

**III-002 - PARTIDA DE SISTEMA DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO PARA TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO****Cláudia Lavina Martins<sup>(1)</sup>**

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

**Luis Felipe Risetti Odreski**

Engenheiro Sanitarista pela Universidade Federal de Santa Catarina.

**Ismael Hernandes Pereira Jr.**

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

**Armando Borges de Castilhos Jr.**

Professor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina.

**Rejane Helena Ribeiro da Costa .**

Professora do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina.

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

**RESUMO**

Este trabalho apresenta resultados sobre a partida de um sistema de três lagoas de estabilização, em série, utilizadas para tratamento de líquidos percolados de aterros sanitários. A primeira lagoa (L1) recebia todo o lixiviado bruto, com carga orgânica aplicada em média de 90 gDQO/m<sup>3</sup>.dia. Na segunda e terceira lagoa, foram aplicadas diferentes cargas do lixiviado bruto, para diluições de 25, 50 e 75 % do seu volume, em intervalos de 1 semana entre cada uma delas, resultando em valores entre 400 e 2000 kgDBO/ha.dia (L2) e 200 e 1200 kgDBO/ha.dia (L3). Após o qual houve um período de aclimatação (4 semanas) e na sequência iniciou-se o funcionamento do sistema em fluxo contínuo ( $Q= 200$  L/dia), efetuando-se o monitoramento das lagoas durante os 3 primeiros meses de tratamento. As lagoas suportaram bem o carregamento inicial e após o período de aclimatação, o sistema apresentou eficiências médias de remoção em torno de 70% de DQO, 78% de DBO<sub>5</sub> e 85 % de Amônia. Houve aparecimento de fitoplâncton com diversidade algal. O sistema de lagoas nesse período inicial de funcionamento reduziu a toxicidade do efluente em até 86%. A qualidade do efluente final ainda precisa ser melhorada de forma a atender os padrões ambientais de lançamento de despejos, espera-se que isso aconteça logo que o sistema entrar em regime permanente de funcionamento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aterro Sanitário, Lixiviado, Tratamento Biológico, Lagoas de Estabilização.

**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.

Os líquidos percolados 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. Estudos efetuados por SILVA (2007), com lagoas em escala piloto ( $V= 1$  m<sup>3</sup>), mostraram que é viável o tratamento desses líquidos por meio de sistema de lagoas de estabilização.

O objetivo deste trabalho é apresentar resultados referente a partida de um sistema de três lagoas em série, utilizadas para tratamento de lixiviado de aterro sanitário, em escala ampliada em relação ao trabalho efetuado por SILVA (2007).

## 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. Na Tabela 1 estão apresentadas as características físicas destas unidades.

**Tabela 1 - Características físicas das lagoas de tratamento**

Dimensões	L 1	L 2	L 3
Comprimento (m)	2,0	4,36	4,36
Largura (m)	1,25	2,40	2,40
Profundidade (m)	2,0	0,6	0,6
Volume (m <sup>3</sup> )	5,0	6,25	6,25

Durante o período de partida, a primeira lagoa (L1) recebeu lixiviado bruto a medida que abastecia a segunda lagoa (L2). Esta lagoa e a terceira (L2 e L3), que estavam cheias de água, receberam 3 diferentes cargas do lixiviado bruto, com diluições de 25, 50 e 75% do seu volume, em intervalos de 1 semana entre cada uma delas. Ao final da 3<sup>a</sup> alimentação (75%), as lagoas L2 e L3 foram submetidas a um período de aclimatação de 4 semanas. Após este período, o sistema de lagoas funcionou em fluxo contínuo, sendo alimentado regularmente com vazão de 200 L/dia, tendo os respectivos tempos de detenção hidráulica: 25 dias (L1), 31 dias (L2) e 31 dias (L3).

No período de partida e de aclimatação, o monitoramento foi realizado diariamente, sendo medidos: oxigênio dissolvido (OD), pH, Temperatura (T °C), Condutividade (mS/cm), Potencial Redox (mV) e Turbidez (NTU) em um ponto no meio de cada lagoa.

No período de operação em contínuo (13 semanas), 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). Neste período, em todos os pontos foram monitorados diariamente "in loco" oxigênio dissolvido (OD), 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<sub>5</sub>, DQO, Amônia, NTK, Nitritos, Nitrato, Sulfatos, Cloretos, Acetatos, Fosfatos e Clorofila a. Análises qualitativas da biomassa bacteriana e algal, via microscopia ótica, foram efetuadas em amostras coletadas nos pontos EB, SL1, SL2 e SL3. Nesses mesmos pontos também foram coletadas amostras para os testes toxicológicos.

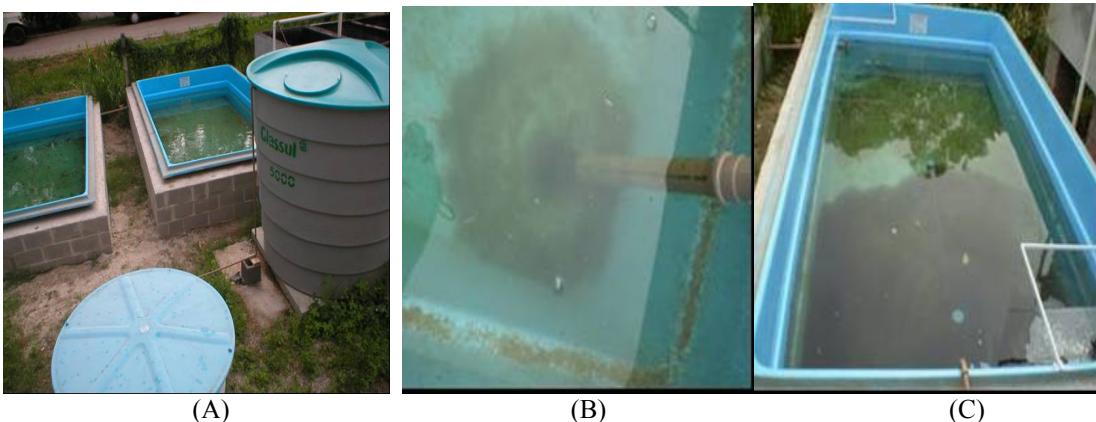
As análises realizadas e seus respectivos métodos, cuja maioria seguiu o *Standard Methods* (APHA, AWWA, WEF, 2003) estão listados na Tabela 2.

**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 (mg/L) total	Colorimétrico - Refluxo Fechado
DBO (mg/L) total	Manométrico HACH
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	Gravimétrico apóis filtração em membrana de acetato de celulose 0,45 µm
ST (mg/L), SF (mg/L), SV (mg/L)	Gravimétrico
Amônia e Nitrogênio NTK	Destilação Kjeldahl
Clorofila <i>a</i>	Extração em álcool etílico (Método de NUSH, 1980)
Testes Toxicológicos	Toxidade aguda com <i>Daphnia Magna</i>
Microscopia Ótica	Microscópio Olympus BX 40

## RESULTADOS

As fotos apresentadas na Figuras 1 (A, B e C) ilustram a etapa inicial da partida das lagoas. Os resultados obtidos quanto às cargas aplicadas nas lagoas em cada etapa da partida estão apresentados na Tabela 3.



**Figura 1: Vista geral das lagoas de tratamento com água (A); Partida do tratamento com lixiviado bruto (B) e Chegada e homogeneização (C).**

**Tabela 3: Cargas aplicadas às lagoas durante (25, 50 e 75%) e após a partida (100%)**

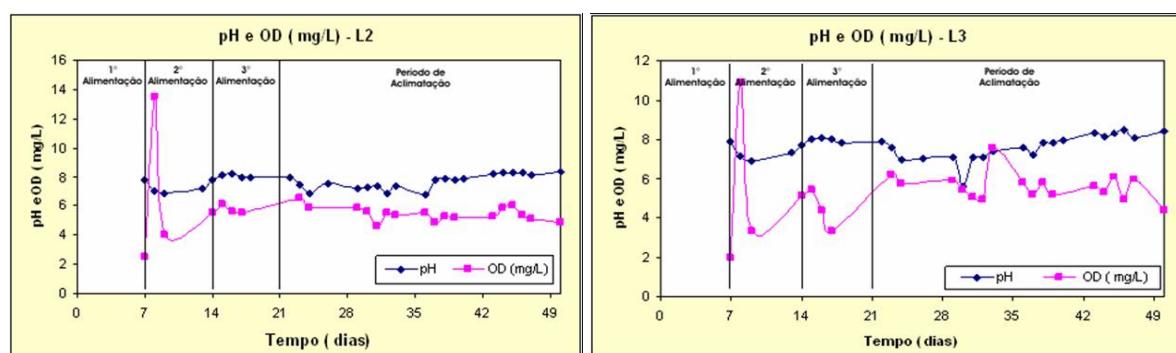
	CV gDQO/m <sup>3</sup> .dia	CV gDBO/m <sup>3</sup> .dia	CV gN-NH4/m <sup>3</sup> .dia	CS KgDQO/ha.dia	CS KgDBO/ha.dia	CS KgN-NH4/ha.dia	DBO/DQO
<b>Lagoa 1</b>							
<b>(100%)</b>	193	90	91	..	..	..	0,45
<b>Lagoa 2</b>							
<b>(25%)</b>	161	64	98	966	383	589	0,4
<b>(50%)</b>	322	133	196	1931	765	1178	0,4
<b>(75%)</b>	730	357	220	4376	2143	1321	0,5
<b>(100%)</b>	119	45	37	714	162	221	0,5
<b>Lagoa 3</b>							
<b>(25%)</b>	81	32	49	483	192	295	0,4
<b>(50%)</b>	181	77	98	1086	460	589	0,4
<b>(75%)</b>	451	213	151	2704	1278	903	0,5
<b>(100%)</b>	23	4	4	138	26	26	0,5

CV= carga volumétrica e CS= carga superficial aplicada

A Lagoa L1 recebeu cargas volumétricas de DQO e DBO similares à de lagoas para esgotos domésticos (Mara & Pearson, 1986) e elevada carga amoniacal, em virtude das características do lixiviado bruto. Observa-se na Tabela 3 que as lagoas L2 e L3 foram sendo carregadas progressivamente ao longo das três semanas iniciais, tanto na fração carbonácea (DQO e DBO) quanto na amoniacal. A partir do funcionamento em contínuo (100%), as cargas aplicadas foram reduzidas, sendo que a lagoa L1 recebeu carga elevada em termos de DQO, mas ainda comparável àquelas aplicadas para lagoas com esgoto doméstico, e elevada carga de Amônia. A lagoa L3 recebeu carga próxima a de lagoas de maturação para esgotos domésticos. A relação DBO/DQO obtida evidencia que o lixiviado possui características de boa biodegradabilidade (0,4-0,5) segundo Metcalf & Eddy (2003).

#### Monitoramento diário durante a partida do experimento e período de aclimatação

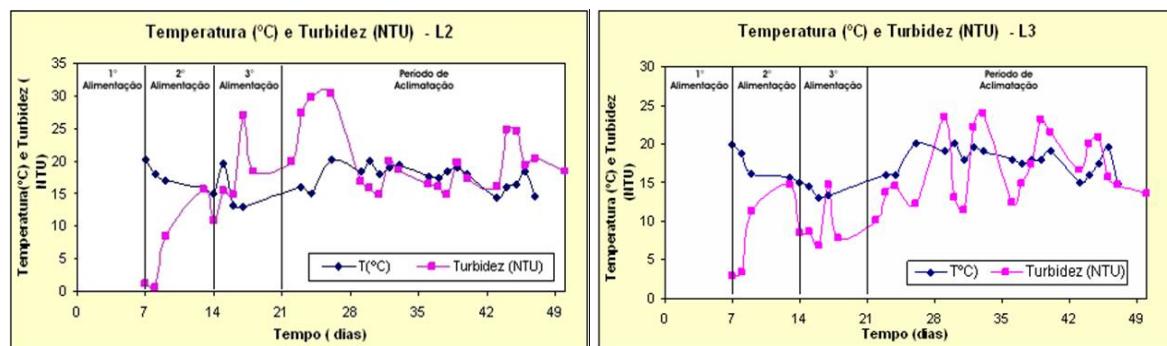
Nas Figuras 2 a 5 estão apresentados os resultados obtidos para o pH, OD, T ( °C) e Turbidez, no ponto dentro das lagoas L2 e L3, durante as 3 alimentações (25%, 50% e 75%) e período de aclimatação.



**Figuras 2 e 3 : Resultados de pH e OD (mg/L na L2 e L3 durante a partida do sistema.**

O pH médio foi de 7,8 para as duas lagoas, um pouco abaixo do valor característico desse tipo de despejo que é de 8,5 conforme obtido nos estudos efetuados por Silva (2007), devido à diluição no período de carregamento das lagoas. Os valores de OD foram em média 5,50 mg/L para a L2 e 4,5 mg/L para a L3,

evidenciando ainda uma adaptação das lagoas ao tratamento bacteriano/algal, nesse período inicial de funcionamento do sistema.



Figuras 4 e 5 : Resultados de T (°C) e Turbidez (NTU) na L2 e L3 durante a partida do sistema.

A temperatura média no interior das lagoas L2 e L3 durante o período de alimentação foi de 16 °C e 15 °C, respectivamente, em decorrência da estação (outono/inverno). Os valores de turbidez nas lagoas L2 e L3 foram em média 15 e 8,5 NTU, respectivamente, variáveis em função do carregamento das lagoas e desenvolvimento algal no período de aclimatação. Neste período, a L2 apresentou um comportamento mais estável da turbidez, com valor médio de  $20 \pm 5$  NTU, enquanto a lagoa L3 a turbidez média foi de  $17 \pm 10$  NTU.

#### Monitoramento semanal das lagoas

Os resultados do monitoramento de DQOtotal e Amônia estão apresentados nas Figuras 6 e 7, respectivamente, para o período de operação com funcionamento contínuo ( $Q= 200$  L/dia).

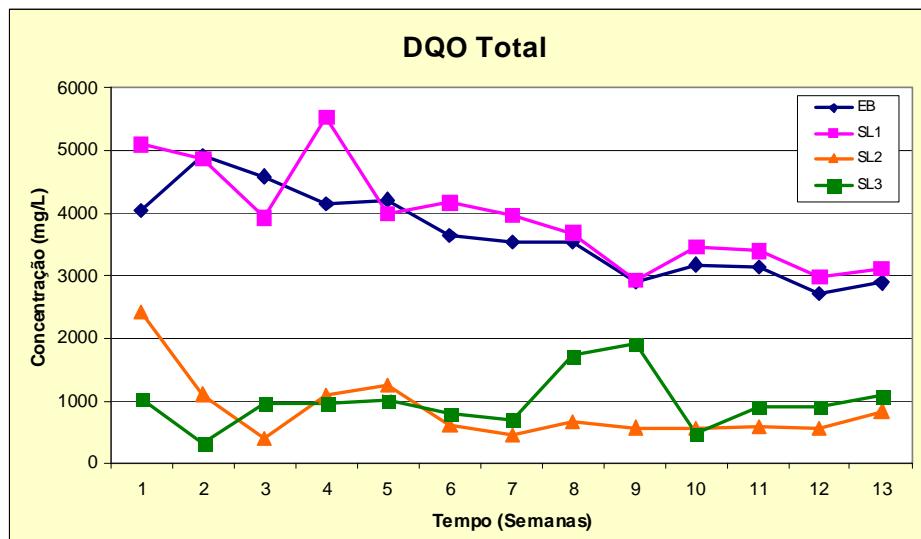


Figura 6: Resultados da DQO<sub>total</sub> ao longo do sistema de lagoas (funcionamento contínuo).

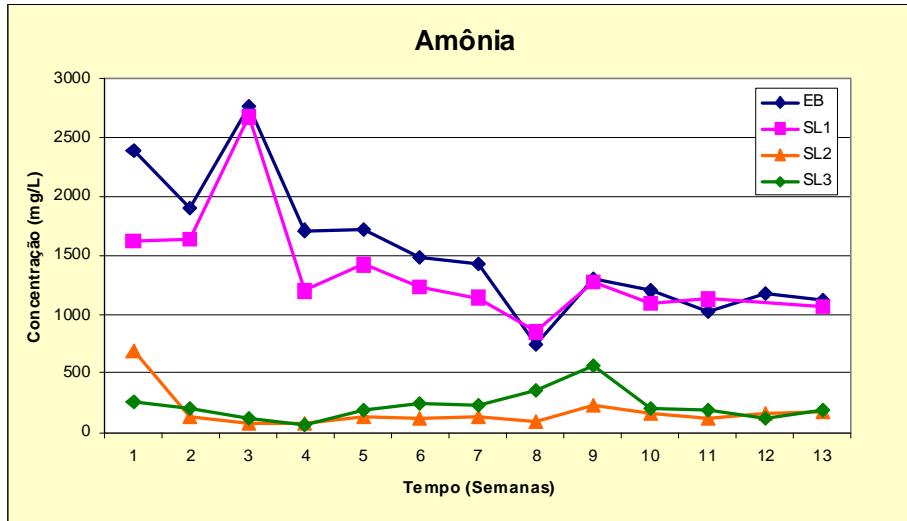


Figura 7: Resultados da Amônia longo do sistema de lagoas (funcionamento contínuo).

Observa-se nas Figuras 6 e 7 que tanto a DQO quanto a Amônia foram pouco ou quase nada removidas na Lagoa 1 (pontos EB e SL1 - entrada e saída da lagoa L1), ficando com concentrações entre 3000 e 5700 mg/L de DQO e 750 e 2750 mg/L de Amônia. Os valores foram decrescendo em função da qualidade do lixiviado bruto durante o período de estudo, estabilizando-se em torno de 3000 mg/L de DQO e 1100 mg/L de Amônia nas últimas cinco semanas do monitoramento. Na saída da Lagoa 2 (SL2) observa-se redução de DQO para valores inferiores a 1000 mg/L e Amônia para 500 mg/L, durante o período de estudo. A Lagoa 3 apresentou-se pouco eficiente na remoção de DQO e de Amônia, tendo valores superiores ao de entrada a partir da sétima semana do experimento, ocasionado por problemas operacionais (sobrecarga com resíduos de aparas de grama). No geral, as eficiências na remoção de DQO, DBO e de N-NH<sub>4</sub>, calculadas para o período de funcionamento contínuo (Q= 200 L/dia), entre o efluente bruto e a saída da Lagoa 2, ficou em 85% (DQO), 94% (DBO) e 90% (Amônia). Esses valores são similares àqueles obtidos em lagoas piloto por SILVA (2007), tratando esse mesmo tipo de despejo.

No geral, o sistema de lagoas apresentou um comportamento tendendo à estabilização, após o período inicial de operação com cargas aplicadas (DQO, DBO e N-NH<sub>4</sub>) elevadas e variáveis. Nas Tabelas 4 e 5 estão apresentadas as concentrações médias dos parâmetros medidos durante o monitoramento semanal (n=13).

Tabela 4: Resultados Obtidos no Monitoramento Semanal

n=13	Local	NTK	Amônia	SST	ST	SF	SV
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Concentração Média	Efl. Bruto	1545 ± 398	1534 ± 542	537 ± 195	9069 ± 1226	7224 ± 1074	1826 ± 385
	Saída L1	1358 ± 278	1359 ± 452	403 ± 194	=	=	=
	Saída L2	281 ± 120	174 ± 152	175 ± 81	=	=	=
	Saída L3	310 ± 191	224 ± 130	254 ± 107	3346 ± 2300	2640 ± 1925	713 ± 416

Tabela 5: Resultados Obtidos no Monitoramento Semanal

n=13	Local	DQO	DBO <sub>5</sub> total	Clorofila a	Cor	Turbidez
		mg/L	mg/L	µg/L	UC	NTU
Concentração Média	Efl. Bruto	3650 ± 663	1194 ± 275	=	5606 ± 818	123 ± 51
	Saída L1	3932 ± 786	1527 ± 360	=	4408 ± 1126	84 ± 35
	Saída L2	858 ± 522	176 ± 184	607 ± 306	1913 ± 999	39 ± 18
	Saída L3	986 ± 417	221 ± 110	289 ± 117	2603 ± 714	57 ± 20

Os resultados apresentados nas Tabelas 4 e 5 mostram que nas semanas de funcionamento com o abastecimento de 200 L/dia de lixiviado, o sistema começa a ter um comportamento regular, atingindo eficiências médias de remoção de 70% DQO, 78% DBO, 85% Amônia, 50 % Sólidos Suspensos e 55% Sólidos Totais. Os sólidos fixos predominam nesse tipo de efluente. 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. As concentrações de DBO<sub>5</sub> Total estiveram cerca de 4 a 5 vezes inferiores às de DQO na saída do sistema, evidenciando a degradação da matéria orgânica biodegradável e a permanência no sistema de matéria refratária, causadora de DQO.

As concentrações de saída ainda estão elevadas e não atendem aos padrões estabelecidos na Resolução CONAMA 357/2005. Na saída do sistema está anexado um filtro de pedras que fará o polimento desse efluente, principalmente na retirada da matéria algal procedente da lagoa L3. Espera-se que, com a estabilização da série de lagoas e a chegada da primavera-verão, quando a radiação solar e as temperaturas serão mais elevadas, o sistema apresente um desempenho dentro do exigido pela legislação ambiental.

### Testes de Toxicidade

Na Tabela 6 estão os resultados obtidos nos ensaios de toxicidade, que foram realizados com duas amostras coletadas durante o período de estudo.

**Tabela 6: Resultados de Toxicidade**

Amostras	CE <sub>50</sub> 48 h (07/07/2007)	CE <sub>50</sub> 48 h (08/09/2007)
EB	19,23	7,22
SL1	27,88	13,64
SL2	22,86	18,62
SL3	46,62	52,36

Analizando os resultados apresentados na Tabela 6, pode-se observar que o efluente entra bastante tóxico, mas ao longo do tratamento, ocorrem algumas variações, chegando na saída da L3 com significativa redução de toxicidade de CE<sub>50</sub> 48 h de 19,23 para 46,62 e CE<sub>50</sub> 48 h de 7,22 para 52,36, com eficiências de 59% e 86% respectivamente. Esses valores, 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

A avaliação microbiológica, por microscopia óptica (MO), foi realizada a fim de verificar a microfauna atuante em cada uma das lagoas L2 e L3. Para isso, foram realizadas duas visualizações em um intervalo de 15 dias. Em ambas as Lagoas foi determinado um ponto de coleta (Saída) e posteriormente realizada a observação qualitativa da amostra. Para isto, foi utilizada tanto a análise em microscópio óptico quanto em microscópio invertido, com as amostras fixadas ou não, de acordo com a necessidade de visualização das estruturas celulares. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 7.

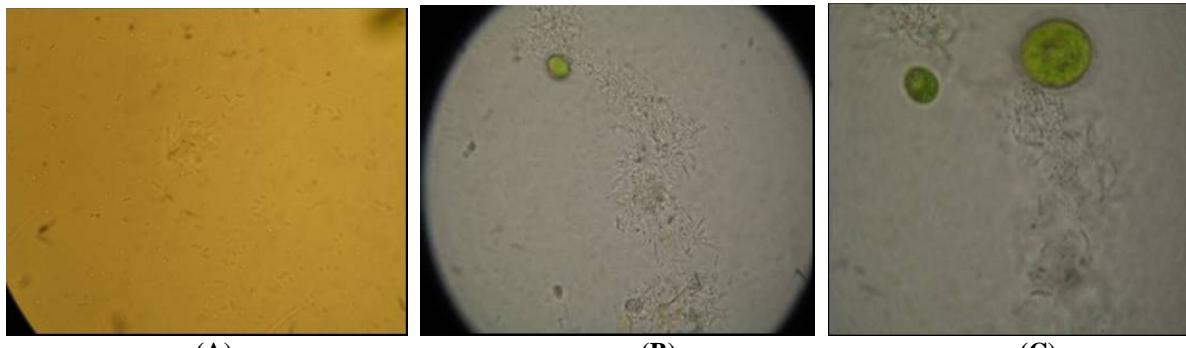
De acordo com os resultados obtidos nas análises realizadas, em ambas as lagoas, constatou-se a presença de diversos microrganismos do domínio das Eucaritos, Reino Protista, pertencentes a diferentes Filos, dentre os quais se destacam os Filos Euglenophyta, Chlorophyta, Cyanophyta e Ciliophora. É importante ressaltar que, ao longo do período de coleta, estes microrganismos estavam sempre presentes variando, contudo, a quantidade de indivíduos em cada local, refletindo em uma pequena mudança do perfil de diversidade das lagoas.

Assim, foi verificada na primeira semana, que a lagoa L2 apresentava um grande número de *Euglena spp.* ("bloom") e poucas Chlorophyceas, fato este que se mostrou inverso na segunda análise. Esta lagoa apresentou ainda um número crescente de diversos microrganismos ciliados, dentre os quais *Vorticella spp.* e *Stylonychia sp.* Estes organismos são comuns em sistemas de lagoas de estabilização que recebem elevada carga orgânica e amoniacal (OSWALD, 1988).

A lagoa L3, por sua vez, apresentou na primeira semana, um grande número de microrganismos, porém com um destaque crescente ao longo das coletas para a presença de Chlorophyceas e *Euglena spp.* Os ciliados tornaram-se, na segunda amostra, também bastante abundantes assim como os microrganismos presentes, conforme detalhado na Figura 8.

**Tabela 7: Principais microrganismos presentes nas Lagoas L2 e L3**

Data de Amostragem	LAGOA L2	LAGOA L3
05/07/07	<i>Euglena spp.</i> (Muita) Dinoflagelado – <i>Protoperidinium</i> Cianophyceas (Poucas) Chlorophyceas – (Poucas) Vorticellas ou <i>Epistillus</i>	Ciliados Chlorophyceas (Poucas) <i>Euglena spp.</i> (Pouca)
18/07/07	<i>Euglena spp.</i> (Muita) Chlorophyceas – (Muitas) Ciliophora - <i>Paramecium sp.</i> - (Pouco) <i>Stylonychia sp.</i> - (Pouco)	<i>Euglena spp.</i> (Pouca) Chlorophyceas (Muita) Ciliophora - <i>Stylonychia sp</i> (Muita)



**Figura 8. Grande quantidade microbiana - L1 (1000x) (A) ; aglomerado bacteriano com presença de alga unicelular - L2 (400x) (B); diversidade de microrganismos - L3 (1000x).**

## CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

O sistema de lagoas apresentou um comportamento tendendo à estabilização, após o período inicial de partida com cargas aplicadas (DQO, DBO e N-NH<sub>4</sub>) elevadas e variáveis.

As eficiências médias de remoção obtidas para o sistema de tratamento foram de 70% para a remoção de DQO, 78% de DBO, 85 % de Amônia, 50 % Sólidos Suspensos e 55% Sólidos Totais.

O sistema de lagoas foi capaz de reduzir a toxicidade do efluente, atingindo 86% 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 estabilização da série de lagoas e a introdução do filtro de pedras para polimento do efluente, o sistema produza um efluente com características dentro do exigido pela legislação ambiental.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. APHA-AWWA-WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20<sup>th</sup> Ed. Washington, DC, USA, 1998.
2. 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.
3. MARA, D.D. & PEARSON, H. Artificial freshwater environmental: waste stabilization ponds. *Biotechnology*, v. 8, p. 177-206, 1986.
4. METCALF & EDDY. *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*. 4<sup>th</sup> edition. McGraw-Hill Inc. New York, 2003. 1334p.
5. OSWALD, W.J. Micro-algae and wastewater treatment. In: *Micro-algal Biotechnology*, M.A. Borowitzka and L.J. Borowitzka (Ed), Cambridge University Press, pp. 305-328, 1988.
6. 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.