



III-075 - ENSAIOS ECOTOXICOLÓGICOS PARA AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO COMBINADO DE LIXIVIADO DE ATERRO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS

João Alberto Ferreira⁽¹⁾

D.Sc. em Saúde Pública pela ENSP - Fundação Oswaldo Cruz e M.Sc. em Engenharia Ambiental pelo Manhattan College, New York, USA. Professor Adjunto do Depto. de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente – Faculdade de Engenharia - UERJ.

Camille Ferreira Mannarino

Doutoranda em Saúde Pública e Meio Ambiente pela ENSP - Fundação Oswaldo Cruz. Mestre em Engenharia Ambiental – PEAMB/UERJ. Graduada em Engenharia Civil – Ênfase em Engenharia Sanitária e Ambiental – Faculdade de Engenharia - UERJ.

Josino Costa Moreira

Pós-doutor pela Loughborough University, Loughborough, Inglaterra, D.Sc. em Química pela Loughborough University, Loughborough, Inglaterra, e M.Sc. em Química pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC/RJ. Professor Adjunto do CESTEH/ENSP - Fundação Oswaldo Cruz.

Ana Rosa Linde Arias

Pós-doutora pelo Merck Research Laboratories (MERCK, Estados Unidos), D.Sc. em Ciências Ambientais pela Hokkaido University (Hokkudai, Japão), D.Sc. em Biologia Funcional pela Universidad de Oviedo, UNIOVI, Espanha e M.Sc. em Genética pela Universidad de Oviedo, UNIOVI, Espanha. Pesquisadora do CESTEH/ENSP - Fundação Oswaldo Cruz.

Daniele Maia Bila

Pós-doutora pela COPPE/UFRJ, D.Sc. em Engenharia Química pela COPPE/UFRJ e M.Sc. em Engenharia Química pela COPPE/UFRJ. Professora Adjunta do Depto. de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente – Faculdade de Engenharia - UERJ.

Endereço⁽¹⁾: Rua das Laranjeiras, nº 525, apto. 1102, Laranjeiras, Rio de Janeiro – RJ, CEP: 22240-002 - Brasil. Tel. +55 (21) 2557 – 9941 - e-mail: joaf@uerj.br

RESUMO

O presente trabalho é parte de uma pesquisa desenvolvida no âmbito do Programa de Pesquisas em Saneamento Básico – PROSAB que realizou estudos sobre o tratamento combinado de lixiviados de aterros de resíduos sólidos urbanos em estações de tratamento de esgotos. No presente trabalho, a eficiência do tratamento combinado é avaliada sobretudo pelo comportamento da toxicidade dos seus afluentes e efluente e não somente por parâmetros físico-químicos de controle de poluição. Foi monitorado o tratamento do lixiviado do aterro do Morro do Céu combinado com esgoto doméstico na ETE Icaraf (Niterói – RJ). Os resultados do monitoramento indicaram que a introdução de lixiviado na estação não comprometeu a capacidade de tratamento da mesma. Os ensaios ecotoxicológicos agudos, realizados com peixes *Danio rerio* e microcrustáceos *Daphnia similis*, mostraram que, embora o lixiviado seja muito mais tóxico a esses organismos do que o esgoto, a mistura do lixiviado ao esgoto, em relações de volume que não ultrapassaram 1,5%, não resultaram em um afluente ao tratamento mais tóxico do que o esgoto puro. Após o tratamento, o efluente da estação apresentou toxicidade a peixes reduzida em relação ao afluente da mesma e abaixo do limite estabelecido pela legislação ambiental. Não houve redução significativa de toxicidade a microcrustáceos no tratamento empregado na ETE.

PALAVRAS-CHAVE: Lixiviado, tratamento combinado, ensaios ecotoxicológicos, aterro do Morro do Céu, ETE Icaraf.

INTRODUÇÃO

Uma das dificuldades enfrentada na implantação de aterros sanitários é o tratamento adequado do lixiviado gerado e seu lançamento no meio ambiente em atendimento aos padrões estabelecidos pela legislação.

O tratamento combinado de lixiviado de aterro sanitário com esgoto doméstico em estação de tratamento de esgoto (ETE) vem sendo adotado em vários países como forma de reduzir os custos de operação do aterro,



onde o custo de tratamento do lixiviado pode atingir valores bastante elevados, sobretudo por continuar a se fazer necessário mesmo após décadas de encerramento do aterro (FERREIRA *et al.*, 2005).

No Brasil, o tratamento combinado já é utilizado como forma de tratamento de lixiviado em alguns aterros, entre eles os aterros sanitários Bandeirantes, São João, Vila Albertina e Santo Amaro, em São Paulo (SP), da Extrema, em Porto Alegre (RS), Salvaterra, em Juiz de Fora (MG), CTR – BR040, em Belo Horizonte (MG) e o aterro do Morro do Céu, em Niterói (RJ) (FACCHIN *et al.*, 2000; FERREIRA *et al.*, 2005; PAGANINI *et al.*, 2003).

Se, sob o aspecto da operação dos aterros, o tratamento combinado pode ser uma solução para as dificuldades encontradas no tratamento do lixiviado isoladamente, sob o aspecto da operação das estações de tratamento de esgotos, questiona-se sobre as interferências que o lixiviado pode causar nos processos de tratamento. Tais questionamentos têm origem nas características diferenciadas que o lixiviado apresenta em relação ao esgoto doméstico, tais como elevadas concentrações de compostos orgânicos recalcitrantes, de nitrogênio amoniacal e de salinidade.

As técnicas de tratamento de efluentes mais comumente adotadas nem sempre asseguram que o efluente é desprovido de toxicidade. A fim de evitar que os efluentes descartados nos corpos hídricos causem efeitos tóxicos, de natureza aguda ou crônica, à biota aquática e à saúde humana, é necessário que o seu controle não seja restrito aos parâmetros físico-químicos de controle de poluição (Silva, 2002; Sisino, 2002). A realização de ensaios ecotoxicológicos mostra-se ferramenta importante para um controle mais abrangente das fontes de poluição das águas. Através desses ensaios, é possível se determinar o potencial tóxico de um agente químico ou de uma mistura complexa, sendo os efeitos desses poluentes mensurados pelas respostas de organismos vivos (Silva, 2002; Sisino, 2002).

O presente trabalho objetiva avaliar a eficiência do tratamento combinado do lixiviado de um aterro de resíduos sólidos urbanos em estação de tratamento de esgotos utilizando como ferramenta principal ensaios ecotoxicológicos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foi monitorado o tratamento do lixiviado do aterro do Morro do Céu de forma conjunta com esgoto doméstico na ETE Icaraí. O monitoramento é composto de ensaios ecotoxicológicos agudos, além da caracterização físico-química e da avaliação das vazões dos afluentes e efluente do tratamento.

O aterro do Morro do Céu está localizado no bairro do Caramujo, a aproximadamente 10km do centro de Niterói (RJ). O aterro recebe atualmente em torno de 750 toneladas de resíduos sólidos por dia. A partir do final do ano de 2004, todo o lixiviado gerado no aterro passou a ser encaminhado para tratamento na Estação de Tratamento de Esgotos de Icaraí, no bairro de Icaraí. Atualmente o lixiviado é transportado através de uma linha de interligação do aterro à rede coletora de esgotos, bombeado através de três estações elevatórias. Ressalta-se que o afluente à ETE Icaraí passou a ser composto pelo esgoto doméstico mais o lixiviado do aterro do Morro do Céu.

A ETE Icaraí, localizada no bairro de Icaraí, em Niterói, iniciou sua operação na configuração atual em agosto de 2003. Possui tratamento em nível primário quimicamente assistido, composto por gradeamento, desarenação, tanque de mistura de coagulante, decantação e secagem de lodo. O efluente da estação é encaminhado a um emissário submarino. Uma vista aérea da ETE Icaraí é apresentada na Figura 1.



Figura 1. Vista aérea da ETE Icaraí.

Foram avaliados dados de monitoramento de vazão a fim de determinar a proporção de lixiviados em relação ao esgoto na ETE Icaraí. Os dados de vazão foram fornecidos pela Águas de Niterói, empresa que opera a ETE Icaraí. As leituras de vazão na ETE são realizadas em um medidor automático instalado em uma calha *Parshall* na entrada da ETE. A vazão de lixiviado oriundo do aterro do Morro do Céu é medida no próprio aterro, através de um equipamento automático instalado em uma calha *Parshall*. A vazão de outros lixiviados recebidos na ETE Icaraí é informada através de manifestos de resíduos. Foram avaliados os dados diários de vazão no período de janeiro de 2007 a setembro de 2008.

Amostras da mistura de esgoto e lixiviado afluyente e do efluente da ETE Icaraí, do esgoto puro contribuinte à estação e do lixiviado do aterro do Morro do Céu foram coletadas para realização dos ensaios de caracterização e ensaios ecotoxicológicos (Figura 2). As amostras do afluyente à estação, adotado no trabalho como entrada da ETE, foram coletadas após as grades de barras e antes do gradeamento fino na ETE Icaraí; as amostras do efluente, adotado no trabalho como saída da ETE, foram coletados em um caixa de passagem que reúne as tubulações de saída dos quatro decantadores existentes na ETE Icaraí; as amostras do esgoto puro foram coletadas em um poço de visita após a elevatória de São Francisco, localizado na esquina da Rua Lemos Cunha com a Avenida Almirante Ary Parreiras; as amostras do lixiviado foram coletadas no aterro do Morro do Céu, no vertedouro localizado antes da entrada do lixiviado na linha de interligação do aterro à rede coletora de esgotos.

As caracterizações das amostras líquidas da entrada e da saída da ETE Icaraí, do esgoto puro e do lixiviado do aterro do Morro do Céu foram realizados no sentido de verificar se a introdução de lixiviados comprometeu a eficiência de tratamento na ETE Icaraí. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Engenharia Sanitária - LES/UERJ, em amostras coletadas no período de abril de 2007 a setembro de 2008, de acordo com APHA (2005). Os parâmetros analisados foram: pH, turbidez, condutividade, cor, DQO, DBO₅, alcalinidade total, cloreto, série sólidos, nitrogênio amoniacal, nitrito, óleos e graxas e fósforo.

Os ensaios ecotoxicológicos foram realizados em amostras coletadas na entrada e na saída da ETE Icaraí, do esgoto puro e do lixiviado do aterro do Morro do Céu. Os organismos-teste utilizados foram *Danio rerio* (peixe) e *Daphnia similis* (microcrustáceo). Os ensaios foram realizados no Laboratório de Avaliação e Promoção da Saúde Ambiental da Fundação Oswaldo Cruz seguindo as normas CETESB (1990) e ABNT (2003), com adaptações. O tempo de exposição de cada ensaio foi de 48h. As amostras foram coletadas no período de novembro de 2006 a fevereiro de 2008, totalizando onze grupos de ensaios. Cada grupo de ensaios abrange aqueles realizados com peixes e microcrustáceos para todas as amostras coletadas em um determinado dia.



Foram realizados testes estatísticos, utilizando o programa Minitab 15, para comparações entre os dados amostrais obtidos nos ensaios ecotoxicológicos referentes aos quatro pontos de coleta trabalhados e para verificação da existência de efetiva remoção de DQO e nitrogênio amoniacal da entrada para a saída da ETE.



Figura 2. Amostras coletadas para ensaios de caracterização e ensaios ecotoxicológicos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os valores médios mensais de vazão de esgoto e lixiviado afluentes a ETE Icarai e a proporção de volume de lixiviados em relação ao volume de esgoto recebido na ETE. O volume de lixiviado em relação ao volume de esgoto tratados na ETE manteve-se entre 0,37% e 1,22%, não ultrapassando o percentual de 2% preconizado por trabalhos realizados acerca de tratamento combinado de lixiviado e esgoto (Henry, 1985; McBean *et al*, 1995) .

A Tabela 2 apresenta os resultados do monitoramento do lixiviado do aterro do Morro do Céu, do esgoto puro (linha de São Francisco) contribuinte à ETE Icarai e da mistura de esgoto e lixiviado afluente (entrada) e do efluente (saída) da ETE Icarai. Para cada parâmetro, são apresentados o valor médio e o intervalo de variação entre os valores mínimo e máximo, relativos ao conjunto de resultados obtidos no monitoramento.



Tabela 1. Valores médios de vazões de esgoto e lixiviado afluentes à ETE Icaraí.

Ano	Mês	Esgoto	Lixiviados	Relação Volume Esgoto/ Volume Lixiviados
		(m³/dia)	(m³/dia)	(%)
2007	Janeiro	73115,4	471,6	0,65
	Fevereiro	71637,8	548,4	0,77
	Março	69033,6	396,0	0,58
	Abril	76057,4	413,8	0,55
	Mai	71291,3	444,4	0,62
	Junho	69231,1	387,7	0,57
	Julho	80851,2	387,5	0,48
	Agosto	83555,1	362,3	0,44
	Setembro	81354,2	302,3	0,37
	Outubro	76313,5	300,4	0,40
	Novembro	80880,2	497,5	0,62
	Dezembro	74660,8	559,5	0,75
2008	Janeiro	74550,5	513,6	0,69
	Fevereiro	69462,0	703,1	1,01
	Março	74731,4	831,6	1,15
	Abril	65830,4	798,1	1,22
	Mai	70129,1	682,6	0,97
	Junho	70365,8	524,1	0,76
	Julho	73745,4	438,5	0,60
	Agosto	75662,0	408,6	0,54
	Setembro	78400,3	418,1	0,54
Média		74326,6	494,7	0,68

Tabela 2. Caracterização do lixiviado do Morro do Céu, do esgoto contribuinte, da entrada e da saída da ETE Icaraí.

Parâmetro	Unidade	Aterro do Morro do Céu / ETE Icaraí - Niterói (RJ)							
		Lixiviado (N=25)		Esgoto Puro (N=25)		Entrada ETE (N=29)		Saída ETE (N=29)	
		Média	Variação	Média	Variação	Média	Variação	Média	Variação
pH	-	7,9	7,5 - 8,5	7,2	6,7 - 7,6	7,1	6,3 - 7,5	7,1	6,5 - 7,4
Turbidez	UNT	21,3	2,0 - 70,5	99,0	11,0 - 328,4	167	20,6 - 584,2	61	11,4 - 155,8
Cor verdadeira	UC	3145	1148 - 6200	170	67 - 298	274	86 - 655	165	76 - 445
DBO	mg O ₂ /L	421	158 - 815	103	74 - 141	185	105 - 553	96	22 - 173
DQO	mg O ₂ /L	1428	685 - 1913	172	53 - 316	381	124 - 936	169	69 - 417
Cloretos	mg/L	2095	247 - 5727	68	28 - 163	117	49 - 563	174	33 - 984
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	5677	4590 - 7623	368	187 - 603	475	293 - 940	389	20 - 840
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	114	40 - 473	169	100 - 250	279	87 - 500	129	58 - 570
Nitrogênio Amoniacal	mg N-NH ₃ /L	904	522 - 1394	31	11 - 70	32	17 - 63	33	20 - 51
Fósforo	mg/L	5,5	5,4 - 5,5	3,8	2,7 - 4,9	3,8	3,8 - 3,9	3,8	3,7 - 3,9

Observação: N= número de amostragens.

A distribuição dos valores de DQO e nitrogênio amoniacal obtidos no monitoramento da ETE Icaraí está apresentada sob a representação gráfica de Box-plot na Figura 3.

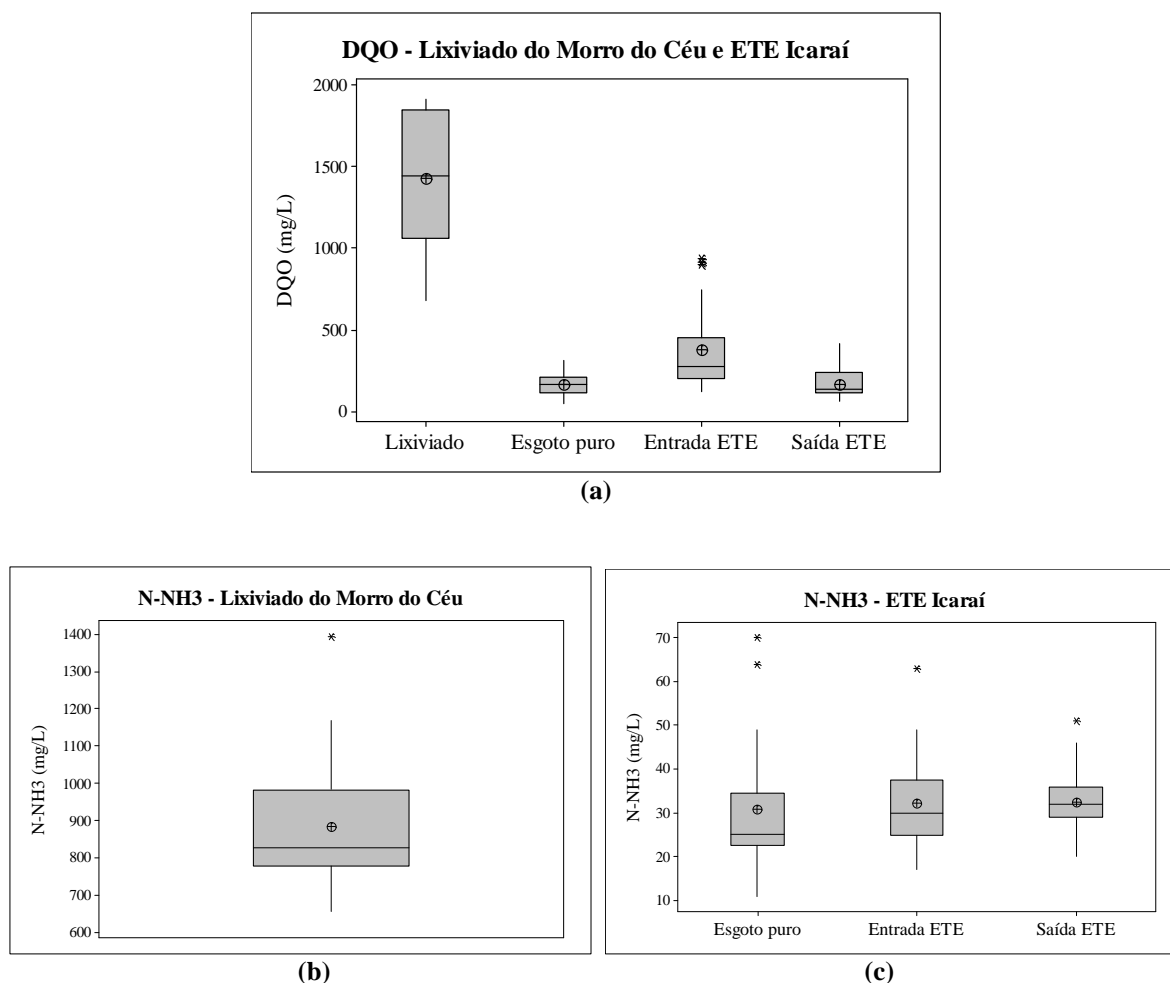


Figura 3. Representação gráfica (Box-plot) da distribuição dos resultados de (a) DQO e (b) e (c) nitrogênio amoniacal para o lixiviado do aterro do Morro do Céu, o esgoto puro, a entrada e a saída da ETE de Icaraí.

Os resultados mostraram que o valor médio de DQO aumentou do esgoto puro para a mistura esgoto mais lixiviado (entrada da ETE), o que pode ser explicado pela contribuição do lixiviado. Ao contrário do esperado, a mistura de lixiviado ao esgoto não aumentou significativamente o valor médio de nitrogênio amoniacal na entrada da ETE. Constatou-se que existem três linhas de chegada de esgotos na ETE. A caracterização para as outras duas linhas (que poderiam estar contribuindo para uma diluição da mistura) foi realizada, mas não foram obtidos valores significativamente diferentes daqueles obtidos para a linha de esgoto inicialmente monitorada. Foram, então, coletadas amostras do lixiviado na terceira elevatória da linha de transporte de lixiviado a partir do aterro do Morro do Céu, já próxima da ETE Icaraí. Foram determinados os valores de nitrogênio amoniacal e constatou-se uma redução de concentração de cerca de 38% em relação ao lixiviado bruto no aterro. Esta redução pode ser resultante de uma certa aeração e perdas por stripping ao longo da linha de bombeamento do lixiviado (cujo pH médio é 8,3).

Os resultados da análise estatística dos dados de monitoramento de DQO e nitrogênio amoniacal para a entrada e a saída da ETE, o esgoto puro e o lixiviado estão apresentados na Tabela 3.



Tabela 3. Resultados da análise estatística aplicada aos dados de monitoramento de DQO e nitrogênio amoniacal das amostras afluentes e efluente à ETE de Icarai.

Amostra	Distribuição normal ¹	Dados amostrais comparados	Teste de hipótese ²	P Valor ³
DQO				
Entrada	Não	Entrada X Saída	<i>Mann-Whitney Test</i>	0,0000
Saída	Não			
Esgoto puro	Sim	Entrada X Esgoto puro	<i>Mann-Whitney Test</i>	0,0001
Lixiviado	Não	Lixiviado X Esgoto puro	<i>Mann-Whitney Test</i>	0,0000
N-NH₃				
Entrada	Não	Entrada X Saída	<i>Mann-Whitney Test</i>	0,5160
Saída	Sim			
Esgoto puro	Não	Entrada X Esgoto puro	<i>Mann-Whitney Test</i>	0,1611
Lixiviado	Não	Esgoto puro X Lixiviado	<i>Mann-Whitney Test</i>	0,0000

OBS. ¹Obtido pelos testes de normalidade: Anderson-Darling, Ryan-Joiner e Kolmogorov-Smirnov. ²Teste de hipótese utilizado para comparar duas amostras: teste de média *Mann-Whitney Test* (não paramétrico), com nível de confiança de 95%. ³P valor < 0,05 (95% de significância): rejeita-se a hipótese nula (de que as médias dos dados amostrais são iguais); P valor > 0,05: não há evidência estatística para afirmar que as médias dos dados amostrais são diferentes.

Os resultados indicam que os dados amostrais de DQO de entrada e saída da ETE são estatisticamente diferentes para um nível de confiança de 95%. As comparações entre os dados amostrais de DQO do esgoto puro e da entrada da ETE também indicam diferença estatística entre os valores médios nesses dois pontos de amostragem, da mesma forma que a comparação entre os dados amostrais de DQO do lixiviado e do esgoto puro, adotado nível de confiança de 95% para todos os testes. Diante dos resultados obtidos e da observação da Figura 3(a), é possível inferir que, por lixiviado possuir DQO significativamente maior do que o esgoto puro, quando esses dois afluentes são misturados, ocorre aumento do valor de DQO na entrada da ETE em relação ao valor de DQO do esgoto puro. Pode-se inferir ainda que há remoção de DQO da entrada para a saída da ETE.

Os dados amostrais de nitrogênio amoniacal de entrada e saída da ETE não apresentam evidência estatística de que são diferentes, com 95% de nível de confiança. O teste de comparação entre os dados amostrais de nitrogênio amoniacal do esgoto puro e da entrada da ETE não apresenta evidência estatística de diferença entre as médias. A comparação entre lixiviado e esgoto puro mostra diferença estatística para os dados amostrais nesses dois pontos. As análises estatísticas, juntamente com a observação da Figura 3(b) e (c), permitem inferir que, embora o lixiviado possua concentração de nitrogênio amoniacal significativamente maior do que o esgoto puro, a mistura desses dois afluentes não aumenta a concentração de nitrogênio amoniacal na entrada da ETE em relação ao esgoto puro, conforme descrito anteriormente. Infere-se também que as concentrações de nitrogênio amoniacal não se alteram da entrada para a saída da estação. A não remoção de nitrogênio amoniacal na ETE Icarai era esperada uma vez em que a estação é composta apenas de tratamento primário com adição de coagulantes.

A remoção dos valores de DQO na ETE Icarai foi de aproximadamente 56%. Em relação aos sólidos suspensos totais, a remoção foi de 67%. Essas remoções encontram-se dentro do esperado para uma ETE que opera com tratamento primário quimicamente assistido, segundo Jordão e Pessoa (2005). Pode-se inferir que, no período do monitoramento, a introdução de lixiviado no processo de tratamento não comprometeu o seu desempenho em termos das remoções de DQO e SST.

O valor médio de nitrogênio amoniacal na saída da ETE, 33 mg/L, não atende ao limite estabelecido pela norma técnica NT-202 da Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente do Estado do Rio de Janeiro – FEEMA, atual Instituto Estadual do Ambiente do Estado do Rio de Janeiro – INEA (FEEMA, 1986), de 5mg/L. Apenas em duas das vinte e nove amostragens realizadas os valores de nitrogênio amoniacal atenderam aos limites estabelecidos por esta lei. Entretanto, deve-se lembrar que o efluente da ETE Icarai segue ainda para tratamento em emissário submarino.

A Resolução nº397 do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA (Brasil, 2008), que altera a Resolução nº357 do mesmo órgão (Brasil, 2005), não mais estabelece limite máximo para o parâmetro nitrogênio amoniacal no padrão de lançamento de efluentes de ETE's. Essa alteração na legislação federal

pode significar uma tendência de mudança no controle de nitrogênio amoniacal em efluentes de ETE's que irá contribuir para maior aceitação do tratamento combinado de lixiviado e esgoto doméstico, visto que uma das principais características dos lixiviados são os elevados valores de concentrações de nitrogênio amoniacal em sua composição.

Para a análise dos ensaios ecotoxicológicos, foram determinados nos ensaios os fatores de toxicidade para os organismos *Danio rerio* e *Daphnia similis*. Os fatores de toxicidade correspondem à menor diluição da amostra em que não ocorreu morte ou imobilidade em mais de 10% dos organismos (CEO – Concentração de Efeito Observado). Foram ainda determinadas as concentrações letais a 50% dos organismos nos ensaios (CL50), que representam a concentração necessária do efluente ensaiado para causar a morte em 50% dos organismos-teste. A Figura 4 mostra a distribuição dos valores de CL50 nos ensaios com *Danio rerio* e *Daphnia similis*.

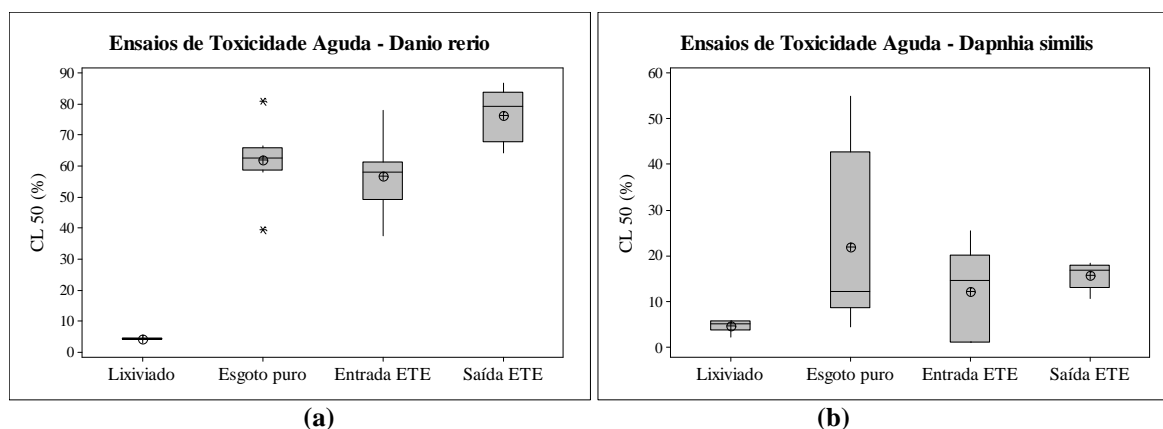


Figura 4. Representação gráfica (Box-plot) da distribuição de valores de CL50 para ensaios com (a) *Danio rerio* e (b) *Daphnia similis* para o lixiviado do aterro do Morro do Céu, o esgoto puro, a entrada e a saída da ETE de Icarai.

Os ensaios realizados com *Danio rerio* resultaram em fator de toxicidade variando entre 2 e 4 unidades de toxicidade (UT) para amostras coletadas na entrada da ETE e variando entre 1,3 e 2 UT para amostras da saída da estação. O lixiviado do aterro apresentou fator de toxicidade variando entre 32 e 64 UT e o esgoto puro contribuinte à estação entre 2 e 4 UT para ensaios com o mesmo tipo de peixe. Todos os resultados dos onze ensaios realizados com *Danio rerio* com amostras coletadas na saída da estação atendem ao limite de toxicidade para efluentes estabelecido na legislação vigente no Estado do Rio de Janeiro, no valor de 8 UT (FEEMA, 1990). De acordo com a legislação referente a controle de toxicidade da FEEMA (atual INEA), o lixiviado não pode ser descartado no ambiente sem tratamento.

Nos ensaios com *Daphnia similis*, o fator de toxicidade para a mistura de lixiviado e esgoto afluente e para o efluente da ETE variou entre 8 e 16 UT, para esgoto puro, entre 4 e 32 UT e, para o lixiviado, entre 32 e 64 UT. Não existem normas brasileiras que estabeleçam limites de toxicidade para efluentes em ensaios utilizando *Daphnia similis*. A Portaria nº017 da Fundação do Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina (FATMA, 2002) estabelece limite máximo de toxicidade para efluentes de estações de tratamento de esgotos domésticos como sendo 1 UT para *Daphnia magna*. Considerando a semelhança entre esses microcrustáceos, o efluente da ETE Icarai não atende ao limite estabelecido pela portaria da FATMA.

Os resultados das análises estatísticas dos dados de toxicidade a peixes e microcrustáceos estão apresentados na Tabela 4.



Tabela 4. Resultados da análise estatística aplicada aos dados de ecotoxicidade aguda com *Danio rerio* e *Daphnia similis* das amostras afluentes e efluente à ETE Icarai.

<i>Daphnia similis</i> das amostras aderentes e efêntes à ETE rural				
Amostra	Distribuição normal ¹	Dados amostrais comparados	Teste de hipótese ²	P Valor ³
<i>Danio rerio</i>				
Entrada	Sim	Entrada X Saída	<i>Teste T</i>	0,000
Saída	Sim			
Esgoto puro	Sim	Entrada X Esgoto puro	<i>Teste T</i>	0,327
Lixiviado	Sim	Lixiviado X Esgoto puro	<i>Teste T</i>	0,000
<i>Daphnia similis</i>				
Entrada	Sim	Entrada X Saída	<i>Teste T</i>	0,397
Saída	Sim			
Esgoto puro	Não	Entrada X Esgoto puro	<i>Mann-Whitney Test</i>	0,4047
Lixiviado	Sim	Esgoto puro X Lixiviado	<i>Mann-Whitney Test</i>	0,0217

OBS. ¹Obtido pelos testes de normalidade: Anderson-Darling, Ryan-Joiner e Kolmogorov-Smirnov. ²Testes de hipótese utilizados para comparar duas amostras: testes de médias Teste T (paramétrico) e *Mann-Whitney Test* (não paramétrico), ambos com nível de confiança de 95%. ³P valor < 0,05 (95% de significância): rejeita-se a hipótese nula (de que as médias dos dados amostrais são iguais); P valor > 0,05: não há evidência estatística para afirmar que as médias dos dados amostrais são diferentes.

Os resultados apresentados na Tabela 4 indicaram que, para os ensaios com *Danio rerio*, os valores médios dos dados amostrais de entrada e saída da ETE são estatisticamente diferentes, com intervalo de confiança de 95%. A comparação entre os dados amostrais de esgoto puro e entrada da ETE indicou que não há evidência estatística de que os valores médios dos dados amostrais de toxicidade para essas amostras sejam diferentes, com intervalo de confiança de 95%. Observando a distribuição dos valores de CL50 nos ensaios, apresentados na Figura 4(a), e os resultados da análise estatística, é possível inferir que o lixiviado apresenta toxicidade a peixes muito maior do que o esgoto puro. Ainda assim, a mistura do lixiviado ao esgoto não aumenta a toxicidade nas amostras coletadas na entrada da ETE. Os resultados indicam que, após o tratamento, o efluente da estação apresenta toxicidade a peixes reduzida em relação ao afluente da mesma.

A análise estatística dos dados de toxicidade à *Daphnia similis* na entrada e saída da ETE indicou que não há evidência estatística de que os valores médios dos dados amostrais de toxicidade para essas amostras sejam diferentes, com intervalo de confiança de 95%. A comparação estatística entre os dados amostrais de toxicidade no esgoto puro e na entrada da ETE evidencia que não se trata de médias amostrais diferentes. No caso dos dados amostrais de toxicidade à *Daphnia similis* no lixiviado e no esgoto puro, os resultados do teste estatístico mostraram que as médias são diferentes. Com base na distribuição dos valores de CL50 nos ensaios, apresentados na Figura 4(b), e os resultados das análises estatísticas, é possível inferir que o lixiviado é mais tóxico aos microcrustáceos avaliados do que o esgoto puro porém não causa aumento significativo de toxicidade nas amostras coletadas na entrada da estação e que não há redução significativa de toxicidade a esse organismo no tratamento empregado na ETE.

CONCLUSÕES

O monitoramento regular do tratamento do lixiviado do aterro do Morro do Céu na ETE Icarai por aproximadamente 20 meses, indicou que a eficiência do sistema de tratamento avaliado sofreu pouca interferência do volume de lixiviado adicionado no afluente de esgoto a ser tratado. Os resultados indicam que o tratamento combinado pode ser uma alternativa viável para o tratamento de lixiviados de aterros de resíduos sólidos urbanos.

O monitoramento físico-químico mostrou que, no período analisado, a introdução de lixiviado no tratamento não comprometeu o desempenho da ETE, que manteve a remoção de DQO e de sólidos suspensos totais dentro da faixa desejada para o tratamento primário quimicamente assistido em operação. A contribuição da vazão de lixiviados não ultrapassou 1,5% da vazão total afluente à ETE.

Os ensaios ecotoxicológicos agudos realizados, utilizando peixes e microcrustáceos, mostraram que, embora o lixiviado do aterro tenha elevada toxicidade, a mistura do lixiviado ao esgoto não aumentou a toxicidade do



afluente à ETE. O efluente do tratamento combinado de lixiviado e esgoto apresentou baixa toxicidade no período de monitoramento, atendendo ao padrão estabelecido pela legislação estadual.

O tratamento combinado de lixiviado pode ser aplicável a municípios que possuam estações de tratamento de esgotos, onde sejam atendidos os requisitos de viabilidade de transporte do lixiviado até a ETE, de capacidade da estação em assimilar esse efluente, de compatibilidade do processo de tratamento com as características do lixiviado e de manejo do provável aumento de produção de lodo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FINEP e à Caixa Econômica Federal pelo financiamento, ao apoio do CNPq, à Companhia Municipal de Limpeza Urbana de Niterói – CLIN e à empresa Águas de Niterói pelos dados cedidos e apoio operacional. Esse trabalho foi desenvolvido no escopo de um projeto de pesquisa integrante do Programa de Pesquisas em Saneamento Básico – PROSAB, Edital 5, Tema 3 – Resíduos Sólidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT. NBR 12713 - Ecotoxicologia aquática – Toxicidade aguda - Método de ensaio com *Daphnia spp.* Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003.
2. APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. New York: 21th ed., 2005.
3. CETESB. NT / L5.019 - I - Teste de toxicidade aguda com peixes. Parte I - sistema estático. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1990.
4. BRASIL. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução nº357 - Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial [da União]*, Brasília, 18 de março de 2005.
5. BRASIL. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução nº397 - Altera o inciso II do § 4º e a Tabela X do § 5º, ambos do art.34 da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA nº357, de 2005. *Diário Oficial [da União]*, Brasília, 07 de abril de 2008.
6. FATMA. Portaria nº17 - Estabelece os limites máximos de toxidade aguda para efluentes de diferentes origens e dá outras providências. Florianópolis, 18 de abril de 2002.
7. FEEMA. NT-202.R-10, aprovada pela Deliberação CECA nº1007, de 04 de dezembro de 1986. Critérios e padrões para lançamento de efluentes líquidos. *Diário Oficial [do Estado do Rio de Janeiro]*, Rio de Janeiro, 12 de dezembro de 1986.
8. FEEMA. NT-213, aprovada pela Deliberação CECA nº1.948, de 04 de setembro de 1990. Critérios e padrões para controle de toxicidade em efluentes líquidos industriais. *Diário Oficial [do Estado do Rio de Janeiro]*, Rio de Janeiro, 18 de outubro de 1990.
9. HENRY, J. G. New Developments in Landfill Leachate Treatment. In: Proc. New Directions and Research in Waste Treatment and Residuals Management, Univ. of Brit. Columbia, v. 1, p. 139, 1985 apud KELLY, H.G. Pilot Testing for Combined Treatment of Leachate from a Domestic Waste Landfill Site. *Journal of Water Pollution Control Federation*, v.59, n.5, p.254-261, 1987.
10. JORDÃO, E. P., PESSÔA, C. A. Tratamento de Esgotos Domésticos. Rio de Janeiro: ABES, 2005.
11. McBEAN, E.A. et al. Solid Waste Landfill Engineering and Design. Prentice Hall, New Jersey, 1995.
12. SILVA, A. C. Tratamento do Percolado de Aterro Sanitário e Avaliação da Toxicidade do Efluente Bruto e Tratado. Dissertação de Mestrado. COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2002.
13. SISINNO, C. L. S. Destino dos Resíduos Sólidos Urbanos e Industriais no Estado do Rio de Janeiro: Avaliação da Toxicidade dos Resíduos e suas Implicações para o Ambiente e para a Saúde Humana. Tese de Doutorado. Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro, 2002.