

## II-195 - A INFLUÊNCIA DO LIXIVIADO DE UM ATERRO SANITÁRIO JOVEM SOBRE A MICROFAUNA DE UMA ETE COM TRATAMENTO POR LODOS ATIVADOS: UM ESTUDO DE CASO

**Tiago Chagas de Oliveira Tourinho<sup>(1)</sup>**

Biólogo pelo Instituto de Biologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Especialista em Gestão Ambiental pela Escola Politécnica da UFRJ / Instituto Brasil PNUMA. Mestrando em Engenharia Ambiental pela UFRJ. Analista da Qualidade da Gerência de Tratamento de Esgotos da CEDAE – RJ.

**Tiago Abreu Viana<sup>(1)</sup>**

Biólogo pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ. Mestre em Ecologia e Evolução pela UERJ. Analista da Qualidade da Gerência de Tratamento de Esgotos da CEDAE – RJ.

**Luciana Silva dos Santos**

Bióloga pelo Instituto de Biologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Mestre em Engenharia Sanitária da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Bulhões Marcial, 975–Vigário Geral–Rio de Janeiro–RJ – CEP: 21241-366 – Brasil – Tel: +55 (21) 3451-7953 / +55 (21) 3451-7938 – e-mail: [tiago-tourinho@cedae.com.br](mailto:tiago-tourinho@cedae.com.br).

### RESUMO

Os lixiviados são um dos maiores problemas associados à operação e controle dos aterros sanitários e uma das formas de tratá-los é através de cotratamento com esgoto doméstico em estações de tratamento de esgotos (ETEs). Contudo, esta alternativa pode causar prejuízos como inibição da atividade dos microrganismos no tratamento secundário. Considerando que a qualidade do efluente obtido numa ETE operada pelo processo de tratamento por lodos ativados depende, dentre outros fatores, da qualidade da microbiota presente no lodo ativado, este trabalho teve como objetivo analisar a influência do recebimento de lixiviado de um aterro sanitário jovem sobre a microfauna, em condição de cotratamento com esgoto sanitário urbano, para fins de teste de tratabilidade. O estudo foi realizado em uma ETE no estado do Rio de Janeiro, que possui tratamento preliminar, primário e biológico por lodos ativados. No reator foram observados ciliados predadores de floco, ciliados livre-natantes, ciliados sésseis, flagelados, tecamebas e micrometazoários. A população dos ciliados totais aumentou após o recebimento de lixiviado, principalmente nos últimos dias do monitoramento. Os ciliados sésseis também apresentaram crescimento populacional após a introdução do lixiviado, contudo menos expressivo em termos numéricos. Houve flutuação da densidade de ciliados predadores de flocos e de tecamebas. Nossos resultados sugerem que não houve prejuízos à microfauna e ao tamanho dos flocos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tratabilidade, Esgoto, Metais pesados, Amônia, Chorume.

### INTRODUÇÃO

Os lixiviados são hoje um dos maiores problemas associados à operação e controle dos aterros sanitários. Índices de desenvolvimento urbano e fatores climáticos, como a temperatura e o índice pluviométrico, associados às características químicas desse resíduo líquido, determinam o melhor processo de tratamento que este deverá sofrer (IBGE, 2008). No Brasil, e nos países em desenvolvimento, a dificuldade de se tratar o lixiviado aumenta, já que muitos tipos de materiais são confinados indiscriminadamente e sem coleta seletiva no mesmo espaço. Com isso, os estudos nessa linha de pesquisa se intensificaram de modo que pudessem auxiliar na minimização dos efeitos deletérios na saúde pública e ambiental que o lixiviado pode causar, e o cotratamento deste com afluentes de estações de tratamento de esgotos (ETEs) se apresenta como uma alternativa para tal.

Diversos grupos de pesquisa se debruçaram sobre esse tema para entender melhor a influência do lixiviado nos processos de tratamento aeróbio (KNOX, 1985; LI & ZHAO, 2001; LOPES *et alli*, 2009). Entretanto, a variedade de lixiviados, assim como a variabilidade da microfauna do processo de lodos ativados permite crer que não exista um manual estabelecido de operação para este cotratamento, mas apenas experiências exploratórias, sugestões e observações para mediar os diversos segmentos de interesse da área de estudo (GIORDANO, 2011).

A idade do aterro está intimamente relacionada com a tratabilidade do lixiviado, já que a relação DBO/DQO diminui à medida que essa idade aumenta. Em contrapartida, a produção de amônia tende a aumentar com o tempo, assim como substâncias de difícil degradação, como as húmicas e fúlvicas, as quais auxiliam na diminuição da relação DBO/DQO e aumentam a dificuldade das bactérias presentes no lodo ativado de oxidar resíduos (RENOU *et alli*, 2008). Estes autores citam outras desvantagens no cotratamento de lixiviado por lodos ativados, sendo uma delas a inibição microbiana, devido à alta concentração de nitrogênio amoniacal.

Os metais tóxicos também estão entre os elementos mais preocupantes nos lixiviados, seja para tratamentos físico-químicos, seja para cotratamento em sistemas de lodos ativados. Neste último, os microrganismos podem ser influenciados mesmo em baixas concentrações. Em contrapartida, ARAÚJO (2010), dentre suas conclusões, cita que o efluente de lixiviado, apesar de ter baixa biodegradabilidade, pode ter efeito de estimulação aumentada devido à presença de micronutrientes e macronutrientes em concentrações ideais.

A qualidade do efluente obtido numa ETE operada pelo processo de tratamento por lodos ativados depende da qualidade biótica presente no lodo ativado. Diversos grupos microbiológicos participam desse processo, como: bactérias em suspensão, bactérias aglomeradoras (formadoras) de flocos, bactérias filamentosas, protozoários e micrometazoários (SANT'ANNA JR., 2010). Na literatura se encontra um grande acervo acerca das comunidades presentes nas mais diversas ETEs de lodos ativados em todo o mundo (VAZOLLÉR, 1989; MADONI, 1994; SALVADÓ, 2001), e um dos interesses desses trabalhos é entender a dinâmica da ecologia de comunidades de lodos ativados, frente a um estresse ambiental, relacionando-a com a funcionalidade de cada grupo no processo.

Neste contexto, os protozoários são alvo de um especial interesse dentro dos centros de pesquisa por serem excelentes bioindicadores do processo de lodos ativados. Além dos protozoários, os micrometazoários, também são conhecidos como indicadores da qualidade biótica do lodo, já que são altamente sensíveis às mudanças ambientais como a salinidade (SANTOS, 2012). Os protozoários são um conjunto de organismos eucarióticos, unicelulares, sem parede celular, que se alimentam de materiais em suspensão, sejam bactérias, matéria orgânica dissolvida, ou ainda, outros protozoários. Cada grupo supracitado exerce um papel dentro do sistema, e diversos trabalhos correlacionam os parâmetros operacionais, com a microbiota e com a qualidade final do efluente (MADONI, 1994). A qualidade e/ou quantidade do substrato (alimento), a relação DBO/DQO, a concentração de metais e a concentração de amônia são parâmetros que podem influenciar a dinâmica populacional desses bioindicadores.

Este trabalho teve como objetivo analisar a influência do recebimento, em baixa vazão, de lixiviado de um aterro sanitário jovem sobre a microfauna, em condição de cotratamento com esgoto sanitário urbano em uma ETE com tratamento por lodos ativados, para fins de teste de tratabilidade.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma ETE, no estado do Rio de Janeiro, que possui tratamento preliminar (grades e caixas de areia aeradas), primário (decantadores por gravidade) e biológico por lodos ativados. O lixiviado foi proveniente de um aterro sanitário jovem com apenas 4 a 5 meses de funcionamento, que recebe resíduos sólidos urbanos (RSU). O recebimento deste lixiviado foi para fins de teste de tratabilidade e sua vazão de despejo na entrada da estação foi pouco menor que 1% da vazão afluyente à ETE.

Com a finalidade de avaliar a influência do lixiviado na microfauna, foram realizadas análises qualitativas e quantitativas na biota e medições de tamanho de floco. As análises foram realizadas em amostras do líquido sob aeração (*mixed liquor*) de um reator biológico (tanque de aeração) do período de maio a junho de 2012, o que corresponde a um período pré e pós-recebimento do lixiviado. Este foi recebido do dia 13 de junho ao dia 29 de agosto de 2012. Por necessidades operacionais, o primeiro reator foi tirado de carga 20 dias após o início do recebimento, e o lixiviado foi redirecionado para outro reator, impossibilitando a continuação do monitoramento.

As análises microbiológicas foram realizadas em microscópio ótico com contraste de fase, modelo Axiolab, da marca ZEISS. As análises qualitativas se deram através de lâmina e lamínula, enquanto as quantitativas foram efetuadas em câmara de Sedgwick-Rafter. A metodologia foi efetuada segundo as instruções de VAZOLLÉR (1989). A identificação dos organismos foi feita de acordo com o guia de FOISSNER & BERGER (1996), o atlas de BERK & GUNDERSON (1993) e com VAZOLLÉR (1989). Os organismos foram identificados até o

grau de gênero, sempre que possível, e classificados de acordo com os seguintes grupos morfológico-funcionais: ciliados predadores de floco, ciliados sésseis, ciliados livre-natantes, tecamebas, flagelados e micrometazoários. As medições de floco também foram realizadas antes e depois da introdução do lixiviado. Em cada análise foram medidos 60 flocos, classificados nos seguintes tamanhos: pequeno ( $\leq 150\mu\text{m}$ ); médio ( $> 150\mu\text{m}$  e  $\leq 500\mu\text{m}$ ); e grande ( $> 500\mu\text{m}$ ), segundo CETESB (2012).

Foram realizadas análises físico-químicas do afluente da ETE, do lixiviado recebido, e do efluente da ETE, para melhor compreensão da influência dos parâmetros do lixiviado na microfauna do processo de tratamento por lodos ativados. Essas análises seguiram a metodologia de APHA/ AWWA/ WEF (2005). Foram também determinados, através de dados da literatura, concentrações limite de alguns parâmetros críticos do lixiviado (tabela 1). Tais concentrações, em teoria, não limitariam a efetividade do processo de tratamento biológico.

**Tabela 1: Alguns parâmetros críticos, valores de referência e respectivas referências bibliográficas.**

Parâmetro Crítico	Valor de referência	Referência Bibliográfica
Amônia livre ( $\text{mg NH}_3\cdot\text{L}^{-1}$ )*	0,1 (início de inibição) a 1,0 (total inibição)	ANTHONISEN <i>et alli</i> (1976)
Ácido Nitroso ( $\text{mg HNO}_2\cdot\text{L}^{-1}$ )*	0,22 (início de inibição) a 2,8 (total inibição)	ANTHONISEN <i>et alli</i> (1976)
DBO/DQO (lixiviado)	$> 0,5$	RENOU <i>et alli</i> (2008)
Vazão do lixiviado/Vazão afluente	$< 2\%$	McBEAN (1995) <i>apud</i> FERREIRA <i>et alii</i> (2009)
DQO (lixiviado)/DQO (total)	$< 50\%$	ÇEÇEN & ÇAKIROGLU (2001)
Cloreto ( $\text{mg Cl}\cdot\text{L}^{-1}$ )*	$< 3000 - 4000$	SALVADÓ (2001); SANTOS (2010); SANTOS (2012)
Metais pesados ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )**	Zn: 0,20 Cd: 0,27 Cu: 0,31 Pb: $< 1,50$ Cr <sup>+6</sup> : 9,25	MADONI <i>et alli</i> (1996)
Sulfato ( $\text{mg SO}_4^{2-}\cdot\text{L}^{-1}$ )*	$< 2800$	SENA & PIVELI (2002)

\* Concentrações afluentes ao tanque de aeração. \*\* (CL<sub>50</sub> – Concentração Letal para 50% dos indivíduos de *Trochilia minuta* em 24h).

Para a realização do cálculo de amônia livre e ácido nitroso, foram utilizadas as equações 1 e 2, de ANTHONISEN *et alli* (1976):

$$\text{NH}_3(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}) = \frac{17}{14} \times \frac{\text{N-NH}_4^+(\text{mg/L}) \times 10^{\text{pH}}}{e^{[6344/(273+\text{°C})]} + 10^{\text{pH}}} \quad \text{equação (1)}$$

$$\text{HNO}_2(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}) = \frac{46}{14} \times \frac{\text{N-NO}_2^-(\text{mg/L})}{e^{[-2300/(273+\text{°C})]} \times 10^{\text{pH}}} \quad \text{equação (2)}$$

Vale ressaltar que SANT'ANNA, JR. (2010) salienta que a ocorrência de inibição é muito complexa e muitas substâncias orgânicas e inorgânicas podem afetar essas relações de equilíbrio, e ainda, que apesar dessa inibição ser muito citada na literatura acerca do assunto, não há valores consensuais quanto às concentrações que acarretam esse efeito inibitório.

## RESULTADOS

As principais características físico-químicas do afluente da ETE, do lixiviado recebido, e do efluente da ETE estão sintetizadas na tabela 2:

**Tabela 2: Principais características físico-químicas do afluente, do lixiviado e do efluente.**

Parâmetros	Afluente	Lixiviado	Efluente	Lançamento em conformidade com a legislação
pH (UpH)	7,3	8,0	7,13	Sim <sup>1</sup>
Alcalinidade (mg.L <sup>-1</sup> )	192	5236	54	SLE <sup>2</sup>
Condutividade (µS.cm <sup>-1</sup> )	855	10920	665	SLE
Demanda Química de Oxigênio - DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	156	2493	20	SLE
Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO (mg.L <sup>-1</sup> )	71	870	7,4	Sim <sup>3</sup>
Substâncias Ativas ao Azul de Metileno - MBAS (mg.L <sup>-1</sup> )	3,8	0,44	0,2	Sim <sup>1</sup>
Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	91	1644	85	SLE
Nitrogênio amoniacal (mg.L <sup>-1</sup> )	14,0	34,9	0,27	Sim <sup>1</sup>
Nitrito (mg.L <sup>-1</sup> )	-	0,04	0,03	SLE
Nitrato (mg.L <sup>-1</sup> )	-	6,98	21,8	SLE
Sulfato (mg.L <sup>-1</sup> )	91,5	237	67,3	SLE
Fósforo total (mg.L <sup>-1</sup> )	8,1	7,60	5,4	SLE
Sólidos Suspensos Totais - SST (mg.L <sup>-1</sup> )	118	370	39	Sim <sup>3</sup>
Resíduos Sedimentáveis (RS) 60' (mL.L <sup>-1</sup> )	16,9	<0,1	0,1	Sim <sup>1</sup>
Óleos e Graxas (mg.L <sup>-1</sup> )	8,0	<4	<4	Sim <sup>1</sup>
Cádmio (mgCd.L <sup>-1</sup> )	-	0,001	<0,001	Sim <sup>1</sup>
Chumbo (mgPb.L <sup>-1</sup> )	-	0,01	<0,005	Sim <sup>1</sup>
Cobre (mgCu.L <sup>-1</sup> )	-	0,01	<0,001	Sim <sup>1</sup>
Cromo Total (mgCr.L <sup>-1</sup> )	-	0,11	<0,001	Sim <sup>1</sup>
Ferro Solúvel (mgFe.L <sup>-1</sup> )	-	4,64	<0,001	Sim <sup>1</sup>
Níquel Total (mgNi.L <sup>-1</sup> )	-	0,03	<0,002	Sim <sup>1</sup>
Zinco Total (mgZn.L <sup>-1</sup> )	-	0,11	<0,002	Sim <sup>1</sup>

<sup>1</sup>NT-202.R-10 – Critérios e Padrões para Lançamento de Efluentes Líquidos; <sup>2</sup> Sem Legislação Específica;

<sup>3</sup>DZ-215.R.4 – Diretriz de Controle de Carga Orgânica Biodegradável em Efluentes Líquidos de Origem Sanitária – Instituto Estadual do Ambiente (INEA).

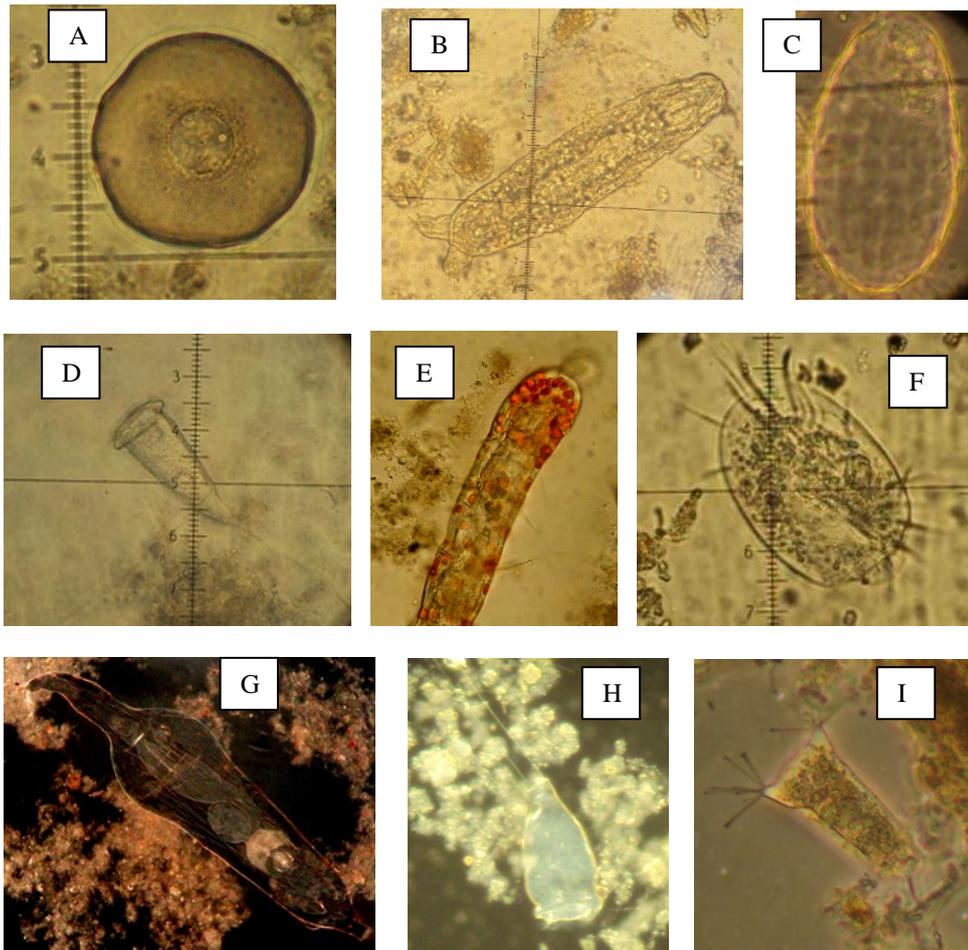
As concentrações de referência apresentadas na tabela 1 foram comparadas às concentrações da mistura do lixiviado com o afluente, obtidas através dos valores da tabela 2. Os resultados das comparações estão apresentados na tabela 3.

**Tabela 3: Comparação das concentrações limite e das concentrações da mistura (lixiviado/afluente).**

Parâmetro Crítico	Valor de referência	Valor na mistura	Conformidade com a literatura
Amônia livre (mg NH <sub>3</sub> .L <sup>-1</sup> )	0,1 (início de inibição) a 1,0 (total inibição)	0,21**	Sim
Ácido Nitroso (mg HNO <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	0,22 (início de inibição) a 2,8 (total inibição)	1,09x10 <sup>-6</sup> ***	Sim
DBO/DQO (lixiviado)	> 0,5	0,35 <sup>‡</sup>	Não
Vazão do lixiviado/Vazão afluente	< 2%	<1%	Sim
DQO <sub>(lixiviado)</sub> /DQO <sub>(total)</sub>	< 50%	1,37%	Sim
Cloreto (mg Cl <sup>-</sup> .L <sup>-1</sup> )	< 3000 – 4000	90	Sim
Metais pesados (mg.L <sup>-1</sup> )	Zn: 0,20*	Zn: 1,1 x 10 <sup>-3</sup>	Sim
	Cd: 0,27*	Cd: 1,0 x 10 <sup>-5</sup>	Sim
	Cu: 0,31*	Cu: 1,0 x 10 <sup>-4</sup>	Sim
	Pb: < 1,50*	Pb: 1,0 x 10 <sup>-4</sup>	Não
	Cr <sup>+6</sup> : 9,25*	Cr <sup>+6</sup> : 1,1 x 10 <sup>-3</sup>	Sim
Sulfato (mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> .L <sup>-1</sup> )	< 2800	91,6	Sim

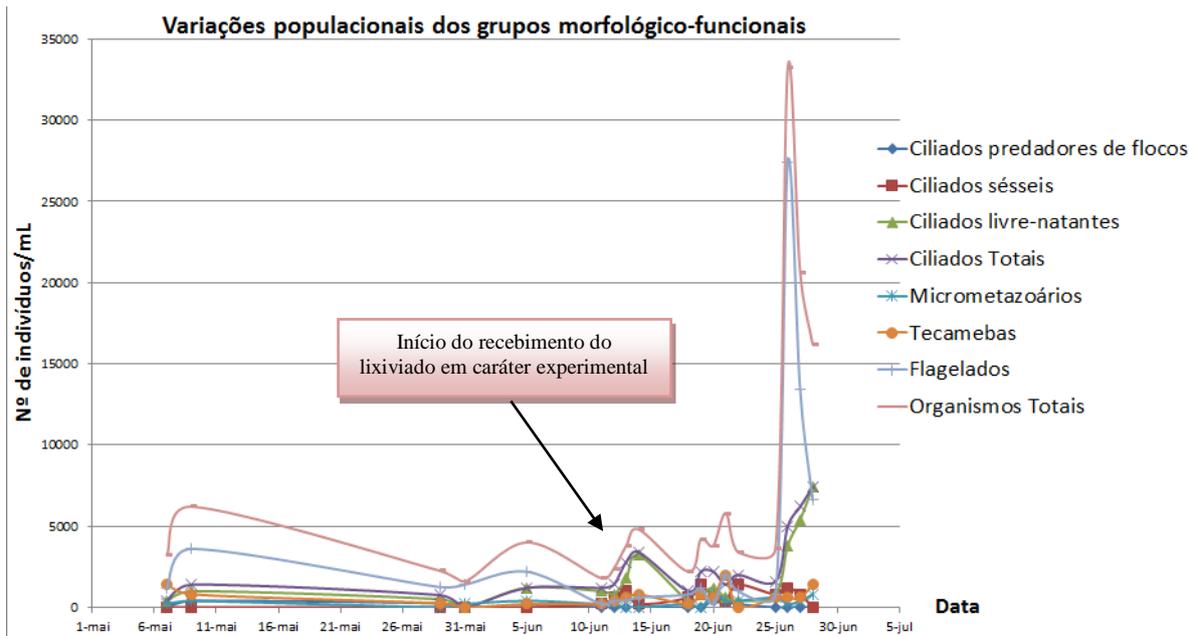
\* (CL<sub>50</sub>– Concentração Letal para 50% dos indivíduos de *Trochilia minuta* em 24h). \*\* Valor obtido através da equação 1, e utilizando temperatura afluente igual a 26°C. \*\*\* Valor obtido através da equação 2, e utilizando temperatura afluente igual a 26°C. <sup>‡</sup> Valor antes da mistura.

No reator foram observados ciliados predadores de floco, ciliados livre-natantes, ciliados sésseis, flagelados, tecamebas e micrometazoários (Figura 1). Entre os ciliados predadores de floco, o mais frequente foi *Aspidisca* sp. Entre os ciliados livre-natantes, o organismo mais abundante foi *Trachelophyllum* sp. e uma morfoespécie não-identificada, com 30 µm de comprimento e forma ovalada. As espécies mais comuns entre os ciliados sésseis foram *Thuricola* sp. e *Epistylis* sp., sendo esta última exclusivamente encontrada após o recebimento do chorume. Entre as tecamebas, *Euglypha* sp. e *Centropyxis* sp. foram os organismos mais frequentes. Entre os micrometazoários foram observados rotíferos, anelídeos oligoquetos do gênero *Aeolosoma*, nematódeos do gênero *Rhabditis*, tardígrados e gastrotríquios. Dentre os micrometazoários, os rotíferos foram os mais comuns antes e depois do recebimento do chorume.

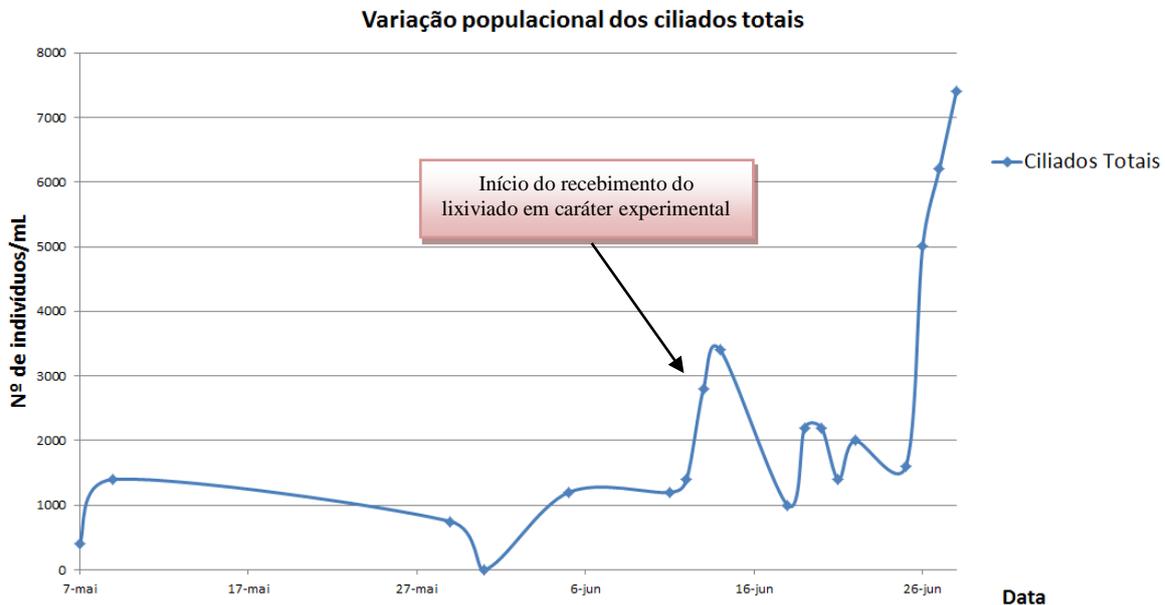


**Figura 1: Alguns organismos encontrados no tanque de lodos ativados durante o experimento. A) *Arcella* sp. – tecameba. B) Tardígrado. C) *Euglypha* sp. – tecameba. D) *Vorticella* sp. – ciliado sésil. E) *Aeolosoma* sp. – oligoqueta. F) *Euplotes* sp. – ciliado predador de floco. G) Rotífero. H) *Epistylis* sp. – ciliado sésil. I) Suctória – ciliado sésil.**

De acordo com os resultados observados, a riqueza de espécies apresentou variações entre 11 e 19 unidades taxonômicas entre o dia de recebimento e o dia de término. A quantidade de organismos totais aumentou após a introdução do lixiviado. A figura 2 apresenta as variações populacionais dos grupos morfológico-funcionais e dos organismos totais. Como pode ser visto na figura 3, a população dos ciliados totais aumentou após o recebimento de lixiviado, principalmente nos últimos dias do monitoramento, apresentando um máximo de 7400 indivíduos.mL<sup>-1</sup>.



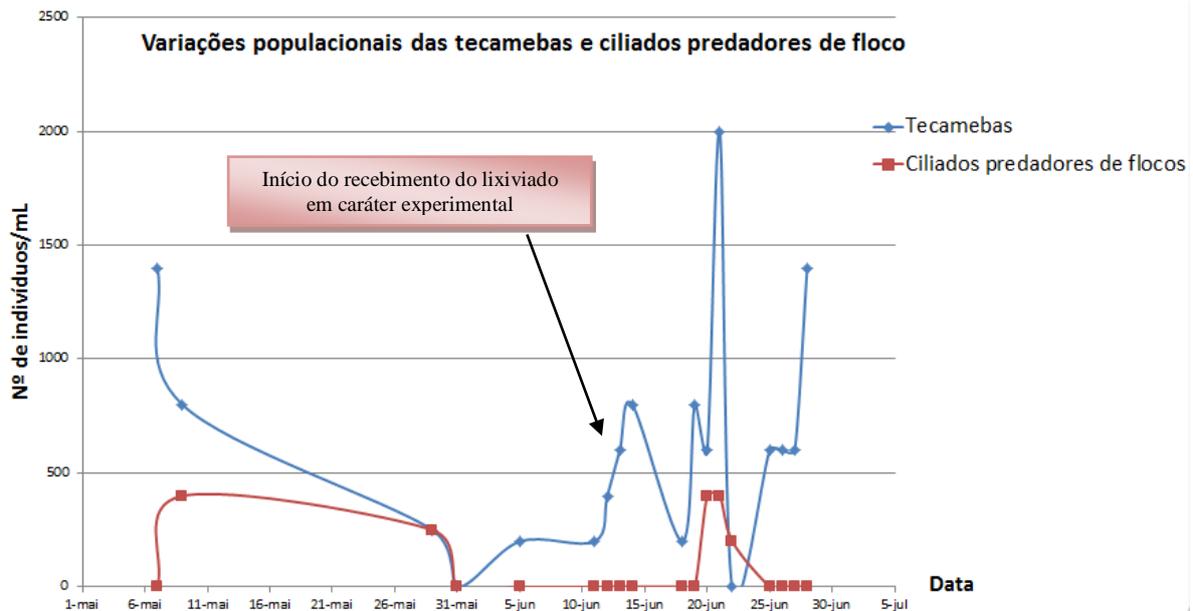
**Figura 2: Variações populacionais dos grupos morfológico-funcionais antes e depois da introdução do lixiviado.**



**Figura 3: Variação populacional dos ciliados totais antes e depois da introdução do lixiviado.**

Os ciliados sésseis também apresentaram crescimento populacional após a introdução do lixiviado, contudo menos expressivo em termos numéricos. Houve uma flutuação da densidade de ciliados predadores de flocos, com picos de 400 indivíduos.mL<sup>-1</sup>. Outro grupo que apresentou grandes flutuações foram as tecamebas (figura 4), com um pico de 2000 indivíduos.mL<sup>-1</sup>.

Quanto aos resultados de medição de floco, a porcentagem de flocos de até 150 µm encontrados em cada análise variou entre 85 e 95%. Os flocos de tamanho médio (150 a 500 µm) foram encontrados na faixa de 5 a 15% em cada amostra. Os tamanhos dos flocos, em todas as análises, foram menores que 250 µm.



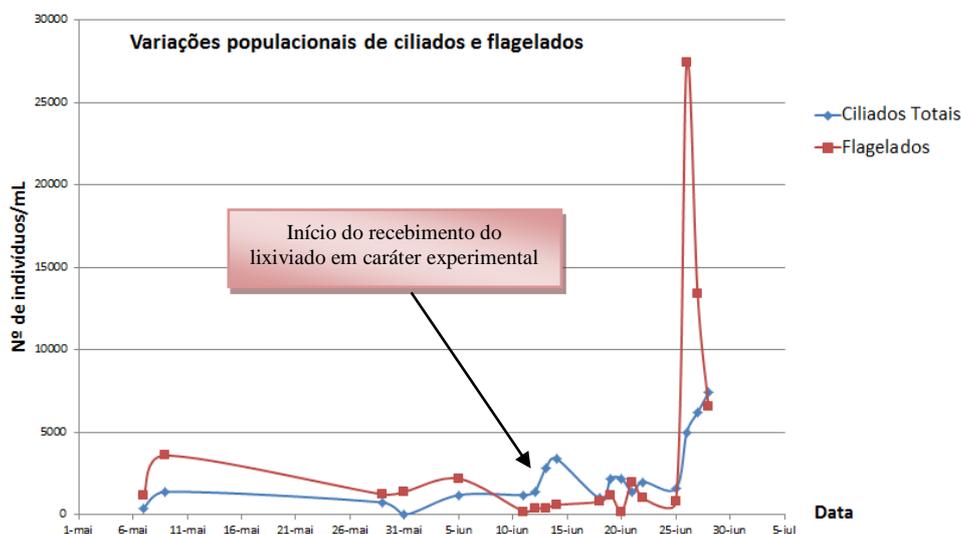
**Figura 4: Variações populacionais de tecamebas e ciliados predadores de floco.**

## DISCUSSÃO

É sabido que uma microfauna diversificada é essencial para a qualidade biótica do lodo e conseqüentemente para a obtenção de um efluente de qualidade. Os lixiviados são conhecidos por prejudicarem esta qualidade quando submetidos à cotratamento por lodos ativados (LI & ZHAO, 2001). Entretanto, nossos resultados sugerem que não houve prejuízo na microfauna e no tamanho dos flocos.

Segundo MADONI (1994), ciliados melhoram a qualidade do efluente, especialmente por serem predadores de bactérias em suspensão, as quais tendem a ser perdidas no efluente, aumentando sua turbidez. No presente trabalho foi observado um aumento da densidade populacional dos ciliados totais, já que seus valores antes do recebimento do lixiviado na ETE estudada não passaram de 1400 indivíduos/mL, com uma média pré-lixiviado de 907 indivíduos/mL e após o recebimento estes valores chegaram a 7400 indivíduos/mL, com uma média pós-lixiviado de 3200 indivíduos/mL.

Como demonstrado na figura 5, houve um aumento repentino na população de flagelados, seguido de queda expressiva. Uma hipótese para tal resultado seria a predação desses flagelados por outros protozoários (MADONI, 1994), os quais tiveram a densidade aumentada concomitantemente.



**Figura 5: Variações populacionais de ciliados e flagelados.**

Buscando estimar a influência, em longo prazo, do recebimento deste lixiviado na biota da ETE, comparou-se dados presentes na literatura relacionados à tolerância dos lodos ativados por lixiviado (tabela 1), com as características do material recebido (tabela 2).

Utilizando as equações de ANTHONISEN *et alli* (1976) para o lixiviado em questão (equações 1 e 2), possuindo  $34,9\text{mg.L}^{-1}$  de nitrogênio amoniacal,  $0,04\text{mg.L}^{-1}$  de nitrito,  $\text{pH} = 8$  (pH do lixiviado) e temperatura =  $26^{\circ}\text{C}$ , se encontra um valor de amônia livre de  $2,44\text{mg.L}^{-1}$  e de ácido nitroso de  $3 \times 10^{-7}\text{mg.L}^{-1}$ . O valor de nitrogênio amoniacal, diluído mais de 100 vezes (quase 1% da vazão de entrada da estação) e no pH afluente de 7,3, apresentar-se-á, após uma média ponderada e a aplicação da equação 1, em uma concentração de, aproximadamente,  $0,21\text{mg.L}^{-1}$  de amônia livre, o que propicia um início de inibição, porém se mantém longe do máximo inibitório das bactérias que realizam a nitratação. Os valores de ácido nitroso também estão muito abaixo do valor de início de uma inibição das bactérias nitrificantes.

Outro aspecto preocupante em relação ao lixiviado é a alta DQO. A partir de testes físico-químicos realizados com o lixiviado, foi possível obter uma relação de DBO/DQO igual a 0,35, o qual é um valor abaixo do limite recomendado (tabela 1). Este cálculo se mostra importante, pois com o tempo a maior presença de compostos refratários, principalmente ácidos fúlvicos e húmicos, tende a limitar a efetividade do processo de tratamento. Esta relação deve ser monitorada para que possam ser feitas correlações caso ocorra redução na eficiência de depuração, ou na qualidade da biota no tanque de aeração.

Aplicando-se a razão  $\text{DQO}_{(\text{lixiviado})}/\text{DQO}_{(\text{total})}$  na ETE estudada, e levando em consideração que as cargas de DQO do afluente, do lixiviado e DQO total são, respectivamente, iguais a  $2695,7\text{kg}/\text{dia}$ ,  $37,4\text{kg}/\text{dia}$  e  $2733,1\text{kg}/\text{dia}$ , a razão  $\text{DQO}_{(\text{lixiviado})}/\text{DQO}_{(\text{total})}$  se apresenta igual a 1,37%, bem abaixo do valor de 50% alertado pelos autores (tabela 1).

Outro parâmetro inibidor é a concentração de cloreto. Em nosso experimento, a concentração de ânions cloreto da mistura de lixiviado e afluente, apresentou uma média ponderada de  $0,09\text{gCl.L}^{-1}$ , ou seja, um valor bem abaixo dos valores mínimos limitantes citados pelos três autores, demonstrando que este parâmetro não seria de grande impacto para o desempenho do tratamento biológico da ETE.

Os metais pesados são tóxicos à maioria dos microrganismos, a concentrações específicas, e geralmente causam sérias perturbações no tratamento secundário (MADONI *et alli*, 1996). No lixiviado do experimento, praticamente todas as concentrações de metais pesados citados se apresentaram muito aquém dos limites de  $\text{LC}_{50}$  (tabela 1), sendo o Zinco total o que chegou a apresentar metade da concentração limite. Não foi encontrado um valor estabelecido de  $\text{LC}_{50}$  em 24h para Pb, contudo, suas concentrações no efluente estavam em conformidade com a legislação estadual. Deve-se considerar que com a diluição afluente de 100 vezes, e com uma provável remoção de 80% dos metais no tratamento primário (DAMASCENO e CAMPOS, 1997), as concentrações que chegarão ao lodo ativado serão ainda mais baixas. Ressalta-se que informações sobre as interações metálicas com o lodo e mobilidade metálica dos resíduos de lodo são fundamentais para a sua disposição, pois a aplicação potencial como fertilizante é geralmente limitada pelo conteúdo metálico (PAGNANELLI *et alli*, 2009).

Em relação a uma potencial intoxicação por sulfato, tendo como base a média de sulfato afluente à ETE de julho de 2012 igual a  $91,5\text{mgSO}_4^{-2}.\text{L}^{-1}$ , e a concentração de sulfato do lixiviado,  $237\text{mgSO}_4^{-2}.\text{L}^{-1}$ , é possível, através de uma média ponderada, encontrar a concentração final de sulfato da mistura:  $91,56\text{mgSO}_4^{-2}.\text{L}^{-1}$ , um valor bem abaixo do considerado prejudicial pelos autores (tabela 1). Vale lembrar que devem ser mantidas condições aeróbias para que não sejam formadas concentrações de sulfeto inibidoras: entre 25 e  $30\text{mg.L}^{-1}$ , segundo USEPA (1987) *apud* SENA e PIVELI (2002).

## CONCLUSÕES

A riqueza de espécies apresentou variações entre 11 e 19 unidades taxonômicas durante o experimento. A população dos ciliados totais, assim como a quantidade de organismos totais, aumentou após a introdução do lixiviado, principalmente nos últimos dias do monitoramento. Os ciliados sésseis também apresentaram crescimento populacional após a introdução do lixiviado, contudo menos expressivo em termos numéricos. Houve flutuação irregular da densidade de ciliados predadores de flocos e de tecamebas. Nossos resultados sugerem que houve pequena influência à microfauna e ao tamanho dos flocos, devido à manutenção da riqueza de táxons e do diâmetro médio de flocos encontrado.

Através dos cálculos teóricos pode-se depreender que a quantidade de lixiviado recebida se apresenta tolerável pela biota em relação ao nitrogênio amoniacal, caso seja respeitada a proporção de 1% da vazão de forma constante, pois pouco diferiria da concentração de amônia livre presente no afluente da ETE. Vale ressaltar que o uso dessas equações deve ser feito com prudência, pois efluentes reais têm composições químicas que podem afetar as relações de equilíbrio, fazendo com que os valores reais sejam distintos dos teóricos.

A relação DBO/DQO não se apresentou favorável, contudo a vazão do lixiviado não excedeu 2% da vazão afluente, nem apresentou razão  $DQO_{(lixiviado)}/DQO_{(total)}$  próxima de 50%.

A concentração de ânions cloreto se apresentou bem abaixo dos limites de tolerância citados pelos autores apresentados, assim como a concentração de sulfato.

As concentrações de Cd, Cu, Cr e Zn presentes no lixiviado recebido se apresentaram abaixo dos valores de  $LC_{50}$  em 24h. Não foi encontrado um valor estabelecido de  $LC_{50}$  em 24h para Pb, contudo, suas concentrações no efluente estavam em conformidade com a legislação estadual.

Levando-se em consideração a diluição inicial dos metais ao se misturarem com o esgoto afluente, e as porcentagens de remoção no tratamento primário, presume-se que estes não influenciaram significativamente na mortandade de microrganismos deste lodo ativado. Ressalta-se que baixas concentrações de alguns poluentes, podem se comportar como nutrientes, como foi o caso da DBO do lixiviado que pode ter contribuído como aporte de matéria orgânica para o lodo ativado, haja vista a baixa carga orgânica afluente da ETE.

Vale destacar que este estudo foi pontual, com concentrações baixas de poluentes no lixiviado, aplicado em uma baixa vazão na entrada da ETE e por um curto período, por se tratar de um teste de tratabilidade. Um experimento com períodos mais longos e um maior número de análises microscópicas e de medição de floco serão de maior valia para uma melhor compreensão da influência do lixiviado em cotratamento com esgotos sanitários urbanos, em um clima tropical.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, WATER ENVIRONMENT FEDERATION. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 21 ed., Port City Press: Baltimore, Maryland, 2005.
2. ANTHONISEN, A. C., LOEHR, R. C., PRAKASAM, T. B. S., SRINATH, E. G. Inhibition of nitrification by ammonia and nitrous acid. Journal Water Pollution Control Federation Vol. 48, n. 5, p. 835-852, mai. 1976.
3. ARAÚJO, L. G. B. R. Avaliação da influência dos nutrientes metálicos nos processos de lodos ativados. Rio de Janeiro, 2010. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2010.
4. BERK, S. G., GUNDERSON, J. H. Wastewater Organisms: A Color Atlas. Lewis Publishers, 1993.
5. ÇEÇEN, F. & ÇAKIROGLU, D. Impact of landfill leachate on the co-treatment of domestic wastewater. Biotechnology Letters, n. 23, p. 821–826, 2001.
6. CETESB. Microbiologia de Lodos Ativados. Caderno da Gestão do Conhecimento – Atualização Profissional. São Paulo: ETGC, 2012.
7. DAMASCENO, S., CAMPOS, J. R. Avaliação da remoção de metais pesados em estações de tratamento de esgotos por processos de lodos ativados. 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Foz do Iguaçu. Anais, 1997. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes97/estacion.pdf>> Acesso em 17/03/2013 às 16:10h.
8. FOISSNER, W., BERGER, H. A user-friendly guide to the ciliates (Protozoa, Ciliophora) commonly used by hidrobiologists as bioindicators in rivers, lakes, and waste waters, with notes on their ecology. Freshwater Biology, volume 35, p. 375–482, 1996.
9. GIORDANO, G., BARBOSA FILHO, O., CARVALHO, R. J. Processos físico-químicos para tratamento do chorume de aterros de resíduos sólidos urbanos / Rio de Janeiro: COAMB / FEN / UERJ. (Série Temática: Tecnologias Ambientais - Volume 4) 178 p, 2011.
10. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA: banco de dados. Censo 2008. Disponível em:

- <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoedevida/pnsb2008/PNSB\\_2008.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoedevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf)> Acesso em: 12/04/2013 às 01:10h.
11. KNOX, K. Leachate treatment with nitrification of ammonia. *Water Research* Vol. 19. n.7. p. 895–904, 1985.
  12. LI, X. Z., ZHAO, Q. L. , Efficiency of biological treatment affected by high strength of ammonium-nitrogen in leachate and chemical precipitation of ammonium-nitrogen as pretreatment. *Chemosphere*, n. 44, p. 37 – 43, 2001.
  13. LOPES, D. D. *et alli*. Tratamento biológico de Lixiviado com remoção de Nitrogênio: sistemas de Lodos Ativados. In: GOMES, L. P. (Coord.). Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras. Rio de Janeiro: ABES, p. 204 – 244, 2009.
  14. MADONI, P., DAVOLI, D., GORBI, G., VESCOVI, L. Toxic effect of heavy metals on the activated sludge protozoan community. *Water Research*, v. 30, n°1, p. 135-141, 1996.
  15. \_\_\_\_\_ A sludge biotic index (SBI) for the evaluation of the biological performance of activated sludge plants based on the microfauna analysis. *Water Research* Vol. 28, No. 1, pp. 67–75, 1994.
  16. McBEAN, E. A. *et alli*. Solid waste landfill engineering and design. New Jersey: Prentice Hall, 1995 *apud* FERREIRA *et alli*. Tratamento combinado de lixiviados de aterros de resíduos sólidos urbanos com esgoto sanitário. In: GOMES, L. P. (Coord.). Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras. Rio de Janeiro: ABES, p. 245–293, 2009.
  17. PAGNANELLI, F., MAINELLI, S., BORNORONI, L., DIONISI, D., TORO, L. Mechanisms of heavy-metal removal by activated sludge. *Chemosphere*, n. 75, p. 1028–1034, 2009.
  18. RENOUE, S., GIVAUDAN, J.G., POULAIN, S., DIRASSOUYAN, F., MOULIN, P. Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials*, n.150, p. 468–493, 2008.
  19. SALVADÓ, H., MAS, M., MENÉNDEZ, S., GRACIA, M. P. Effects of Shock Load of Salt on Protozoan Communities of Activated Sludge. *Acta Protozoologica*, v.40, p.177–185, 2001.
  20. SANT’ANNA JR., G. L. Tratamento biológico de efluentes: fundamentos e aplicações. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. p. 285 – 287, 2010.
  21. SANTOS, J. A. C. Estudo da influência do cloreto de sódio na remoção de matéria orgânica, na determinação da DQO e na microbiota em um sistema de tratamento aeróbio de lodos ativados. São Carlos, 2010. Dissertação de mestrado – Faculdade de Engenharia Hidráulica e Saneamento. Universidade de São Paulo, 2010.
  22. SANTOS, L. S. A influência da salinidade nos processos de tratamento de efluentes por lodos ativados. Rio de Janeiro, 2012. Dissertação de mestrado – Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2012.
  23. SENA, H. C., PIVELI, R. P. Influência de altas concentrações de sulfato na remoção carbonácea, nitrificação e digestão anaeróbia em estações de tratamento de esgotos. XXVIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Cancún, México, out. 2002. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/ii-125.pdf>> Acesso em: 17/03/2013 às 17:07h.
  24. USEPA. Guidance manual on the development and implementation of local discharge limitations under the pretreatment program. Washington, 1987 *apud* SENA, H. C., PIVELI, R. P. Influência de altas concentrações de sulfato na remoção carbonácea, nitrificação e digestão anaeróbia em estações de tratamento de esgotos. XXVIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Cancún, México, out. 2002. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/ii-125.pdf>> Acesso em: 17/03/2013 às 17:07h.
  25. VAZOLLÉR, R. F. Microbiologia de Lodos Ativados (Séries Manuais). São Paulo: CETESB, 1989.