



III-195 – SISTEMA DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO NO TRATAMENTO DE LIXIVIADOS DE ATERRO SANITÁRIO

Cláudia Lavina Martins ⁽¹⁾

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Mestre em Engenharia Ambiental e Doutoranda em Engenharia Ambiental, UFSC.

Viviane Furtado Velho

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Mestranda em Engenharia Ambiental., UFSC.

Rafaela dos Santos Machado

Graduanda do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina.

Armando Borges de Castilhos Jr.

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela UFSC, Doutor pelo Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, França. Pós Doutorado pela Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris e Université de Sherbrooke, Canadá. Professor Associado I do Departamento de Engenharia Sanitária Ambiental – UFSC.

Rejane Helena Ribeiro da Costa

Engenheira Civil pela UFPB, Mestre em Hidráulica e Saneamento EESC-USP São Carlos – SP, Doutora pelo Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse (INSA), França. Pós Doutorado Université Montpellier I, UM I, França. Professora Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFSC.

Endereço ⁽¹⁾: Trajano Manoel dos Anjos, 40 - Barra da Lagoa - Florianópolis, SC - Brasil. CEP: 88061-030 - Fone: (55) (48) 3232-3543 - E-mail: lavina8@hotmail.com

RESUMO

Os lixiviados provenientes de aterros sanitários apresentam altas concentrações de matéria orgânica, bem como quantidades consideráveis de substâncias inorgânicas que atingem os corpos d'água comprometendo sua qualidade, com sérias consequências para a saúde pública. Este estudo apresenta resultados do monitoramento de um sistema de tratamento de três lagoas de estabilização (L1, L2, L3), em série, utilizadas para tratamento de lixiviados de aterros sanitários. O sistema funciona em fluxo contínuo ($Q = 200$ L/dia), e seu monitoramento foi realizado durante 39 semanas. Foram analisados os parâmetros: oxigênio dissolvido OD (mg/L), pH, temperatura (T °C), Condutividade (mS/cm), Potencial Redox (mV), Cor (UC), Turbidez (NTU), Sólidos (SST, ST, SF e SV), DBO₅, DQO, Amônia, NTK e Clorofila *a*. Foram realizadas análises qualitativas da biomassa bacteriana e algal das lagoas via microscopia ótica; e foram efetuados ensaios toxicológicos do afluente e efluente do sistema de lagoas. As análises realizadas e seus respectivos métodos seguiram, em sua maioria, o *Standard Methods* (APHA, AWWA, WEF, 2005). Os resultados apresentaram pH em torno de 9,0 para todo o sistema e temperatura média de 22°C no interior das lagoas L2 e L3. Foram obtidas eficiências de remoção de: 35% de ST, 60% de DQO, 80% de DBO, 84% de Amônia e 81% de NTK. A clorofila *a* apresentou valores médios comparáveis a um ambiente eutrófico. Na avaliação planctônica e microbiológica das lagoas, houve aparecimento de fitoplâncton com pouca diversidade algal, havendo predominância de algas do gênero *Chlamydomonas*. Quanto aos testes toxicológicos, o sistema de lagoas foi capaz de reduzir a toxicidade do efluente em cerca de 90% no final deste estudo. A qualidade do efluente final é bastante significativa quando comparada às características do lixiviado bruto, porém ainda não atende os padrões ambientais de lançamento de despejos estabelecidos na resolução CONAMA 357/2005.

PALAVRAS-CHAVE: Líquidos percolados, Monitoramento, Resíduos sólidos, Sistema de Lagoas.

INTRODUÇÃO

A quantidade de resíduos sólidos gerada nas atividades humanas encontra-se diretamente correlacionada ao crescimento populacional, ao grau de desenvolvimento da sociedade e de industrialização. Parte dos resíduos é reaproveitada em diversos ramos industriais enquanto o restante é encaminhado para uma destinação final, onde uma das técnicas utilizadas para sua disposição é o aterro sanitário. Neste são gerados líquidos percolados resultantes da degradação dos resíduos e infiltrações de águas de chuvas e escoamento superficial.



Devido às suas características, os líquidos percolados devem ser tratados antes de serem lançado nos corpos d'água, evitando-se assim maiores riscos de contaminação do solo, das águas subterrâneas e superficiais, com sérias consequências para a saúde pública.

Dentre as inúmeras formas de tratamento de lixiviados, as lagoas de estabilização destacam-se por sua simplicidade, economia e eficiência de tratamento. Nelas ocorre a remoção da matéria orgânica e inorgânica dos lixiviados, pela ação de bactérias e algas.

O objetivo deste trabalho é apresentar resultados referentes ao monitoramento de um sistema de três lagoas de estabilização (L1, L2 e L3) dispostas em série, utilizadas para tratamento de lixiviado de aterro sanitário.

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo, foram utilizadas 3 lagoas em série, construídas em fibra de vidro, interligadas entre si por meio de canalizações de PVC. A lagoa de estabilização L1 possui um formato cilíndrico e as lagoas L2 e L3 retangulares. Na Tabela 1 estão apresentadas as características físicas e as condições operacionais das lagoas de tratamento.

Tabela 1 - Síntese das características e condições operacionais das lagoas

Condições Aplicadas	Unidades de Tratamento		
	L1	L2	L3
Comprimento (m)	-	4,36	
Largura (m)	-	2,4	
Diâmetro	1,85	-	-
Profundidade (m)	1,85	0,8	0,6
Volume (m ³)	5,00	8,37	6,25
TRH (dias)	25	42	31
Vazão de alimentação (L/d)	200		

O Lixiviado era procedente do aterro sanitário de Biguacu/SC, que recebe os resíduos da região metropolitana de Florianópolis/SC. O sistema de tratamento funciona em fluxo contínuo ($Q = 200$ L/dia) e tempos de retenção hidráulica de 25 dias (L1), 42 dias (L2) e 31 dias (L3). As coletas de amostras foram realizadas para o efluente bruto (EB), saída da L1 (SL1), entrada da L2 (EL2), saída da L2 (SL2), entrada da L3 (EL3) e saída da L3 (SL3).

Em todos os pontos foram monitorados diariamente "in loco" OD (mg/L), pH, temperatura (T °C), Condutividade (mS/cm) e Potencial Redox (mV); e nos pontos (EL2, SL2, EL3 e SL3) foram determinadas a Cor (UC) e a Turbidez (NTU). Semanalmente foi efetuado monitoramento, em todos os pontos, dos parâmetros: Sólidos (SST, ST, SF e SV), DBO_5 , DQO, Amônia, NTK e Clorofila *a*, além dos já citados.

As análises qualitativas da biomassa bacteriana e algal foram realizadas via microscopia ótica, nas amostras coletadas nos pontos EB, SL1, SL2 e SL3, de onde também foram coletadas amostras para os ensaios toxicológicos do afluente e efluente do sistema de lagoas. As análises realizadas e seus respectivos métodos, cuja maioria seguiu o *Standard Methods* (APHA, AWWA, WEF, 2005) estão listados na Tabela 2. Na Figura 1 está apresentada foto do sistema de lagoas.



Figura 1: Vista geral das lagoas de tratamento

Tabela 2 - Análises realizadas e métodos utilizados

ANÁLISES	MÉTODO
OD (mg/L); T (° C); pH; Condutividade e Potencial Redox	Sonda multiparâmetros (YSI 6600 V2)
Cor (UC)	Método Colorimétrico
Turbidez (NTU)	Método Nefelométrico
DQO total (mg/L)	Colorimétrico - Refluxo Fechado
DBO ₅ total (mg/L)	Manométrico (HACH)
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	Gravimétrico após filtração em membrana de acetato de celulose 0,45 µm
Sólidos: ST, SF e SV (mg/L)	Gravimétrico
Amônia e Nitrogênio NTK	Destilação Kjeldahl
Clorofila <i>a</i>	Extração em álcool etílico (Método de NUSH, 1980)
Testes Toxicológicos	Toxicidade aguda com <i>Daphnia Magna</i>
Microscopia Ótica	Microscópio Olympus BX 40

RESULTADOS

Na Tabela 3 estão apresentadas as cargas aplicadas em cada lagoa, em termos de DQO, DBO e N-NH₄, durante o período de estudo, além da relação DBO/DQO.

Tabela 3: Cargas médias aplicadas às lagoas L1, L2 e L3 (n= 39)

Lagoa	CV gDQO/m ² .dia	CV gDBO/m ² .dia	CV gN-NH ₄ /m ² .dia	CS KgDQO/ha.dia	CS KgDBO/ha.dia	CS KgN-NH ₄ /ha.dia	DBO/DQO
Lagoa 1	121	52	40	0,4
Lagoa 2	68	23	22	542	187	181	0,3
Lagoa 3	45	11	7	246	66	43	0,2

CV= carga volumétrica e CS= carga superficial aplicada

Observa-se na Tabela 3 que, as cargas aplicadas ao longo das unidades de tratamento, foram reduzindo-se progressivamente, chegando na última lagoa com redução de cargas volumétricas de DQO, DBO e Amônia na



ordem de 60%, 79% e 83%, respectivamente. A relação DBO/DQO obtida evidencia que o lixiviado possui características de pouca a média biodegradabilidade (0,2 - 0,4) segundo Metcalf & Eddy (2003). Na Tabela 4 estão apresentadas as concentrações médias dos parâmetros medidos durante o monitoramento semanal (n=39).

Tabela 4: Resultados obtidos no monitoramento semanal

n=39	Local	pH	OD mg/L	T°C	SST mg/L	ST mg/L	SF mg/L	SV mg/L
Concentração Média	EB	9,0 ± 0,2	0	22,9 ± 1,6	467 ± 162	8120 ± 962	6230 ± 802	1883 ± 447
	S L1	9,2 ± 0,2	0	24,6 ± 1,7	338 ± 126	=	=	=
	S L2	9,1 ± 0,2	1,1 ± 0,8	21,7 ± 1,5	306 ± 150	=	=	=
	S L3	9,2 ± 0,2	1,0 ± 0,7	21,8 ± 1,4	301 ± 94	5247 ± 1634	4288 ± 1326	941 ± 354
n=39	Local	NTK mg/L	Amônia mg/L	DQO mg/L	DBO ₅ total mg/L	Clorofila <i>a</i> µg/L	Cor UC	Turbidez NTU
Concentração Média	EB	1254 ± 305	1006 ± 238	3287 ± 704	1300 ± 623	=	4878 ± 983	111 ± 52
	S L1	1133 ± 272	941 ± 158	2824 ± 531	976 ± 313	=	3921 ± 596	68 ± 14
	S L2	294 ± 162	222 ± 137	1282 ± 714	313 ± 343	474 ± 268	3546 ± 1599	71 ± 30
	S L3	232 ± 150	158 ± 105	1317 ± 525	284 ± 235	604 ± 392	3781 ± 845	77 ± 19

Os resultados apresentados na Tabela 4 mostram que o pH variou em torno de 9,0 em todo o sistema. Os valores de OD ficaram em torno de 1,0 mg/L para as lagoas L2 e L3, sendo que os maiores valores observados estavam próximos da superfície das lagoas onde, devido à necessidade de energia luminosa, ocorreu a maior incidência de algas. A Turbidez obtida nas lagoas L1 e L2 foram de 71 e 77 NTU, respectivamente, em função das características do lixiviado e do desenvolvimento algal nas lagoas, com remoção de 31%. A Cor foi pouco removida ao longo da série de lagoas (22,5%).

Quanto à DQO e DBO total, a Lagoa 1 apresentou pequena remoção, sendo de 14% e 25%, respectivamente. A Lagoa 2 removeu cerca de 55% de DQO e 68% de DBO, enquanto na Lagoa 3 praticamente não ocorreu remoção desses parâmetros. Ressalta-se que esses valores são para a fração total, que considera a presença das algas. Sendo os valores de clorofila *a* superiores na Lagoa 3, é normal que não aconteça remoção de DQO e DBO, ou que essa seja pequena, nessa lagoa.

Para o NTK e amônia, a Lagoa 2 foi eficiente no tratamento, apresentando remoções de 74% e 76%. A Lagoa 3 apresentou uma eficiência de 21% de remoção de NTK e 63% de amônia.

Os comportamentos da Clorofila *a* e dos Sólidos Suspensos estão apresentados nas Figuras 2 e 3, respectivamente, onde se observa que os valores das medianas da Clorofila *a* ficaram entre 400 e 500 µg/L, com menor desvio padrão na lagoa L2. As concentrações de clorofila *a* nas lagoas L2 e L3 mostram que essas são fotossintéticas (KÖNIG, 2000), sendo que a L2 apresentou-se com coloração verde mais transparente que a lagoa L3, a qual ainda apresentou sólidos suspensos elevados e cor acentuada. Os valores das medianas dos Sólidos Suspensos nas três lagoas ficaram entre 280 e 320 mg/L.

Diante dos resultados apresentados, pode-se afirmar que nas 39 semanas de funcionamento com o abastecimento de 200 L/dia de lixiviado, o sistema apresentou um comportamento satisfatório atingindo eficiências médias de remoção de 60% DQO, 80% DBO, 81% NTK e 84% Amônia. Esses valores são similares àqueles obtidos em lagoas piloto por SILVA (2007), tratando esse mesmo tipo de despejo.

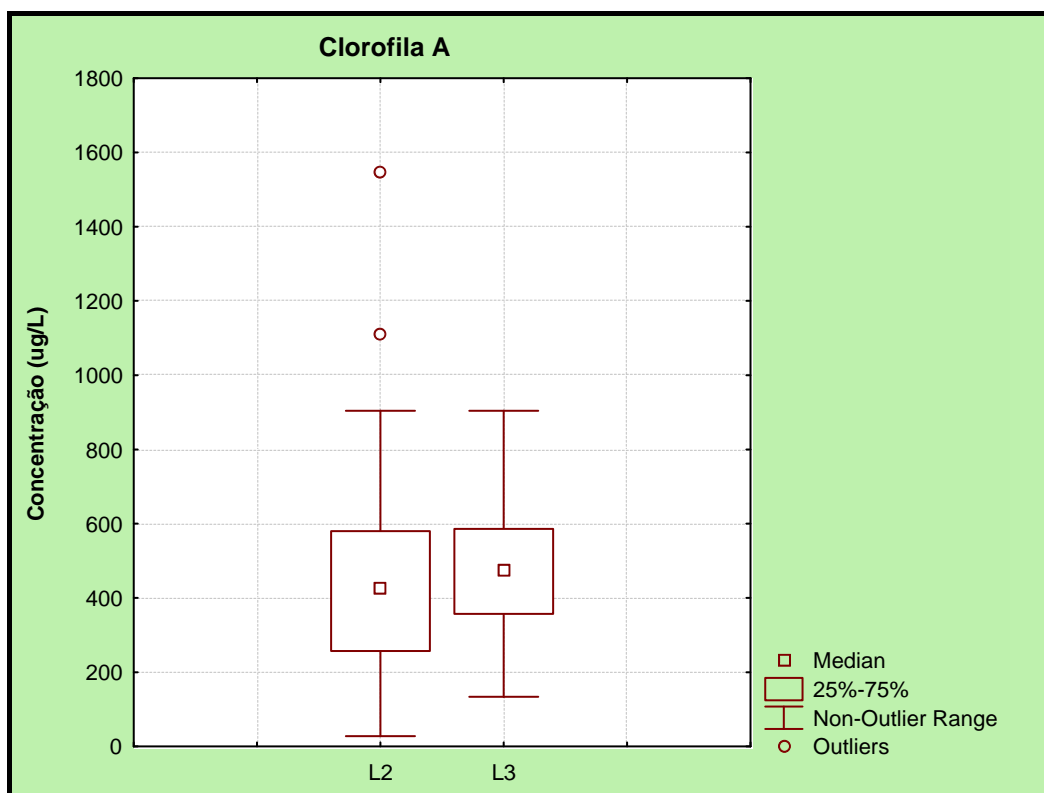


Figura 2- Resultados da Clorofila A ao longo do sistema de lagoas

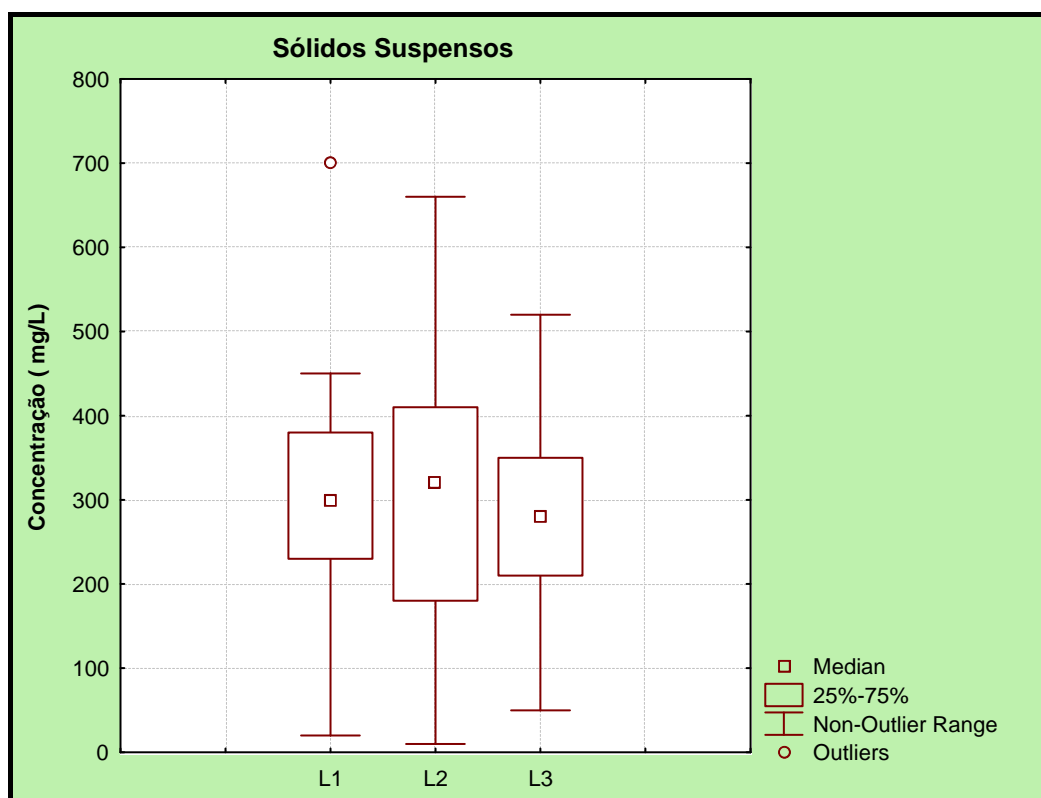


Figura 3- Resultados dos Sólidos Suspensos ao longo do sistema de lagoas

ENSAIOS DE TOXICIDADE

Na Tabela 5 estão os resultados obtidos nos ensaios de toxicidade, que foram realizados com cinco amostras coletadas durante o período de estudo.

Tabela 5: Resultados de toxicidade

Amostras	CE ₅₀ 48 h (07/07/2007)	CE ₅₀ 48 h (08/09/07)	CE ₅₀ 48 h (11/03/08)	CE ₅₀ 48 h (15/07/08)	CE ₅₀ 48 h (13/08/08)
EB	19,23	7,22	2,06	3,08	1,38
SL1	27,88	13,64	4,44	3,03	3,64
SL2	22,86	18,62	35,35	5,09	4,41
SL3	46,62	52,36	35,35	11,08	10,5
Redução da toxicidade (%)	59	86	94	72	87

Analisando os resultados apresentados na Tabela 5, verifica-se que o efluente entra bastante tóxico, variando conforme o dia da coleta. Ao longo do tratamento ocorreu detoxificação, chegando na saída da L3 com significativa redução de toxicidade, com eficiências compreendidas entre 59% e 94%. Os valores da CE₅₀ porém, ainda são elevados, evidenciando que o tratamento precisa ser melhorado, para que o efluente possa ser lançado em corpos d'água sem causar danos ao meio ambiente aquático.

AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA

Na avaliação fitoplancônica e microbiológica das lagoas, houve aparecimento de fitoplâncton com pouca diversidade algal, havendo predominância de algas do gênero *Chlamydomonas*, talvez pelo fato destas serem mais bem adaptadas às condições extremas de contaminação, como é o caso das lagoas em estudo (LOBO & LEIGHTON, 1986). Nas Figuras 4(a) e 4(b) são apresentadas fotos de *Chlamydomonas* sp. capturadas em amostras das lagoas L2 e L3.

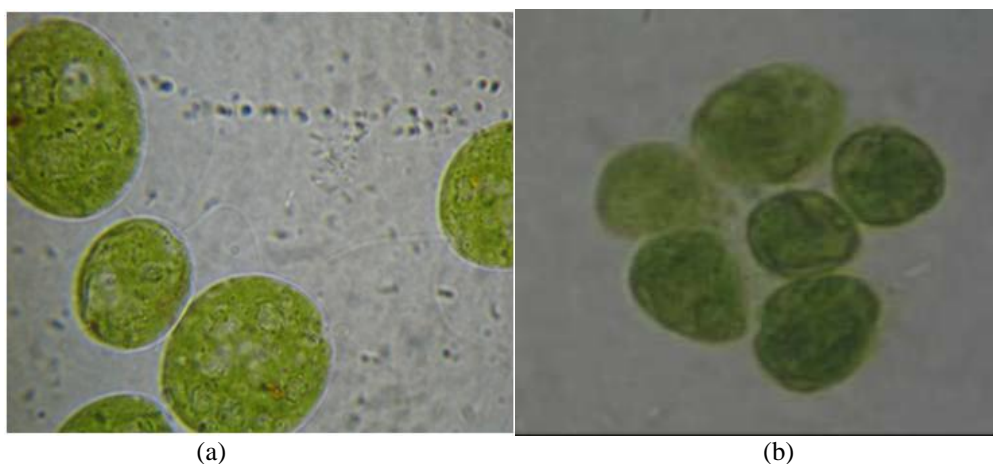


Figura 4: *Chlamydomonas* sp. (a); *Chlamydomonas* sp em processo reprodutivo.

A presença marcante do gênero *Chlamydomonas* em ambas as lagoas fotossintéticas estudadas (L2 e L3), de acordo com BEYRUTH (1996) pode ter ocorrido pelo fato destes organismos serem freqüentes em lagoas de estabilização, servindo para caracterizar as fases ou condições de tratamento de acordo com suas exigências tróficas, suportando perfeitamente ambientes ricos em matéria orgânica em decomposição.

Além deste, outros gêneros planctônicos foram também encontrados, com menor freqüência que o gênero supracitado, sendo estes *Chlamydomonas*, *Phacus*, *Navicula* e *Nitzschia*. Segundo BRANCO (1996), a diversidade de espécies em uma lagoa é característica de uma série de fatores, dentre os quais se destacam a carga orgânica aplicada e condições climáticas



CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

- O sistema de lagoas apresentou um comportamento satisfatório no tratamento de lixiviados de aterros sanitários com eficiências médias de remoção de 60% de DQO, 80% de DBO, 84 % de Amônia, 40% Sólidos Suspensos e 40% Sólidos Totais.
- O sistema de lagoas foi capaz de reduzir a toxicidade do efluente, atingindo 94% no final do período de operação.
- A qualidade do efluente final ainda precisa ser melhorada de forma a atender os padrões ambientais de lançamento de despejos estabelecidos na resolução CONAMA 357/2005.
- Espera-se que, com a introdução do filtro de pedras para polimento do efluente e a ativação de aeração na Lagoa 2, o sistema produza um efluente com características dentro do exigido pela legislação ambiental brasileira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 21ª ed. Washington: American Public Health Association, 2005.
2. BEYRUTH, Z. Comunidade Fitoplancônica da Represa de Guarapiranga: 1991-92 Aspectos Ecológicos, Sanitários e Subsídios para Reabilitação da Qualidade Ambiental. São Paulo. 190p. 1996.
3. BRANCO, S. M. Hidrobiologia Aplicada à Engenharia Sanitária. 3 ed. São Paulo. CETESB. 616p. 1986.
4. KÖNIG, A. Biología de las lagunas de estabilización: algas. In: Sistemas de Lagunas de Estabilización: como utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de regadío. Mendonça, S.R. (coord.). Ed. McGrawHill, p.44-67, 2000.
5. LOBO, E ; LEIGHTON, G. Estructuras Comunitarias de las Fitocenosis Planctonicas de los Sistemas de Desembocaduras de Rios e de la Zona Central del Chile. Rev. Biol. Mar. 22(1) : 1-29p. 1986.
6. METCALF & EDDY. Wastewater Engineering, Treatment and Reuse. 4th edition. McGraw-Hill Inc. New York, 2003. 1334p.
7. PEARSON, H. Microbiology of waste stabilisation ponds. In: Pond Treatment Technology. IWA Publishing, p. 14-43 , 2005.
8. SILVA, J.D. Tratamento de Lixiviados de Aterro Sanitário por Lagoas de Estabilização em Série. Estudo em Escala Piloto. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. 2007.