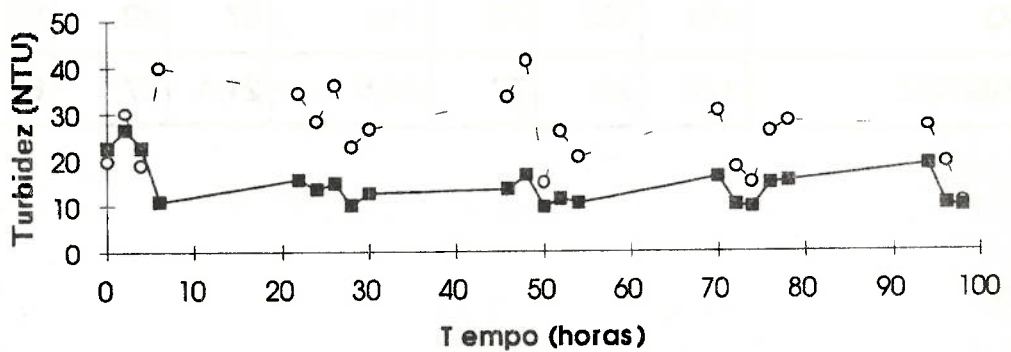


- o - Alimentação - ■ - Efluente

Figura 3. SST, DQO e Turbidez pos-tratamento em filtro de pedrisco. Operação semi-contínua com descarga de fundo de 7 L a cada 24 horas com taxa de aplicação de 160 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia



- o - Alimentação —■— Efluente



- o - Alimentação —■— Efluente

**Figura 4. SST, DQO e Turbidez do pos-tratamento em filtro de pedrisco. Operação contínua com descarga de fundo de 7 L a cada 24 horas.**

### Conclusões

A filtração em meio granular para o pós-tratamento de efluente de reator UASB mostrou ser uma alternativa viável para remoção de sólidos suspensos e remoção de matéria orgânica particulada medida em DQO.

O desempenho do sistema é influenciado pelas condições de operação: regime contínuo ou semi-contínuo, com descarga de fundo ou não, volume e frequência das descargas. Estas condições deverão ser adequadas às necessidades de cada comunidade a ser atendida.

O sistema é de simples construção e operação e é adequado para ser empregado quando se dispõe de poucos recursos e pequena área.

No sistema testado por filtração rápida em pedrisco a intermitência da alimentação favoreceu a remoção de partículas em suspensão. Os melhores resultados são mostrados na Tabela 2, quando operado em regime semi-contínuo, com taxa de filtração semi-constante de 160 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, com descargas de fundo a cada 24 horas e volume de descarte de 7 litros. O tempo de carreira foi de 76 horas.

**Tabela 2. Pós-tratamento de efluente de reator UASB através de filtração em pedrisco com granulometrias de 15,9 mm; 12,7 mm; 5,7 mm e 2,4 mm.**

	Reator UASB			Filtro de Pedrisco			REM. TOTAL
	ALIM.	EFL.	REM.	ALIM.	EFL.	REM.	
	mg/l	mg/l	%	mg/l	mg/l	%	
SST	232	76	67	37	8	78	96
DQO	451	132	70	111	67	40	85
TURBIDEZ	120	28	77	29,5	21,4	27	82

## AGRADECIMIENTOS

Os autores agradecem ao Prof. Pedro Alem S., Prof. Luiz di Bernardo e Eng.<sup>o</sup> Vitor Simone, pelas valiosas contribuições no encaminhamento dos estudos aqui apresentados; ao Eng.<sup>o</sup> Carlos O. Camargo, Téc. Hélio Montenegro, Eng.<sup>a</sup> Araci Montineri, e Bioq. Luiz V. do Amaral pela participação e colaboração.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

di Bernardo, L.; Mousa, Rubens, M. P.; Razaboni, J. D. e Resende, R. J. Estudo das Influências das Características Hidráulicas e da Camada de Areia na Filtração Ascendente. Revista DAE

di Bernardo, L. e Partemiani J. E. S. Influência de descargas de Fundo Durante o Funcionamento de Instalações de Filtração Direta Ascendente. Revista DAE 46 (146): 290-297. Setembro, 1986.

di Bernardo, L.(1993) Comunicação pessoal.

Letterman, R. D. An Overview Filtration. Journal AWWA. Dec,1987

Metcalf & Eddy. Wastwater Engineering. Treatment, Disposal and Reuse. Mc Graw-Hill, Inc. International Edition, 1991

Simone, V. A Seminário de Saneamento Básico- Filtração Direta Ascendente. EPUSP - Depto de Engenharia Hidráulica e Sanitária. Junho, 1990