

PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTE ANAERÓBIO UTILIZANDO LEITO FLUIDIZADO TRIFÁSICO AERÓBIO

Rejane Helena Ribeiro da Costa⁽¹⁾, Rosane Hein de Campos⁽²⁾, Delmira Beatriz Wolff⁽³⁾, Heike Hoffmann⁽⁴⁾, Cláudia Lavina⁽⁵⁾ e Paulo Belli Filho⁽⁶⁾

(1,2,3,4,5,6) Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Campus Universitário – Universidade Federal de Santa Catarina – SC CEP 88040-900

¹rejane@ens.ufsc.br; ²heinde@ig.com.br ³delmira@ens.ufsc.br ⁶belli@ens.ufsc.br

RESUMO

Este trabalho investiga a eficiência de um reator de leito fluidizado trifásico aeróbio (RLFTA) aplicado ao pós tratamento de efluente anaeróbio, tendo como objetivo geral a obtenção de parâmetros operacionais do reator de leito fluidizado e a otimização do seu funcionamento. Os materiais suportes utilizados foram o *poliestireno* e o *PVC*. Foram testadas cargas variando entre 12 e 50 kgDQO/m³.d e TRH de 12, 21 e 42 minutos. O monitoramento do reator foi feito através de medidas na fase líquida e no biofilme. Foram feitas também observações ao microscópio eletrônico e ótico. Os resultados mostraram que o poliestireno empregado não foi adequado para este tipo de tratamento, nas condições operacionais utilizadas no estudo. Para o PVC o reator apresentou eficiência média entre 40% e 80% de remoção de DQO, variando em função das condições operacionais. A produção específica de lodo (Y) média variou entre 0,19 e 0,3 mgPNsuspensa/mgDQOremovida. O biofilme desenvolvido ao longo dos ensaios mostrou-se fino e coeso. Houve uma redução de 2 unidades log para os coliformes fecais e 52% para os sólidos suspensos. O reator é capaz de absorver variações bruscas de carga sem alterar seu desempenho.

PALAVRAS CHAVE

Biofilme, leito fluidizado, poliestireno, PVC, tratamento de efluentes.

INTRODUÇÃO

Nos processos anaeróbios para tratamento de águas residuárias ocorrem operações de separação e processos de transformação dos resíduos, resultando em uma boa redução da poluição orgânica. Contudo, somente sua sequência com tratamentos secundários, terciários e/ou avançados levam à uma significativa redução bacteriológica e à remoção de contaminantes que permitem o reuso do efluente tratado para diversos fins. Os processos de tratamentos biológicos aeróbios, como as lagoas aeradas e processos convencionais de lodo ativado, são frequentemente utilizados após sistemas de tratamento anaeróbio para tratar efluentes domésticos. Porém, exigem grande área de instalação e reagem com dificuldade às altas variações de carga orgânica. Os reatores de biomassa fixa têm sido aplicados com o objetivo de se obter estações de tratamento mais compactas. Os processos com biofilmes foram aplicados inicialmente para remover o carbono, porém, novas modificações nos reatores foram efetuadas para a eliminação do fósforo e do nitrogênio (RYHINER *et al.*, 1992).

Para os reatores de biofilme já existem algumas realizações em escala real e em pesquisas, como: *filtros biológicos*: NASCIMENTO *et. al.*, 2000; *filtros biológicos submersos*: GONÇALVES *et. al.*, 2000; “*leito fluidizado*”: COSTA (1989), TAVARES (1992), DISTLER *et al.* (1995), BERGAMASCO (1996), WOLFF (1997), BARTHEL (1998), SALES (1999), GRANDO-ALVES (2000), CAMPOS (2001).

Os processos de biomassa fixa oferecem muitas vantagens se comparados com tratamentos biológicos convencionais: entrada rápida em regime, alta taxa de remoção volumétrica, aumento da estabilidade do processo e compacidade dos reatores (LAZAROVA & MANEM, 1995). A elevada concentração da biomassa assegura uma maior idade do lodo, o que resulta em uma menor produção deste. BISHOP (1997) inclui como vantagem que os biofilmes têm uma grande variedade de população microbiana que pode degradar diferentes substratos, bem como a presença do glicocalix ao redor dos microorganismos, que os protege da ação dos agentes tóxicos.

O melhoramento de estações de tratamento com a integração de reatores de biomassa fixa vem ocorrendo em estações já existentes, com bons resultados. A imobilização de microorganismos possibilita operações com maiores concentrações bacterianas eliminando a necessidade de recirculação de lodo concentrado. O processo atinge assim melhor estabilidade, especialmente na ocorrência de picos de poluição não esperados (RYHINER *et al.*, 1992).

O reator biológico de leito fluidizado é uma inovação recente na tecnologia de tratamento de águas residuárias. A imobilização dos microorganismos formando biofilmes em pequenos suportes fluidizados, possibilitam ao reator biológico: reter uma grande concentração de biomassa no seu interior devido a maior área superficial, melhorar o contato da biomassa com o substrato, operar em tempos de retenção hidráulica significativamente reduzidos, melhorar a eficiência na remoção da DQO, diminuir a produção do lodo e reduzir a área necessária. A fluidização supera problemas de operação como colmatção do leito e queda de pressão, que poderão ocorrer se suportes muito pequenos forem empregados em reatores de leito fixo.

A expansão do leito fluidizado depende de características físicas da fase líquida, da velocidade superficial e da espessura do biofilme. A expansão do leito é observada, via de regra, quando se empregam partículas de densidades baixas, independentemente das vazões do gás e do líquido (TAVARES, 1992). A formação do biofilme e seu crescimento é um aspecto complexo na operação de reatores de leito fluidizado. O controle da espessura do biofilme é reconhecido como um dos mais importantes parâmetros influenciando a eficiência e o desempenho do processo. Os bioreatores trifásicos asseguram o aumento das reações biológicas complexas e um controle efetivo do biofilme (COSTA, 1989). A operação adequada de reator de leito fluidizado aeróbio é atingida se a colonização do suporte em regime permanente é assegurada e se o biofilme é mantido fino. Para chegar a estas condições, a escolha do material suporte é um aspecto essencial, bem como o controle de variáveis que afetam a hidrodinâmica do reator. A velocidade superficial do ar é uma importante variável operacional para o controle da densidade do biofilme e acumulação da biomassa no reator trifásico (TAVARES, 1992).

Para melhor compreender esse processo biológico de tratamento de efluentes, é necessário conhecer alguns aspectos sobre a adesão microbiana, a formação do biofilme e seu desenvolvimento em suportes sólidos. Assim é indispensável a determinação dos fatores que afetam a concentração de polissacarídeos no biofilme, como uma medida da adesão bacteriana. É igualmente importante conhecer os fatores que afetam a concentração da biomassa, medidas através da concentração de proteínas, uma vez que o aumento desta concentração permite reduzir o tamanho do reator.

Observa-se a complexidade das características dos biofilmes, conforme trabalhos apresentados anteriormente, devido, entre outros fatores, à natureza do substrato, à diversidade das espécies microbianas presentes no processo, à natureza e ao tipo de suporte (FLEMMING e WINGLINDER, 2001). Há que se notar também que, as pesquisas ainda não apontam para uma consolidação dos conhecimentos relativos a reatores de leito fluidizado trifásico (AURESEMIA et. al., 1999).

Este trabalho tem como objetivo geral a obtenção de parâmetros operacionais de um reator de leito fluidizado trifásico aeróbio e a otimização do seu funcionamento, aplicado ao pós tratamento de efluente de reator anaeróbio, visando sua aplicação posterior em escala real. Os objetivos específicos são: (1) estudo da hidrodinâmica do reator; (2) estudo da degradabilidade do efluente anaeróbio para diferentes condições de funcionamento do reator: cargas aplicadas e expansão do leito; e (3) testar materiais suporte polimérico nacionais.

METODOLOGIA

A etapa inicial da pesquisa consistiu em realizar estudos hidrodinâmicos do reator, em sistema fechado (*batch*), com os materiais suportes empregados (Poliestireno e PVC). Foram determinadas as retenções das fases sólida, líquida e gasosa e a velocidade mínima de fluidização (U_{mf}), determinada em leito bifásico (líquido + sólido), através da medida da perda de carga no leito em função da velocidade ascensional do líquido. A velocidade mínima de fluidização é obtida pela inflexão da curva.

Os materiais suportes utilizados no estudo, receberam solução ácida na sua superfície para melhorar a aderência do biofilme. A Tabela 1 apresenta as características das partículas testadas.

Tabela 1 – Características dos materiais suportes

Material	diâmetro médio (mm)	densidade (kg/m ³)
Poliestireno	2,7	1065
PVC	4,02	1329

Após o período inicial, foram realizados ensaios em regimes intermitente (Etapas 1 e 2) e contínuo (Etapas 3, 4 e 5). A inoculação de microorganismos no reator foi feita por meio de lodo ativado, proveniente da ETE insular de Florianópolis - SC, o qual ficou mantido com fraca oxigenação por 5 horas em leito fixo. O substrato foi adicionado gradativamente durante 24 horas até chegar às condições de operação estabelecidas previamente, mostradas na Tabela 2. Variou-se as cargas orgânicas volumétricas aplicadas (variação da DQO afluente) e a vazão de recirculação do efluente de modo a se trabalhar com expansões do leito fluidizado de 80 e 100%. Os tempos de retenção hidráulica (TRH) foram de 12, 21 e 42 minutos em função da vazão afluente.

Tabela 2 – Condições operacionais utilizadas no estudo

Tempo de operação (dias)	Etapas	Expansão do leito (%)	COVapl (kgDQO/m ³ .d)	Q _{entrada} (L/min)	Q _{recircul.} (L/min)	Q _{ar} (L/h)	T.R.H (min)	Material suporte
Início até 5	1	80	41,68	5	12	40-60	12	Poliestireno
Início até 38	2	80	11,74	3	72	100-110	21	PVC
De 39 a 80	3	100	17,58	1,5	72	80-120	42	PVC
De 81 a 95	4	100	48,95	3,0	72	150	21	PVC
De 96 a 207	5	100	13,72	1,5	90	140-160	42	PVC

Descrição da unidade

A instalação utilizada compreende dois tanques sépticos em série com volumes de 25 e 10 m³, um tanque de equalização de vazão com capacidade de 4 m³, o reator piloto de leito fluidizado trifásico aeróbio (0,0628 m³), tanque de recirculação (5 m³) e decantador secundário (1 m³). O reator é construído de coluna em acrílico, com 2 metros de altura e diâmetro interno de 20 cm. Na parte posterior, situa-se um tanque de tranquilização com altura de 1 metro e diâmetro interno de 30 cm. Na parte inferior, há um dispositivo tronco-cônico, com aberturas para entrada de afluente e ar. A altura total da unidade é 3 m. O efluente do tanque séptico 1 é transferido para o tanque séptico 2 através de bomba centrífuga. No tanque de equalização fica estocado o efluente proveniente do tanque séptico 2 que é bombeado para o reator. Parte do efluente tratado, após passar pelo decantador é encaminhado para o tanque de recirculação que tem por objetivo manter o suporte em fluidização. A Figura 1 apresenta o sistema de tratamento completo e a Figura 2 mostra a foto do reator de leito fluidizado e decantador.

- 1 - Tanque séptico 1
- 2 - Tanque séptico 2
- 3 - Tanque de Equalização
- 4 - Tanque de Recirculação
- 5 - Reator
- 6 - Decantador
- B - Bombas Centrífugas
- - Rotâmetro Magnético
- - Rotâmetro p/ AR
- 7 - Compressor de AR

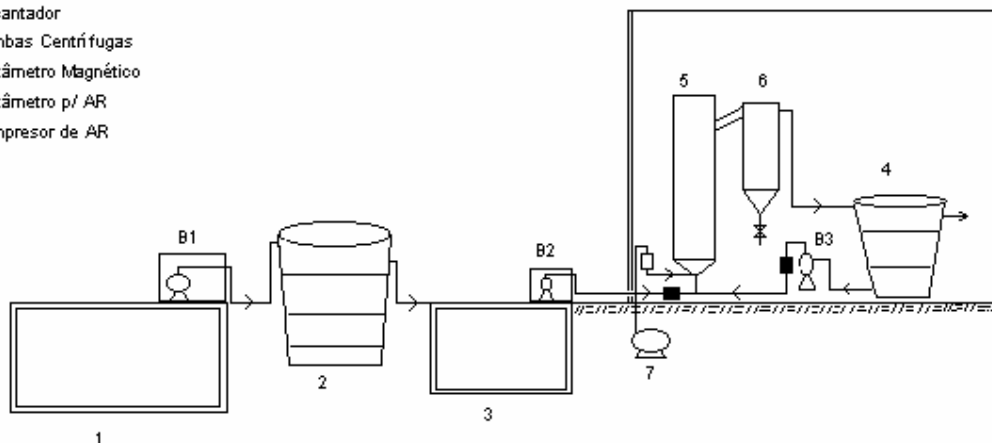


Figura 1 – Esquema do sistema de tratamento



Figura 2 - Foto do reator de leito fluidizado

Os substratos que alimentaram o reator em todas as etapas, foram provenientes do tanque séptico que trata os despejos do restaurante universitário (RU) da UFSC misturados com esgoto sanitário.

Monitoramento do reator

O monitoramento do reator iniciou-se em junho de 2000 e estendeu-se até o mês de julho de 2001. Foram realizadas medidas e análises da *fase líquida*: sólidos suspensos totais (SST) pelo método gravimétrico com filtração em membranas de acetato de celulose (0,45 μ) e também com filtro Whatmann 40; sólidos totais, fixos e voláteis (ST, SF, SV) pelo método gravimétrico; Oxigênio Dissolvido (OD) e o pH foram medidos com pHmetro e oxímetro digital, marca ORION modelo 1230; demanda química de oxigênio (DQO) pelo micrométodo HACH; demanda bioquímica de oxigênio (DBO) pelo método manométrico; carbono orgânico total (COT) pelo aparelho TOC-5000A marca SHIMADZU; os coliformes fecais foram feitos pela prova do substrato cromogênico (Collilert[®]); *do biofilme*: proteínas (PN), pelo método de Lowry, modificado por Tavares (1992), polissacarídeos (PS) aderidos e/ou suspensos, pelo método de Dubois (1956) descrito em CAMPOS (2001) e fotografias no microscópio eletrônico de varredura (MEV) e no microscópio ótico.

Todas as amostras foram coletadas, no horário compreendido entre 8:00h e 9:00h, afim de padronizar o horário das coletas.

Métodos de cálculos

Foram efetuados cálculos diários da eficiência do reator em termos de remoção de DQO e de COT, a partir dos valores médios obtidos nos ensaios, como segue:

$$\eta_1(\%) = \frac{(S_a - S_e)}{S_a} \times 100 \quad (1)$$

onde:

η_1 = eficiência (%)

S_a = concentração (DQO ou COT) do afluente (mg/L)

S_e = concentração (DQO ou COT) do efluente (mg/L)

A produção específica de lodo ou taxa de conversão (Y) é definida como a quantidade de biomassa produzida, expressa em proteínas do materiais em suspensão, por unidade de massa de substrato consumido em DQO, calculada a partir da seguinte equação:

$$Y = \frac{X_e}{S_{cons}} \quad (2)$$

onde:

Y = mgPN/gDQO removida

X_e = concentração de biomassa na saída (mgPN/L)

S_{cons} = concentração de substrato consumido (mgDQO/L).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos nos ensaios hidrodinâmicos, para determinação das retenções sólida (ϵ_S), líquida (ϵ_L) e gasosa (ϵ_G), a porosidade do leito ($1-\epsilon_S$) e velocidade mínima de fluidização (U_{mf}) das partículas poliméricas, são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados dos ensaios hidrodinâmicos do reator de leito fluidizado

Material	ϵ_S (%)	ϵ_L (%)	ϵ_G (%)	$(1-\epsilon_S)$	U_{mf} (cm/s)
Poliestireno	0,624	0,363	0,013	0,376	0,22
PVC	0,53	0,44	0,03	0,47	0,96

As retenções sólida, líquida e gasosa, revelaram um maior equilíbrio entre as fases sólida e líquida para o PVC, do que para o poliestireno. A velocidade mínima de fluidização para o poliestireno é cerca de quatro vezes inferior à do PVC, em decorrência das respectivas densidades.

Etapla 1- Utilização de Poliestireno como material suporte.

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos para alguns parâmetros de controle do processo biológico durante a Etapla 1.

Tabela 4 – Valores médios obtidos durante o ensaio realizado na etapla 1.

Parâmetros	Valores médios Obtidos (n=5 amostras)
OD _{saída}	1,06 \pm 0,1
Temperatura (°C)	26,5 \pm 1,6
pH _{saída} (faixa)	4,86 a 5,1
DQO _F (entrada)- mg/L	414 \pm 84
DQO _F (saída)- mg/L	363 \pm 84
COD (entrada)- mg/L	181 \pm 5
COD (saída) – mg/L	161 \pm 8

Durante os 5 dias de ensaio, utilizando-se o material suporte poliestireno, obteve-se uma eficiência média de DQO filtrada de 12,5% e de COT filtrado de 11%. Esta baixa eficiência pode ter sido ocasionada por vários fatores que interferiram no processo. Durante o ensaio, observou-se a ocorrência de grande perda do material suporte, chegando a um arraste diário de 60% das partículas. Outro fator que interferiu nos resultados é que este ensaio foi realizado com uma vazão de ar muito baixa (40-60 L/h), em função da retenção das partículas no reator, o que interfere na transferência de oxigênio do meio líquido ao interior do biofilme. Tavares (1992) mostrou que o coeficiente de transferência de oxigênio cresce com a velocidade superficial do gás, tendo-se o oxigênio como fator limitante reduz-se então a atividade bacteriana e, em consequência, a eficiência do processo. Devido à dificuldade de manter as partículas em condições normais de operação, o ensaio foi encerrado após cinco dias.

A eficiência obtida nesta etapa de estudo (12,5%), pode igualmente ser atribuída ao fato de que as condições operacionais não foram as ideais para a utilização de reator de leito fluidizado trifásico aeróbio, pois além das limitações do oxigênio dissolvido, o reator trabalhou em regime intermitente. Concluiu-se, então, que este tipo específico de material polimérico estudado (*poliestireno*) não foi adequado ao processo de tratamento em reator de leito fluidizado trifásico aeróbio, nas condições em que foi operado.

Etapas 2, 3, 4 e 5 – Utilização do PVC como material suporte.

Demanda Química de Oxigênio (DQO). As concentrações de DQO filtrada afluente apresentam variações ao longo das etapas estudadas, uma vez que as contribuições do esgoto do RU variaram em função do seu regime de funcionamento, conforme mostra a Figura 3.

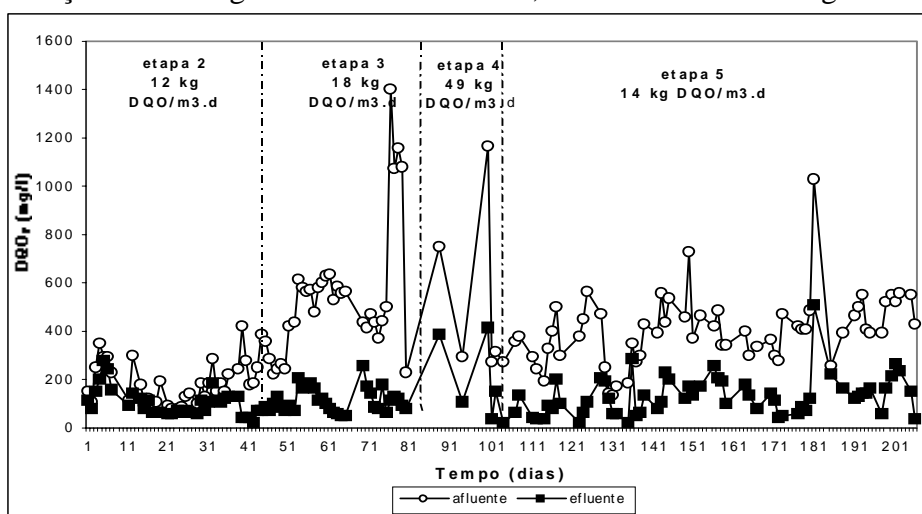


Figura 3 – DQO afluente e efluente (mg/L) durante o período de estudo

Apesar das variações na concentração da DQO afluente, o despejo tratado no reator apresentou pequenas variações nas concentrações da DQO efluente, confirmando que o biofilme desenvolvido no reator é capaz de absorver mudanças bruscas na COV aplicada conforme evidenciado por BISHOP (1997).

As maiores eficiências de remoção desse parâmetro e os efluentes de melhor qualidade foram obtidos nas etapas 3 e 5, quando o reator de leito fluidizado trifásico aeróbio (RLFTA) operou em regime contínuo, com cargas orgânicas volumétricas aplicadas de 18 kgDQO/m³.d e 14 kgDQO/m³.d, respectivamente e TRH de 42 minutos. Para essas condições operacionais, a eficiência média de remoção de DQO_F foi de 78% (etapa 3) e 67% (etapa 5), chegando algumas vezes a atingir, em ambos ensaios, uma eficiência máxima de remoção acima de 90%.

A menor eficiência observada durante os ensaios foi na etapa 2, quando o RLFTA operou em regime intermitente, obtendo uma eficiência média de remoção de DQO_F de 36% com COV aplicada de 12 kgDQO/m³.d e THR de 21 min. A eficiência máxima obtida nesta etapa foi de 65%. Na etapa 4 a eficiência média de remoção foi de 51% (COV = 49 kgDQO/m³.dia e THR de 21 min).

O efluente do reator apresentou uma concentração média de DQO filtrada de 122 ± 77 , ao longo dos ensaios (etapas 2 a 5).

Carbono Orgânico Total Filtrado. A Figura 4 mostra a evolução do COT_F ao longo das etapas. Observa-se que a evolução de COT_F foi semelhante a evolução da DQO_F ao longo das etapas. A eficiência média de remoção obtida foi de 42% (etapa 2), 78,5% (etapa 3) e 65% (etapa 5), chegando a obter eficiências acima de 90% em algumas ocasiões das etapas 3 e 5. Durante a etapa 4, por problemas operacionais não foi possível realizar a análise deste parâmetro.

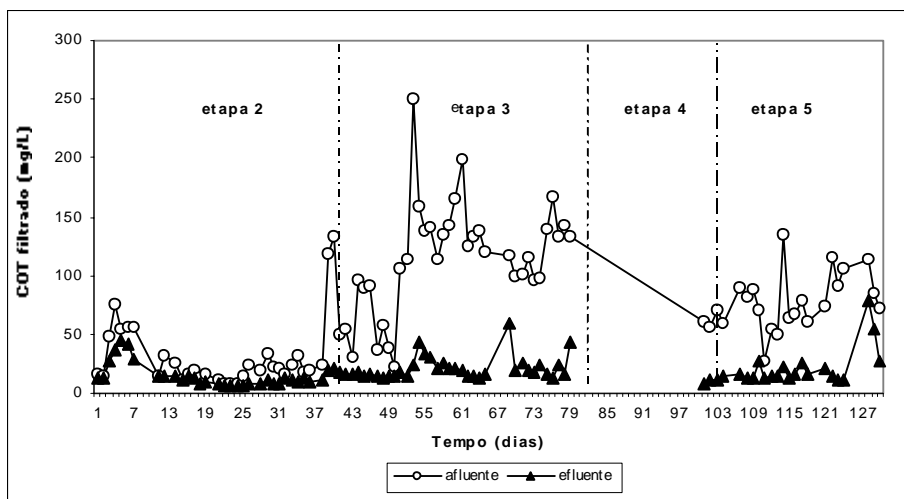


Figura 4 – COT_F afluente e efluente (mg/L) durante o período de estudo

Estudo do Biofilme. A importância do teor de polissacarídeo no processo de adesão do biofilme pode ser avaliada através da comparação da relação Polissacarídeo/Proteína (PS/PN) do biofilme e da biomassa em suspensão, conforme apresentada na Figura 5.

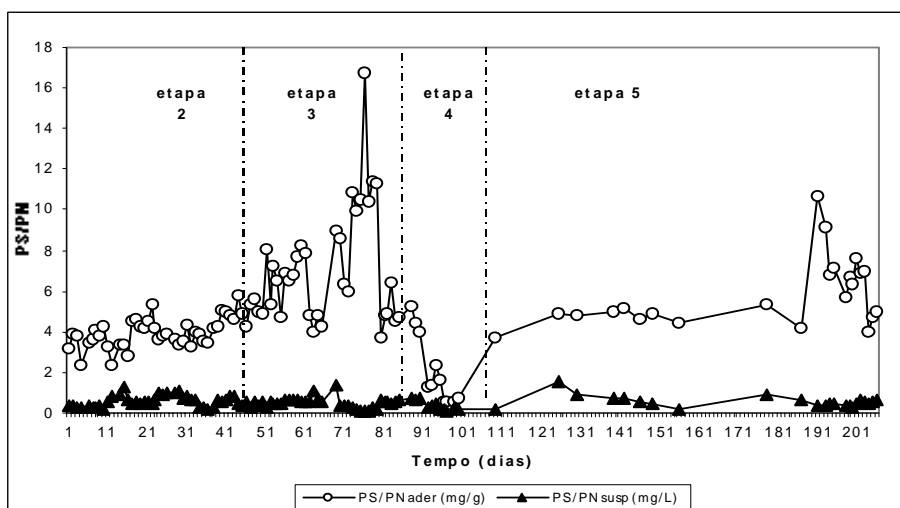


Figura 5 – Evolução da relação PS/PN aderidos e suspensos

Os valores da relação PS/PN aderida mostraram-se maiores do que a relação PS/PN em suspensão em todas as etapas, indicando a existência de um biofilme mais coeso.

Na etapa 2 a relação PS/PN aderida variou entre 2 e 5 e a relação PS/PN suspensa variou entre 0,2 e 1,2. Na etapa 3 a relação PS/PN aderida variou entre 4 e 11 e a relação PS/PN suspensa variou entre 0,1 e 1,1. Na etapa 4 a relação PS/PN aderida variou entre 0,5 a 6,5 e a relação PS/PN suspensa variou entre 0,1 a 0,8; nesta etapa pode-se verificar uma queda abrupta da relação PS/PN no tempo T= 92 dias o que indica uma perda do biofilme. Na etapa 5 a relação PS/PN aderida variou entre 1,5 a 4 e a relação PS/PN suspensa variou de 0,2 a 1,6.

Microscopia. Utilizou-se o microscópio eletrônico de varredura (MEV) para verificação da estrutura do biofilme e o microscópio ótico para verificar a morfologia dos microorganismos.

A Figura 6 apresenta observações feitas ao MEV do biofilme aderido, na etapa 2.

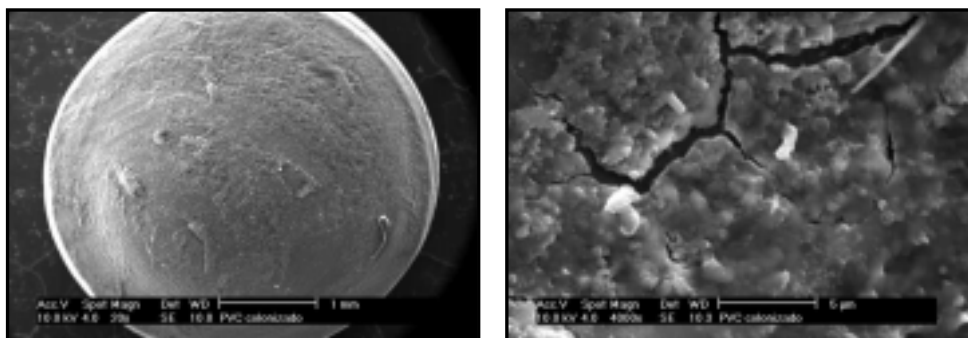


Figura 6 – Fotos ao MEV do PVC colonizado – aumento de 20 e 2000x

As fotos ao microscópio eletrônico de varredura mostraram um biofilme fino, com colonização no interior da matriz polissacarídica. Devido ao fato dos microorganismos estarem submetidos à condições hidrodinâmicas do reator, com elevado cisalhamento, houve uma grande produção de polissacarídeos. O biofilme foi constantemente renovado, mantendo-se fino e coeso.

As observações ao microscópio ótico, efetuadas durante as etapas 2, 3, 4 e 5 estão apresentadas nas Figuras 7, 8, 9 e 10, respectivamente. Analisou-se a fase líquida no interior do reator, bem como os flocos em suspensão.

Etapa 2

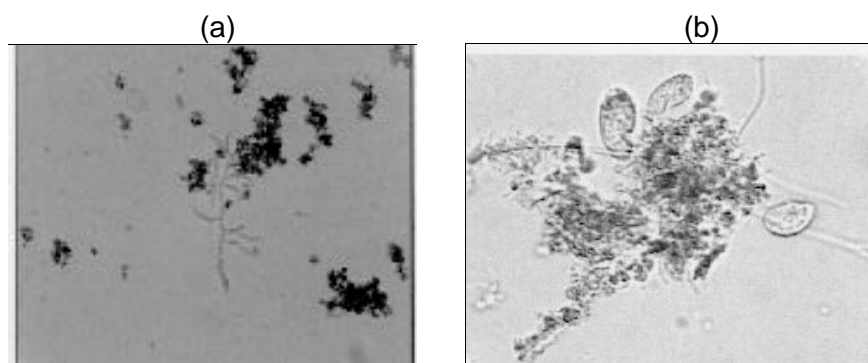


Figura 7 - (a)-Flocos em suspensão com *Zoogloas*; (b)Ciliado livre–*Uronemas* na suspensão

Na Etapa 2, Figura 7(a), pode-se observar a produção de pequenos flocos com *zooglea* em sua superfície e algumas bactérias unicelulares. Estes microorganismos presentes no meio líquido e nos flocos apresentam-se em efluentes com boas condições de aeração. Na Figura (b) aparecem os ciliados livres como as *Uronemas*, que são encontradas em instalações cuja qualidade do tratamento é moderada-fraca.

Etapa 3

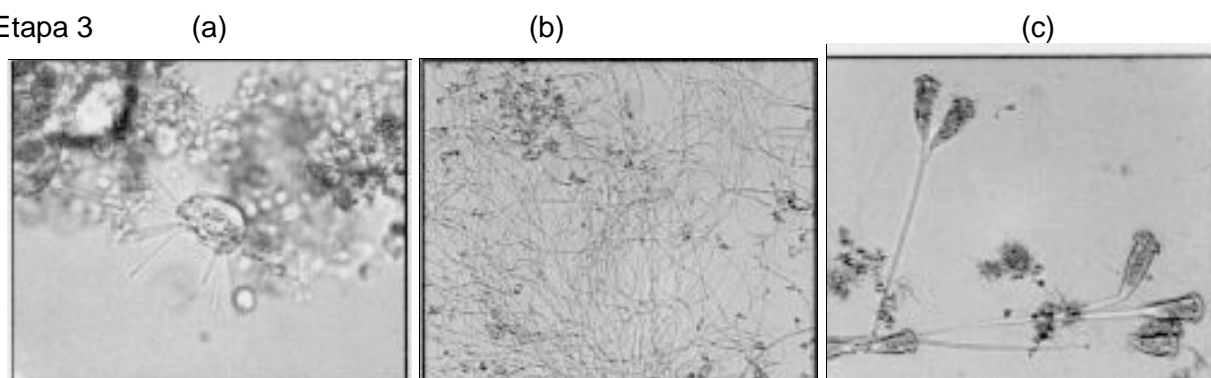


Figura 8 - (a)- Protozoário *Tokophyra*; (b)bactérias filamentosas; (c)Epystilis

Durante a Etapa 3, observa-se (Figura 8 a) um protozoário *Tokophyra*, que pertence ao grupo dos ciliados com pendúnculo, indicando condições estáveis, sem falta de oxigênio. Com o decorrer do experimento, como mostra a Figura 8 (b), aparecem organismos filamentosos, bactérias *Sphaerotilus natans*, que indicam falta de oxigênio ou situações com altas concentrações de DQO, o que pode ser devido a elevada COV aplicada, 29 kgDQO/m³.dia no tempo T = 76 a 79 dias (Figura 3). Segundo PIPES (1967) citado por BERGAMASCO (1996), as bactérias filamentosas presentes tanto em forma de flocos como livres, igualmente degradam a matéria orgânica, mas seu crescimento deve ser controlado, pois podem causar problemas na decantação do lodo. Observou-se ainda, a presença de *Epystilis* (Figura 8 c), que é um indicador de efluente tratado de boa a muito boa qualidade, o qual ocorre em instalações sob condições estáveis, com aeração permanente e possuem boa capacidade depuradora de poluição carbonácea (CANLER et. al., 1999).

Etapa 4

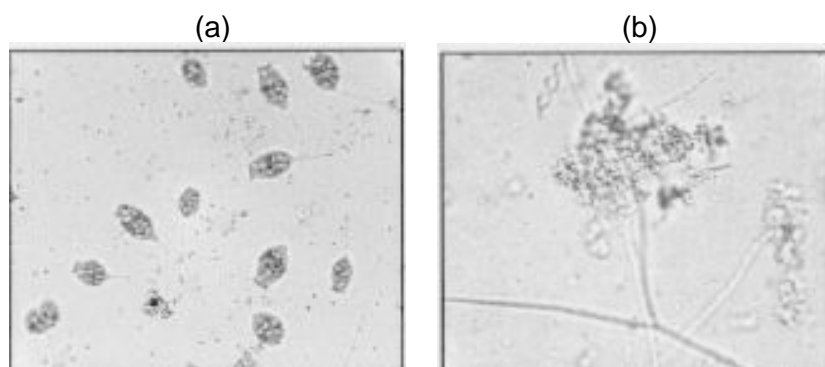


Figura 9 - (a) Vorticellas de boca pequena; (b) bactéria spirillus

Na Etapa 4, na Figura 9 (a) verifica-se a presença de grande quantidade de *Vorticellas* de boca pequena, as quais sobrevivem em baixas concentrações de oxigênio e na Figura 9 (b) mostra-se a presença da bactéria *Spirilus*, que indica a falta de oxigênio e alta concentração de sulfetos no esgoto. Nesta fase, os flocos foram muito pequenos e parcialmente destruídos, acarretando problemas de decantação. Esse fato foi confirmado nas análises de polissacarídeos e proteínas do biofilme, cuja relação PS/PN foi mínima, indicando perda do biofilme (Figura 5).

Etapa 5

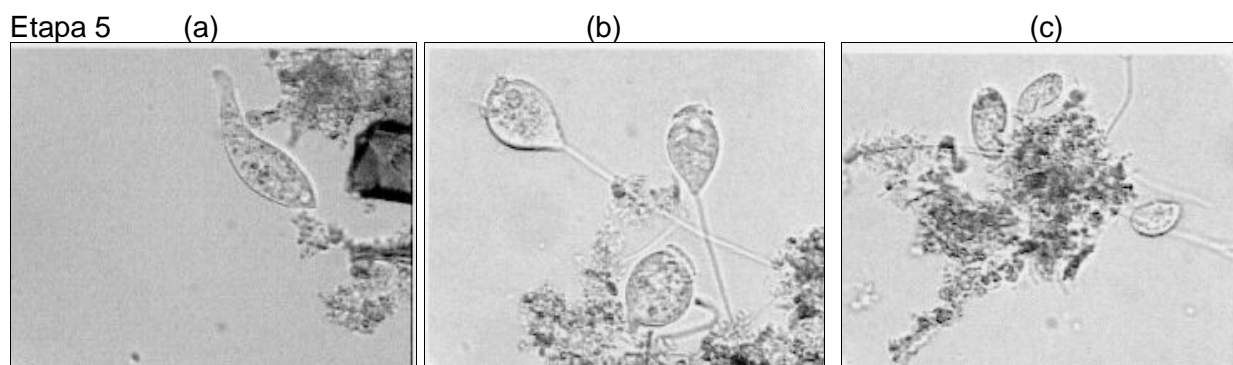


Figura 10 - (a) Ciliados *Litonotus*; (b) *Vorticella*; (c) Ciliado *Dexiostoma*

Na Etapa 5 observa-se a presença de Ciliados *Litonotus* (Figura 10 a), *Vorticella* e Protozoários fixos (Figura 10 b), que indicam efluente em boas condições. Os ciliados livres (*Vorticella*) são espécies relativamente frágeis à introdução de compostos tóxicos e à falta de oxigênio. É um indicador de uma correta eficiência depuradora e de modo geral, o comprimento do pendúnculo está relacionado ao grau de tratamento, ou seja, quanto mais ele é longo, melhor é o tratamento (CANLER et. al., 1999). Com o decorrer do ensaio apareceram no meio líquido os ciliados *Dexiostoma* (Figura 10 c), que indicam a falta de oxigênio.

A utilização da microscopia ótica foi de fundamental importância, pois através dela pôde-se verificar antecipadamente as condições em que o meio líquido se apresentava antes mesmo de

efetuar as análises físico-químicas do efluente, e efetuar modificações operacionais no reator, como aumento da vazão de ar para melhorar a oxigenação, por exemplo.

Produção Específica de lodo (Y). A Figura 8 mostra a evolução da produção específica de lodo durante as etapas.

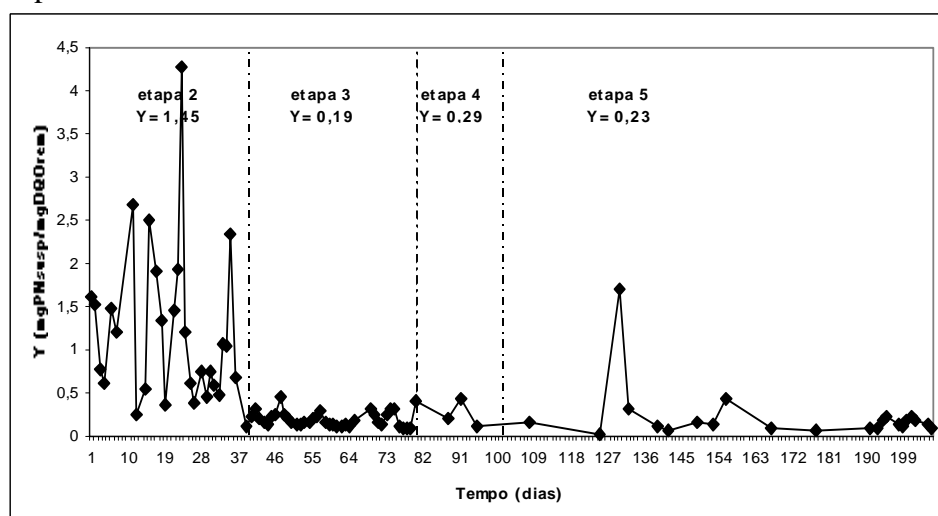


Figura 8 – Produção específica de lodo no decorrer do tempo

No geral a produção específica de lodo foi baixa (0,2 a 0,3mgPNsuspensa/mg de DQO removida), exceto na etapa 2 quando o reator funcionou em regime intermitente. Essa baixa produção específica do lodo vem confirmar uma das vantagens do tratamento em leito fluidizado trifásico. Enquanto outros processos convencionais produzem cerca de 0,4 a 0,6 mgbiomassa/mg DQO removida (lodos ativados) ou 0,4gST/g DQOremovida (biofiltros) o RLFTA produz cerca de duas a três vezes menos lodo do que os processos convencionais (CAMPOS, 2001). Esse fato também foi confirmado por SALES (1999) e GRANDO-ALVES (2000) utilizando reator de leito fluidizado trifásico para o tratamento de efluentes têxteis.

Sólidos Suspensos (SS). Na etapa 5 foi determinada a concentração de sólidos suspensos na entrada do reator e saída do decantador. A eficiência média de remoção destes foi de 52%, apresentando uma concentração média no afluente de 91 mg/L.

Remoção de Organismos Patogênicos. Os coliformes fecais foram determinados nas etapas 2 e 5. Os valores obtidos no afluente do reator ficaram na faixa de 10^7 e 10^5 /100 mL e os valores obtidos no efluente do reator foram de 10^5 a 10^3 /100 mL, para ambas as etapas. Houve uma redução dos coliformes fecais na faixa de 2 unidades log. Considerando-se a etapa de tratamento anaeróbio, a redução dos coliformes fecais foi de 3 a 4 log para o sistema de tratamento.

CONCLUSÕES

O reator de leito fluidizado trifásico aeróbio mostra um grande potencial para o tratamento de efluentes sanitários, uma vez que apresentou boa eficiência em termos de remoção carbonácea, tratando elevada carga orgânica aplicada (de 12 a 50 kgDQO/m³.dia), com baixo tempo de retenção hidráulica (12, 21 e 42 minutos), e baixa produção específica de lodo (Y= 0,2 a 0,3 mgPNsuspensa/mgDQOremovida), quando operado em condições adequadas. O reator apresentou redução de 2 unidades log para os coliformes fecais, mostrando também capacidade de desinfecção.

O biofilme desenvolvido no reator é capaz de absorver mudanças bruscas nas cargas aplicadas, mantendo uma estabilidade no tratamento. Existe uma renovação constante da biomassa aderida e elevada produção de polissacarídeos, mantendo o biofilme fino e coeso.

Foi observada a cohabitação de diferentes espécies de microrganismos na fase líquida do reator de leito fluidizado resultantes da perda do biofilme, como pequenos flocos ricos em *Zooglea*, Zooflagelados, ciliados fixos (como *Epistylis*, *Vorticellas*) e livres (*Uronemas*, *Metopus* e outros), e ainda, bactérias filamentosas e muitas bactérias livres em suspensão.

A utilização da microscopia ótica apresenta-se como um bom instrumento de avaliação, fornecendo uma resposta rápida sobre a adequabilidade das condições operacionais do reator, possibilitando uma otimização do tratamento biológico.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FINEP/PROSAB, CEF e ao CNPq pelo financiamento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AURESENIA, J., HIBIYA, K., TSUNEDA, T., and HIRATA, A. Kinetic equation for simultaneous oxidation of total organic carbon and ammonium – nitrogen in three-phase fluidized bed biofilm reactor. Proceedings: Conference on Biofilm Systems, **IAWA/IWA**, New York, USA.
- BARTHEL, L. Estudo do Biofilme desenvolvido em Reator de Leito Fluidizado Trifásico Aeróbio no Tratamento de Efluentes Têxteis. Dissertação de Mestrado. FLORIANÓPOLIS-UFSC. 1998.
- BERGAMASCO, R. O uso de partículas poliméricas para adesão microbiana em tratamento biológico de resíduos. Tese de doutorado – CAMPINAS-UNICAMP. 1996.
- BISHOP, P. Biofilm structure and kinetics. *Water Science and Technology*, **36** (1) pp 287-294, 1997.
- CANLER, J.P., PERRET, J.M., DUCHERE, P., COTTEUX, E. Aide ou diagnostic des stations d'épuration par l'observation microscopique des boues activées. Edition CEMAGREF, 155p. 1999.
- CAMPOS, R.H. Utilização de Reator de Leito Fluidizado Trifásico Aeróbio em Sistema de Tratamento Combinado de Águas residuárias. Dissertação de Mestrado – FLORIANÓPOLIS-UFSC. 2001.
- COSTA, R.H.R. Etude du Contrôle du Biofilm Développé Dans un Lit Fluidisé Triphasique en Epuration Carbonée Aérobie. Thèse de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées (INSA). TOULOUSE, 1989.
- DISTLER, G. A., RUSSO, C. e SANT'ANNA Jr., G.L. Tratamento de esgoto em reator aeróbio de leito fluidizado trifásico. *Anais do 18º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Salvador, Ba, ABES, editoração eletrônica, 1995.
- FLEMMING, H.C. and WINGENDER, J. Relevance of microbial extracellular polymeric substances (EPS_s) – Part I: Structural and ecological aspects. *Water Science & Technology*, **43**(6), 1-8.
- GRANDO ALVES, K.C., BORTOLOTO, A.F., SOUZA, D.P., COSTA, R.H.R. Textile effluent through na aerobic fluidized-bed reactor followed by ozonization. in *IAWQ Conference on Biofilm Systems*. New York, october, 1999.
- GONÇALVES, R.F., PASSAMANI, F.R.F., SALIM, F.P., SILVA, A.L.B., MARTINELLI, G e BAUER, D.G. Associação de um Reator UASB e Biofiltros Aerados Submersos para Tratamento de Esgoto Sanitário. *PROSAB (coletânea de trabalhos técnicos)*, **v.1**, p.119-134. 2000.
- NASCIMENTO, M.C.P., CHERNICHARO, C.A.L. e BEJAR, D.O. Filtros Biológicos Aplicados ao Pós-Tratamento de Efluentes de Reatores UASB. *PROSAB (coletânea de trabalhos técnicos)*, **v.1**, p.107-118. 2000.
- LAZAROVA, V. & MANEM, J. Biofilm characterization and activity analysis in water and wastewater treatment. *Water Science and Technology*, **29**(10):2227-45, 1995.
- LOWRY, O.H. et al.. Protein Measurement With The Folin Phenol Reagent. *Journal of Environmental Engineering*, **112** (4): 718-727. 1951
- RYHNER, G. , BIROU, B. and GROS, H. The use of submerged structured packings in biofilm reactors for wastewater treatment. *Water Science and Technology*, **26**(3-4):723-31, 1992
- SALES, R. Cinética de degradação de efluente têxtil por biofilme em leito fluidizado trifásico aeróbio. Dissertação de mestrado. FLORIANÓPOLIS-UFSC. 1999.
- TAVARES, C.R.G. Tratamento Aeróbio de Efluentes em Bio-reatores de Leito Fluidizado Trifásico Aeróbio. Tese de Doutorado. RIO DE JANEIRO-UFRJ. 1992.
- WOLFF, D.B. Estudo da Tratabilidade de um Efluente Têxtil por Biomassa Fixa através de um Reator de Leito fluidizado Trifásico Aeróbio. Dissertação de Mestrado. Engenharia Ambiental, FLORIANÓPOLIS-UFSC. 1997.