

## TRATAMENTO DE ESGOTOS SANITÁRIOS EM REATORES TIPO EGSB ANAERÓBIO E AERÓBIO

**Mario T. Kato, Lourdinha Florencio e Ricardo F. M. Arantes**

*Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Escola de Engenharia de Pernambuco, Departamento de Engenharia Civil, Grupo de Saneamento Ambiental. Av. Acadêmico Hélio Ramos s/n, Cidade Universitária. 50740-530 Recife, Pernambuco, Brasil. Tel.: +55 81 3271-8743 / 8742 / 8228. Fax: +55 81 3271-8219 / 8205. E-mail:kato@npd.ufpe.br*

### RESUMO

Os reatores EGSB foram desenvolvidos a partir da necessidade de aperfeiçoar sistemas anaeróbios já consolidados, como os reatores tipo UASB. A sua viabilidade tem sido demonstrada para efluentes industriais com substratos orgânicos na forma mais solúvel. Para avaliar o seu desempenho para o tratamento de esgotos sanitários, foram operados em escala piloto, dois reatores EGSB, um anaeróbio e outro aeróbio, na ETE Mangueira, Recife, em sequência a trabalho prévio. O reator anaeróbio operou com  $\Theta_h$  de 4 horas. Obteve-se no efluente valores de DQO bruta de 93 mg/L e de DQO filtrada de 53 mg/L. Isso significou eficiências de 58% e 76%, respectivamente, para uma  $C_v$  de 1,23 g DQO/L.d. A concentração de SST esteve sempre abaixo de 30 mg/L, obtendo-se até 15 mg/L. O reator aeróbio operou com um  $\Theta_h$  de 8 h e apresentou no efluente, concentrações médias de DQO bruta de 84 mg/L e de DQO filtrada de 51 mg/L. A eficiência de remoção de DQO bruta foi de 59 % e de DQO filtrada de 75%, operando com uma  $C_v$  de 0,64 g DQO/L.d. A concentração de SST foi de 20 mg/L no efluente. A nitrificação resultou em concentrações de nitrato da ordem de até 30 mg N/L, porém ocorreu por curtos períodos alternados. A posterior remoção completa de nitrogênio por desnitrificação, no reator anaeróbio sequencial, ficou prejudicada devido a problemas operacionais no reator aeróbio.

### PALAVRAS CHAVE

Esgotos domésticos; reatores EGSB; remoção de DQO; remoção de nitrogênio; tratamento aeróbio; tratamento anaeróbio

### INTRODUÇÃO

O reator UASB (*upflow anaerobic sludge bed*) representa um grande avanço na aplicação da tecnologia anaeróbia para o tratamento direto de águas residuárias, sejam de natureza simples ou complexa, de baixa ou de alta concentração, solúveis ou com material particulado (Kato et al, 1999). O EGSB (*expanded granular sludge bed*) é uma das mais recentes alternativas para o tratamento de esgotos de baixa concentração. O seu desenvolvimento partiu da tentativa de se resolver alguns dos problemas relacionados com os reatores UASB na prática, como a ocorrência de zonas mortas, fluxos preferenciais, curtos circuitos, entre outros. O reator EGSB tem sido aplicado em situações onde a taxa de produção volumétrica de gás é baixa e a mistura em reatores UASB, apenas pela velocidade líquida ascensional é insuficiente, como é o caso do

tratamento de esgotos de baixa concentração ou em temperaturas psicrófilas (Kato, 1994; Van Lier et al., 1997; Wang et al., 1997; Kato et al., 1999).

Sua concepção é similar à dos reatores UASB, porém com relação altura/diâmetro elevada, da ordem de 20, onde são aplicadas velocidades ascensionais acima de 2,5 m/h, podendo chegar até 10 m/h em certos casos específicos. Nos reatores UASB, o leito de lodo permanece de certa forma estático, já que as velocidades ascensionais do líquido são usualmente bem inferiores, da ordem de 0,5 a 1,5 m/h (Kato, 1994; Chernicharo, 1997; Kato et al., 1999). A alta velocidade ascensional aplicada aos reatores EGSB, permite uma melhor agitação hidráulica do leito de lodo (granular ou floculento denso), resultando em uma maior expansão e consequentemente, melhorando o contato biomassa-esgoto.

O EGSB tem sido estudado com esgotos de difícil biodegradabilidade, como por exemplo os que apresentam concentrações de lipídios acima do usual (Petruy et al., 1997). Hwu et al. (1997) estudaram a degradação de um substrato contendo ácidos graxos de cadeia longa. Zoutberg e De Been (1997) utilizaram o reator EGSB para o tratamento de efluentes provenientes de indústrias químicas e bioquímicas, aplicando cargas orgânicas volumétricas ( $C_v$ ) elevadas, acima de 30 kg DQO (demanda química de oxigênio)/m<sup>3</sup>.d. Entretanto, esgotos com concentração bem baixas e contendo sólidos com concentrações significativas, ainda necessitam de maior avaliação no caso do uso reatores tipo EGSB. Wang et al. (1997) mostraram alguns resultados promissores com a utilização do reator EGSB para o pós-tratamento de esgotos domésticos de um reator hidrolítico de fluxo ascendente e manto de lodo.

Para a remoção de nitrogênio afluente à estação de tratamento de esgotos, diversos sistemas foram desenvolvidos nas últimas décadas; com o uso de sistemas de tratamentos secundários convencionais, a remoção é de apenas 30% do nitrogênio total, ou menos. Sabe-se que um adequado balanço entre C:N (carbono: nitrogênio) é necessário para que ocorra o crescimento dos microorganismos. Dentre os processos para remoção de nitrogênio, o mais utilizado é o da remoção biológica por nitrificação/desnitrificação. Primeiramente deve ocorrer a nitrificação em ambientes estritamente aeróbios, com a oxidação da amônia a nitrato; depois deve ocorrer a desnitrificação, em ambientes anóxicos, com o nitrato sendo convertido em nitrogênio molecular, utilizando o material orgânico disponível. O próprio material orgânico do esgoto ou outras substâncias como metanol, podem ser os receptores de elétrons. A desnitrificação num sistema de tratamento de esgotos é realizada por bactérias heterotróficas que obtêm energia através da utilização dos íons nitrito e nitrato como receptores de elétrons nas suas reações metabólicas. Esgotos com uma relação DQO/N reduzida provavelmente terão uma desnitrificação incompleta devido à pequena disponibilidade do substrato carbonáceo no compartimento anóxico (Gonçalves et al., 1993).

A utilização de reatores EGSB para o tratamento de esgotos domésticos, em ambientes anaeróbio e aeróbio, seja para remoção de DQO isoladamente, ou de DQO e de nitrogênio sequencialmente, ainda não tem sido avaliada, embora diversos estudos tenham sido realizados com reatores com características hidrodinâmicas semelhantes ou com outros tipos de reatores (Klapwijk et al., 1981; Akunna et al., 1994; Lin e Chen, 1995; Hendriksen e Ahring, 1996; Van Benthum, 1998; Jeison e Chamy, 1999). Resultados prévios (Arantes et al., 2000) demonstraram que o uso de reatores EGSB, anaeróbio e aeróbio, pode ser interessante para a remoção de DQO tanto no reator anaeróbio, como no aeróbio, incluindo neste a possível nitrificação. A desnitrificação no reator anaeróbio, quando operado em sequência com o reator aeróbio, todavia, ainda não tinha sido demonstrada.

O presente experimento teve como objetivo estudar o uso de reatores tipo EGSB em escala piloto operando em paralelo, sendo um aeróbio e outro anaeróbio, utilizando esgoto doméstico bruto

como substrato, avaliando o desempenho de cada reator individualmente, para remoção de DQO e/ou nitrificação e as possibilidades de desnitrificação se ambos os reatores fossem operados sequencialmente.

## METODOLOGIA

A parte experimental foi efetuada numa unidade piloto construída na estação de tratamento de esgotos (ETE) Mangueira, Recife. Esta ETE possuía um reator UASB seguido de uma lagoa de polimento e foi projetada para uma população de 18.000 habitantes; a população atendida, entretanto, era de apenas 13.500 habitantes. O reator UASB foi projetado para operar com um tempo de detenção hidráulica de ( $\Theta_h$ ) 8 h e a lagoa de polimento com 3,5d. Os resultados operacionais do reator UASB foram apresentados por Florencio et al. (2000).

A unidade piloto para este experimento consistiu de 2 reatores tipo EGSB, sendo um aeróbio e outro anaeróbio. Ambos os reatores possuíam uma câmara de digestão que ocupava um volume de 157,5 L e uma altura útil de 5m. A câmara de decantação ocupava um volume de 243,5 L e uma altura de 1 m. O volume e a altura total do reator eram, portanto, de 401 L e 6 m, respectivamente. Foram colocados 10 registros ao longo da câmara de digestão, no qual eram feitas coletas para a determinação da concentração do lodo dentro do reator. O esquema da unidade experimental se encontra na Figura 1.

Na parte superior da câmara de sedimentação do reator anaeróbio, acoplou-se um dispositivo para a coleta e medição do biogás produzido; o biogás era lançado primeiramente em uma solução de NaOH 7,5 % e posteriormente enviado para um medidor de marca Alexander Wright, modelo DM3A. O medidor de biogás começou a ser operado no dia 45 após o início deste experimento. Os mesmos reatores foram utilizados em experimento anterior durante 275 dias (Arantes et al., 2000; Arantes, 2001). No dia 45 a câmara de sedimentação de ambos os reatores foi substituída, com o objetivo de melhorar o rendimento na remoção dos sólidos suspensos.

O esgoto que alimentava ambos os reatores era coletado após a passagem do esgoto bruto pelo tratamento preliminar (grade e caixa de areia) da ETE, sendo este canalizado por gravidade até dois recipientes de 200 L. De cada um, o esgoto era bombeado para cada reator, através de bombas Flender ATB – Loher RFT 0,06/2 – 71R. O suprimento de ar no reator aeróbio era assegurado por um compressor SCHULZ MS 3,6/2C de 0,5 CV e de 1 estágio. O ar era injetado na base do corpo do EGSB através de um difusor de aço sinterizado, o qual atravessava o leito em fluxo ascendente, em sentido co-corrente com o esgoto. O rotâmetro instalado era fabricado pela CONAUT, modelo 420 com escala de leitura de 10 a 100 L/min. Foi instalado e acoplado um balão de oxigênio hermeticamente fechado, com o intuito de armazenar o oxigênio proveniente do compressor.

O lodo anaeróbio utilizado como inóculo no experimento prévio era do próprio reator UASB da ETE Mangueira. Para este experimento, foram utilizados os mesmos lodos existentes em ambos os reatores, quando se encerrou o experimento anterior. Quando ocorreram problemas de lavagem do lodo no reator aeróbio, este foi reinoculado com lodos ativados de uma estação de um hotel de um complexo turístico (Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco).

Devido aos problemas relacionados com a aeração, não foi possível concretizar a recirculação do efluente para o reator anaeróbio, em regime sequencial, para a desnitrificação. Desta forma, os dois reatores operaram, como no experimento prévio, com  $\Theta_h$  de 8 horas (volume reativo) e velocidade líquida ascensional de 0,64 m/h. Entretanto, no caso do reator anaeróbio, a partir do dia 59 o mesmo foi operado com  $\Theta_h$  de 4 horas e velocidade ascensional de 1,25 m/h. O

experimento em ambos os reatores foi encerrado no dia 331. Em função dos problemas operacionais no reator aeróbio, bem como mudança dos decantadores em ambos e instalação do medidor de gás no reator anaeróbio, considerou-se para efeito de avaliação, os resultados de ambos a partir do dia 59.

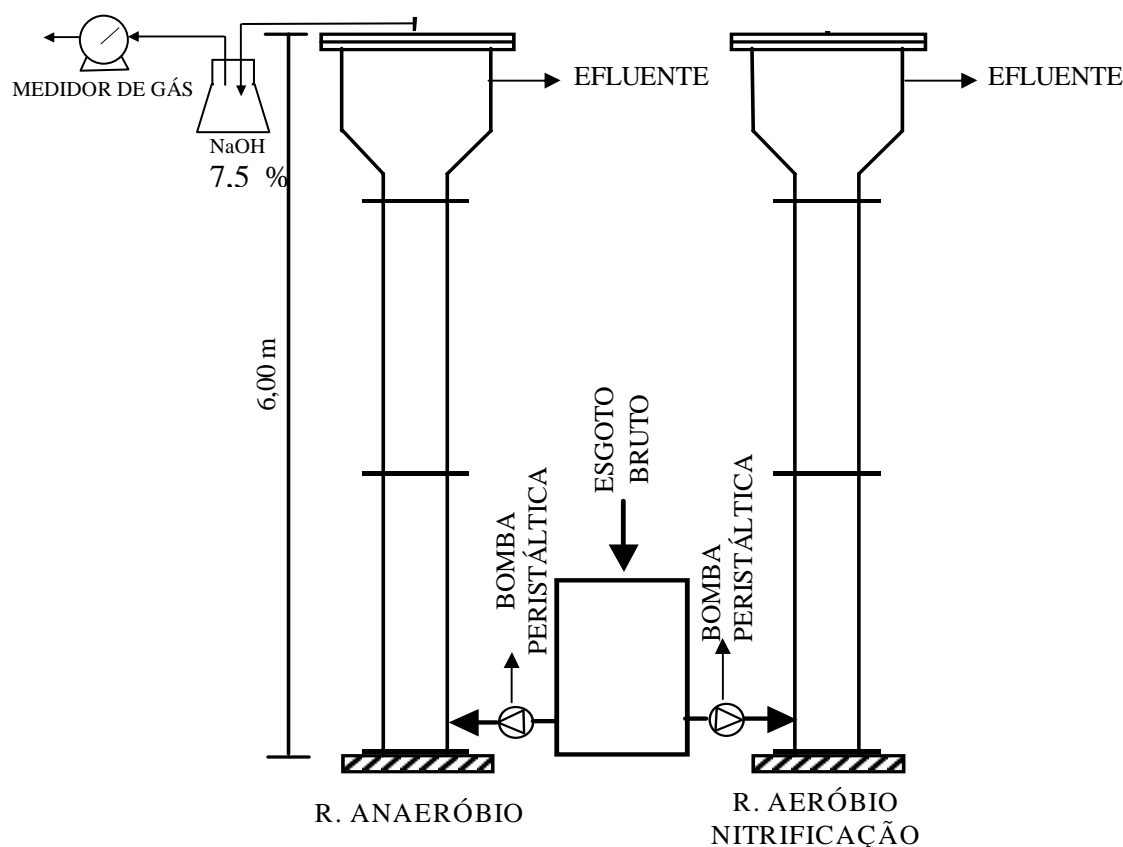


Figura 1 – Esquema das unidades piloto

A avaliação dos resultados analíticos apresentados neste estudo foi realizada através das séries temporais dos parâmetros DQO, SST (sólidos suspensos totais), SSV (sólidos suspensos voláteis), N-NTK (nitrogênio total Kjeldahl),  $\text{N-NH}_4^+$  (nitrogênio amoniacal),  $\text{N-NO}_2^-$  (nitrogênio nitrito),  $\text{N-NO}_3^-$  (nitrogênio nitrato) e da remoção de DQO, SST e SSV. As vazões nos dois reatores, bem como as medições de temperatura, pH e oxigênio dissolvido (OD), eram efetuados diariamente e no local.

As coletas eram efetuadas 3 vezes na semana, de forma simples, às 8 horas da manhã, sendo coletadas amostras do afluente e efluente de cada reator. Após a lavagem dos frascos de 2 litros, eram levados para o Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA), que se encontrava no *campus* da UFPE, próximo da ETE Mangueira.

Para a DQO filtrada, utilizou-se papel de filtro de 1,2  $\mu\text{m}$ , enquanto que os sólidos suspensos foram feitos utilizando o papel de fibra de vidro de 0,45  $\mu\text{m}$ . Ao final de determinado período operacional, eram coletadas amostras de lodo em cada registro e se fazia o perfil de lodo, através da determinação de sólidos suspensos totais e sólidos suspensos voláteis. Todas as análises foram feitas de acordo com o *Standard Methods* (AWWA/ APHA/ WEF, 1995). O cálculo de eficiência de remoção de DQO foi baseado na diferença entre DQO bruta (total) do afluente e efluente (eficiência DQO efluente total) e DQO bruta afluente e DQO filtrada do efluente (eficiência DQO efluente filtrada). O afluente dos dois reatores apresentou as seguintes características médias no período entre o dia 59 e 331 dias, conforme a Tabela 1. É possível que

valores maiores de DQO total e SST seriam obtidos, caso não ocorresse a sedimentação observada nos recipientes de 200 L, para a alimentação dos reatores, apesar da limpeza periódica. Para o mesmo período, os valores médios de nitrogênio nitrato e de nitrito obtidos no afluente dos reatores foram de 0,02 mg N/L e 23,27 µg N/L, respectivamente.

Tabela 1 – Características médias do afluente dos dois reatores piloto (dias 59-331)

Temp. (°C)	pH	DQO total (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)	N-NTK (mg N/L)	N-NH <sub>4</sub> (mg N/L)
31,3 ± 1,7	6,84 ± 0,23	228 ± 73	118 ± 136	74 ± 65	26,5 ± 16,1	13,0 ± 12,2

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Remoção de DQO e sólidos suspensos

As principais características médias dos efluentes de ambos os reatores no período 59-331 dias, bem como as eficiências de remoção de DQO e SSV se encontram na Tabela 2. As variações das concentrações desses parâmetros nos afluentes e efluentes se encontram nas Figuras 2 a 4.

Tabela 2 – Características médias dos efluentes dos reatores EGSB anaeróbio e aeróbio

Reator	DQO		Eficiência de remoção de DQO		SST	SSV	
	Total (mg/L)	Filtrada (mg/L)	Total (%)	Filtrada (%)	(mg/L)	(mg/L)	Eficiência (%)
Anaeróbio ( $\Theta_h = 4,03 \pm 0,05$ h)	93 ± 25	53 ± 16	58	76	23 ± 19	16 ± 12	79
Aeróbio ( $\Theta_h = 7,84 \pm 0,06$ h)	84 ± 33	51 ± 21	59	75	27 ± 37	20 ± 25	74

Esses resultados demonstram, primeiramente, que o desempenho médio obtido em ambos os reatores foram altamente significativos, em se tratando de esgoto doméstico, de baixa concentração de matéria orgânica, mas com conteúdo relativamente alto de sólidos suspensos e em se tratando de lodo floculento, anaeróbio e aeróbio. No caso do reator anaeróbio, operando com  $\Theta_h$  de 4 horas e velocidade ascensional líquida de 1,25 m/h, os valores médios de DQO total e filtrada no efluente, de 93 mg/L e 53 mg/L, mostram que o reator EGSB tem também um grande potencial para o tratamento direto de esgotos domésticos brutos. Isso pode representar uma alternativa a mais para o caso de locais com pouca área disponível, principalmente em locais densamente urbanizados. Foi também significativo os baixos valores de SST e SSV no efluente do EGSB anaeróbio, de apenas 23 mg/L e 16 mg/L, respectivamente. Pode-se atribuir isso ao fato do reator contar com um decantador mais eficiente, comparado com o substituído, utilizado nos estudos prévios com o mesmo sistema (Arantes et al., 2000). O longo período estabelecido para o experimento mostrou que o reator EGSB anaeróbio, nas condições operacionais impostas, foi bastante estável, mantendo a eficiência de remoção de DQO e de sólidos suspensos, a maior parte do tempo, sem variações significativas.

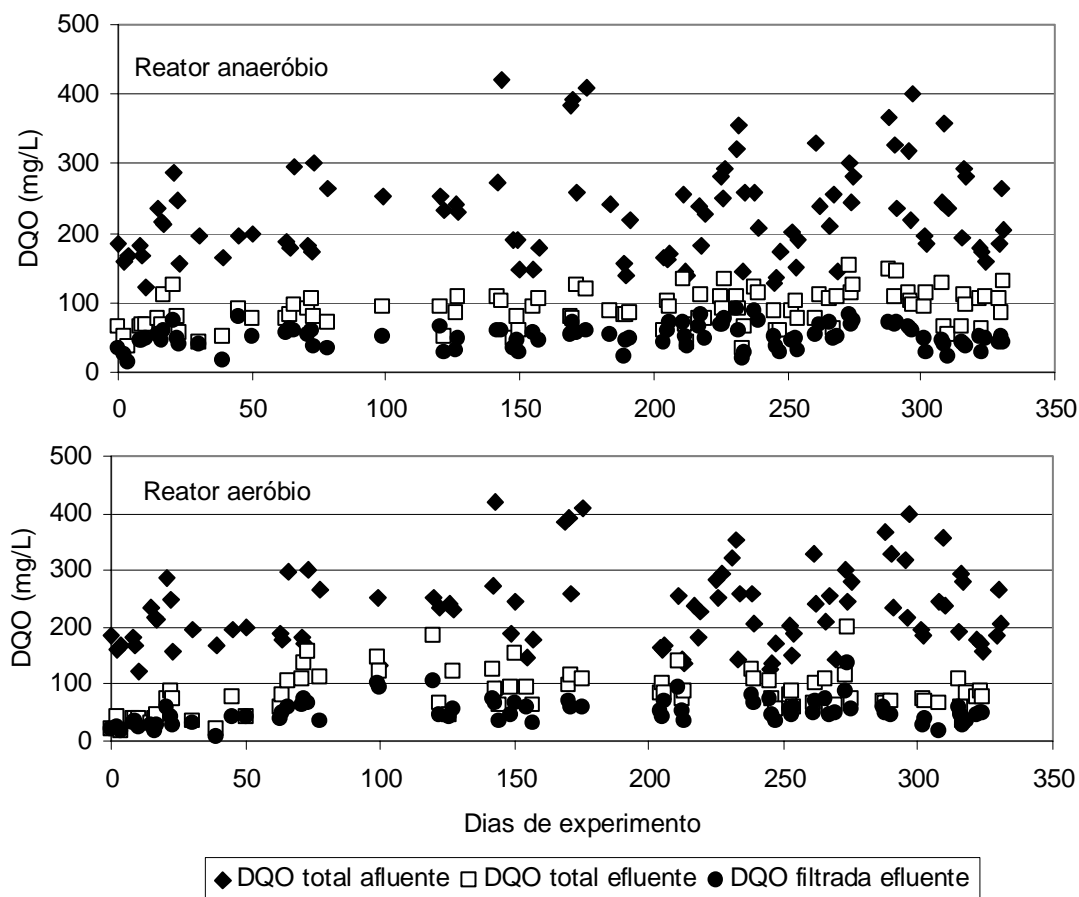


Figura 2 – Variações de concentrações de DQO no afluente e efluente dos reatores EGSB anaeróbio e aeróbio

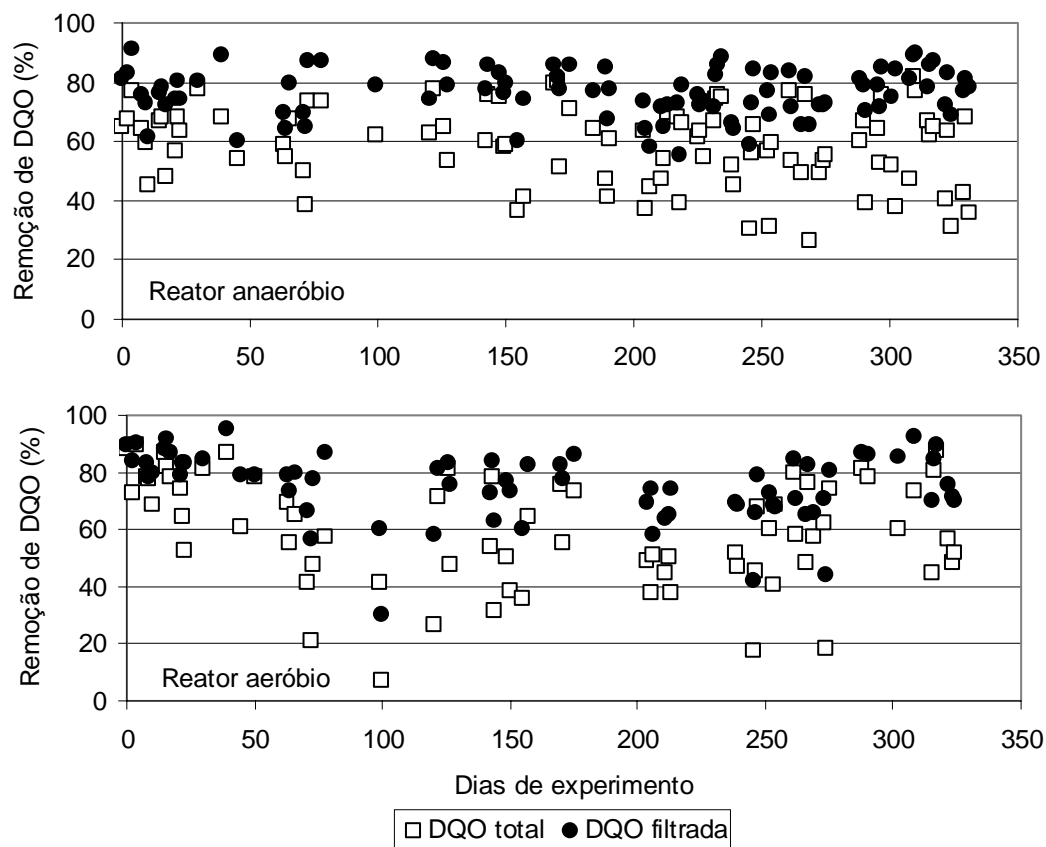


Figura 3 – Eficiência de remoção de DQO nos reatores EGSB anaeróbio e aeróbio

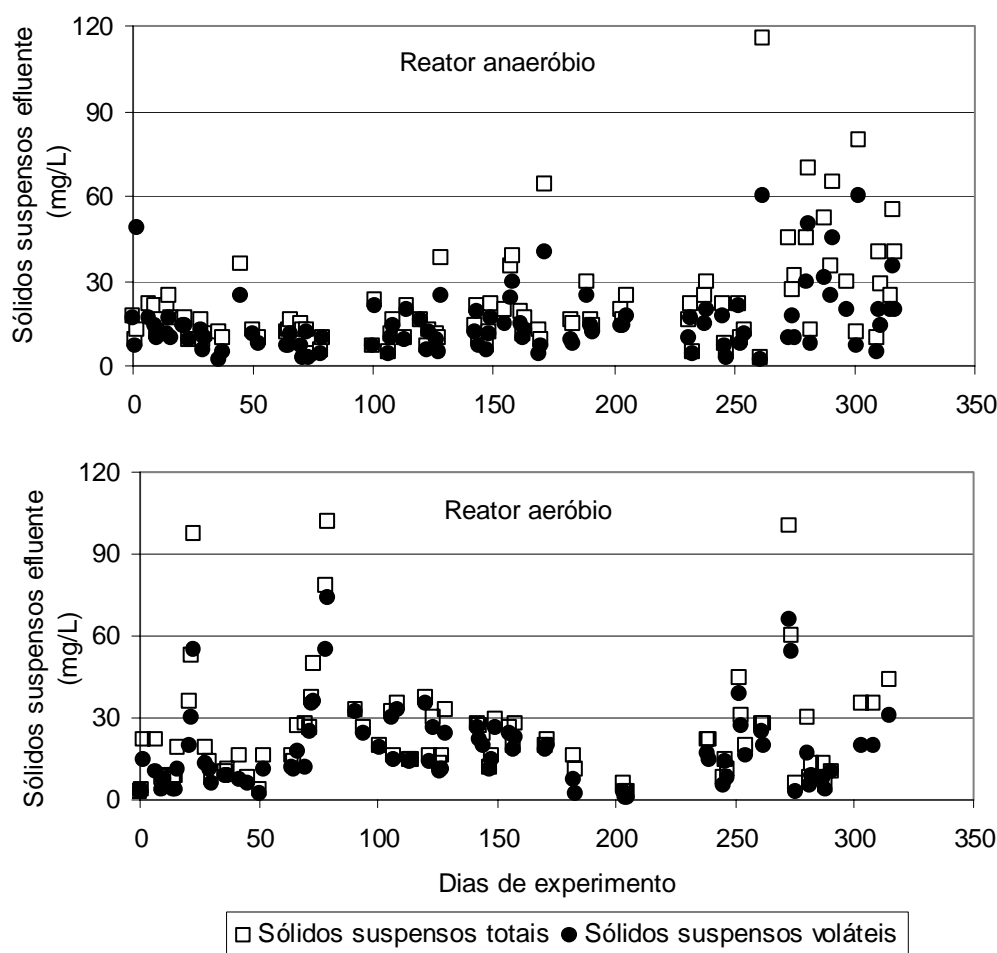


Figura 4 – Variações de concentrações de SST e SSV nos efluentes dos reatores EGSB anaeróbio e aeróbio

No caso do reator aeróbio, o experimento foi conduzido em condições mais controladas em termos de aeração, após a substituição do rotâmetro e da instalação de um tanque pulmão auxiliar, em comparação com os estudos anteriores. Os resultados atuais revelam que, tanto em termos de DQO removida, como de sólidos suspensos, os valores foram muito semelhantes aos obtidos com o reator anaeróbio, portanto, igualmente de boa performance. Observou-se, entretanto, duas diferenças; houve uma maior variação nos resultados, tanto de DQO como de sólido suspensos e o valor imposto de  $\Theta_h$  foi o dobro do reator anaeróbio, implicando em metade da velocidade ascensional líquida. De fato, observou-se desde o início deste experimento, como já relatado no experimento anterior, uma certa instabilidade, com ocorrências, embora pontuais, de perda de sólidos com o efluente em quantidades acima do normal. Isso justifica a maior variação das concentrações de DQO total e SST no efluente. Apesar do maior controle da aeração e da instalação de um novo decantador mais eficiente, é possível que a o lodo floculento aeróbio, comparado com o lodo floculento anaeróbio, seja de menor qualidade em termos de densidade, portanto, com maior dificuldade de retenção da biomassa no reator. Essa diferença observada no experimento anterior levou à adoção da manutenção do valor de  $\Theta_h$  em 8 horas para o reator aeróbio. Uma outra justificativa pode ter sido a provável maior turbulência no reator aeróbio devido à injeção de ar, com vazão superior ao biogás produzido no reator anaeróbio, influenciando assim nas condições hidrodinâmicas. O maior arraste de sólidos no reator aeróbio pode ser também devido ao tamanho das bolhas, embora não tenha sido possível fazer uma comparação entre as de ambos os reatores. Várias pesquisas demonstraram a importância e influência do gás no interior de reatores, quando comparados com os efeitos somente do líquido para a turbulência e mistura. De qualquer maneira, os fatos anteriores não

diminuem os méritos desse tipo de reator aeróbio de fluxo ascendente, uma vez que os resultados obtidos também comprovam as suas potencialidades para o tratamento direto de esgotos.

### Nitrificação

Os resultados das concentrações média das formas de nitrogênio no efluente do reator EGSB aeróbio se encontram na Tabela 3. Os valores de OD medidos no efluente do reator aeróbio foram de  $2,4 \pm 1,2$  mg O<sub>2</sub>/L.

Tabela 3 – Resultados médios de nitrogênio no efluente do reator EGSB aeróbio (mg N/L)

N- NTK	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
21,6 ± 11,3	12,1 ± 11,6	0,6 ± 0,0	6,6

A maior instabilidade relativa do reator aeróbio ao longo do período, embora não tivesse afetado seu o desempenho para a remoção de DQO e sólidos suspensos, foi crucial para a pouca eficiência em termos de nitrificação. Algumas ocorrências pontuais, de perda de sólidos com o efluente no período, obrigava a introdução de nova quantidade de biomassa. No caso das bactérias heterótrofas, a obtenção de regime quase permanente era rápida, face as suas características de desenvolvimento, portanto, não afetando de maneira significativa a performance. Ao contrário, a necessidade de introduzir novo lodo implicava na perda da capacidade da biomassa nitrificante anterior, cujo desenvolvimento comparado com as heterótrofas, é mais lento e difícil, devendo haver uma combinação de fatores favoráveis, como relação C:N adequado, aeração e retenção de biomassa formada.

Os resultados médios apresentados na Tabela 1 (afluente) e Tabela 3 (efluente) revelam grandes variações nos valores obtidos para as concentrações de nitrogênio nas suas diversas formas. De qualquer maneira, tendo em vista os problemas citados, esses resultados não refletem as potencialidades de nitrificação nesse tipo de sistema, uma vez que durante certos períodos, à semelhança do experimento anterior, foram obtidos resultados promissores de nitrato, com valores de até 30 mg N/L no efluente. Isso demonstra que, durante os curtos períodos em que as condições foram favoráveis para a nitrificação, o desempenho foi significativo. Esse fato mostra que, apesar da melhoria de retenção de biomassa com o uso do novo decantador, ela não foi suficiente para evitar perdas cruciais de lodo nitrificante, que ocorreram de forma pontual. É possível que, tendo em vista esse tipo de ocorrência pontual, o leito de lodo tenha ascendido em forma de pistão, repentinamente. Esse tipo de ocorrência também já foi relatado anteriormente, tanto em reatores aeróbios como em anaeróbios, quando se emprega colunas de menor diâmetro e grande altura com fluxo ascendente (Kato et al., 1994).

Aparentemente, isso inviabilizaria a possibilidade de remoção de nitrogênio de um sistema anaeróbio e aeróbio em ambientes ou reatores sequenciais, através da desnitrificação no primeiro, com retorno do efluente do segundo para ele. Entretanto, em função dos indícios demonstrados com a nitrificação em determinados períodos, conclui-se que o maior problema não é de natureza biológica, para o casos dos esgotos com as características da Mangueira; mas sim, de solucionar o problema de perda da biomassa aeróbia, principalmente na forma pontual. O uso de reatores com diferente geometria, bem como maior controle de aeração e sedimentação poderão conduzir ao objetivo de remoção de DQO e nitrogênio num sistema anaeróbio e aeróbio sequencial.



## CONCLUSÕES

Para os reatores tipo EGSB tanto anaeróbio como aeróbio, confirma-se a sua potencialidade como sistema alternativo adequado para o tratamento de esgotos domésticos com relativa concentração de material particulado e de baixa concentração de matéria orgânica. Os resultados obtidos foram altamente satisfatórios, uma vez que tanto em um como em outro, obteve-se valores de DQO total e filtrada no efluente abaixo de 93 mg/L e 51 mg/L, respectivamente. Os baixos valores de SST e SSV, de menos de 27 mg/L e 20 mg/L, respectivamente, demonstram também a adequação da retenção de biomassa em ambos reatores. Esses resultados foram obtidos para as condições operacionais de  $\Theta_h$  de 4 h e 8 h para o reator EGSB anaeróbio e aeróbio, respectivamente. As eficiências obtidas em ambos os reatores foram de cerca de 75% para a remoção de DQO filtrada no efluente, como para a remoção de sólidos suspensos.

No reator anaeróbio, a estabilidade a longo prazo foi demonstrada, ao passo que no reator aeróbio, ocorreram algumas perdas de sólidos com o efluente de forma pontual. Embora a recuperação do reator fosse rápida, em questão de dias para o retorno do bom desempenho de remoção de DQO e sólidos suspensos, essas ocorrências prejudicaram sensivelmente a nitrificação, tornando difícil a manutenção de regime permanente para isso. Entretanto, em alguns resultados obtidos durante os curtos períodos de estabilidade para a nitrificação, observou-se valores de nitrato de até 30 mg N/L no efluente. Conclui-se que, biologicamente, o reator EGSB aeróbio é viável para a nitrificação e que, com soluções adequadas para o processo, o sistema poderá apresentar alto potencial na prática.

Como esses reatores apresentam como uma das vantagens a necessidade de áreas muito pequenas, pois sua dimensão global pode ser em função de maior altura, os mesmos poderão ser uma alternativa atrativa para o caso de zonas urbanas densas, onde em geral não há áreas disponíveis para instalações em planta de grandes estações de tratamento de esgotos.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho faz parte do projeto da UFPE no programa PROSAB (Programa de Saneamento Básico), Edital 3 - Continuidade, na rede de pesquisas do tema 2 (pós-tratamento de efluentes anaeróbios). Agradecemos o apoio financeiro da FINEP, CNPq (bolsas IC e AT-NM) e Caixa, instituições coordenadoras do PROSAB. Agradecemos também à COMPESA, URB – Recife, Fibra Revestimentos (Jaboatão dos Guararapes) e Edmilson Marinho pelo apoio na ETE Mangueira; aos bolsistas IC e AT do CNPq que participaram do projeto PROSAB da UFPE: Cintia M.S. Silva, George M. Queiroga, Gilvanildo J. Oliveira, Jâmisson Q. Uchôa, Juilma A. Silva, Juliana C. Moraes e Saulo L. Araújo; ao técnico químico do LSA-UFPE Ronaldo Fonseca e às bolsistas Taciana A. Santos e Cintia B. Maranhão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKUNNA, J., BIZEAU, C., MOLETTA, R., BERNET, N. and HÉDUIT, A. Combined organic carbon and complete nitrogen removal using anaerobic and aerobic upflow filters. *Water Science and Technology*, **30** (12), 297-306, 1994.
- ARANTES, R.F.M. *A viabilidade da utilização de reatores tipo EGSB para o tratamento e pós-tratamento de esgotos domésticos*. Dissertação de mestrado, UFPE, Recife, 2001.
- ARANTES, R.F.M., KATO, M.T. e FLORENCIO, L. Comparação do desempenho de reatores tipo EGSB aeróbio e anaeróbio para o tratamento de esgotos domésticos. In: C.A.L. Chernicharo (coord.), *Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios, Coletânea de Trabalhos Técnicos*, vol. 1, pp. 95-106. Projeto PROSAB, FINEP. Belo Horizonte, 2000.

- AWWA/APHA/WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 19<sup>th</sup> edition. Washington, 1995.
- CHERNICHARO, C.A.L. *Reatores anaeróbios*. DESA-UFMG, 245 p. Belo Horizonte, 1997.
- FLORENCIO, L., KATO, M.T. and MORAIS, J.C. Domestic sewage treatment in Mangueira full-scale UASB plant at Recife, Pernambuco. *Anais da VI Oficina e Seminário Latino-Americano de Digestão Anaeróbia*, Recife, Pernambuco, pp. 113-121. Recife, Editora UFPE, 2000.
- GONÇALVES, R.F., CHARLIER, A., SAMMUT, F. e ROGALLA, F. Utilização de reatores a manta de lodos para aumentar o potencial de desnitrificação em processos de remoção de nutrientes de esgotos. *Anais do XVII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Natal, pp.690 – 699. Natal, 1993.
- HENDRIKSEN, H.V. and AHRING, B.K. Integrated removal of nitrate and carbon in an upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor: operating performance. *Water Research*, **30** (6), 1451-1458, 1996.
- HWU, C., VAN LIER, J., KULIK, Z., MISHRA, P.K. and LETTINGA, G. Feasibility of expanded granular sludge bed (EGSB) system for the treatment of wastewaters containing long-chain fatty acids. *Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Conference on Anaerobic Digestion*, Sendai, Japan, pp. 103-108. Sendai, 1997.
- JEISON, D. and CHAMY, R. Comparison of the behaviour of expanded granular sludge bed (EGSB) and upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors in dilute and concentrated wastewater treatment. *Water Science and Technology*, **40** (8), 91 – 97, 1999.
- KATO, M.T. Anaerobic treatment of low strenght soluble wastewaters. Ph.D. thesis, Landbouwniversiteit. Wageningen, Holanda. 1994.
- KATO, M.T., ANDRADE NETO, C.O., CHERNICHARO, C.A.L., FORESTI, E. e CYBIS, L.F. Configurações de reatores anaeróbios. In: J.R. Campos (coord.), *Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo*, cap.3, pp. 53-99. Projeto PROSAB, FINEP. Rio de Janeiro, ABES, 1999.
- KLAPWIJK, A., VAN DER HOEVEN, J.C.M. and LETTINGA, G. Biological denitrification in an upflow sludge blanket reactor. *Water Research*, **15**, 1-6, 1981.
- LIN, Y.F. and CHEN, K.C. Denitrification and methanogenesis in a co-immobilized mixed culture system. *Water Research* **29** (1): 35-43, 1995.
- PETRUY, R., LETTINGA, G. and FIELD, J. Anaerobic biodegradation of a milk-fat emulsion in an expanded granular sludge bed reactor. *Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Conference on Anaerobic Digestion*, Sendai, Japan, pp. 109-116. Sendai, 1997.
- VAN BENTHUM, W.A. J., DERISSEN, B.P., VAN LOOSDRECHT, M.C.M. and HEIJNEN, J.J. Nitrogen removal using nitrifying biofilm growth and denitrifying suspended growth in a biofilm airlift suspension reactor coupled with a chemostat. *Water Research*, **32** (7), 2009-2018, 1998.
- VAN LIER, J., REBAC, S. and LETTINGA, G. High-rate anaerobic wastewater treatment under psychrophilic and thermophilic conditions. *Water Science and Technology*, **36** (10), pp. 199-206, 1997.
- WANG, K., VAN DER LAST, A.R.M. and LETTINGA, G. The hydrolysis upflow sludge bed (HUSB) and the expanded granular sludge blanket (EGSB) reactors process for sewage treatment. *Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Conference on Anaerobic Digestion*, Sendai, Japan, pp. 301-304. Sendai, 1997.
- ZOUTBERG, G. R. and DE BEEN, P. The Biobed (Expanded Granular Sludge Bed) system covers shortcomings of the upflow anaerobic sludge blanket reactor in the chemical industry. *Water Science and Technology*, **35** (10), 183 – 187, 1997.