

# Tratamento combinado de lixiviado de aterro sanitário e esgoto doméstico - Aspectos operacionais e microbiológicos

Combined treatment of landfill leachate and domestic sewage - Operational and microbiological aspects

Alexandre Lioi Nascentes<sup>1</sup>, Mariana Mattos Pereira do Nascimento<sup>2</sup>, Felipe da Costa Brasil<sup>3</sup>, Juacyara Carbonelli Campos<sup>4</sup>, João Alberto Ferreira<sup>5</sup>.

## Resumo

Este trabalho avaliou a influência da presença de lixiviado de aterro sanitário nas condições operacionais e na microbiota de um sistema de lodos ativados tratando esgoto doméstico. Para isto, foram utilizados dois reatores em escala de bancada. O reator 1 foi alimentado com misturas de lixiviado e esgoto sintético a 0,5% e 5% e o reator 2 funcionou como controle (apenas esgoto sintético). A alimentação se deu por meio de bomba dosadora e o fornecimento de ar foi realizado por bombas de aquário. Os reatores foram operados com TRH de 16 e 23 horas, tendo-se registrado micrografias para identificação dos microrganismos de importância no processo. Ao longo do experimento foi possível observar que logo após a introdução ou aumento da concentração de lixiviado houve queda significativa de biodiversidade e redução na atividade dos microrganismos e que após alguns dias a diversidade e a atividade se reestabeleciam no sistema, mostrando que apesar da introdução de uma matriz mais complexa, os microrganismos foram capazes de se adaptar.

**Palavras-Chave:** Cotratamento. Lodos Ativados. Chorume.

## Abstract

This study evaluated the influence of the presence of landfill leachate in operational conditions and the microbiota of an activated sludge system treating domestic wastewater. For this purpose, two reactors were employed in bench scale. The reactor 1 was fed with mixtures of synthetic sewage and leachate (0.5% and 5%) and the reactor 2 was operated as control (only synthetic sewage). The affluent was through a peristaltic pump and the reactor was aerated by an aquarium air pump. The reactors were operated at HRT of 15.8 and 22.6 hours, having recorded micrographs for identification of microorganisms of importance in the process. Throughout the experiment it was observed that after the introduction or increase of the concentration of leachate, significant drop of biodiversity and reduction in the activity of microorganisms and that after a few days the diversity and activity were established back in the system, showing that despite the introduction of a matrix more complex microorganisms were able to adapt.

**Keywords:** Cotreatment. Activated Sludge. Leachate.

**Como citar esse artigo.** Nascentes AL, Nascimento MMP, Brasil FC, Campos JC, Ferreira JA. Tratamento combinado de lixiviado de aterro sanitário e esgoto doméstico - Aspectos operacionais e microbiológicos. Revista Teccen. 2015 Jan./Jun.; 08 (1): 05-12.

## Introdução

A poluição vem aumentando significativamente, comprometendo nossos recursos hídricos, afetando a disponibilidade de água para consumo, provocando impactos ambientais, problemas de saúde pública e, conseqüentemente, prejuízo à qualidade de vida da população.

A gestão dos resíduos sólidos é um problema de proporção mundial, devendo-se buscar formas de redução de geração destes resíduos, bem como técnicas adequadas para seu tratamento e deposição final. Dentre as alternativas finais para resíduos sólidos, a mais utilizada é disposição em aterros sanitários<sup>1</sup>.

Nos aterros sanitários ocorre a geração de lixiviado, também conhecido como chorume, que é o efluente resultante da ação enzimática dos microrganismos sobre a matéria orgânica e inorgânica, além dos produtos resultantes da biodegradação e

da água da chuva infiltrada nos resíduos sólidos ali dispostos.

Segundo<sup>2,3,4</sup>, o lixiviado contém elevada concentração de matéria orgânica e substâncias inorgânicas. A composição química e microbiológica do lixiviado é bastante complexa e variável, uma vez que, além de depender das características dos resíduos depositados, é influenciada pelas condições ambientais, pela forma de operação do aterro e, principalmente, pela dinâmica dos processos de decomposição que ocorrem no interior das células. Carreado pela água de chuva e pela própria umidade contida nos resíduos, o lixiviado se transforma em uma matriz aquosa de extrema complexidade, apresentando em sua composição altos teores de compostos orgânicos e inorgânicos, na forma dissolvida e coloidal.

A escassez de dados e informações a respeito do tratamento de lixiviados dificulta os projetos para os sistemas de tratamento, que se baseiam, na maioria dos

1. Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ - Instituto de Tecnologia, Seropédica-RJ, Brasil.

2. Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ - Rio de Janeiro-RJ, Brasil.

3. Universidade Veiga de Almeida - UVA - Rio de Janeiro-RJ, Brasil.

4. Departamento de Processos Inorgânicos EQ, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ - Rio de Janeiro-RJ, Brasil.

5. Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente, Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ - Rio de Janeiro-RJ, Brasil.

casos, em parâmetros de projetos definidos para esgotos sanitários, os quais não incorporam as peculiaridades do lixiviado<sup>5</sup>.

O lixiviado gerado nos aterros sanitários deve ser tratado antes de seu lançamento no ambiente, no entanto,<sup>6,7</sup> apontam que a grande variabilidade da composição do lixiviado ao longo da operação de um aterro e a presença de substâncias recalcitrantes ao tratamento nesse efluente fazem com que muitas técnicas de tratamento utilizadas sejam pouco eficientes ou demasiadamente caras em relação ao custo de operação dos aterros.

Recentemente, têm sido observadas experiências bem sucedidas de tratamento combinado de lixiviado e esgotos domésticos em diversas localidades, demonstrando que essa técnica surge como uma alternativa promissora<sup>8</sup>.

Segundo<sup>9</sup> a sobrecarga causada pela presença do lixiviado pode causar alterações significativas nas condições operacionais do sistema de tratamento, podendo comprometer sua eficiência.

As análises microscópicas em sistemas de tratamento não são comumente empregadas no Brasil. Porém, nos últimos anos, muitas pesquisas têm sido desenvolvidas, objetivando o entendimento das relações entre os organismos presentes e as condições do processo e, também, buscando a padronização de métodos para a utilização dessas análises<sup>10</sup>.

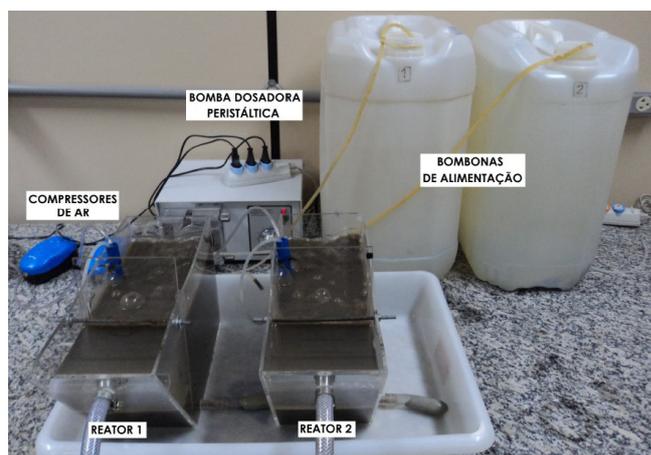
Diante do exposto, esse trabalho objetiva avaliar a influência do lixiviado sobre as condições operacionais e a microbiota de um sistema de lodos ativados.

## Materiais e Métodos

Foram utilizados dois reatores de acrílico, de fluxo contínuo, em escala de laboratório, constituídos de tanque de aeração (4,7 L) e decantador (1,0 L). Um dos reatores funcionou como controle, tratando apenas esgoto doméstico sintético, e outro foi alimentado com misturas de lixiviado e esgoto sintético de 0,5% e 5%.

A alimentação dos reatores se deu por meio de uma bomba dosadora peristáltica de duas vias com regulagem de vazão. Nos dois reatores foram utilizadas mangueiras de alimentação com mesmo diâmetro interno e mesmo comprimento, de modo a se ter as mesmas vazões nos dois reatores. As vazões foram aferidas diariamente através de medição volumétrica, utilizando-se proveta graduada e cronômetro.

O fornecimento de ar foi realizado por compressores de ar (bombas de aquário) ligados a mangueiras de silicone com difusores, de modo a suprir o fornecimento de oxigênio dissolvido aos reatores. A vazão de ar de cada compressor era de 1 L.min<sup>-1</sup>, medida através de rotâmetro. A Figura 1 apresenta o aparato experimental utilizado neste trabalho.



**Figura 1.** Aparato Experimental.

Fonte: Arquivo pessoal

Foi feita amostragem diária na entrada, no tanque de aeração e na saída dos reatores para realização das análises físico-químicas. A microscopia do lodo do tanque de aeração foi realizada duas vezes na semana, sendo capturadas imagens dos microrganismos em atividade.

O lixiviado utilizado neste trabalho foi coletado no Aterro Sanitário Dois Arcos, município de São Pedro da Aldeia/RJ. O aterro sanitário possui uma área de aproximadamente 140 hectares e está em operação desde 2008, recebendo cerca de 300 toneladas diárias de resíduos sólidos urbanos.

O esgoto sintético foi produzido no laboratório, com base nas recomendações de<sup>11,12</sup>. Para a realização deste trabalho, as quantidades de cada reagente foram definidas de modo a se obter características físico-químicas próximas ao esgoto doméstico típico. A Tabela 1 apresenta a composição do esgoto sintético utilizado neste trabalho.

**Tabela 1.** Composição do esgoto sintético.

Reagente	Concentração (mg.L-1)
Peptonas de caseína	360
Extrato de carne	250
Uréia	100
Fosfato monobásico de potássio	26
Cloreto de sódio	14
Cloreto de cálcio di-hidratado	8
Sulfato de magnésio hepta-hidratado	4

Fonte. Adaptado de<sup>11, 12</sup>.

O esgoto sintético era preparado com água da rede pública e os valores médios de seus parâmetros físico-químicos são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Caracterização do esgoto sintético e faixas usuais para esgoto doméstico.

Parâmetro	Unidade	Resultado	Faixas usuais**
DQO	mg.L-1	672	450 - 800
COT	mg.L-1	235	-
pH	-	7,2	6,7 - 8,0
Cloreto	mg.L-1	21,5	-
Amônia	mg.L-1	30,5	20 - 35
Fósforo Total	mg.L-1	9,9	4 - 15
Microtox® CE50	%	ND*	-
Abs. 254 nm	Abs	1,2202	-
DQO/COT	-	2,9	-

Fonte. Adaptado de<sup>22</sup>.

\* Não detectado efeito tóxico

Para a partida dos reatores, os mesmos foram inoculados com lodo da ETE São Pedro, também localizada em São Pedro da Aldeia/RJ. O lodo foi coletado da linha de recirculação, armazenado em bombonas e levado ao laboratório. Ao chegar ao laboratório, o lodo, que inicialmente possuía uma concentração de 15.000 mgSSV.L<sup>-1</sup>, foi diluído a 2.000 mgSSV.L<sup>-1</sup>, valor usual em sistemas de lodos ativados.

O sistema funcionou com tempos de retenção hidráulica (TRH) de 16 e 23 horas e as misturas lixiviado/ esgoto utilizadas foram de 0,5% e 5%. No reator 2 (controle), foi introduzido apenas o esgoto sintético durante todo o procedimento, enquanto no reator 1 foram introduzidas as misturas lixiviado/esgoto, sempre garantidas vazões iguais em ambos os reatores.

O planejamento experimental seguiu as etapas descritas na Tabela 3.

**Tabela 3.** Etapas do experimento.

Etapas	Reatores	Mistura (%)	TRH (h)
1.1	R1	0,5	23
	R2	0	23
1.2	R1	0,5	16
	R2	0	16
2.1	R1	5,0	23
	R2	0	23
2.2	R1	5,0	16
	R2	0	16

Fonte. Arquivo pessoal.

A ordem das etapas seguiu conforme apresentado. Antes do início da etapa 1.1 se deu a aclimação dos reatores, durante a qual os dois reatores foram alimentados somente com o esgoto sintético, ou seja, a mistura a 0%. Dando-se início à etapa 1.1, foram

avaliadas as misturas 0% e 0,5% com a alimentação dos reatores a uma vazão de 3,5 mL.min<sup>-1</sup>, correspondente a um TRH de 23 h e na etapa 1.2, mantiveram-se as misturas dos reatores e a vazão foi aumentada para 5,0 mL.min<sup>-1</sup> (TRH de 16 h). Na etapa 2.1 o reator 1 passou a ser alimentado com uma mistura de 5% enquanto o reator 2 (controle) permaneceu com 0% e o TRH voltou a ser ajustado para 23 h. Por fim, na etapa 2.2, a vazão foi aumentada, impondo-se um TRH de 16 h.

Foi realizada a caracterização do lixiviado, quanto aos parâmetros DQO, COT (carbono orgânico total), pH, Cloreto, N-NH<sub>3</sub> (nitrogênio amoniacal), Microtox® CE50, Turbidez e ABS254 (Absorvância a 254 nm).

O teste Microtox® CE50 avalia a toxicidade aguda à bactéria marinha bioluminescente *Vibrio fischeri* pela determinação da concentração da amostra que causa uma redução de 50% na quantidade de luz emitida pelo organismo-teste após 30 minutos de exposição<sup>13</sup>. Os testes de Microtox® foram realizados no LES - Laboratório de Engenharia Sanitária da UERJ.

A absorvância em 254 nm pode ser utilizada como indicador da presença de duplas e triplas ligações, características de compostos aromáticos<sup>14</sup>. Esta análise foi utilizada no presente trabalho por refletir a presença substâncias orgânicas complexas, substâncias aromáticas e substâncias húmicas, comumente presentes em lixiviados. Além disso, a redução da ABS254 pode indicar a ruptura dessas ligações e degradação deste tipo de compostos. A determinação da absorvância foi realizada de acordo com o método AWWA 5910B<sup>15</sup>.

Durante o monitoramento dos reatores, foram avaliadas as condições operacionais do sistema através de parâmetros como índice volumétrico de lodo (IVL), velocidade de sedimentação zonal (VSZ) e taxa específica de consumo de oxigênio (SOUR - *Specific Oxygen Uptake Rate*).

O IVL é definido como o volume em mL ocupado por um grama de lodo após 30 minutos de sedimentação. Quanto maior o IVL, menor a massa específica do lodo e pior é sua sedimentabilidade. A faixa recomendada de IVL é entre 40 e 150 mL.g<sup>-1</sup> e valores elevados são responsáveis pelo intumescimento do lodo ("bulking"), que é a flotação do lodo no decantador, o que prejudica a qualidade do efluente final<sup>16</sup>.

A VSZ representa a taxa com que a altura da interface clarificado/lodo diminui ao longo do tempo, em sua fase linear. Um valor elevado de VSZ indica um lodo com boas características de sedimentação<sup>17</sup>.

A taxa de consumo de oxigênio (OUR) é um parâmetro utilizado se para avaliar a velocidade com que ocorrem os processos metabólicos dos microrganismos presentes em um sistema de lodos ativados. Sua determinação se dá pela avaliação da variação do OD ao longo do tempo no licor misto do reator após cessada a aeração.

Como este parâmetro está associado à quantidade de biomassa ativa no reator, comumente se emprega a

taxa específica de consumo de oxigênio (SOUR), que é dada pelo valor da OUR dividida pela massa de SSV presente no reator.

Segundo<sup>17</sup>, a taxa específica de consumo de oxigênio (SOUR) é utilizada para avaliar a atividade biológica nos sistemas de tratamento aeróbio com lodo em suspensão, em que valores elevados de SOUR indicam maior atividade biológica.

Neste trabalho são apresentados os resultados da SOUR durante o monitoramento dos reatores durante cada etapa do experimento.

Os parâmetros IVL e VSZ estão diretamente relacionados à sedimentabilidade do lodo, o que está intimamente ligado à clarificação do efluente tratado, enquanto a SOUR está associada à atividade biológica dos microrganismos responsáveis pelo consumo da matéria orgânica.

Foram registradas micrografias realizadas por máquina fotográfica acoplada ao Microscópio Trinocular Plan Quimis. As imagens foram obtidas sob iluminação de campo claro e aumentos na magnitude de 100X, 200X e 400X. As lâminas foram levadas ao microscópio, analisadas, fotografadas para identificação dos microrganismos de importância no processo.

As bibliografias utilizadas para a identificação dos microrganismos foram<sup>18,19</sup>, tendo-se utilizado uma ficha de avaliação microbiológica baseada na escala de identificação e quantificação proposta por<sup>19</sup>. Essa escala varia de (A) a (F), da seguinte forma: (A) nenhum; (B) poucos; (C) comum; (D) muito comum; (E) abundante e (F) excessivo.

Para cada etapa do experimento foi atribuído um valor, de acordo com a escala adotada, referente à quantificação dos microrganismos avaliados. As observações no microscópio eram realizadas diariamente, mas o valor somente era definido após se notar a estabilização do sistema.

## Resultados e Discussão

### Caracterização Do Lixiviado e das Misturas Lixiviado/Esgoto

Na Tabela 4 são apresentados os resultados analíticos da caracterização do lixiviado utilizado no experimento.

É possível observar nos resultados de caracterização do lixiviado um pH mais alcalino que a faixa relatada por<sup>20</sup>, uma concentração bastante elevada de cloretos e uma DQO dentro da faixa usual para a idade do aterro (4 anos).

A Tabela 4 apresenta valores de DQO, pH, amônia, Microtox® CE50 e ABS254 das misturas lixiviado/esgoto de 0% (somente esgoto), 0,5% e 5%. Como de se esperar, à medida que se aumenta a quantidade de lixiviado na mistura, a DQO e a ABS254 aumentam e o pH tende a se tornar mais alcalino.

Nota-se, ainda, que somente foi detectado efeito

**Tabela 4.** Caracterização do lixiviado e das misturas lixiviado/esgoto.

Caracterização do lixiviado				
Parâmetro	Unidade	Resultado		
DQO	mg.L-1	2435		
COT	mg.L-1	667		
pH	-	8,15		
Cloreto	mg.L-1	4028		
Amônia	mg.L-1	203,5		
Microtox® CE50	%	6,24		
Turbidez	uT	86,4		
ABS254	Abs	16,88		
DQO/COT	-	3,65		
Caracterização das misturas lixiviado/esgoto				
Parâmetro	Unidade	0%	0,5%	5%
DQO	mg.L-1	672	680	722
pH	-	7,2	6,9	7,8
Microtox® CE50	%	ND*	ND*	96,6
ABS254	Abs.	1,2202	1,4064	1,9084

Fonte. Arquivo pessoal.

\* Não detectado efeito tóxico

tóxico ao organismo *Vibrio fisheri* no lixiviado e na mistura 5% (lixiviado/esgoto).

Como é de se esperar, a medida que se aumenta a quantidade de lixiviado na mistura, a DQO e a absorvância a 254 nm aumentam e o pH tende a se tornar mais alcalino.

### Condições Operacionais dos Reatores

A Tabela 5 apresenta as eficiências médias e respectivos desvios padrão de remoção de DQO organizadas por TRH para cada mistura lixiviado/esgoto aplicada nos reatores.

No TRH de 16 h, nota-se uma tendência de redução de eficiência do sistema a medida que se aumenta a quantidade de lixiviado.

Já no TRH de 23 h houve um aumento no valor médio de eficiência quando adicionado 0,5% de lixiviado, porém, quando o valor dessa mistura aumenta para 5%, a eficiência cai, o que pode indicar condições tóxicas aos microrganismos, possivelmente associadas à elevada presença de amônia no lixiviado.

**Tabela 5.** Remoção de DQO por TRH, valores de IVL por TRH e de VSZ por TRH para cada mistura lixiviado/esgoto.

Caracterização do lixiviado			
TRH (h)	0%	0,5%	5%
Remoção de DQO por mistura lixiviado/esgoto			
16	89% ± 8%	88% ± 4%	80% ± 3%
23	82% ± 8%	89% ± 2%	73% ± 5%
IVL por mistura lixiviado/esgoto (mL.g <sup>-1</sup> )			
16	108,9 ± 62,4	66,3 ± 3,8	62,2 ± 7,3
23	59,7 ± 11,1	66,6 ± 16,6	53,5 ± 8,5
VSZ por mistura lixiviado/esgoto (mL.min <sup>-1</sup> )			
16	130,8 ± 124,6	185,9 ± 75,0	254,6 ± 9,2
23	263,0 ± 61,1	256,7 ± 45,1	235,3 ± 54,4
SOUR por mistura lixiviado/esgoto (mg.h <sup>-1</sup> .gSSV <sup>-1</sup> )			
16	18,4 ± 5,8	20,5 ± 5,4	18,6 ± 1,6
23	12,7 ± 5,7	12,3 ± 4,1	10,0 ± 4,5

Fonte. Arquivo pessoal.

A Tabela 5 apresenta os valores médios de IVL com os respectivos desvios padrão, organizados por TRH para cada mistura lixiviado/esgoto aplicada nos reatores.

Durante o experimento, praticamente todos os valores de IVL encontrados estiveram dentro da faixa recomendada por<sup>16</sup>, que vai de 40 a 150 mL.g<sup>-1</sup>, tendo-se encontrado os piores resultados no reator controle operando com TRH de 16 h, no qual foram encontrados os maiores valores de IVL, retratando um lodo mais disperso e com maior tendência de intumescimento.

Nos demais regimes avaliados, este parâmetro não se mostrou muito sensível às diferentes condições impostas aos reatores, tendo apresentado pouca variação.

Uma outra forma de avaliar a sedimentabilidade do lodo é por meio da velocidade de sedimentação zonal, cujos resultados são apresentados na Tabela 5.

Para o TRH de 16 h, é possível identificar uma tendência de melhora da sedimentabilidade a medida que se aumenta a presença de lixiviado, o que era bastante nítido durante a operação do sistema, visto que o lodo do reator alimentado pelas misturas 0,5% e 5% apresentou aspecto mais denso que o controle durante praticamente todo o período observado.

Já no TRH de 23 h, no qual o reator está sujeito a vazões menores que na condição anterior, a velocidade de sedimentação não pareceu ser influenciada pela presença do lixiviado, o que é possível de ser explicado

pelo fato deste regime ser equivalente a um sistemas de lodos ativados aeração prolongada, que, segundo<sup>21</sup>, possui elevada resistência a variações de carga e a cargas tóxicas.

Os valores médios de taxa específica de consumo de oxigênio (SOUR) e respectivos desvios padrão, organizados por TRH, para cada mistura lixiviado/esgoto, são apresentados na Tabela 5.

No TRH de 16 h, as vazões afluentes ao sistema (5 mL.min<sup>-1</sup>) são maiores que no TRH de 23 h (3,5 mL.min<sup>-1</sup>), logo a massa de substrato por unidade de volume do reator é superior, fazendo com que a atividade metabólica dos microrganismos seja mais elevada, o que é claramente refletido nos valores de SOUR encontrados.

Estes resultados demonstram, ainda, que a atividade da biomassa presente nos reatores foi muito mais sensível ao incremento de carga associado ao aumento de vazão do que ao aumento de carga relativo à presença do lixiviado. Isto demonstra uma boa adaptabilidade dos microrganismos aos dois TRH avaliados, mesmo que isto não se reflita em uma constância da eficiência do sistema, como se pôde observar na Tabela 5, uma vez que a eficiência depende não somente dos mecanismos de consumo de matéria orgânica, mas também das condições de sedimentabilidade do lodo.

## Ficha de Avaliação Microbiológica

Durante as observações da biomassa no microscópio foi possível verificar que no primeiro dia de avaliação de cada etapa em que ocorria introdução ou aumento da concentração de lixiviado, a quantidade, a diversidade e a mobilidade dos microrganismos foram reduzidas.

As observações no microscópio eram realizadas diariamente, e pôde-se constatar que, em média, no terceiro dia de cada etapa a microfauna alcançava estabilidade quanto à quantidade, diversidade e mobilidade dos microrganismos avaliados. Após esta estabilização que se atribuía o valor referente à quantificação dos microrganismos.

A Tabela 6 consolida as observações realizadas durante o experimento, que se basearam na ficha de avaliação microbiológica proposta por<sup>19</sup> para identificação e quantificação de microrganismos de interesse para o processo de lodos ativados.

Para o TRH de 23 h, o aumento da concentração de lixiviado teve relação com uma leve tendência de aumento de bactérias livres, bactérias filamentosas e protozoários amebóides, embora esta tendência não tenha sido observada para TRH de 16 h. Da mesma forma, a tendência de diminuição dos protozoários ciliados livres, relacionado a menores concentrações de lixiviado, para um TRH de 23 h, não foi seguida no TRH de 16 h.

**Tabela 6.** Identificação e quantificação da microfauna presente nos reatores.

TRH (h)	Organismos	Presença de Organismos		
		0%	0,5%	5%
23	Bactérias Livres	B	C	C
	Bactérias Filamentosas	B	C	C
	Protozoários Amebóides	A	B	B
	Protozoários Ciliados Livres	D	C	B
	Protozoários Ciliados Pendunculados	C	D	C
	Protozoários Ciliados Suctórias	B	A	A
	Fungos	A	A	C
	Metazoários Rotíferos	D	A	D
16	Metazoários Nematóides	B	A	A
	Bactérias Livres	C	C	C
	Bactérias Filamentosas	D	C	D
	Protozoários Amebóides	B	B	B
	Protozoários Ciliados Livres	D	C	D
	Protozoários Ciliados Pendunculados	D	D	B
	Protozoários Ciliados Suctórias	B	A	B
	Fungos	D	B	D
	Metazoários Rotíferos	C	C	B
	Metazoários Nematóides	A	A	A

**Legenda:** (A) nenhum; (B) poucos; (C) comum; (D) muito comum; (E) abundante; (F) excessivo

**Fonte.** Arquivo pessoal.

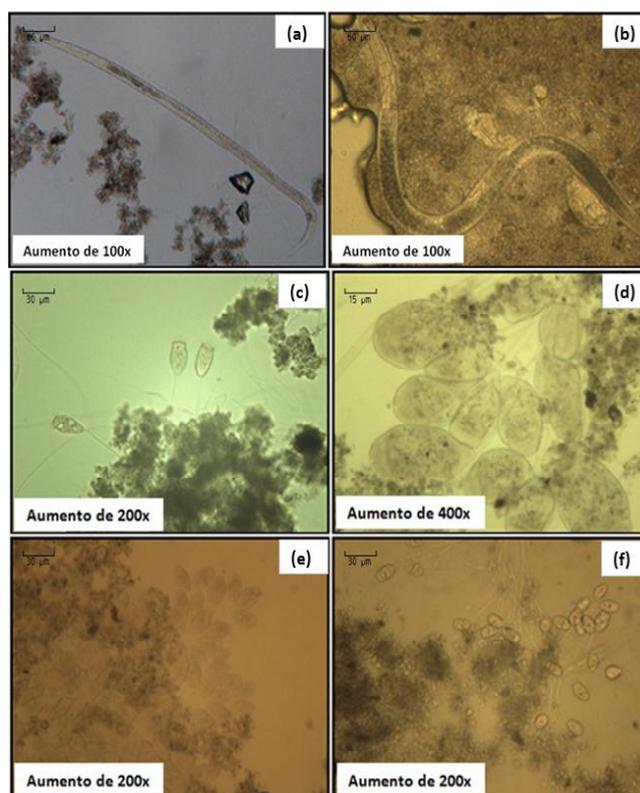
No TRH 23 h, merece destaque a ocorrência de fungos apenas na maior concentração de lixiviado, o que coincidiu com uma tendência de acidificação do líquido no interior do reator, sendo que valores de pH inferiores a 7,0 eram diariamente ajustados para a faixa 7,5 a 8,0. Já no TRH 16 h, houve a ocorrência de fungos em todas as concentrações de lixiviado avaliadas e ajuste de pH diário. Ainda assim não foram observados prejuízos operacionais ao sistema quanto à eficiência e à sedimentabilidade do lodo neste período.

Somente foram observados nematóides no reator controle operando com TRH 23 h. Segundo<sup>19</sup>, estes metazoários são raros em lodos ativados, mas sua presença pode estar associada a baixas cargas e elevados valores de idade do lodo.

## Micrografias

Na Figura 2 podem ser observados metazoários nematóides encontrados no reator 2 (controle) durante a etapa 1.1. A presença destes organismos em reatores de lodos ativados não está associada à eficiência do sistema, mas indica boas condições de operação e ausência de substâncias tóxicas<sup>19</sup>.

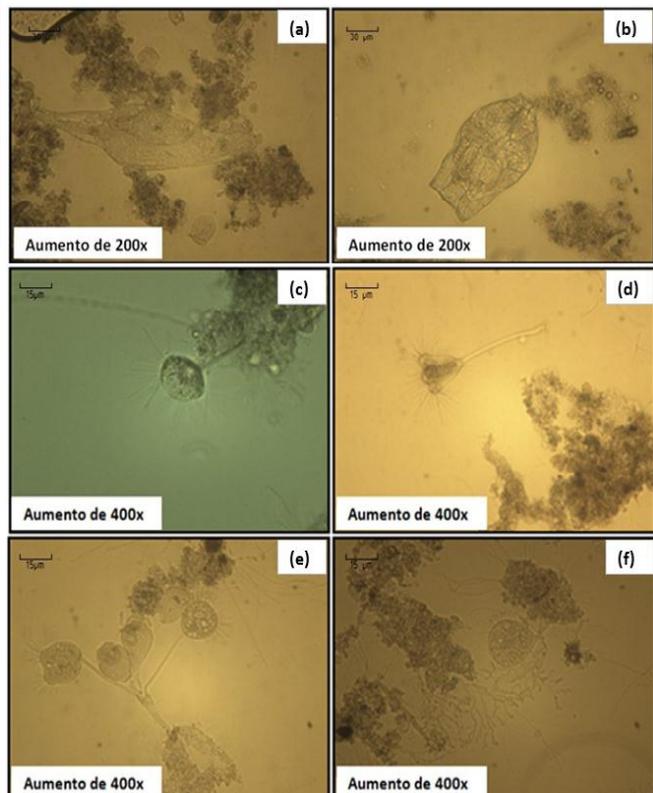
A Figura 2 apresenta protozoários ciliados pedunculados observados durante a etapa 1.2 do experimento. No reator 2 (controle) foram registrados organismos dos gêneros *Opercularia sp* e *Vorticella sp*. Já no reator 1, podem ser observados o gênero *Vorticella sp* e exemplares da espécie *Opercularia coarctata*.



**Figura 2.** Metazoários nematóides observados durante a etapa 1.1: (a) e (b) gênero *Rhabditid sp* em R2 (controle); protozoários ciliados pedunculados observados durante a etapa 1.2: (c) gêneros *Opercularia sp* e *Vorticella sp* em R2; (d) gênero *Vorticella sp* em R2; (e) gênero *Vorticella sp* em R1; (f) espécie *Opercularia coarctata* em R1.

Fonte: Arquivo pessoal

Na Figura 3, pode-se verificar a presença de metazoários rotíferos, encontrados durante a etapa 2.1, tendo-se registrado um exemplar do gênero *Rotaria* no reator 2 e um do gênero *Epiphanes* no reator 1.



**Figura 3.** Metazoários rotíferos observados durante a etapa 2.1: (a) gênero *Rotaria* em R2; (b) gênero *Epiphanes* em R1; protozoários ciliados suctória observados durante a etapa 2.2: (c) espécie *Podophrya fixa* em R2; (d) espécie *Podophrya mollis* em R2; (e) Colônia de protozoários suctórias e algumas bactérias filamentosas em R1; (f) espécie *Podophrya fixa* e alguns fungos em R1.

Fonte: Arquivo pessoal

A Figura 3 apresenta micrografias de protozoários ciliados suctória observados durante a etapa 2.2. No reator 2 foram fotografados microrganismos das espécies *Podophrya fixa* e *Podophrya mollis*. No reator 1 é possível observar colônias de protozoários suctórias, bactérias filamentosas, *Podophrya fixa* e alguns fungos.

## Considerações finais

Nos dois TRH avaliados, o reator alimentado com a mistura de 5% (lixiviado/esgoto) apresentou os menores valores médios de eficiência de remoção de DQO.

Para o TRH de 23 h, a maior eficiência de remoção de DQO foi verificada no reator alimentado com a mistura de 0,5% (lixiviado/esgoto), demonstrando que nestas condições a adição de lixiviado foi benéfica ao processo de tratamento.

Os resultados de IVL e de VSZ indicaram que a presença do lixiviado, para um TRH de 16 h, melhoraram

as condições de sedimentabilidade do lodo. Já no TRH 23, não foi notada interferência positiva ou negativa, relacionada à presença do lixiviado, sobre as condições de sedimentabilidade.

Os resultados de SOUR demonstram que no TRH de 16 h a atividade metabólica dos microrganismos foi bastante superior ao encontrado em TRH 23 h, independente da concentração de lixiviado na alimentação dos reatores.

A ficha de avaliação microbiológica utilizada neste trabalho permitiu a quantificação dos microrganismos de interesse ao processo em cada etapa do procedimento experimental, tendo-se mostrado uma ferramenta útil na caracterização das condições microbiológicas dos reatores.

Ao longo do experimento foi possível observar que nas mudanças de etapas, logo após a introdução ou aumento da concentração de lixiviado, houve queda significativa de biodiversidade e redução na atividade dos microrganismos e que após alguns dias a diversidade e a atividade se reestabeleciam no sistema, mostrando que apesar da introdução de uma matriz mais complexa na alimentação dos reatores, os microrganismos foram capazes de se adaptar.

## Referências

- 1 Andreoli, C.V. (Coord.) et al. Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2001.
- 2 Christensen, T.H.; Bjerg, P.P.L.; Jensen, D.L.; J.B.; Christensen, A.; Baum, A.; Albrechtsen, H-J.; Heron G. Biochemistry of landfill leachate plumes. Applied Geochemistry. v.16, p. 659-718, 2001.
- 3 El Fadel, M.; Douseid, E.; Chahine, W.; Alaylic, B. Factors influencing solid waste generation and management. Waste Management. v.22, p. 269-276, 2002.
- 4 Kjeldsen, P.; Barlaz, M. A.; Rooker, A.P.; Baun, A.; Ledin, A.; Christensen, T. Present and long-term composition of MSW landfill leachate: A Review. Environmental Science and Technology. V. 32, (4), p. 297-336, 2002.
- 5 Castilhos Junior, A.B. (Coord.) et al. Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários. PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2006.
- 6 Ferreira, J.A. Uma revisão das técnicas de tratamento de chorume e a realidade do estado do Rio de Janeiro. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001.
- 7 Mannarino, C.F. Avaliação do Tratamento Combinado de Lixiviado de Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos e Esgoto Doméstico Utilizando Indicadores Físico-Químicos e Biológicos. Tese de doutorado em Saúde Pública e Meio Ambiente. ENSP/FIOCRUZ, 2010.
- 8 Del Borghi, A.; Binaghi, L.; Converti, A.; Del Borghi, M. Combined Treatment of Leachate from Sanitary Landfill. Chem. Biochem. Eng. Q. 17 (4) 277-283, 2003.
- 9 Bocchiglieri, M.M. O lixiviado dos aterros sanitários em estações de tratamento dos sistemas públicos de esgotos. Tese de Doutorado em Saúde Pública. USP, 2010.
- 10 Bento, A.; Philippi, L.; Barbosa, T.; Sezerino, P. Monitoramento microscópico do sistema insular de tratamento de esgotos de Florianópolis/SC. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2011.

- 11 Reis, G. G. dos. Influência da carga orgânica no desempenho de reatores de leito móvel com biofilme (MBBR). Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.
- 12 Holler, S.; Trosch, W. Treatment of urban wastewater in a membrane bioreactor at high organic loading rates. *Journal of Biotechnology*, 2001.
- 13 Hernando, M.D.; Malato, O.; Farré, M.; Fernandez-Alba, A.R.; Barceló, D. Application of ring study: Water toxicity determinations by bioluminescence assay with *Vibrio fischeri*, *Talanta*, Volume 69, Issue 2, p.370-376, 2006.
- 14 Alaton, I.A. Degradation of a commercial textile biocide with advanced oxidation processes and ozone, *Journal of Environmental Management*, v. 82, n. 2, p. 145-154, 2007.
- 15 APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. New York: 21<sup>th</sup> Ed., 2005.
- 16 Jordão, E.P.; Pessoa, C.A. Tratamento de esgotos domésticos. Rio de Janeiro: ABES, 1995.
- 17 Sant'anna Junior, G.L. Tratamento biológico de efluentes: Fundamentos e aplicações. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2010.
- 18 Vazollér, R. F. Microbiologia de lodos ativados. Série Manuais – CETESB, São Paulo, 1989.
- 19 Jenkins, D.; Richard, M. G.; Daigger, G.T. Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming. 2<sup>nd</sup> Ed., Michigan, Lewis Publishers, 1993.
- 20 Tchobanoglous, G. et al. Integrated solid waste management: engineering principles and management issues. New York: McGraw-Hill International Editions, 1993.
- 21 Von Sperling, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol.4. Lodos ativados, 2.Ed. DESA-UFGM, 2002.
- 22 Von Sperling, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol.1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos, DESA-UFGM, 1996.