

Desempenho de lagoas de polimento convencional e com biofilme no tratamento de efluentes sanitários: avaliação da remoção de matéria orgânica, organismos patogênicos e nutrientes

H. R. R. Gonçalves*, D. A. da Silveira*, L. O. Monteggia*, L.P.M. Santos & D.Oliveira

*Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500, Caixa Postal 15029, Porto Alegre, Brazil. (E-mail: helioricardo33@ig.com.br; dialtieri@yahoo.com.br; montegia@iph.ufrgs.br)

Resumo *Este trabalho apresenta os resultados obtidos em 8 meses de operação de um sistema convencional de reator do tipo UASB e lagoa de polimento, comparativamente a um sistema que emprega processo anaeróbio (reator anaeróbio-híbrido) e lagoa de polimento com suporte artificial para o desenvolvimento de biofilme. A avaliação de parâmetros como DQO, DBO, SS, NTK, PT e organismos termotolerantes indicaram leve superioridades da lagoa de polimento com biofilme sobre a lagoa convencional. A lagoa com biofilme apresentou elevada remoção de sólidos totais comparativamente a lagoa convencional. Foi realizado o teste de Tukey a 5% para avaliação de diferenças entre as lagoas.*

Palavras-chave Lagoa de polimento, biofilme, matéria orgânica, remoção de nutrientes, novas tecnologias

INTRODUÇÃO

As lagoas de estabilização são os processos de tratamento de efluentes que melhor se aproximam de um ambiente natural, sendo empregadas como pós-tratamento de processo anaeróbio, e assim denominada de lagoas de polimento. Isso se deve ao fato de unidades anaeróbias terem elevadas eficiências de remoção de material orgânico e sólido em suspensão (Van Haandel & Lettinga, 1994).

O emprego de lagoas de polimento para remoção de nutrientes e decaimento bacteriano tem-se mostrado promissor. Este tipo de lagoa esta sendo empregada em larga escala no Brasil e têm por objetivo proporcionar tempo de retenção suficiente para a desinfecção de efluentes pela radiação ultravioleta e para a remoção de nutrientes (principalmente N e P) pela ação de algas.

Entretanto, a eficiência global de remoção de matéria orgânica dos sistemas com lagoas de polimento é prejudicada pela elevada concentração de algas no efluente provocando uma deterioração da qualidade da água do corpo receptor.

Segundo Kim & Kim (2000), a remoção da biomassa algal é essencial para produzir efluente com menor demanda de DQO_t, DBO₅, carregamento de nutrientes e sólidos totais. O mecanismo de depuração envolve relação mutualística entre bactérias e algas que oxidam a matéria orgânica em presença de oxigênio dissolvido.

O perifiton ou biofilme realiza um importante papel na conversão metabólica e remoção de material biodegradável nos corpos de água. A colonização por microorganismos em superfícies rígidas é um fenômeno trivial no ambiente aquático o qual possui significados ecológicos e industriais. A colonização de microalgas pode ser observada em diferentes ambientes usando vários tipos de substratos naturais ou artificiais.

O uso de perifíton para a remoção de nutrientes é uma estratégia já reconhecida (Jöbgen, 2004). Azim *et al.* (2001), estudando biofilmes, demonstraram que a comunidade presente nos substratos artificiais é muito eficiente na remoção de nutrientes, especialmente fósforo e nitrogênio.

O trabalho tem por objetivo avaliar a eficiência de remoção de matéria orgânica, organismos patogênicos e nutrientes em uma lagoa de polimento com biofilmes, comparativamente a uma lagoa de polimento convencional.

Este trabalho apresenta os resultados obtidos em oito meses de operação de uma lagoa de polimento com suportes artificiais, tratando o efluente de um reator anaeróbio-híbrido comparativamente a um sistema convencional de reator UASB e lagoa de polimento.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado em escala piloto durante 243 dias, tratando parte do efluente sanitário recebido pela Estação de Tratamento de Esgotos São João Navegante, em Porto Alegre – RS.

O sistema era composto por duas unidades operadas em paralelo: (a) reator UASB / lagoa de polimento convencional; (b) reator anaeróbio-híbrido / lagoa de polimento com biofilmes. Ambos os sistemas recebiam uma vazão de 36 m³/dia, equivalente ao efluente gerado por uma população de 240 pessoas.

O reator UASB possui volume de 18,35m³. Foi operado com tempo de detenção hidráulico (TDH) de 12 horas e vazão de 1,5m³/h, com intuito de obter eficiência de remoção de 60% de sólidos suspensos, 70% de DBO₅ e 60% de DQO. A remoção de nutrientes (10%) bem como de organismos patogênicos (80%) não diferiram muito das referidas na literatura especializada.

O reator anaeróbio-híbrido possui as mesmas características físicas do reator UASB, apresentando remoções de DBO e DQO próximas a 70% e de SS próximas a 80%. Por ser um processo anaeróbio, as remoções de patogênicos e nutrientes assemelharam-se as obtidas no reator UASB.

A lagoa de polimento convencional (Figura 1a), assim como a lagoa de polimento com biofilme (Figura 1b), apresentam as mesmas características físicas e hidrodinâmicas, ou seja, possuem área superficial a meia altura de 465m², sendo operadas com altura da lamina d'água de 1,0 m e tempo de detenção hidráulico de 13 dias. O fluxo tende a regime hidráulico dito pistonado, pois a lagoa possui relação C:L de 11,4.

A diferença entre a lagoa de polimento com biofilme da lagoa convencional é a utilização de meio suporte inerte (telas plásticas) para crescimento aderido de organismos perifíticos (biofilme).

As telas foram distribuídas no sentido transversal ao fluxo de escoamento na lagoa, com espaçamento entre telas de 50cm, 10 telas por linha e 72 linhas ao longo da lagoa, proporcionando acréscimo de área de 930 m². Dessa forma a relação entre área superficial e população tratada ficou em aproximadamente 2 m²/hab para a lagoa de polimento convencional e 6 m²/hab para a lagoa de polimento com biofilme.



Figura 1. Lagoas de polimento utilizadas no estudo: (a) convencional; (b) com biofilme

Os parâmetros operacionais do processo, monitorados semanalmente foram: pH, alcalinidade, temperatura, DQO_{total}, NH₄-N, PO₄, ST, SV, SD, coliformes totais e organismos termotolerantes (Apha, 2005).

O valor médio das concentrações de esgoto bruto, baseado nos parâmetros analisados, está relacionado na Tabela 1

Tabela 1. Características do efluente dos reatores UASB e anaeróbio-híbrido (AH) encaminhado às lagoas.

Reator	DQO _T (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	NTK (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	Alc (mg/L)	P _{Total} (mg/L)	SST (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	pH	CT ¹	OT ²
UASB	159,5	98,9	33,4	27,2	213,8	4,61	292,6	4,12	6,90	7,81E6	3,16E6
Anaeróbio híbrido	161,6	101,3	32,1	24,2	201,7	4,93	233,1	3,64	6,98	7,19E6	2,32E6

1- Coliformes Totais (NMP/100mL); 2 - Organismos Termotolerantes (NMP/100mL)

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se delineamento inteiramente casualizado (DIC) para o experimento, com análise de variabilidade dos resultados pelo teste de significância de Tukey com 5 %.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise estatística dos dados indicou diferença significativa na concentração dos efluentes dos dois sistemas para os parâmetros alcalinidade, fósforo total, sólidos suspensos totais e ortofosfato.

O valor médio das concentrações e das eficiências da lagoa de polimento e da lagoa de biofilmes no período está relacionado na Tabela 2.

Tabela 2. Características do efluente e eficiências das lagoas de polimento convencional e com biofilme.

Lagoa	DQO _T (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	NTK (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	Alc (mg/L)	P _{Total} (mg/L)	SST (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	pH	CT ¹	OT ²
Convencional	152,7	105,1	23,9	17,4	169,6	4,59	231	3,35	7,73	5,83E5	1,97E5
Eficiência (%)	4,22	-6,2	28,5	35,9	20,7	2,19	0,95	18,7	-12,1	92,5	94,1
Com Biofilme	162,1	97,4	19,9	14,3	159,4	4,48	165	3,09	7,99	1,01E6	2,25E5
Eficiência (%)	-0,31	3,9	37,9	40,9	21	9,07	44,8	15,2	-14,4	86	90,3

1- Coliformes Totais (NMP/100mL); 2 - Organismos Termotolerantes (NMP/100mL)

Remoção de DQO_{total}, DBO₅, carregamento superficial aplicado

O carregamento orgânico superficial da lagoa convencional foi de 123,1 kg DQO/ha.dia e de 76,3kg DBO/ha.dia. Na lagoa com biofilmes, o carregamento foi de 124,7kg DQO/ha.dia no sistema convencional e de 78,2kg DBO/ha.dia no reator AH. Esses valores mostraram carregamento orgânico similar em termos de DQO e DBO nas duas lagoas.nao houve diferenca estatistica significativa.

Mara & Person (1987), indicam o valor de 150 kg DBO₅/ha.dia, como o valor apropriado para a classificação de lagoas de maturação. As cargas superficiais aplicadas, em termos de DQO_{total} e DBO₅, segundo Kato *et al.* (2001), configurariam a lagoa como lagoa de maturação. As cargas de DBO₅ aplicadas ficaram abaixo de 100 kg DBO₅/ha.dia. Kone et al. (2005) indicam eficiência de 30 a 60% para carregamento máximo de 181 kg DQO/ha.dia.

É interessante ressaltar que a DQO solúvel apresentou remoção aproximada de 38,1% na lagoa de polimento convencional e de 1,8% na lagoa com biofilmes, havendo diferença significativa nas taxas de remoção de DQO solúvel. Isso provavelmente deve-se a incorporação da DQO solúvel por parte biomassa algal.

A DQO total apresentou eficiência de remoção na lagoa de polimento próximo a 4,2% e acréscimo de 0,31% de DQO total na lagoa com biofilmes, sendo identificada diferença significativa pelo teste de medias. Houve aumento da relação DBO/DQO após o tratamento na lagoa convencional de 0,62 para 0,69. Ao contrario, na lagoa de polimento com biofilmes, houve diminuição dessa relação na lagoa com biofilmes (de 0,62 para 0,60). Isso indica que existe de boa fração de matéria orgânica ainda passível de ser biodegradada por outro processo biológico mas de difícil degradação, pela origem ser devida à massa algal.

Kato *et al* (2001), estimaram a DQO de saída do efluente de lagoas de polimento operadas com lâmina d'água de 1,0 m, projetadas com densidade populacional de 2 hab/m², obtiveram concentrações do efluente com valores próximos a 100 mg/L.

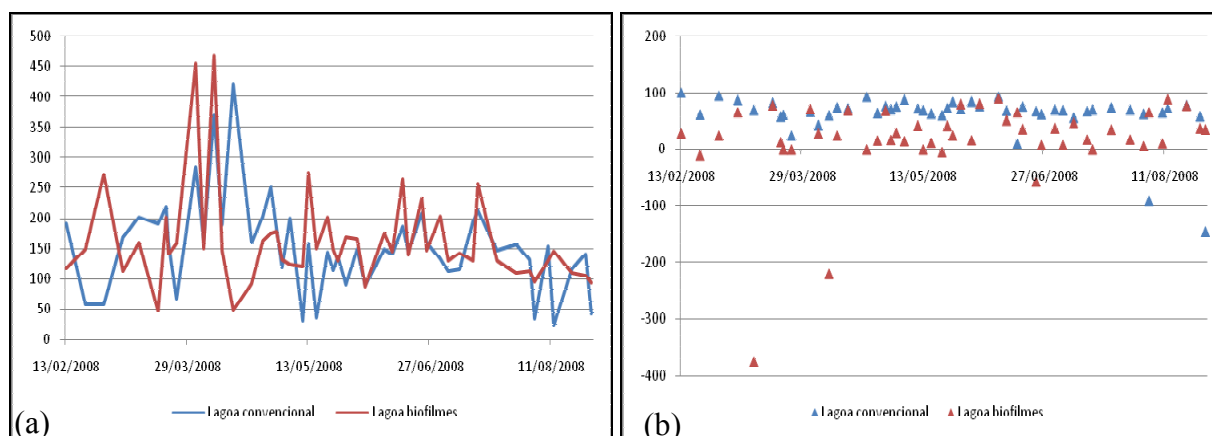


Gráfico 1. (a) Valores de concentração(—) e (b) Eficiência de remoção de DQO(▲).

Através do Gráfico 1, observa-se que a concentração da DQO no efluente de ambas lagoas de polimento manteve-se equivalente, mas apresentaram diferença estatística. As variações na eficiência foram maiores na lagoa com biofilme, possivelmente pela perda periódica de biofilme dos suportes e aumento de DQO no meio líquido. A eficiência da lagoa de polimento convencional foi mais estável.

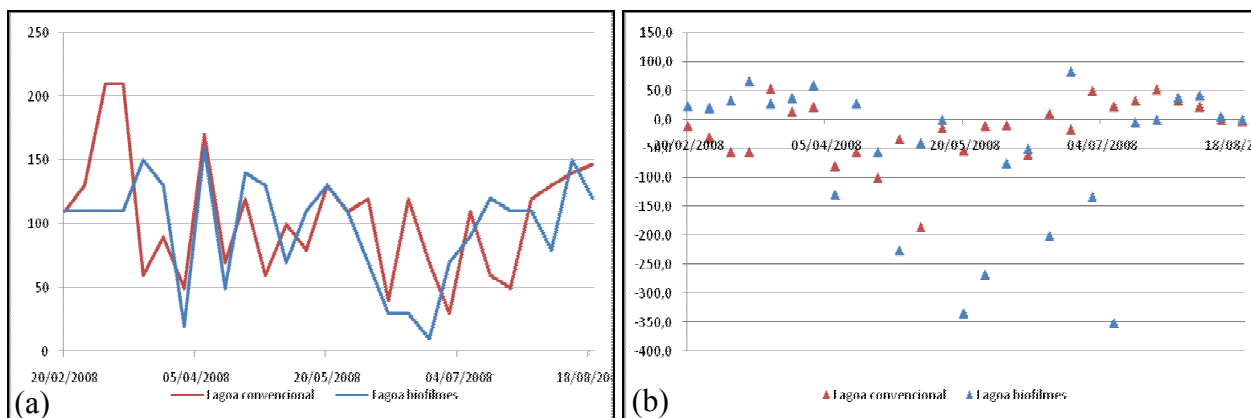


Gráfico 2. (a) Valores de concentração(—) e (b) Eficiência de remoção de DBO(▲) nas lagoas.

A lagoa de biofilmes, conforme se observa no Gráfico 2, apresentou grande variação nas eficiências de remoção.

A pequena redução da concentração de DQO_{total} e de DBO_5 nas lagoas de polimento e de biofilmes pode ter sido influenciada pela taxa de oxidação/estabilização da matéria orgânica, taxa de sedimentação das algas e a taxa de produção fotossintética.

Kato *et al.* (2001), refere à possibilidade de redução drástica da carga orgânica, o que não se verificou, talvez pelo processo anaeróbico não ter sido efetivo em determinados períodos, apesar do alto TDH (12h) utilizado nos reatores.

Não houve diferença significativa entre as concentrações e os carregamentos utilizados nas lagoas, apenas a eficiência do período para o parâmetro DBO_5 apresentou as maiores variações na lagoa com biofilmes.

Sólidos Totais, Sólidos Voláteis, Sólidos Fixos, Sólidos Suspensos e Sólidos Dissolvidos

Os sólidos totais apresentaram remoção próxima a 0,95% na lagoa de polimento convencional e valor de remoção próxima 44,8% na lagoa com biofilmes. Isso se deve à retenção de sólidos suspensos realizado pelo material suporte, que realizou um barramento pela sua disposição transversal ao fluxo, aumentando a possibilidade de sedimentação na lagoa dos sólidos em suspensão.

Observa-se que os sólidos suspensos apresentaram redução nas lagoas, com ênfase na lagoa de polimento com biofilmes, que apresentou eficiência superior em 50% a lagoa convencional.

A concentração de sólidos suspensos em lagoas de polimento, geralmente apresenta eficiência negativa, em condições apropriadas, pois se observa o aumento da biomassa algal, que dificulta a redução de sólidos suspensos. A menor eficiência de remoção de sólidos em suspensão provavelmente deve-se ao crescimento exagerado e descontrolado da biomassa algal na lagoa convencional.

Houve diferença significativa nos valores médios obtidos nos dois períodos.

pH, alcalinidade e turbidez

O pH aumentou nas lagoas de polimento provavelmente devido à atividade algal, que deslocou os equilíbrios do sistema carbonato, o consumo de CO_2 do meio líquido, aumentou o oxigênio dissolvido (OD) disponível e produziu vantagens ao processo fotossintético sobre o processo de degradação da matéria orgânica.

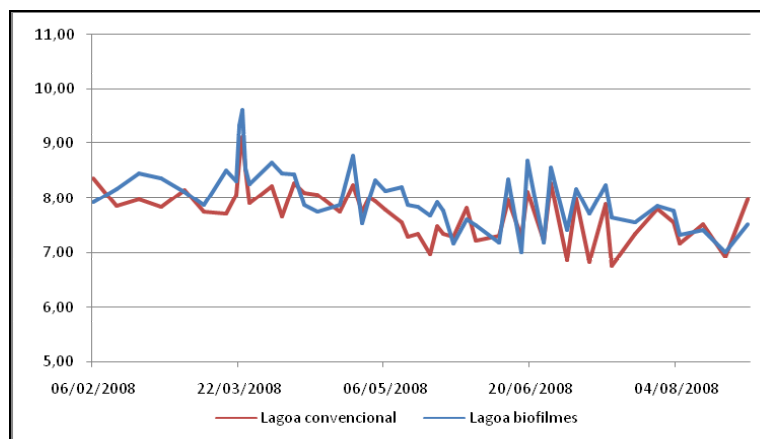


Gráfico 3. Valores de pH(—) nas lagoas.

A lagoa de biofilmes apresentou valores de pH levemente superiores no período.

Como a fotossíntese realizada durante o dia, há assimilação de carbono inorgânico por parte das algas, o valor de pH tenderá a aumentar, pois há decréscimo da concentração de íons de H^+ e desequilibra as relações químicas do sistema carbonato (Keller & Pires, 1998).

Kato *et al.* (2001), referem que a profundidade tem um efeito indireto no pH da lagoa, quando a profundidade é grande, a massa onde ocorre a fotossíntese é pequena e por isso o consumo biológico de CO_2 e aumento de pH será mínimo. Como a profundidade utilizada de 1,00 m, pode-se considerar a lagoa como rasa, e suscetível ao aumento de pH por via biológica.

A observação da boa remoção de sólidos em suspensão nas unidades anaeróbias, provavelmente auxiliou o processo fotossintético, pela maior penetrabilidade do meio líquido pela luz solar na lagoa de biofilmes. Assim a baixa turbidez da lagoa de polimento convencional (38 UNT) e de biofilmes (28 UNT), proporcionaria maiores taxas de remoção de organismos patogênicos e coliformes fecais na lagoa de biofilmes.

Keller & Pires (1998), indicam que a penetração da radiação solar no meio líquido é um dos fatores mais importantes no crescimento algal, tendo influência direta na turbidez e concentração de sólidos. A lagoa de biofilmes apresentou os menores valores de turbidez e sólidos suspensos.

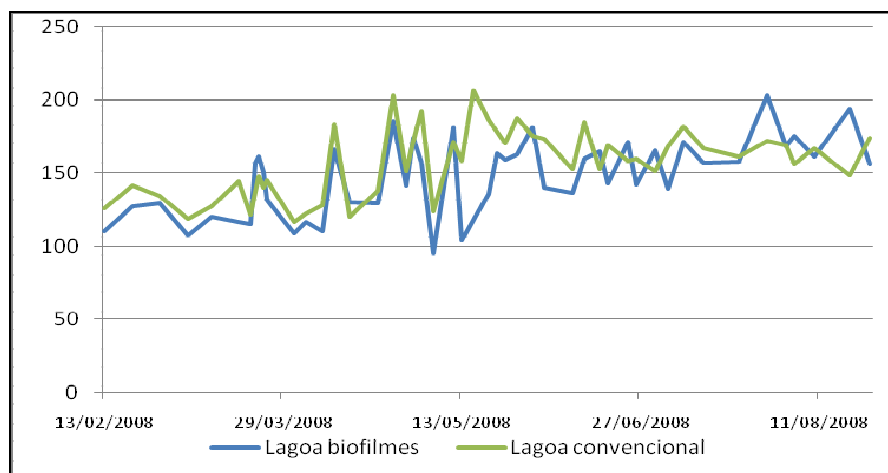


Gráfico 4. Valores de concentração da alcalinidade (—) nas lagoas.

As alcalinidades nas lagoas mantiveram-se equivalente ao longo experimento.

A penetração da luz solar na coluna líquida da lagoa com biofilmes não foi superior a obtida na lagoa convencional, mantendo-se próxima a 20cm, sendo observada pelo disco de Secchi.

Nutrientes e organismos patogênicos

Sabe-se que a remoção de nutrientes é dificultada quando a concentração de material orgânico é ainda elevada e que o crescimento algal está limitado pela disponibilidade de dióxido de carbono, nitrogênio inorgânico e fósforo inorgânico.

Kato, et al, 1994 referem que as variações do pH, nos períodos onde o pH pode ser elevado ($\text{pH} > 9,3$) podem ter contribuído para a dessorção do nitrogênio amoniacal, bem como para a precipitação de sais de fósforo, como o fosfato de cálcio e a apatita. Entretanto isto não ocorreu nas duas lagoas.

A observação de baixa concentração de nitratos e nitritos atribui-se a inexistência de um processo oxidativo na lagoa (nitrificação), mesmo na lagoa com biofilme. Isso pode ter sido limitado pela baixa atividade de organismos nitrificantes na lagoa, principalmente *Nitrossomonas sp.* Esses organismos, em pH menor que 7 ou maior que 9, apresenta inibição, segundo Keller & Pires (1998).

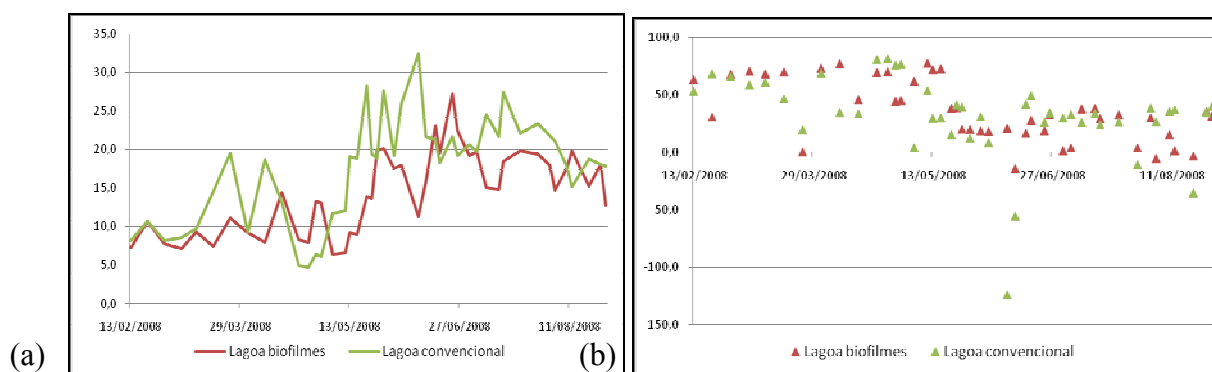


Gráfico 5. (a) Valores de concentração (—) e (b) Eficiência de remoção de $\text{NH}_4\text{-N}$

As lagoas apresentaram equivalência de eficiência e concentração no efluente.

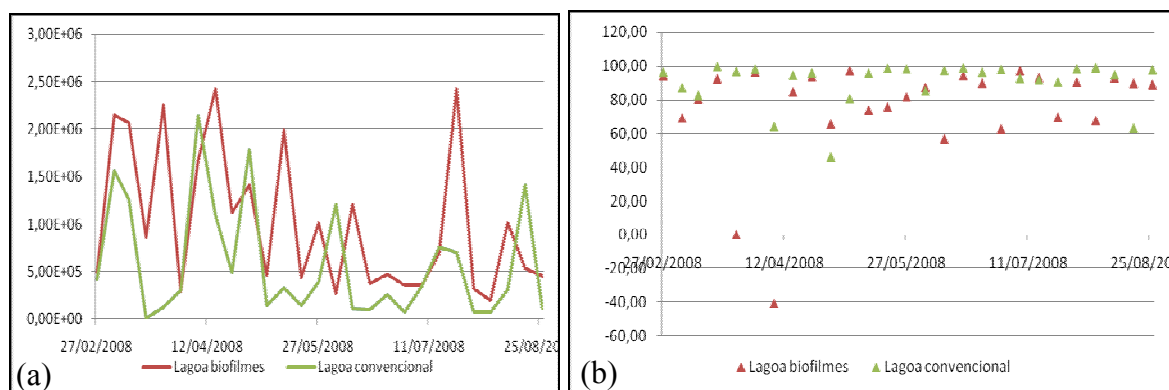


Gráfico 6. (a) Valores de NMP (—) e (b) Eficiência de remoção (▲) de coliformes totais.

No caso de organismos indicadores, foram monitorados apenas o grupo coliformes e os organismos termotolerantes. Von Sperlin *et al.* (1995), indica como típico a eficiência de 60 a 96% para lagoas facultativas. Obtiveram-se nas lagoas valores similares de eficiência e concentração no efluente final.

Acredita-se que na utilização de um TDH próximo há 12,5 dias, os ovos de helmintos serão removidos no lodo de fundo da lagoa por sedimentação. Kato *et al* (2001), refere que apenas alguns dias são necessários para a remoção de ovos de helmintos.

O fósforo não apresentou diferença significativa entre as lagoas, visualizada no Gráfico 7.

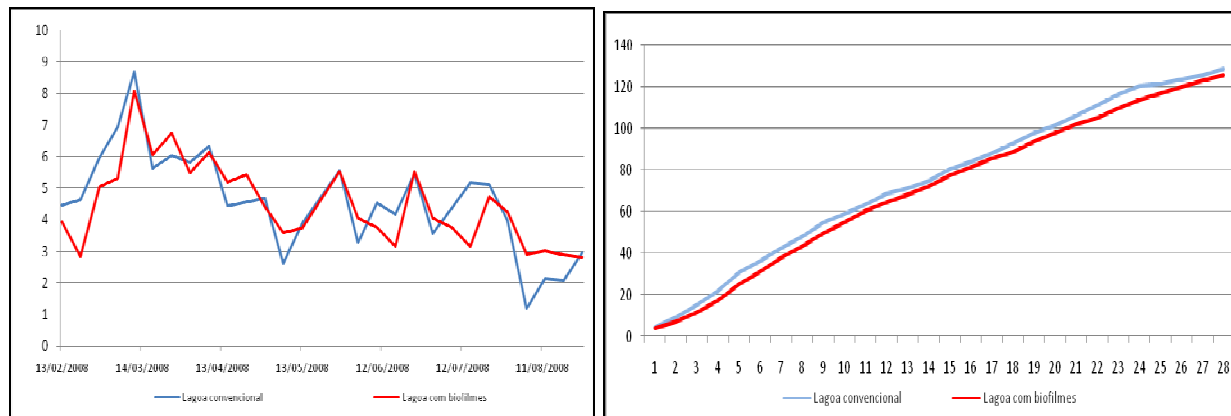


Gráfico 7. Valores acumulados ao longo do período da concentração de fósforo efluente das lagoas

CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que o desempenho da lagoa de polimento convencional apresentou similaridade com uma lagoa empregando suporte artificial na eficiência de remoção de nutrientes e DQO. A utilização de suportes artificiais, não aumentou significativamente a melhoria da remoção dos parâmetros estudados.

A inserção da tecnologia deve ser avaliada quanto aos seus custos de implantação e manutenção.

REFERÊNCIAS

- [1] APHA, (2005) Standard methods for the examination of water and wastewater. 21^a. Ed., Baltimore: United Book Press Inc.
- [2] AZIM, M.E., et al, (2001)- Optimization of fertilization rate for maximizing periphyton production on artificial substrates and the implications for periphyton-based aquaculture. Aquaculture Research. n 32, p.749-760.
- [3] JÖBGEN, A.M., PALM, A. & MELKONIAN, M (2004)-. Phosphorus removal from eutrophic lakes using periphyton on submerged artificial substrate. Hydrobiologia, 528, p. 123-142,
- [4] KATO, M.; CAVALCANTI, P.F.F.; HAANDEL, A.V; SPERLING, M.V.; MONTEGGIA, L.O. & LUDIVICE, M.L (2001). Pós-tratamento de efluente de reatores anaeróbios por lagoas de polimento. Em: Chernicharo, C.A.L. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. Coletânea de Trabalhos Técnicos. FINEP-PROSAB.
- [5] KELLNER, E & PIRES, E.C. (1998) Lagoas de estabilização: projeto e operação. Rio de Janeiro, ABES, 244p.
- [6] KIM, Y. & KIM, W. (2000) Roles of water hyacinths and their roots for reducing algal concentration in the effluent from waste stabilization ponds. Water Research. Vol.34 ,n.º13. pp.3285-3294.
- [7] MARA, D.D. & PEARSON, H.W. (1987) Waste Stabilization Ponds- Design Manual for Mediterranean Europe. World Health Organization, Copenhagen
- [8] TESSELE, F.; MONTEGGIA, L.O.; FRONZA, A. & HEGLERT, A.P. (2005) Uso Integrado de Reator Anaeróbio e Lagoa de Polimento para Tratamento de Esgoto Doméstico Diluído em Clima Sub-Tropical, Trab. II- 215, 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande, MS