



XI SILUBESA

Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

28/03 a 02/04/2004 - Natal - Rio Grande do Norte - Brasil

II-057 - EFICIÊNCIA NA REMOÇÃO DE NUTRIENTES DE UM REATOR COMPARTIMENTADO ANAERÓBIO/AERÓBIO TRATANDO ESGOTO SANITÁRIO

Gustavo Henrique Ribeiro da Silva⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Faculdade de Engenharia Civil de Araraquara. Mestre na área de Saneamento e Ambiente pela Faculdade de Engenharia Civil (UNICAMP). Doutorando na área de Saneamento e Ambiente pela Faculdade de Engenharia Civil (UNICAMP).

Edson Aparecido Abdul Nour⁽²⁾

Prof. Doutor, Depto. de Saneamento e Ambiente, Fac. de Eng. Civil, UNICAMP - ednour@fec.unicamp.br

Endereço⁽¹⁾: Rua Sérgio Fernando Paranhos Fleury, 49 – Jd. Sta. Helena – São Carlos - SP - CEP: 13566-430 - Brasil
- Tel: (16) 2614107



eng_guga@yahoo.com.br

RESUMO

O crescimento industrial, a urbanização e a elevação do padrão de vida provocaram um aumento significativo na quantidade de esgotos municipais, agravaram as condições sanitárias nos últimos anos, inviabilizando a utilização da capacidade de autodepuração dos corpos d'água como forma de evitar os indesejáveis efeitos da poluição. Tendo em vista a realidade econômica brasileira e a necessidade de implantação de estações de tratamento de esgoto sanitário, é muito importante que existam diversas opções tecnológicas adequadas às condições locais, capazes não só de apresentarem custos menores de implantação e operação, que os sistemas convencionais, mas que também produzam efluentes finais com a qualidade necessária para atender os padrões de lançamento exigidos. Uma alternativa economicamente viável aos sistemas de tratamento de esgotos domésticos é o tratamento anaeróbio, que tem recebido atenção especial nas pesquisas desenvolvidas no Brasil, principalmente os reatores anaeróbios de alta taxa, uma vez que estes apresentam-se como unidades compactas e com boa eficiência de tratamento. Como uma das alternativas tecnológicas capazes de proporcionar as variações das condições ambientais necessárias para a ocorrência dos processos acima mencionados, está a utilização de reatores compartimentados anaeróbio/aeróbio. O objetivo principal desse trabalho é avaliar a remoção de nutrientes em um reator compartimentado anaeróbio/aeróbio operado com vários tempos de detenção hidráulicos (TDH) nas câmaras anaeróbias e aeróbia e alimentado com esgoto sanitário. O desempenho do sistema foi avaliado em diversos tempos de detenção hidráulica (TDH), onde os melhores valores de remoção de Fósforo Total – 54 %, Nitrogênio Amoniacal – 66 % e Nitrogênio Total Kjeldahl – 55 %.

PALAVRAS-CHAVE: Reator Compartimentado, Tratamento Anaeróbio, Tratamento Aeróbio, Nutrientes, Esgoto Sanitário.

INTRODUÇÃO

O tratamento anaeróbio de águas residuárias tem recebido atenção especial nas pesquisas em desenvolvimento no Brasil, devido às vantagens oferecidas pelo processo de digestão anaeróbia em tratamento de efluentes líquidos, sobretudo pelo baixo volume de lodo gerado quando comparado ao tratamento aeróbio. Porém, trata-se de um processo complexo de degradação e susceptível às variações das condições ambientais, como pH, temperatura, concentração de substratos e de produtos tóxicos podem comprometer a eficiência processo.

Tendo em vista a realidade econômica brasileira e a necessidade de implantação de estações de tratamento de esgoto sanitário, é muito importante que existam diversas opções tecnológicas adequadas às condições locais, capazes não só de apresentarem custos menores de implantação e operação, que os sistemas convencionais, mas que produzam efluentes finais com a qualidade necessária a atender os padrões de lançamento exigidos.

Na tentativa de minimizar as desvantagens e otimizar as vantagens presentes nos processos anaeróbios e aeróbios, busca-se a união dos sistemas biológicos de tratamento de águas residuárias, ou seja, a conjugação de processos aeróbios (que proporciona uma boa qualidade do efluente tratado, mas com uma alta geração de lodo), com processos anaeróbios (que possui baixa produção de um lodo, com elevado grau de estabilização, aliado a um baixo consumo de energia elétrica).

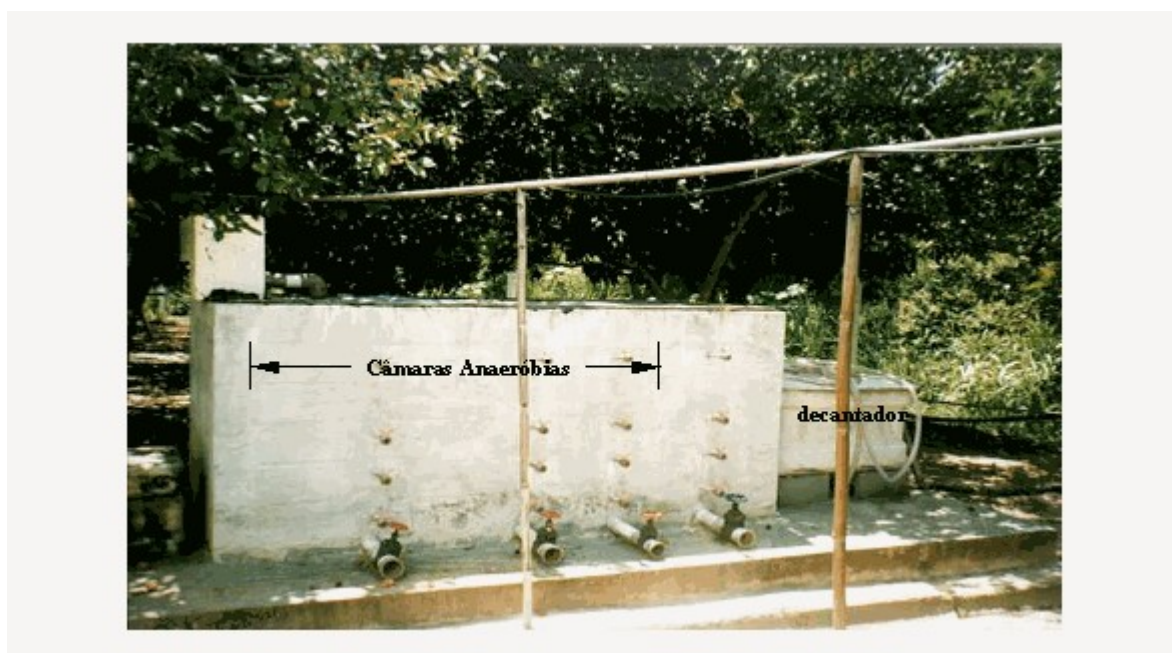
Desta forma, foi construído um sistema constituído de um reator composto por quatro câmaras sequenciais, sendo as três primeiras anaeróbias e a última aeróbia, totalizando um volume aproximado de $2,5 \text{ m}^3$. O lodo gerado pelo reator é capturado em um decantador laminar e encaminhado a câmara aerada do reator com a finalidade de além da manutenção de alta qualidade de biomassa ativa no sistema, proporcionar uma maior estabilização do lodo.

O objetivo principal desse trabalho é avaliar a remoção de nutrientes em um reator compartimentado anaeróbio/aeróbio operado com vários tempos de detenção hidráulicos (TDH) nas câmaras anaeróbias e aeróbia e alimentado com esgoto sanitário.

MATERIAL E MÉTODOS

O reator compartimentado referido no presente artigo, foi operado junto à estação de tratamento de esgotos (ETE) do bairro da Graminha, localizado no município de Limeira-S.P., Brasil, em uma área pertencente à empresa Águas de Limeira cedida à UNICAMP para o uso de pesquisas. Construído em alvenaria armada, o reator compartimentado é formado por quatro câmaras sequenciais sendo a três primeiras câmaras anaeróbias e a última câmara aeróbia, com volume aproximado de $1,0 \text{ m}^3$, $0,50 \text{ m}^3$, $0,50 \text{ m}^3$, $0,50 \text{ m}^3$ respectivamente, apresentando como dimensões externas: 3,06 m de comprimento por 1,30 m de altura por 1,50 m de largura. Um decantador laminar, localizado após a câmara aeróbia, com volume de $0,5 \text{ m}^3$, completa o sistema de tratamento. O volume da primeira câmara é maior que as demais, a fim de prolongar o tempo de detenção hidráulica nesta câmara, já que segundo CLARETO (1997), é nesta que se dá a maior remoção da matéria orgânica.

Figura 1: Reator Compartimentado Anaeróbio/Aeróbio



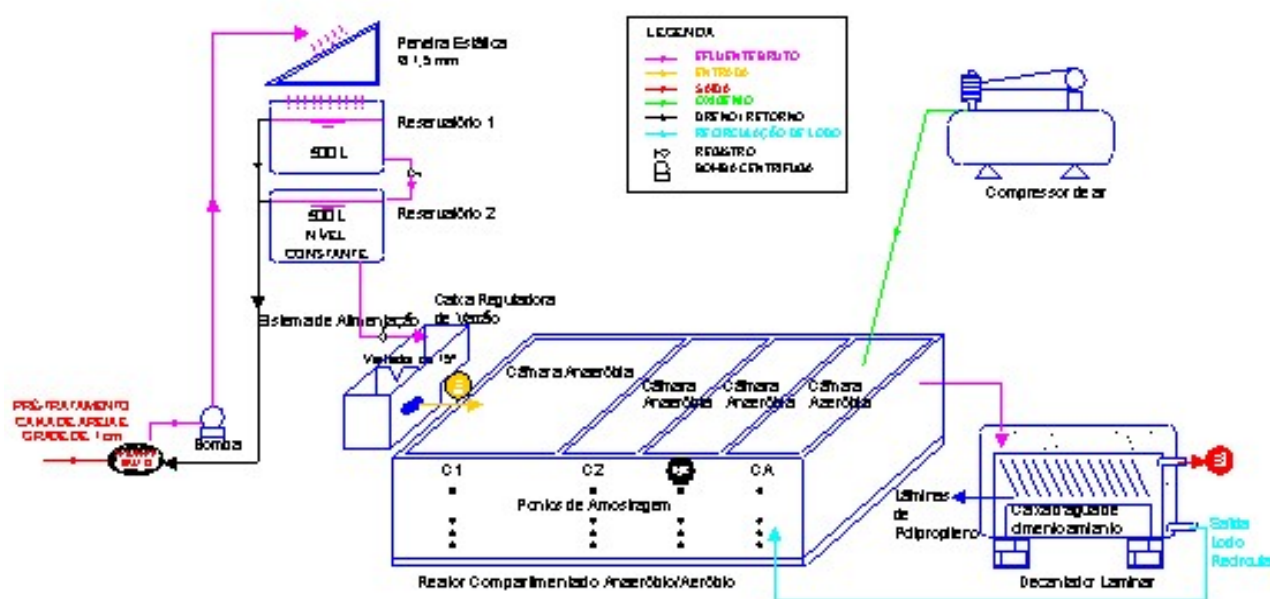
O efluente líquido que abastecia o sistema era proveniente da rede coletora pública, e recebia um tratamento com características de nível preliminar; grade grosseira, caixa desarenadora e peneira estática, antes da entrada no reator compartimentado. O controle da vazão de efluente para o sistema era realizado por meio de um vertedor triangular, de abertura de 15° , localizado antes do reator. Um esquema completo do sistema de tratamento utilizado no estudo, pode

ser observado na Figura 2.

Após a saída do reator, existe um decantador secundário laminar constituído por uma caixa de fibro cimento com $0,5\text{m}^3$ de volume. As lâminas, confeccionadas em polipropileno, são dispostas formando um ângulo de 60° em relação à horizontal. (Figura 2)

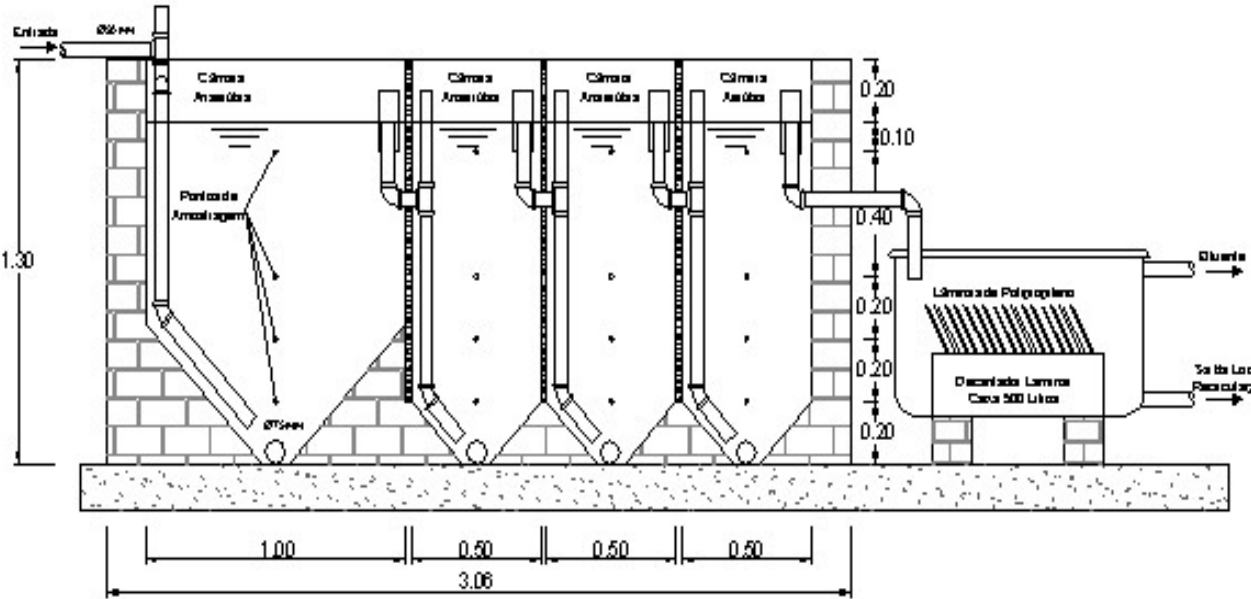
O fornecimento de ar para a quarta câmara foi realizado por um compressor de uso comercial com reservatório para 175 L e pressão máxima 120 lbf/pol^2 , utilizando um sistema de aeração composto por difusores de ar colocados junto ao fundo.

Figura 2: Esquema Geral do Sistema Tratamento de Esgotos.
Fonte: Adaptado SILVA (2001)



Os pontos de amostragens foram os seguintes: (E) – após o vertedor, antes da entrada do reator; (C3) – saída da câmara 3 e localizado a 1,0 m de altura do fundo do reator. (Figura 2 e 3)

Figura 3: Perfil do Reator Compartimentado Anaeróbio/Aeróbio
Fonte: Adaptado ZANELLA (1999)



As amostragens foram realizadas de forma composta, durante 4 horas, uma vez por semana. As variáveis estudadas foram pH, fósforo total, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total Kjeldahl. As metodologias utilizadas para a determinação destas variáveis estão contidas em APHA (1992).

As diferentes Etapas de estudo foram caracterizadas pela variação do TDH utilizados na fase anaeróbia, as quais estão descritas na Tabela 1:

Tabela 1: Etapas de operação do reator durante o período de estudo

ETAPAS	TDH da Fase Anaeróbia (horas)	Tempo de Operação (dias)	Período de Operação
Total	-	444	01/03/2000 até 29/05/2001
1 - TDH ₁	8	171	01/03/2000 até 08/08/2000
2 - TDH ₂	12	20	22/08/2000 até 19/09/2000
3 - TDH ₃	8	124	26/09/2000 até 21/11/2000
4 - TDH ₄	4	81	25/01/2001 até 03/04/2001
5 - TDH ₅	4	45	10/04/2001 até 29/05/2001

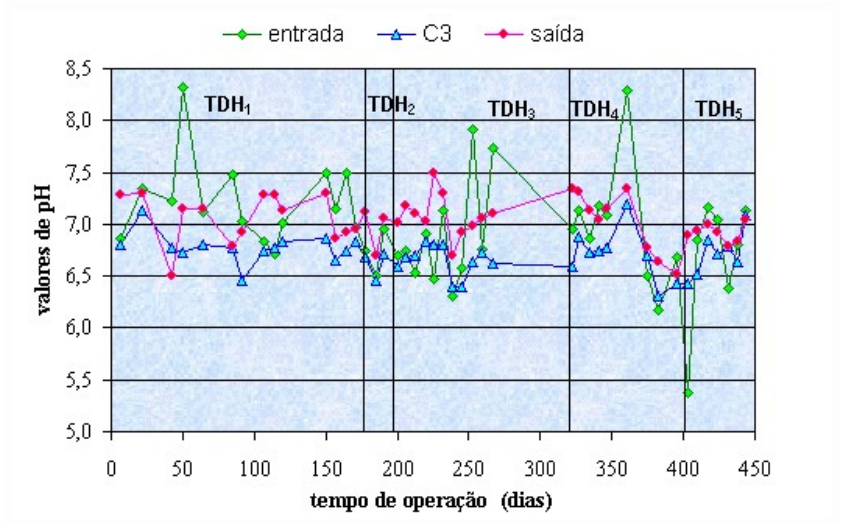
a) pH.

Os valores máximos e mínimos de pH observados durante os diferentes TDH, encontram-se na Tabela 2 e Figura 4:

Tabela 2: Valores mínimos (mín) e máximos (máx) para o pH na entrada, câmara 3 e saída do sistema nas Etapas 1, 2, 3, 4 e 5.

Ponte de coleta	444 dias de operação	TDH ₁	TDH ₂	TDH ₃	TDH ₄	TDH ₅
	mín - máx	mín - máx	mín - máx	mín - máx	mín - máx	mín - máx
Entrada	5,4 a 8,3	6,7 a 8,3	6,5 a 7,0	6,3 a 7,9	6,2 a 8,3	5,4 a 7,2
Câmara 3	6,3 a 7,2	6,5 a 7,1	6,5 a 6,7	6,4 a 6,8	6,3 a 7,2	6,4 a 7,1
Saída	6,5 a 7,5	6,5 a 7,3	6,7 a 7,1	6,7 a 7,5	6,5 a 7,4	6,8 a 7,1

Figura 4: Valores de pH ao longo do tempo



A cidade de Limeira tem entre as suas principais atividades econômicas a produção artesanal de bijuterias. Em muitos desses processos, realizados por pequenas empresas caseiras, parte dos produtos químicos utilizados na confecção das peças são despejados na rede coletora de esgotos causando quedas abruptas de pH e nem sempre sendo detectada já que as coletas são semanais. Podemos ressaltar que os efluentes da câmara 3, aeróbia e saída do reator praticamente não tiveram seu valor de pH alterado, mostrando uma boa estabilidade e capacidade de absorção de choques, reforçando as pesquisas de NACHAIYSIT & STUCKEY (1997a, 1997b), NOUR (1996), ZANELLA (1999).

Independentemente do valor de entrada, o pH de saída também se manteve próximo de 7,0 para as cinco fases. Pode-se observar isto nos 50°, 253° e 267° dias de operação onde o valor do pH de entrada foi de 8,3, 7,9 e 7,7 respectivamente e o valor de pH de saída foi de 7,2, 7,0 e 7,1 mostrando uma boa estabilidade do reator compartimentado anaeróbio/aeróbio.

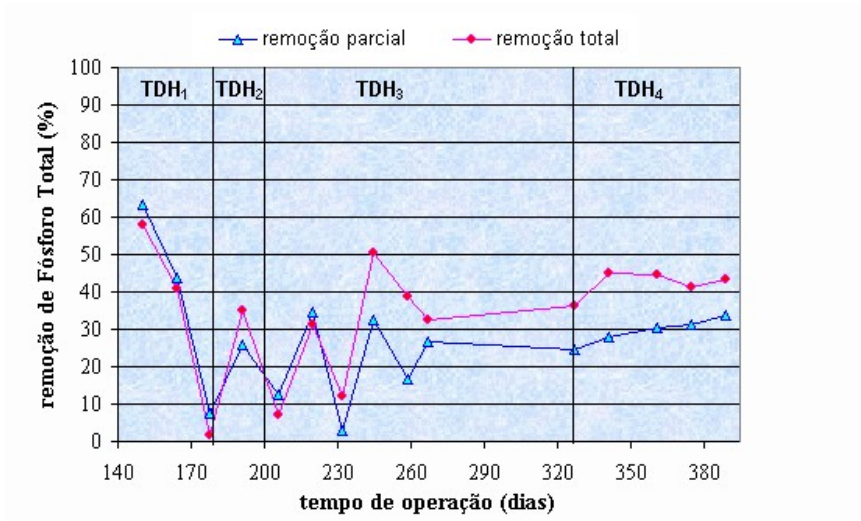
b) Fósforo Total

Os valores médios alcançados para eficiência de remoção de Fósforo Total são apresentados na tabela 3 e Figura 5:

Tabela 3 – Valores médios e desvio padrão da eficiência de remoção de Fósforo Total nos tempos TDH₁, TDH₂, TDH₃, TDH₄ e TDH₅

Ponto de coleta	444 dias de operação	TDH ₁	TDH ₂	TDH ₃	TDH ₄
	M ± dp	M ± dp	M ± dp	M ± dp	M ± dp
Câmara 3	29 ± 14	54 ± 14	26 ± 0	21 ± 12	30 ± 4
Saída	34 ± 13	54 ± 13	44 ± 0	26 ± 11	34 ± 6

Figura 5: Eficiência de remoção de Fósforo Total ao longo do tempo



Os valores de remoção de fósforo total ao longo do tempo de operação, indicam a ocorrência de um equilíbrio dinâmico do sistema quanto a remoção deste parâmetro, indicando o aparecimento de uma população estável de microorganismos responsáveis pela remoção biológica de fósforo. Este fato pode ser observado nos TDH3 e TDH4.

Os valores obtidos são superiores aos encontrados na literatura para reatores compartimentados anaeróbios, em torno de 19,1% (NOUR, 1996; POVINELLI, 1994).

ZANELLA (1999), apresentou como resultados médios de remoção de fósforo total para TDH = 10 horas (8 horas para fase aeróbia e 2 horas para fase aeróbia) 39,10 % para remoção parcial 42,95 % para remoção total, valores estes menores para o mesmo TDH estudado no TDH1 deste trabalho.

Em um reator aeróbio compartimentado recebendo esgoto de um reator compartimentado anaeróbio, LOPES (1999) em seus estudos encontrou uma eficiência média de remoção de 19% para um TDH igual a 8 horas, valor este inferior aos valores apresentados no reator compartimentado anaeróbio/aeróbio.

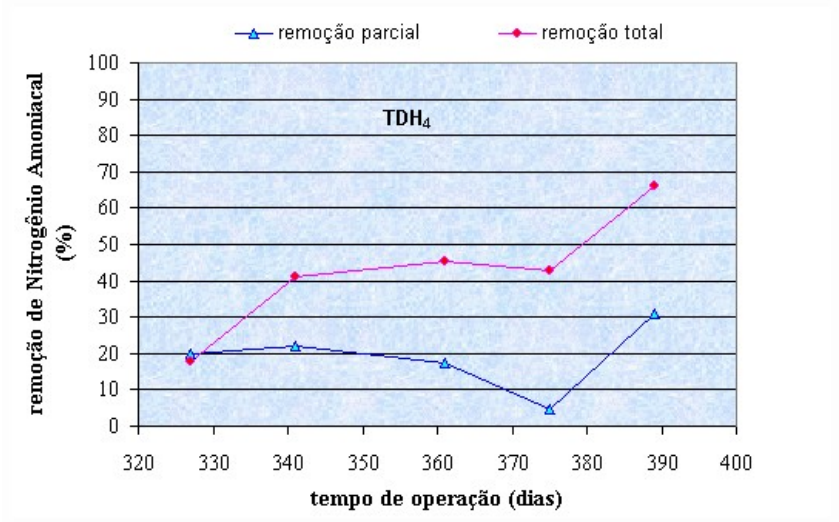
c) Nitrogênio Amoniacal

Os valores médios da eficiência de remoção de Nitrogênio Amoniacal foram monitorados apenas para o TDH4 e os valores alcançados estão apresentados na Tabela 4 e Figura 6

Tabela 4 – Valores médios da eficiência de remoção de Nitrogênio Amoniacal no tempo TDH4

Ponto de coleta	TDH4	327°	341°	361°	375°	389°
	M ± dp					
Câmara 3	19 ± 10	10	22	17	5	31
Saída	43 ± 17	18	40	45	43	66

Figura 6: Eficiência de remoção de Nitrogênio Amoniacal ao longo do TDH4



LOPES (1999), operando um reator compartimentado aeróbio recebendo efluente do reator compartimentado anaeróbio apresentou uma eficiência média de remoção de nitrogênio amoniacal de 60 % para um TDH igual a 8 horas, valor este maior que a média apresentada para o reator compartimentado anaeróbio/aeróbio com o mesmo TDH (8 horas, 4 para as câmaras anaeróbias e 4 para a câmara aeróbia). Para o 389º dia de operação o reator compartimentado anaeróbio/aeróbio apresentou uma remoção de 66% valor este maior que a média apresentada por LOPES (1999).

Mesmo não sendo monitorada a concentração de nitrato, os valores indicam uma provável ocorrência de nitrificação na câmara aeróbia, como sugere o aumento da remoção de nitrogênio amoniacal neste compartimento.

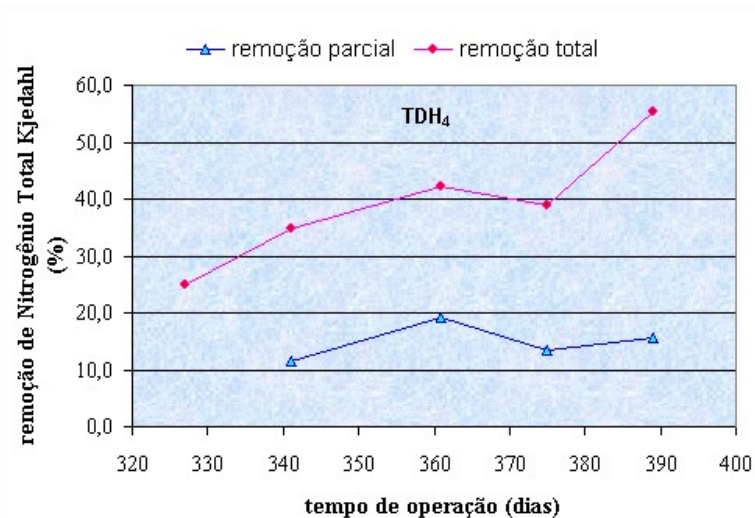
d) Nitrogênio Total Kjeldahl

Os valores médios da eficiência de remoção de Nitrogênio Total Kjeldahl foram monitorados apenas para o TDH4 e os valores alcançados estão apresentados na Tabela 5 e Figura 7:

Tabela 5 – Valores médios da eficiência de remoção de Nitrogênio Total Kjeldahl no tempo TDH4

Ponto de coleta	TDH4	327°	341°	361°	375°	389°
	M ± dp					
Câmara 3	15 ± 3	-	12	19	14	16
Saída	39 ± 11	25	35	42	39	55

Figura 7: Eficiência de remoção de Nitrogênio Total Kjeldahl ao longo do TDH4



Para o reator compartimentado aeróbio recebendo efluente do reator compartimentado anaeróbio, LOPES (1999) apresentou uma eficiência média de remoção de nitrogênio total Kjeldahl de 57 % para um TDH igual a 8 horas, valor este maior que a média apresentada para o reator compartimentado anaeróbio/aeróbio com o mesmo TDH (8 horas, 4 para as câmaras anaeróbias e 4 para a câmara aeróbia). Para o 389º dia de operação o reator compartimentado anaeróbio/aeróbio apresentou uma remoção de 55,3% valor este semelhante a média apresentada por LOPES (1999).

Da mesma forma que o observado para fósforo total, ainda existe a necessidade de um tratamento a nível terciário do efluente tratado pelo reator compartimentado anaeróbio/aeróbio, quando se deseja diminuir o impacto causado pelo efluente líquido no corpo d'água em que ele será lançado. Contudo, a viabilidade da configuração deste reator em promover um tratamento a nível terciário é bastante promissora, indicando a necessidade de estudos mais específicos sobre este tema.

CONCLUSÕES

De acordo com este estudo, conclui-se que:

O equilíbrio dinâmico do sistema (final do TDH₃ e TDH₄) quanto a remoção de Fósforo Total, indica o aparecimento de uma população estável de microorganismos responsáveis pela remoção biológica de Fósforo;

A remoção média para câmara 3 de Nitrogênio Amoniacal para todas as fases foi de 19 ± 10 % e para remoção total foi de 43 ± 17 %;

A remoção média para câmara 3 de Nitrogênio Total Kjeldahl para todas as fases foi de 15 ± 3 % e para remoção total foi de 39 ± 11 % valores maiores que os apresentados por reatores compartimentados anaeróbios citados na literatura, e;

A viabilidade da configuração deste reator em promover um tratamento a nível terciário é bastante promissora;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

1. APHA; AWWA; WPCF, 1992, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18. ed. Washington D. C..
2. CLARETO, C. R., Tratamento biológico de líquidos percolados gerados em aterros sanitários utilizando reator anaeróbio compartimentado. São Carlos. 1997. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 300 p.
3. LOPES, D. D., Tratamento de Esgoto Sanitário Empregando Reatores Compartimentados Anaeróbio/ Aeróbio em Série. São Carlos. 1999. Dissertação (Doutorado): Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 178 p.

4. NACHAIYASIT, S.; STUCKEY, D. C., 1997a., The Effect of Shock Load on the Performance of Anaerobic Baffled Reactor (ABR). 1. Step Changes in Feed Concentration at Constant Retention Time, Water Research, v. 31, n. 11, p. 2737-2746.
5. NACHAIYASIT, S.; STUCKEY, D. C., 1997b., The Effect of Shock Load on the Performance of Anaerobic Baffled Reactor (ABR). 2. Step and a Transient Hydraulic Shocks as Constant Feed Strenght, Water Research, v. 31, n. 11, p. 2747-2754.
6. NOUR, E. A. A., Tratamento de Esgoto Sanitário Empregando-se Reator Compartimentado. São Carlos. 1996. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1996, 266p.
7. POVINELLI, S. C. S., Estudo da Hidrodinâmica e Partida de Reator anaeróbio com Chicanas Tratando Esgoto Sanitário. São Carlos. 1994. Dissertação (Mestrado): Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 128 p.
8. SILVA, G.H.R., Reator Compartimentado Anaeróbio/Aeróbio Tratando Esgoto Sanitário: Desempenho e Operação. Campinas. 2001. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Unicamp. 2001. 211p.
9. ZANELLA, Luciano, Partida de um reator compartimentado híbrido anaeróbio/aeróbio tratando esgoto sanitário. Campinas. 1999. Dissertação (mestrado).Universidade Estadual de Campinas, Unicamp. 1999. 118p.