



# Revista AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:  
Investigación, desarrollo y práctica

Volúmen 1, número 4, año 2008 ISSN 0718-378X  
PP

## EVAPORAÇÃO DE LIXIVIADO PRODUZIDO EM ATERRO SANITÁRIO DO RIO DE JANEIRO COMO ALTERNATIVA TECNOLÓGICA DE TRATAMENTO

Evaporation of leachate produced in a landfill in Rio de Janeiro  
as an alternative treatment technology

Jackeline Maria Cardoso de França Bahé

Álvaro Luiz G. Cantanhede

Iene Christie Figueiredo

Ana Silvia Pereira dos Santos Viana

Lana Gopfert

Lúcio Vianna Alves

José Henrique Penido Monteiro

### ABSTRACT

The selection of the appropriate technology for leachate treatment should be based on a careful evaluation of technical and economic parameters, since these wastes present high pollutant loads. Evaporation is a technological treatment option because it allows a reduction in the leachate volume of up to 70% and uses the gas generated in the landfill as an energy source, and therefore can qualify these facilities to obtain carbon credits. However, this treatment process generates two types of wastes (viscous and gaseous) whose composition requires in-depth studies. Companhia Municipal de Limpeza Urbana (COMLURB), the company that manages the solid wastes in the State of Rio de Janeiro, Brazil, developed an evaporation equipment called Unit Evaporator (EU). This equipment operates with a continuous feeding of leachate and can be installed near biogas collection wells in sanitary landfills. In this context, this work has the purpose of evaluating the evaporation of leachate through the EU and the characteristics of the wastes generated. The study was developed in two distinct phases: (1) conduction of evaporation bench-scale tests; (2) Operation of the EU prototype installed in Gramacho sanitary landfill. The following results are noteworthy: (a) the raw leachate from Gramacho landfill presented a significant variation of physicochemical characteristics and low ratio BOD/COD (0.12), making its treatment difficult by biological processes; (b) the GEM 2000 equipment determined that the biogas quality was consistent with the values typically found in literature. The biogas used as energy source by the EU was made up of 56.6% of CH<sub>4</sub>, 40% of O<sub>2</sub>, and 3.4% of other substances; (c) EU output, monitored in the field reached an average of 27.4 L/h. The decrease in the EU performance at the end of an operational period was considered an indication of the need for internal cleaning; (d) the viscous waste generated at evaporation in the bench test was characterized by the increase in pH (10.0) and build-up of organic matter (9,493 mg DQO/L). Condensed fumes presented high values of ammonia (3.481 mg NH<sub>4</sub>/L) and pH (9,0), and low concentrations of solids and organic matter; (e) wastes generated in the EU presented the following characteristics: high pH and COD values in the waste 1 (viscous), low ammonia concentration in the condensate because of the difficulty to contain this contaminant in the sample due to field environmental conditions. Waste 2 (solid) was characterized by a high COD and ammonia concentrations, significant decrease in pH, specific weight of 973.4 kg/m<sup>3</sup> and a ratio of 1.94 m<sup>3</sup> of evaporated leachate for an output of 1 kg of this waste.

KEY WORDS: leachate, waste, evaporation, output, treatment.

## EVAPORAÇÃO DE LIXIVIADO PRODUZIDO EM ATERRO SANITÁRIO DO RIO DE JANEIRO COMO ALTERNATIVA TECNOLÓGICA DE TRATAMENTO

### **Jackeline Maria Cardoso de França Bahé<sup>(1)</sup>**

Engenheira Química; Mestranda em Engenharia Civil, na Área de Concentração em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos – UFPE; Professora do CEFETEQ-RJ

### **Álvaro Luiz G. Cantanhede<sup>(1)</sup>**

M.Sc. em Engenharia de Meio Ambiente, Prof. Adjunto do Depto. de Recursos Hídricos e Meio Ambiente da Escola Politécnica – UFRJ

### **Iene Christie Figueiredo<sup>(1)</sup>**

M.Sc. em Engenharia Ambiental, Prof<sup>a</sup> Assistente do Depto. de Recursos Hídricos e Meio Ambiente da Escola Politécnica – UFRJ

### **Ana Silvia Pereira dos Santos Viana<sup>(1)</sup>**

M.Sc. Engenharia Civil – Tecnologia de Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos – COPPE/UFRJ; Doutoranda COPPE/UFRJ, bolsista DTI do PROSAB/CNPq

### **Lana Gopfert<sup>(1)</sup>**

Graduanda em Engenharia Ambiental – Escola Politécnica/UFRJ, Bolsista IC-CNPq/PROSAB

### **Lúcio Vianna Alves**

Coordenador de Projetos da Companhia Municipal de Limpeza Urbana do Rio de Janeiro (COMLURB)

### **José Henrique Penido Monteiro**

Assessor Chefe da Divisão Industrial da Companhia Municipal de Limpeza Urbana do Rio de Janeiro (COMLURB)

<sup>(1)</sup> **Endereço:** Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente. Centro de Tecnologia, Bloco D – Sala 204 - Cidade



Universitária – Rio de Janeiro, RJ – CEP: 21.949-900 – Brasil

Tel: +55 (21)2562-7982

Fax: +55 (21)2562-7994

e-mail: [alvarocantanhede@hotmail.com](mailto:alvarocantanhede@hotmail.com) ou [iene@poli.ufrj.br](mailto:iene@poli.ufrj.br)

## RESUMO

A escolha da tecnologia adequada para o tratamento de lixiviados deve ser baseada em uma criteriosa avaliação de parâmetros técnicos e econômicos, uma vez que este resíduo apresenta alta carga poluidora. A evaporação apresenta-se como uma opção tecnológica de tratamento pois permite uma redução de até 70% do volume de lixiviado e utiliza como fonte de energia calórica o gás gerado no próprio aterro, podendo assim habilitar essas instalações para a obtenção de créditos de carbono. Todavia, tal processo de tratamento gera dois tipos de resíduos (pastoso e gasoso) cuja composição requer estudos mais aprofundados. A Companhia Municipal de Limpeza Urbana (COMLURB), empresa responsável pela gestão dos resíduos sólidos no Rio de Janeiro (Brasil), desenvolveu um equipamento de evaporação denominado *Evaporador Unitário* (EU). Este é um equipamento que opera com alimentação contínua de lixiviado e pode ser instalado próximo aos poços de captação de biogás nos aterros sanitários. Neste contexto apresenta-se como objetivo deste trabalho avaliar a evaporação do lixiviado pelo EU e as características dos seus resíduos gerados. O desenvolvimento deste estudo se deu em duas etapas distintas: **(1)** Realização de testes de evaporação em bancada; **(2)** Operação do protótipo do EU, instalado no aterro sanitário de Gramacho. Destacam-se como resultados deste trabalho: **(a)** O lixiviado bruto do aterro de Gramacho apresentou grande variabilidade nas suas características físico-químicas e baixa relação DBO/DQO (0,12), dificultando seu tratamento por processos biológicos; **(b)** O equipamento GEM 2000 determinou resultados de qualidade do biogás condizentes aos valores comumente encontrados em literatura. A composição do biogás utilizado como insumo energético pelo EU foi:  $\text{CH}_4 = 56,6\%$ ;  $\text{CO}_2 = 40\%$ ; Outros = 3,4%; **(c)** O rendimento do EU monitorado em campo alcançou uma média de 27,4 L/h. A redução no desempenho do EU ao fim de um período operacional foi utilizado como indicação da necessidade de sua limpeza interna; **(d)** O resíduo pastoso gerado na evaporação em bancada foi caracterizado pelo aumento do pH (10,0) e acumulação da matéria orgânica (9.493 mgDQO/L). Os vapores condensados apresentaram elevados valores de amônia (3.481 mgNH<sub>4</sub>/L) e de pH (9,0), com baixa concentração de sólidos e de matéria orgânica; **(e)** Os resíduos gerados no EU apresentaram como características: elevados valores de pH e de DQO no resíduo 1 (pastoso), baixa concentração de amônia no condensado em função da dificuldade de fixação deste contaminante na amostra propiciada pelas condições ambientais de campo. O resíduo 2 (sólido)

caracterizou-se por elevada concentração de DQO e de amônia, redução acentuada no seu pH, peso específico de  $973,4 \text{ kg/m}^3$  e uma relação de  $1,94 \text{ m}^3$  de lixiviado evaporado para produção 1 kg deste resíduo.

**PALAVRAS-CHAVE:** lixiviado, resíduo, evaporação, rendimento, tratamento.

## INTRODUÇÃO

A Região Metropolitana do Rio de Janeiro produz cerca de 10.000 toneladas diárias de resíduos sólidos municipais. Esses resíduos são dispostos nos aterros sanitários de Gramacho (Duque de Caxias/RJ) e Gericinó (Rio de Janeiro/RJ), operados pela Companhia Municipal de Limpeza Urbana da cidade do Rio de Janeiro (COMLURB). Os aterros de Gramacho e Gericinó produzem atualmente cerca de  $1.500\text{m}^3/\text{d}$  e  $500\text{m}^3/\text{d}$  de lixiviado, respectivamente.

O lixiviado contém alta carga poluidora e sua composição apresenta elevadas concentrações de amônia, cloretos, substâncias recalcitrantes, compostos orgânicos e inorgânicos, capazes de causar efeitos adversos ao meio ambiente. Essas características podem também interferir negativamente no desempenho de processos biológicos empregados no seu tratamento, implicando na necessidade de uma criteriosa avaliação de parâmetros técnicos e econômicos para a adequada escolha da tecnologia de tratamento dos lixiviados.

A evaporação permite uma redução em até 70% do volume do lixiviado, utilizando como fonte de energia calórica o gás de aterro. Essa tecnologia pode apresentar baixo custo operacional e possibilita ainda a geração de créditos de carbono, fatores que estimularam o emprego de evaporadores convencionais em alguns aterros nos Estados Unidos, Europa e no Brasil (São Paulo, Bahia e Rio de Janeiro). Apesar de promissora, a tecnologia de evaporação precisa ser avaliada sob alguns aspectos: custos reais de implantação e operação, parâmetros de controle operacional do equipamento e características dos resíduos sólidos e gasosos gerados no processo, dentre outros.

O presente projeto de pesquisa, realizado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) em parceria com a COMLURB, no âmbito do PROSAB (Programa de Pesquisa em Saneamento Ambiental) – Tema III, Edital 05, visa avaliar a possibilidade da evaporação do lixiviado utilizando gás de aterro como fonte energética. No desenvolvimento desse projeto de pesquisa utilizou-se o lixiviado gerado no aterro de Gramacho localizado na região metropolitana do Rio de Janeiro.

## MATERIAIS E MÉTODOS

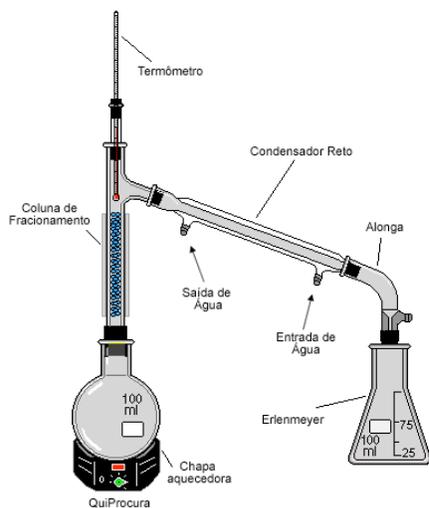
O monitoramento do processo de evaporação foi realizado em duas etapas distintas: (1) Ensaio de evaporação em bancada de laboratório utilizando lixiviado do aterro de Gramacho; (2)

Acompanhamento do desempenho do EU, instalado no aterro de Gramacho, e caracterização dos resíduos gerados na operação do equipamento.

Na condução dos experimentos realizou-se também a caracterização físico-química dos lixiviados brutos provenientes do aterro de Gramacho, com frequência de monitoramento semanal, segundo os seguintes parâmetros: DQO, DBO, Sólidos, Amônia e pH.

### TESTES DE EVAPORAÇÃO EM BANCADA

Os ensaios de evaporação do lixiviado em escala laboratorial foram realizados no Centro Federal de Educação Tecnológica de Química – Rio de Janeiro (CEFETEQ/RJ). O aparato experimental, adaptado de Bichler (1994) e apresentado nas Figuras 01 e 02, é composto por: balão de destilação (3 litros), coluna de fracionamento (40 cm), condensador de tubo reto, unha de destilação, erlenmeyer para coleta de vapor condensado e manta elétrica para aquecimento do lixiviado a uma temperatura de aproximadamente 100°C. Para garantir a preservação da amônia na amostra de vapor condensado, optou-se por sua refrigeração em caixa de isopor com gelo.



**Figura 01** – Esquema da evaporação em bancada



**Figura 02** – Aparato experimental dos ensaios em bancada

Foram realizados 12 experimentos de evaporação em bancada que consistiram em evaporar o lixiviado e condensar o vapor gerado com auxílio de um condensador de tubo reto. Amostras do lixiviado bruto, do vapor condensado e do resíduo da evaporação foram coletadas e analisadas no Laboratório de Engenharia do Meio Ambiente da UFRJ (LEMA/UFRJ), segundo os seguintes parâmetros: DQO, DBO, cloretos, alcalinidade, NH<sub>4</sub>, fósforo, sólidos, cor, turbidez, pH, coliformes totais e coliformes termotolerantes.

### TESTES DE EVAPORAÇÃO EM CAMPO

O monitoramento do Evaporador Unitário (Figuras 03 e 04) foi realizado com frequência diária pela COMLURB, com apoio e orientação da Poli/COPPE/UFRJ. Os parâmetros de controle operacional monitorados foram: horário de abastecimento de lixiviado, volume de abastecimento, volume evaporado (através de leituras no hidrômetro instalado na linha que alimenta o EU), temperatura ambiente e índice pluviométrico. Esses dados permitiram avaliar o rendimento do equipamento.

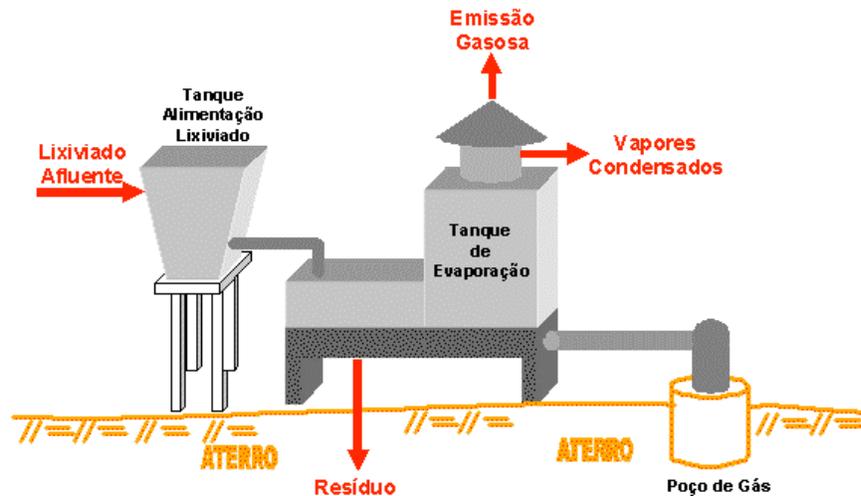


**Figura 03** – Evaporador Unitário e tanque de armazenamento do lixiviado



**Figura 04** – Vista frontal do Evaporador Unitário e poço de gás

A Figura 05 apresenta um desenho esquemático do funcionamento do equipamento, com representação do tanque de armazenamento e alimentação de lixiviado, dispositivo para condensação dos vapores gerados, poço de gás utilizado como fonte de energia calórica, ponto de coleta dos resíduos pastoso e sólido, além do compartimento de evaporação.



**Figura 05** – Evaporador Unitário e tanque de armazenamento do lixiviado

Os experimentos contemplaram também as análises do biogás, realizadas com auxílio de cromatógrafo portátil (quantificação de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>S e outros) e do equipamento GEM 2000 (quantificação de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> e outros). Nas Figuras 06 e 07 observam-se as diferentes medições do biogás no poço em que está instalado o EU.



**Figura 06** – Medição de gás com o cromatógrafo portátil. **Figura 07** – Medição de gás com o GEM 2000.

A evaporação do lixiviado em campo gera dois tipos de resíduos: (a) o resíduo pastoso (resíduo 1), que tem amostragem semanal e pode ser facilmente coletado através de uma saída no fundo do EU. Seu aspecto físico é viscoso, semelhante ao resíduo gerado na evaporação em

bancada (Figura 09); e **(b)** o resíduo sólido (resíduo 2), coletado apenas na época de abertura e limpeza do equipamento. Este último resíduo foi coletado somente uma vez nesta etapa operacional e suas características podem ser observadas na Figura 08. As amostras do lixiviado bruto, do vapor condensado e do resíduo 1 da evaporação foram extraídas do EU e analisadas no LEMA/UFRJ, segundo os seguintes parâmetros: DQO, DBO, cloretos, alcalinidade,  $\text{NH}_4$ , SST, SSF, SSV, ST, SV, cor, turbidez, pH, coliformes totais e coliformes termotolerantes. Já a amostra do resíduo 2 foi solubilizada por aproximadamente uma semana e analisada segundo os parâmetros: DQO,  $\text{NH}_4$ , cor, turbidez, pH.



**Peso específico: 973,4 kg/m<sup>3</sup>**

**Figura 08** – Amostras do resíduo sólido (resíduo 2) do EU

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### CARACTERIZAÇÃO DO LIXIVIADO DO ATERRO DE GRAMACHO

Na Tabela 01 estão apresentadas, de maneira resumida, as estatísticas descritivas dos resultados de caracterização do lixiviado do aterro de Gramacho.

**Tabela 01** – Estatísticas descritivas da caracterização do lixiviado bruto do aterro de Gramacho

Estatística	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	Amônia (mg/l)	ST (mg/L)	SV (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/l)	SSF (mg/l)	SDT (mg/l)	SDV (mg/l)	pH
Média	2730	330	1756	10867	3257	95	62	43	8973	2483	8,30
Máximo	3801	501	3300	17081	7718	256	153	103	17023	7.680	8,53
Mínimo	804	150	580	6767	1527	34	23	7	0	0	8,01
D. Padrão	964	120	649	2351	2151	65	42	35	4655	2483	0,20
C. Variação	0,35	0,36	0,37	0,22	0,72	0,68	0,68	0,81	0,52	0,99	0,58
n° de	7	10	14	15	14	16	15	7	18	18	13

dados

Pode-se observar que o lixiviado bruto, além de apresentar grande variabilidade em relação aos parâmetros físico-químicos, com elevados valores de desvio padrão e coeficiente de variação, apresenta também uma relação DBO/DQO de 0,12. Isso confirma a hipótese de alta recalcitrância do lixiviado e, portanto da sua difícil degradação biológica.

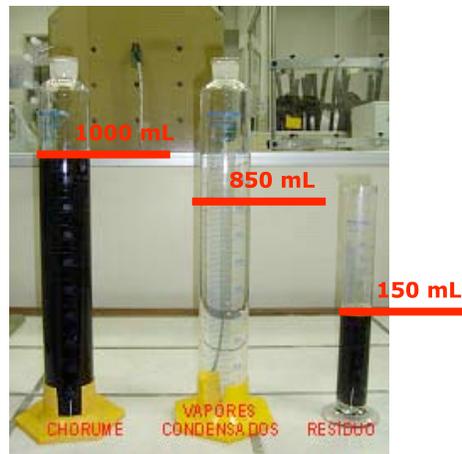
### TESTES DE EVAPORAÇÃO EM BANCADA

Na Tabela 02 encontram-se os resultados médios obtidos nas análises das amostras envolvidas no ensaio de evaporação: (1) lixiviado bruto do aterro de Gramacho; (2) vapores condensados e; (3) resíduo pastoso acumulado no balão (ver aspectos físicos das amostras na Figura 09).

**Tabela 02** – Resultados médios de análises físico-químicas

Amostra	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	Cloretos (mg/L)	Alcalinida de (mg/L)	NH <sub>4</sub> (mg/L)	pH
Lixiviado	3.190	337	3.550	3.667	1.148	6,0
Resíduo Pastoso	9.493	590	18.773	4.061	605	10,0
Condensado	77	11	0	6.590	3.481	9,0

No resíduo final da evaporação em bancada (resíduo pastoso) observou-se aumento do pH em relação à amostra de lixiviado e acumulação da matéria orgânica (9.493 mg DQO/L). A concentração de amônia se mostra representativa nos vapores condensados (3.481 mg NH<sub>4</sub>/L). Nessa mesma amostra verificou-se também uma alteração no pH (9,0), com baixa concentração de sólidos e de matéria orgânica.



**Figura 09** – Amostras do lixiviado e produtos da evaporação

## TESTES DE EVAPORAÇÃO EM CAMPO – DESEMPENHO DO EVAPORADOR UNITÁRIO

A Tabela 03 apresenta o resumo geral do acompanhamento da operação do EU no período de Agosto/2007 a Março/2008, assim como informações climáticas da região.

**Tabela 03** – Desempenho do EU e dados meteorológicos pertinentes.

Mês / Ano	Temperatura Média (°C)	Índice Pluviométrico (mm/mês)	Volume Evaporado Total (L)	Tempo Total Evaporação (h)	Rendimento Médio (L/h)
Agosto/2007	22	51	7.560	258,7	29,2
Setembro/2007	22	86	13.840	505,5	27,4
Outubro/2007	23	89	13.490	493,7	27,3
Fevereiro/2008	27	152	2.270	76,9	29,5
Março/2008	26	189	4.220	154,4	27,3

**Fonte:** Temperatura: Estação Duque de Caxias – RJ - The Weather Channel – <http://br.weather.com>

Índice pluviométrico: <http://simerj.com>

O rendimento do EU monitorado em campo apresentou resultados similares no período de operação, com média de 27,4 L/h e coeficiente de variação de aproximadamente 4%.

## TESTES DE EVAPORAÇÃO EM CAMPO – CARACTERIZAÇÃO DO BIOGÁS

A Tabela 04 mostra a média dos resultados da caracterização do biogás com a utilização do cromatógrafo portátil e analisador GEM 2000 até então obtidos.

**Tabela 04** – Composição média do biogás do poço em operação

Equipamento	Composição Média				
	CH <sub>4</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	H <sub>2</sub> O (%)	H <sub>2</sub> S (ppm)	Outros (%)
Cromatógrafo	77,71	18,71	1,83	101,90	1,75
GEM 2000	56,60	40,00	-	-	3,40

A caracterização do biogás apresentou resultados discrepantes quando comparadas as duas metodologias utilizadas. Os resultados obtidos pelo equipamento GEM 2000 (CH<sub>4</sub> = 56,6%; CO<sub>2</sub> = 40%; Outros = 3,4%) são condizentes com os valores comumente encontrados nos aterros.

## TESTES DE EVAPORAÇÃO EM CAMPO – CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS GERADOS NO EU

A Tabela 05 resume os resultados das análises de qualidade tomadas no EU, para as amostras de lixiviado bruto, resíduo 1 e condensado. A Tabela 06 apresenta os resultados de qualidade da amostra do resíduo 2.

**Tabela 05** – Resultados das análises de qualidade das amostras do EU: lixiviado, resíduo 1 e condensado

LIXIVIADO	DQO	DBO	Cloretos	Alcalinidade	NH <sub>4</sub>	SST	pH	Cor	Turbidez
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		PtCo	FAU
<b>Média</b>	2678	244	4084	7145	573	152	8,0	7148	412
<b>Mínimo</b>	1770	0	2595	3500	91	33	7,5	3060	165
<b>Máximo</b>	3925	591	5723	12300	1942	500	8,7	21250	1095

<b>D. Padrão</b>	828	205	940	2155	750	152	0,4	5345	355
<b>Coef. Var.</b>	31%	84%	23%	30%	131%	100%	5%	75%	86%
<b>Nº Dados</b>	11	8	11	11	7	11	11	11	10

<b>RESÍDUO 1</b>	<b>DQO</b>	<b>DBO</b>	<b>Cloretos</b>	<b>Alcalinidade</b>	<b>NH4</b>	<b>SST</b>	<b>pH</b>	<b>Cor</b>	<b>Turbidez</b>
	<b>mg/l</b>	<b>mg/l</b>	<b>mg/l</b>	<b>mg/l</b>	<b>mg/l</b>	<b>mg/l</b>		<b>PtCo</b>	<b>FAU</b>
<b>Média</b>	42536	nd	81839	44864	341	7607	9,2	296055	10365
<b>Mínimo</b>	16500	nd	45633	7000	62	946	8,9	19200	1500
<b>Máximo</b>	73000	nd	138047	80000	1161	18080	9,5	1410000	28500
<b>D. Padrão</b>	14772	-	34220	23624	388	4973	0,25	401616	8914
<b>Coef. Var.</b>	35%	-	42%	53%	114%	65%	3%	136%	86%
<b>Nº Dados</b>	11	7	11	11	7	11	11	10	10

<b>CONDENSADO</b>	<b>DQO</b>	<b>DBO</b>	<b>Cloretos</b>	<b>Alcalinidade</b>	<b>NH4</b>	<b>SST</b>	<b>pH</b>	<b>Cor</b>	<b>Turbidez</b>
	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>		<b>PtCo</b>	<b>FAU</b>
<b>Média</b>	259	67	207	1287	760	25	8,74	69	15
<b>Mínimo</b>	34	11	5	52	12	1	7,01	24	1
<b>Máximo</b>	862	206	1254	6300	4489	99	10	103	31
<b>D. Padrão</b>	303	71	462	1954	1648	29	0,81	28	10
<b>Nº Dados</b>	9	7	7	9	7	9	9	9	9

**Tabela 06** – Resultados das análises de qualidade da amostra do resíduo 2 do EU

<b>RESÍDUO 2</b>	<b>DQO</b>	<b>NH4</b>	<b>pH</b>	<b>Cor</b>	<b>Turbidez</b>
	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>		<b>PtCo</b>	<b>FAU</b>
<b>Resultados</b>	23260	3915	4,08	848	1983
<b>Nº Dados</b>	1	1	1	1	1

O peso específico encontrado para o resíduo 2 foi equivalente a 973,4 kg/m<sup>3</sup>. Para gerar 13 kg deste resíduo foi necessário evaporar 25.240 L de lixiviado. Desta avaliação é possível estimar que para cada 1,94 m<sup>3</sup> de lixiviado evaporado há uma produção de 1 kg de resíduo 2.

Nestes ensaios foi possível observar uma elevação do pH nas amostras de resíduo 1 e de condensado. A matéria orgânica se acumulou no resíduo 1, assim como o parâmetro SST. As

condições de campo não permitem a fixação da amônia na amostra de condensado, cujos resultados se apresentaram pouco superiores àqueles detectados no lixiviado bruto (valores médios). Já o resíduo 2 apresentou elevada concentração de DQO e amônia e ainda uma redução acentuada no pH em relação ao resíduo 1.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O lixiviado do aterro de Gramacho, segundo sua caracterização físico-química, apresentou elevadas concentrações de amônia e baixa biodegradabilidade. Assim, seu tratamento biológico seria de difícil operação, sugerindo a utilização de técnica alternativa de tratamento como a evaporação.

Os resultados obtidos na caracterização do biogás apresentaram diferenças quando considerados os dois equipamentos utilizados. No entanto, os valores determinados pelo GEM 2000 ( $\text{CH}_4 = 56,6\%$ ;  $\text{CO}_2 = 40\%$ ; Outros = 3,4%) se aproximaram daqueles citados em literatura.

No processo de evaporação em bancada, as amostras de resíduo pastoso resultaram em grande concentração de sólidos e de matéria orgânica. Observou-se ainda a elevação acentuada do pH em relação à amostra do lixiviado bruto. Para os vapores condensados, a concentração de amônia se mostrou elevada tendo em vista que a condensação se deu em ambiente fechado. Como consequência natural do processo, essa mesma amostra apresentou baixa concentração de sólidos e de matéria orgânica em relação ao lixiviado e ligeira alteração do pH.

A principal dificuldade encontrada no controle do processo de evaporação de lixiviados em bancada se deveu à formação de espuma no balão de destilação, provocando o refluxo do lixiviado. Verificou-se também que alterações na temperatura ambiente interferem no rendimento do processo. Além disso, após a realização de diversos ciclos de evaporação observou-se a formação de crostas de resíduos no fundo do balão, compostas geralmente por sais e de difícil remoção.

Em linhas gerais pode-se dizer que os testes de evaporação realizados em bancada de laboratório tem sido fundamentais para o melhor conhecimento do fenômeno e o acompanhamento do processo que se realiza no campo com Evaporador Unitário.

O rendimento médio apresentado pelo Evaporador Unitário no período considerado foi próximo a 30 L/h. No entanto, até o momento não se observou qualquer relação entre o desempenho do equipamento, a temperatura ambiente e a pluviosidade local. A redução no desempenho do EU apresentou-se como indicação da necessidade de sua limpeza interna para remoção resíduo 2. Este resíduo teve como características: pH em torno de 4, elevada concentração de matéria orgânica e amônia, peso específico de 973,4 kg/m<sup>3</sup>, relação de 1,94 m<sup>3</sup> de lixiviado evaporado pra produzir 1 kg de resíduo 2.

Ao se comparar os resultados das amostras extraídas nos testes em bancada com aqueles determinados durante a operação do Evaporador Unitário, pode-se concluir que o resíduo 1 teve comportamento similar nas duas condições, ou seja, acumulação da matéria orgânica representada pela elevada concentração de DQO e SST. No entanto, a diferença dos resultados obtidos para os vapores condensados deve ser atribuída à provável interferência das condições ambientais na qualidade das amostras de condensado coletadas no EU. Salienta-se assim que a amostragem em bancada é mais criteriosa, desde que se faça o adequado resfriamento dos vapores condensados durante o experimento.

## BIBLIOGRAFIA

1. Birchler, Deborah R. et. al. *Landfill Leachate Treatment by Evaporation*. J. Environment. Engineering. V.120, Issue 5, p.1109-1131, September 1994.
2. GIORDANO, G. *Tratamento do Chorume no Aterro Metropolitano de Gramacho*. XXVII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitária Y Ambiental. Cancun, Mexico, 27 a 31 de outubro, 2002.
3. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. *Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado*. 2ª edição. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.
4. Foust, A.S. et al. *Princípios de Operações Unitárias* - Ed. Guanabara Dois, 1982
5. Marks, A. Leigh at al. *Semi-Continuos Evaporation Model for Leachate Treatment Process Evaluation*. Environmental Progress. Vol.13. N°4, November, 1994.
6. Mesamoto, Fukuoka et al. *Treatment of Lixiviado from Landfill: Experimental Study of Evaporation Methods*. Engineering Chemical. Nov, 2004.