



Vol. 3, No. 1, 11-21, 2010

ISSN 0718-378X

# REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:  
Investigación, desarrollo y práctica.

## **AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO TEMPO DE DETENÇÃO HIDRÁULICA E DA TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL NA COMPOSIÇÃO DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA PRESENTE EM LAGOAS DE POLIMENTO E A INFLUÊNCIA DESSA COMUNIDADE NAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS (pH, OD e amônia) DAS LAGOAS**

Marcos von Sperling <sup>1\*</sup>  
Carolina Moreira Oliveira <sup>1</sup>

*EVALUATION OF THE INFLUENCE OF HRT AND SUPERFICIAL LOADING RATE ON THE FITOPLANTONIC COMMUNITY COMPOSITION PRESENT IN WETLANDS AND THE INFLUENCE OF SUCH COMMUNITIES ON ENVIRONMENTAL CONDITIONS ON WETLANDS*

### ABSTRACT

O presente estudo investiga a influência do tempo de detenção hidráulica (TDH) e da taxa de aplicação superficial (TAS) na composição da comunidade fitoplanctônica presente em lagoas de polimento, além da influência dessa comunidade nas condições ambientais dessas lagoas. A pesquisa foi desenvolvida na ETE Experimental UFMG/COPASA, em escala de demonstração, localizada em Belo Horizonte, Brasil. O aparato experimental consistia de um reator UASB, quatro lagoas de polimento e dois filtros de pedra, sendo que as lagoas 1 e 2 operaram em série e as lagoas 3 e 4 em paralelo. Foram realizadas análises físico-químicas de DBO (total) para o cálculo da taxa de aplicação superficial, nitrogênio amoniacal para cálculo de amônia livre, clorofila a e qualitativo e quantitativo de algas, além de medições de pH e OD. Durante todo o período de estudo, as classes de algas que se mostraram dominantes foram as clorofíceas e euglenófitas. Com a mudança de fase e conseqüente elevação da TAS nas lagoas 3 e 4 houve uma diminuição de Scenedesmus e aumento de Chlamydomonas, bem como o surgimento dos gêneros Trachelomonas, Phacus e Euglena. Com a redução do TDH, esse trabalho apontou também a diminuição de Chlorococcales, Cryptomonas e o desaparecimento de Closterium, além do aumento de Micractinium, Chlorogonium e Mallomonas. O pH, o OD e a amônia parecem confirmar a existência de uma forte relação com a atividade biológica exercida pelas algas presentes ao longo do sistema de lagoas.

**Palavras-chave:** fitoplâncton, lagoas de polimento, tratamento de esgotos

---

<sup>1</sup> Department of Sanitary and Environmental, Federal University of Minas Gerais

\* Contact Av. do Contorno 842 – 7º andar – Belo Horizonte – Brazil – 30110-060 – Tel: (55-31) 3409-1935 – e-mail: marcos@desa.ufmg.br

## INTRODUÇÃO

As lagoas de polimento, utilizadas como pós-tratamento para efluentes de reatores anaeróbios de manta de lodo e fluxo ascendente (reator UASB), encontram grande aplicabilidade em países em desenvolvimento e com clima tropical, como é o caso do Brasil. Nesse caso, a operação do sistema é bastante simples, sendo que a estabilização da matéria orgânica ocorre por processos inteiramente naturais.

Em lagoas de estabilização, o sucesso do tratamento de esgotos depende da atividade mutualística de algas e bactérias, sendo que as algas, através da atividade fotossintética, fornecem o oxigênio necessário para que as bactérias possam realizar os processos aeróbios de decomposição da matéria orgânica, bem como manter as condições aeróbias do meio aquático.

A identificação e contagem dos gêneros de algas, nessas lagoas, permitem avaliar o grau de diversidade das amostras coletadas, podendo indicar as condições de carga orgânica do sistema e o grau de tratamento alcançado (König, 1998). As microalgas basicamente controlam a eficiência do tratamento e a qualidade do efluente, assim, esse sistema deve ser projetado para otimizar a concentração e a diversidade de espécies das algas presentes (Pearson, 2003).

Em qualquer ambiente aquático, as variações na biomassa e na diversidade das algas são respostas às modificações da qualidade físico-química e biológica da água. No caso de lagoas de estabilização, a diversidade e densidade das espécies são também muito influenciadas pela carga orgânica da lagoa e variam com as estações do ano, clima, latitude e qualidade do esgoto (König, op cit).

Para Ceballos (2000), o tempo de detenção hidráulica (TDH) em lagoas poderá resultar em diferentes comportamentos da comunidade microbiana. Se for muito curto poderá impedir a geração significativa de biomassa algal, não favorecendo a interação; e se for muito longo poderá resultar num crescimento exagerado do fitoplâncton, resultando na diminuição do oxigênio produzido nas camadas mais profundas, elevação do pH na superfície e menor eficiência na remoção de patógenos.

De acordo com von Sperling (2002), a taxa de aplicação superficial (TAS), carga orgânica por unidade de área, está relacionada com a atividade das algas e o balanço entre produção e consumo de oxigênio. Para Palmer (1969), citado por Athayde *et al.* (2000), Llorens *et al.* (1993) e König (2000) a carga orgânica é o principal fator que influencia a comunidade fitoplanctônica em lagoas de estabilização, sendo que vários estudos relatam a existência de gêneros de algas mais ou menos tolerantes à poluição pela matéria orgânica.

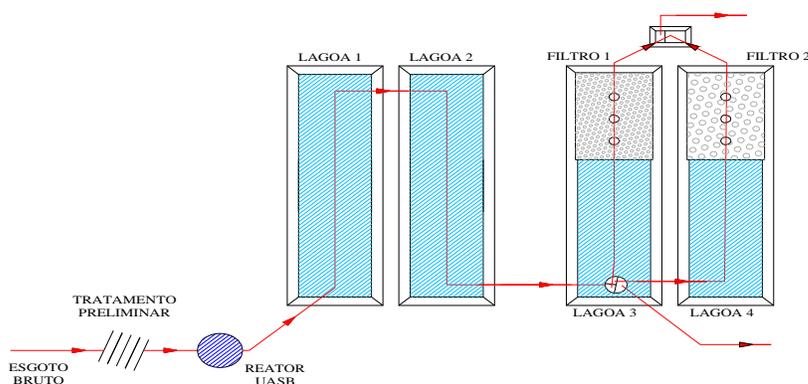
Além disso, a presença da comunidade fitoplanctônica pode interferir nas concentrações de oxigênio dissolvido (OD), pH e amônia livre da seguinte maneira: para a produção de

oxigênio o fitoplâncton consome dióxido de carbono do meio, que geralmente está na forma de íon bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), liberando ( $\text{OH}^-$ ) e com isso o pH se eleva. Essa elevação do pH favorece a conversão da amônia ionizada ( $\text{NH}_4^+$ ) em amônia livre ( $\text{NH}_3$ ), a qual é tóxica, mas tende a se liberar para a atmosfera.

O objetivo desse trabalho é avaliar a influência do tempo de detenção hidráulica e da taxa de aplicação superficial na composição da comunidade fitoplanctônica presente em lagoas de polimento e a influência dessa comunidade nas condições ambientais (pH, OD e amônia) dessas lagoas.

### METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida na ETE Experimental UFMG/COPASA, localizada em Belo Horizonte, Brasil. O aparato experimental para a realização desse trabalho consistia de um reator UASB, quatro lagoas de polimento e dois filtros grosseiros de pedra (Figura 1). As lagoas 1 e 2 operaram em série, e as lagoas 3 e 4 trabalharam em paralelo. O sistema foi projetado para atender uma população de 250 habitantes.



**Figure 1** Esquema do aparato experimental: Reator UASB, lagoas 1 e 2, lagoas 3 e 4 em paralelo e filtros 1 e 2.

Os experimentos tiveram início em abril/2005 e se estenderam até maio/2006, ou seja, ocorreram ao longo de 14 meses. Foram realizados em duas fases relacionadas a dois tempos de detenção hidráulica (TDH) nas lagoas 3 e 4 (em paralelo): Fase 1 (4,0 dias em cada lagoa) e fase 2 (2,0 dias em cada lagoa). A vazão de entrada das lagoas 3 e 4 passaram de  $10 \text{ m}^3/\text{d}$  em cada lagoa durante fase 1 para  $20 \text{ m}^3/\text{d}$  na fase 2. Além disso, na fase 1 os filtros operaram com uma taxa de aplicação hidráulica (TAH) de  $0,5 \text{ m}^3/\text{m}^3.\text{d}$  e na fase 2 essa taxa de aplicação hidráulica dobrou, passando para  $1,0 \text{ m}^3/\text{m}^3.\text{d}$ . A mudança de fase ocorreu em

setembro/2005. As análises de fitoplâncton eram mensais e dos outros parâmetros semanais.

Foram realizadas análises físico-químicas de DBO (total) para o cálculo da taxa de aplicação superficial, nitrogênio amoniacal para cálculo de amônia livre, clorofila *a* e qualitativo e quantitativo de algas, além de medições de pH e OD.

Os métodos de coleta e análise dos efluentes foram especificados de acordo com o descrito no Standard Methods (APHA, 1998).

Para as análises qualitativas do fitoplâncton, as amostras foram coletadas e mantidas sem adição de preservativos. A identificação taxonômica dos organismos fitoplanctônicos ocorreu utilizando-se bibliografia especializada, contendo as descrições dos gêneros, bem como pranchas e microfotografias dos organismos e de suas estruturas. As análises eram realizadas em um período máximo de 12 horas (APHA, 1998). No caso das análises quantitativas coletaram-se amostras que foram fixadas com solução de lugol e armazenadas em frascos de vidro ao abrigo da luz. Para se obter o número de organismos na amostra, utilizou-se o método de contagem em câmara de sedimentação de Sedgwick-Rafter (APHA, 1998). As análises qualitativas e quantitativas das amostras foram realizadas em microscópio binocular da marca OLYMPUS modelo BX 50.

A extração da clorofila *a* foi realizada em local de baixa luminosidade com etanol 90% como descrito em Nush (1980).

As análises estatísticas foram realizadas por meio do software *STATISTICA* versão 6.0.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Influência do TDH e da TAS na comunidade algal das lagoas

Para verificar se existiam diferenças estatisticamente significativas nas concentrações de algas entre as duas fases, ou seja em diferentes tempos de detenção hidráulica (TDH), foi avaliada a influência do TDH na comunidade fitoplanctônica das lagoas em paralelo (L3 e L4) em termos de concentração de algas (org/mL).

- 1ª hipótese nula (Ho): Não existe diferença entre o desempenho em relação às concentrações efluentes de algas das lagoas em paralelo (L3 e L4) para o mesmo TDH.

Situações possíveis:

- Comparação das concentrações efluentes das lagoas 3 e 4 (L3 e L4) para TDH = 4 d (fase 1).

- Comparação das concentrações efluentes das lagoas 3 e 4 (L3 e L4) para TDH = 2 d (fase 2).

Para esta hipótese foi usado o teste Wilcoxon, já que os dados são pareados, mas independentes entre os pares. O teste de Wilcoxon testou, então, se existem diferenças significativas entre as lagoas em paralelo (L3 e L4) na fase 1 e na fase 2. A tabela 1 apresenta os valores de p para o teste de Wilcoxon para a 1ª hipótese, onde se verifica que existem evidências de não haver diferenças significativas entre as lagoas em nenhuma das duas fases, pois em ambas o valor de p mostrou-se bem superior a 0,05, aceitando-se, assim, a  $H_0$ .

**Tabela 1** – Comparação estatística entre a lagoa 3 e a lagoa 4 para o mesmo TDH.

Concentração efluente de algas (org/mL)	Teste não paramétrico de Wilcoxon para amostras pareadas	
	Fase 1 (TDH=4d)	Fase 2 (TDH=2d)
L3 x L4		
Valores de p	0,8927	0,9528

- 2ª hipótese nula ( $H_0$ ): Não existem diferenças na concentração de algas em cada lagoa em paralelo (L3 e L4) para diferentes TDH.

Situações possíveis:

- Comparação das concentrações efluentes da lagoa 3 (L3) para diferentes TDH.
- Comparação das concentrações efluentes da lagoa 4 (L4) para diferentes TDH.

O teste de Mann-Whitney foi selecionado para testar se existem diferenças entre as fases (TDH diferentes) nas lagoas em paralelo (L3 e L4). Esse teste compara as tendências centrais de duas amostras independentes de tamanhos diferentes. A Tabela 2 apresenta os valores de p para o teste de Mann-Whitney para a 2ª hipótese nula. Observa-se que na lagoa 4 há evidências de que existem diferenças significativas nas concentrações efluentes de algas quando os TDH são diferentes. O valor de p para a lagoa 4 é menor que 0,05, rejeitando, assim, a  $H_0$ . Com isso, pode-se concluir que a mudança de fase afetou somente as concentrações de algas no efluente da lagoa 4. A avaliação estatística dos efluentes das duas lagoas em paralelo nas fases 1 e 2 apresentou resultados diferentes devido, provavelmente, a problemas operacionais que resultaram em vazões afluentes diferenciadas.

**Tabela 2** - Comparação estatística entre a Fase 1 e a Fase 2 na mesma lagoa (L3 e L4)

Concentração efluente de algas (org/mL)	Teste não paramétrico de Mann-Whitney para amostras independentes	
	L3	L4
Fase 1 x Fase 2 Valores de p	0,2053	<b>0,0136 *</b>

(\*) valor mediano da lagoa 4 significativamente diferente, ao nível de significância de 5% (valores de  $p < 0,05$ )

A tabela 3 apresenta a abundância média da comunidade fitoplanctônica presente nas quatro lagoas de polimento, em diferentes fases do tratamento. Foram calculadas as TAS (kgDBO/ha.d) e o TDH (dias) para cada lagoa componente do sistema, e pôde-se observar a variação na frequência de alguns gêneros de algas. Para o cálculo da TAS foi utilizada a DBO total afluente a cada lagoa.

Com o resultado da provável diferença estatisticamente significativa entre as duas fases na lagoa 4, nota-se na tabela 3 a existência de alterações quantitativas e qualitativas na lagoa 4 quando se passou da fase 1 (com menor TAS e maior TDH) para a fase 2 (com alta TAS e menor TDH). Vale salientar que uma redução no TDH gera um aumento na TAS e, neste contexto, o comportamento do gênero *Scenedesmus*, que diminuiu com o aumento da TAS, foi o mesmo constatado nos estudos de König (1984) citado por König (2000), Athayde et al. (2001), Pearson et al. (2003). Coincidentemente houve a diminuição da concentração média de Chlorococcales e *Cryptomonas*, além do desaparecimento de *Closterium*.

Outro comportamento descrito por vários autores, como Branco (1986), Pearson et al. (1987), Mara et al. (1992), König (2000), Pearson et al. (2003) e Tadesse et al (2006) é também visto neste trabalho: o acréscimo da concentração média de *Chlamydononas* com o aumento da carga orgânica. Neste trabalho, nota-se o aparecimento da maioria das euglenofíceas (*Trachelomonas*, *Phacus* e *Euglena*) com o aumento da carga orgânica, o que já era esperado, pois os representantes euglenóides possuem metabolismo heterotrófico alternativo, podendo subsistir em condições de elevada turbidez e baixo OD. A diminuição do TDH e o conseqüente aumento da TAS favoreceram o surgimento de gêneros como *Micractinium*, *Chlorogonium* e *Mallomonas*.

**Tabela 3 –** Comunidade fitoplanctônica presente no sistema em fases diferentes

Fases		1				2				
Lagoas		1	2	3	4	1	2	3	4	
<b>TAS (kgDBO/ha.d)*</b>		<b>154,</b>	<b>80,</b>	<b>99,</b>	<b>60,</b>	<b>182,</b>	<b>182,</b>			
		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>9</b>	<b>2</b>	<b>314</b>	<b>256,8</b>	
<b>TDH (dias)*</b>		<b>4,3</b>	<b>4,3</b>	<b>4,1</b>	<b>3,9</b>	<b>4,2</b>	<b>4,2</b>	<b>2,1</b>	<b>2,0</b>	
Clorofíceas	<i>Scenedesmus</i> spp.	0	x	X	XX	x	x	x	x	
	Chlorococcales	XXX	X	X	X	XX	XX	XX	X	
	<i>Monoraphidium</i> sp.	x	0	x	x	X	XX	X	x	
	<i>Micractinium</i> sp.	0	0	0	0	0	X	X	X	
	<i>Chlamydomonas</i> sp.	x	X	x	x	XX	XX	X	X	
	<i>Chlorogonium</i> spp.	0	0	0	0	XXX	XX	XX	X	
	<i>Ankistrodesmus</i> sp.	0	0	x	0	0	0	0	0	
	Euglenofíceas	<i>Trachelomonas</i> sp.	0	0	x	0	X	X	X	XX
		<i>Phacus</i> sp.	0	0	0	0	X	0	XX	X
<i>Lepocinclis</i> sp.		X	0	X	0	0	0	0	0	
<i>Euglena</i> spp.		X	0	0	0	X	X	XX	X	
Cianobactéria	<i>Phormidium</i> sp.	0	0	x	0	0	0	0	0	
Crisofíceas	<i>Mallomonas</i> sp.	0	0	x	0	X	X	x	x	
Criptofíceas	<i>Cryptomonas</i> sp.	X	XX	x	X	0	0	0	X	
	<i>Closterium</i> sp.	X	X	0	X	X	0	x	0	
Zigofíceas	<i>Staurastrum</i> sp.	0	0	x	0	0	0	0	0	
	Peridinales	0	X	X	X	X	x	x	X	
Fitoflagelados	Fitofagelado	XX	X	XX	XX	XX	X	X	XX	

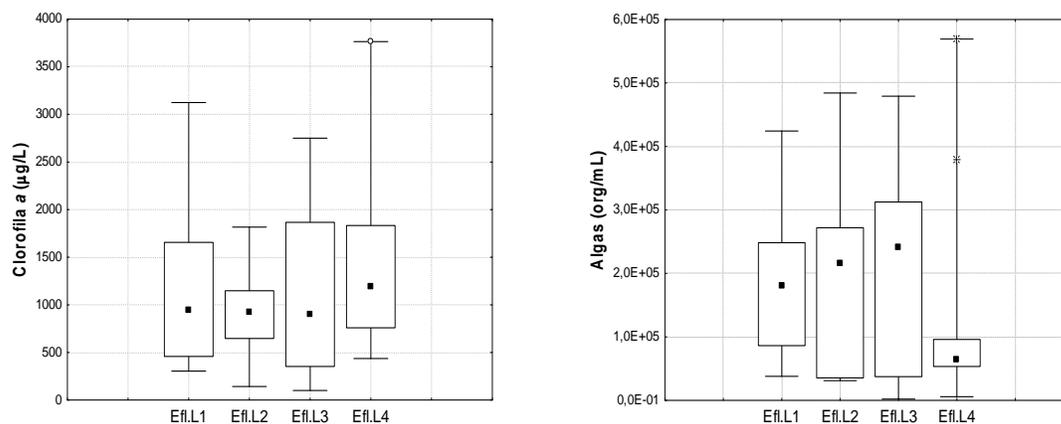
\* Valores médios para cada lagoa em sua respectiva fase.

Legenda: 0 = ausente; x = menores que  $10^3$ ; X =  $10^3$  a  $10^4$ ; XX =  $10^4$  a  $10^5$ ; XXX = acima de  $10^5$  organismos/mL.

### Influência da comunidade algal nas condições ambientais (pH, OD, amônia) das lagoas

Os parâmetros aqui apresentados referem-se às análises do período de setembro/2005 a maio/2006, correspondendo à segunda fase. As coletas e análises de clorofila *a* iniciaram-se em janeiro/2006. Na figura 2 são apresentados os gráficos Box-Whisker para clorofila *a*, algas, pH, OD e amônia livre.

Conforme esperado, as elevações das concentrações de algas estão associadas a um aumento no pH e conseqüentemente, a elevados níveis de amônia livre (Arauzo *et al.*, 2000). Neste estudo, valores de pH superiores a 9,0 para que ocorra remoção de N e P em lagoas de polimento por volatilização da amônia e precipitação de sais insolúveis de fosfato (von Sperling, 2002), foram observados poucas vezes e apenas no efluente da lagoa 4. Na análise da concentração de algas, a lagoa 4 apresentou o ponto máximo com o valor mais alto das quatro lagoas, mas o valor mediano foi o mais baixo, mostrando uma grande variabilidade na sua concentração. Nessa lagoa, o pH, o OD e a amônia livre apresentaram os valores médios mais elevados em relação às outras lagoas, provavelmente devido à alta taxa fotossintética realizada pela alta biomassa algal (clorofila *a*) encontrada. Nota-se então que os níveis de todos os parâmetros encontraram-se maiores quando a concentração de algas atingiu o ponto mais alto e a concentração média de clorofila *a* foi a mais elevada, concordando com o exposto por Arauzo *et al.* (2000). Verifica-se também que um aumento na concentração média de algas coincidiu com a elevação do pH nas lagoas 1, 2 e 3, assim como para OD e amônia livre nas lagoas 1, 2 e 4.



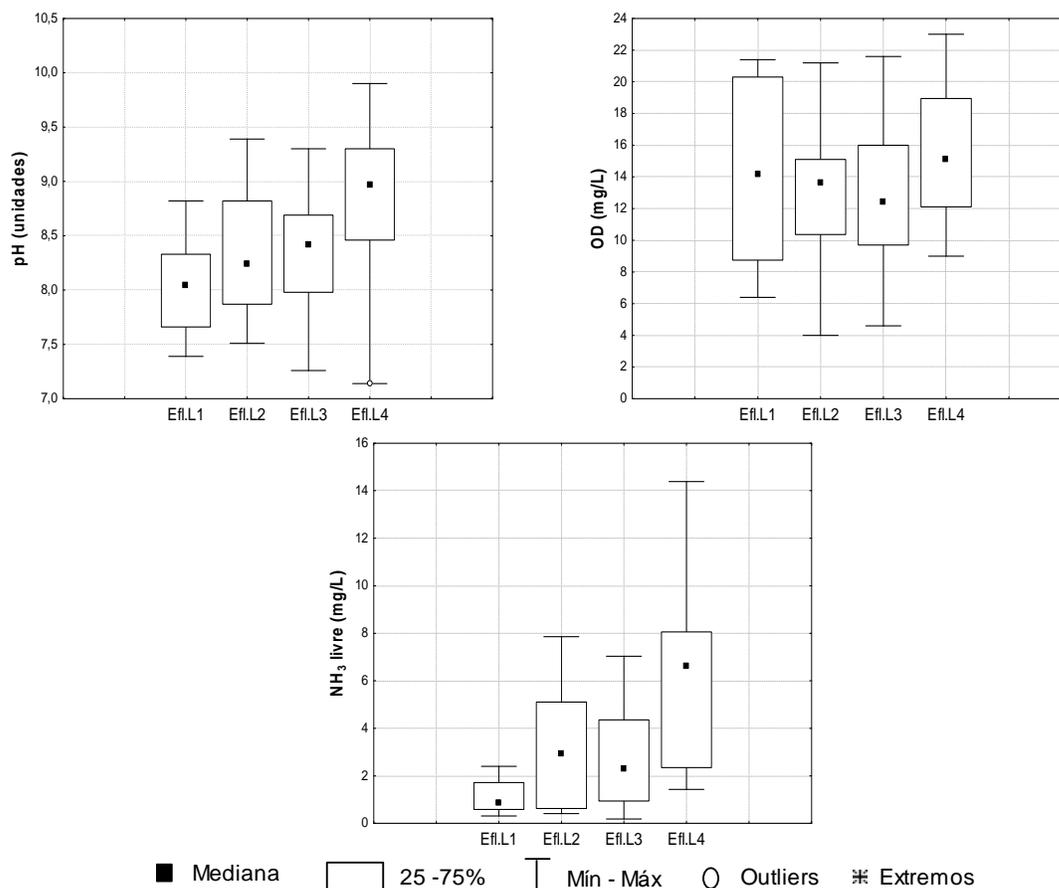


Figura 1 – Gráficos Box-Whisker de clorofila, algas, pH, OD, NH<sub>3</sub> livre, e ao longo do sistema.

## CONCLUSÕES

A composição florística presente nos efluentes das lagoas de polimento apresentou semelhança com outras ETEs com lagoas. Durante todo o período de estudo, as classes de algas que se mostraram dominantes foram as clorofíceas e euglenofíceas, sendo a primeira mencionada na literatura como importante para detectar o bom funcionamento das lagoas. No caso da segunda classe, seus representantes destacam-se por sobreviverem em ambientes ricos em matéria orgânica como é o caso das lagoas de tratamento de efluentes.

No tocante à influência do TDH e da TAS na comunidade algal, foi visto que a análise estatística mostrou diferença significativa entre os TDHs de 4 e 2 dias apenas na lagoa 4. Pela análise quali-quantitativa dos táxons presentes notou-se que a redução no TDH e o conseqüente aumento da TAS resultou na diminuição de *Scenedesmus* e aumento de *Chlamydomonas*, bem como o surgimento dos gêneros *Trachelomonas*, *Phacus* e *Euglena*, conforme descrito por outros autores. Com a redução do TDH, esse trabalho apontou

também a diminuição de Chlorococcales, *Cryptomonas* e o desaparecimento de *Closterium*, além do aumento de *Micractinium*, *Chlorogonium* e *Mallomonas*.

O pH, o OD e a amônia parecem confirmar a existência de uma forte relação com a atividade biológica exercida pelas algas presentes ao longo do sistema de lagoas, conforme seria de se esperar.

## REFERÊNCIAS

- Arauzo, M.; Coolmenarejo, M.F.; Martinez, E.; Garcia, M.G. (2000). The role of algae in a deep wastewater self-regeneration pond. *Water Research*. **34** (14), p.3666-3674.
- APHA, AWWA, WEF (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and wastewater*. 20 ed..Washington: APHA
- Branco, S.M. (1986). *Hidrobiologia aplica à engenharia sanitária*. São Paulo, CETESB, 616 p. (in Portuguese)
- Ceballos, B.L. (2000). Microbiologia sanitária y ambiental. In: Mendonça, S.R. (ed). *Sistemas de lagunas de estabilización – como utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de regadío*. McGraw-Hill. Colômbia, 370p. (in Spanish).
- König, A. (1998). *Aspectos teóricos e práticos sobre algas e parasitos intestinais em estação de tratamento de esgoto*. Universidade Federal da Paraíba. Fundação Ecossistemas do Espírito Santo. 60 p. (in Portuguese)
- König, A. (2000). Biología de las lagunas de estabilización: algas. In: Mendonça, S.R. *Sistemas de lagunas de estabilización (como utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de regadío)*. Editorial Nomos S.A.Colombia. 370 p. (in Spanish).
- König, A. (1984). Ecophysiological studies on some algae and bacteria on waste stabilization ponds. Tese de doutorado. Universidade de Liverpool, Inglaterra, 175 p. apud König, A. (2000). Biología de las lagunas de estabilización: algas. In: Mendonça, S.R. *Sistemas de lagunas de estabilización (como utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de regadío)*. Editorial Nomos S.A.Colombia. 370 p.
- Llorens, M.; Saéz, J. & Soler, A. (1993). Primary productivity in a deep sewage stabilization lagoon. *Water Research*. **27** (12), pp.1779-1785..
- Mara, DD; Alabaster, G.P.; Pearson, H.W; Mills, S.W. (1992). *Waste stabilization ponds: A design manual for eastern Africa. Lagoon Technology International*. Leeds, England. 121 p.
- Nush, E. A. (1980). Comparison of different methods for chlorophyll and pheopigment determination. *Arch. Hidrobiol.Beih. Ergebn. Limnol.* v.14, pp. 14-3.
- Palmer, C.M. (1969). Composite rating of algae tolerating organic pollution. *J. Phycol.* **5**. pp.78-82. apud Athayde, S.T.S; Pearson, H.W.; Silva, S.A.; Mara, D.D., Athayde Junior, G.B & Oliveira, R. (2000). Algological study in waste stabilization ponds. In: I Conferencia latinoamericana en lagunas de estabilizacion y reuso. Universidad del Valle/Instituto Cinara, Cali, Colombia,. pp. 132 – 139.

- Pearson, W.H.; Mara, D.D.; Bartone, C.R. (1987). Guidelines for the minimum evaluation of the performance of full-scale waste stabilization pond systems. *Wat. Res.*, **21** (9), pp.1067-1075.
- Pearson, H. Microbial interactions in facultative and maturation ponds. (2003). In: Mara, D. D; Horan, N.J. *Handbook of water and wastewater microbiology*. Academic Press, London. pp. 449-458.
- Tadesse, I.; Kifle, D.; Mengistu, S.; Green, F.B.; Puhakka, J.A. (2006). Algal speciation changes in secondary and tertiary waste stabilization ponds receiving anaerobically digested tannery wastewater. *7<sup>a</sup> IWA Specialist Conference On Waste Stabilization Ponds*. Bangkok. Thailand.
- Von Sperling, M. (2002). *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias*. Vol. 3. Lagoas de estabilização. 2<sup>a</sup> ed. ampliada e atualizada. Belo Horizonte: DESA – UFMG, 196 p.
- Von Sperling, M. (2005). *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias*. Vol. 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3<sup>a</sup> ed. Belo Horizonte: DESA – UFMG, 452 p.