



## XXXI CONGRESO INTERAMERICANO AIDIS

Santiago – CHILE  
Centro de Eventos Casa Piedra  
12 – 15 Octubre de 2008



### TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS PRODUZIDOS EM ATERROS SANITÁRIOS UTILIZANDO EVAPORADOR UNITÁRIO

### TREATMENT OF LEACHED PRODUCED IN SANITARY LANDFILLS USING UNITARY EVAPORATOR

#### **Harley Alves da Mata Bacelar (\*)**

Engenheiro Civil – Universidade Veiga de Almeida; Mestrando em Geotecnia Ambiental - COPPE/UFRJ, bolsista DTI do PROSAB/CNPq.  
Departamento de Recursos Hídrico e Meio Ambiente da Escola Politécnica da UFRJ

#### **Álvaro Luiz Gonçalves Cantanhede**

Departamento de Recursos Hídrico e Meio Ambiente da Escola Politécnica da UFRJ

#### **Lúcio Viana Alves**

Companhia Municipal de Limpeza Urbana do Rio de Janeiro (COMLURB)

#### **Iene Christie Figueiredo**

Departamento de Recursos Hídrico e Meio Ambiente da Escola Politécnica da UFRJ

#### **Lana Castro Gopfert**

Departamento de Recursos Hídrico e Meio Ambiente da Escola Politécnica da UFRJ



(\*) Universidade Federal do Rio de Janeiro - Escola Politécnica, Dpto. 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 e Fax: +55 21 2562-7994.  
e-mail: [harleyalvesbacelar@iq.com.br](mailto:harleyalvesbacelar@iq.com.br)

#### **RESUMEN**

Actualmente, una de las grandes preocupaciones de las ciudades con densidades demográficas elevadas es el tratamiento del lixiviado generado en los rellenos sanitarios de residuos sólidos urbanos. En el caso del Aterro de Gramacho, operado por la Compañía Municipal de Limpieza Urbana del Rio de Janeiro-COMLURB, que atiende a los municipios de Rio de Janeiro, Duque de Caxias, Nilópolis y São João de Meriti, es posible estimarse un total de 200 mililitros de lixiviado generado por habitante en un único día. Una de las opciones para el tratamiento del lixiviado es su evaporación a través de un equipo desarrollado por la COMLURB, denominado Evaporador Unitario, que utiliza el biogás generado en el propio relleno como fuente de energía. Este tipo de tratamiento, contribuye aún para la reducción del potencial del calentamiento global, ya que la quema del metano – principal componente del biogás - es procesado. Sin embargo, es necesario un estudio mas profundizado de los subproductos generados por la evaporación del lixiviado, de modo que este tipo de tratamiento resulte más eficiente, previniendo la generación de otros agentes contaminantes dañosos a la salud humana y al ambiente.

#### **ABSTRACT**

*Currently, one of the great concerns of the cities with high demographic densities is the treatment of the leachate generated in the sanitary landfills of municipal solid wastes.*

*In the case of Gramacho sanitary landfill, operated by the Public Cleansing Company of Rio de Janeiro-COMLURB, that takes care of the cities of Rio de Janeiro, Duque of Caxias, Nilópolis and São João de Meriti, is estimated a total of 200 milliliters of leachate generated by inhabitant per day. One of the options for leachate treatment is its evaporation through equipment, developed by COMLURB named Unitary Evaporator that uses the biogas generated in the landfill as the source of energy. This type of treatment also contributes to reduce the potential of global warming due to the burning of methane, biogas main component. However, its necessary a more detailed study on the sub-products generated by leachate evaporation so that this type of treatment results more efficient, preventing the generation of others pollutants harmful to the human health and the environment.*

**Palavra Chave: aterro sanitário, evaporação, gás de aterro, lixiviado.**

## **INTRODUÇÃO**

A grande quantidade de resíduos sólidos urbanos produzidos diariamente e a sua forma de disposição tem sido motivo de grande preocupação por parte da comunidade atenta à saúde pública e à qualidade ambiental. A disposição inadequada pode gerar a proliferação de agentes patogênicos, poluição do solo, do ar e dos recursos hídricos a partir do líquido percolado e dos gases produzidos durante o processo de degradação da matéria orgânica. Um dos maiores problemas encontrados no gerenciamento dos aterros sanitários diz respeito à produção e ao tratamento do lixiviado e do biogás (TARTARI, 2003). Dessa forma, o tratamento desses subprodutos assume grande importância ambiental.

QASIM & CHIANG (1994) afirmam que a geração do lixiviado é influenciada por fatores climáticos, pelas características do resíduo disposto (composição, umidade, entre outras) e pelo projeto executivo do aterro (permeabilidade do aterro, grau de compactação, profundidade, etc.). Segundo SEGATO (2001), o lixiviado pode ser definido como a fase líquida da massa aterrada, que percola através desta carreando materiais dissolvidos ou suspensos. Na maioria dos aterros sanitários, o lixiviado é composto por líquido resultante da decomposição do lixo e advindo de fontes externas, tais como: sistemas de drenagem superficial, precipitação atmosférica, existência de lençol freático e de nascentes.

Os lixiviados de aterros sanitários têm como característica a difícil tratabilidade, devido à sua composição muito variável. Sendo assim, as soluções tecnológicas indicadas para o seu tratamento devem ser avaliadas caso a caso. Segundo BAIG *et al.* (1999) *apud* SERAFIM *et al.* (2003), as técnicas comumente empregadas para tratamento de lixiviado são baseadas em processos biológicos e físico-químicos. BUITRÓN e GONZÁLES (1996) *apud* SERAFIM *et al.* (2003) observaram a dificuldade de certos microrganismos degradarem substâncias orgânicas tóxicas presentes neste resíduo, requerendo maior tempo para que estes efluentes alcancem padrões ambientais aceitáveis.

Neste contexto, o presente trabalho avalia a aplicação da evaporação, utilizando um equipamento denominado Evaporador Unitário (EU), como técnica de tratamento do lixiviado proveniente do aterro de Gramacho localizado no Rio de Janeiro e operado pela Companhia Municipal de Limpeza Urbana (COMLURB).

O equipamento utiliza o biogás produzido no aterro como fonte de energia calórica. O EU promove significativa redução do peso do lixiviado e o resíduo gerado nesse processo pode ser disposto no próprio aterro. Tais características conferem a esta tecnologia um caráter promissor por apresentar baixo custo operacional e possibilitar a geração de créditos de carbono (MDL), uma vez que o princípio do processo se baseia na queima do biogás, cuja composição varia entre 50 e 60% de metano (CH<sub>4</sub>).

## OBJETIVO

Avaliar a capacidade do Evaporador Unitário em evaporar o lixiviado do aterro de Gramacho, além de caracterizar o gás do aterro, utilizado como insumo energético, e os resíduos gerados no processo de evaporação.

## METODOLOGIA

O EU encontra-se instalado no aterro sanitário de Gramacho/RJ junto a um poço de biogás. O lixiviado que o alimenta é transportado por carros pipa até o tanque de armazenamento situado próximo ao equipamento. Este *lay out* permite a manutenção de nível constante no interior do EU, cujo controle da alimentação é feito por meio de um hidrômetro. O biogás é conduzido para o interior do equipamento, onde se processa sua queima com conseqüente liberação de energia calórica e evaporação do chorume. A instalação do EU encontra-se detalhada na Figura 01.

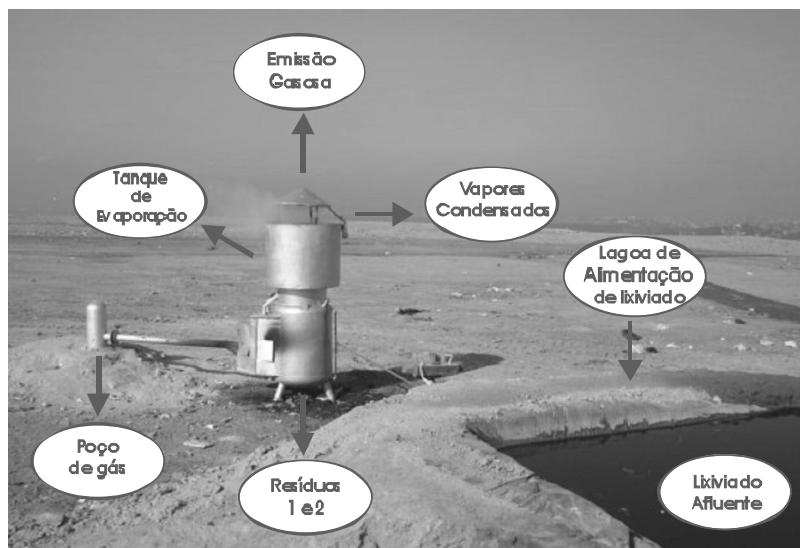


Figura 01 – Evaporador Unitário em funcionamento no aterro

Para realização do estudo foram desenvolvidas as seguintes atividades: (1) Acompanhamento da operação do Evaporador Unitário; (2) Monitoramento do biogás gerado no poço de alimentação do EU; (3) Realização de análises de qualidade das amostras extraídas do EU; (4) Realização de ensaios de evaporação do lixiviado em bancada de laboratório.

### Atividade (1): Acompanhamento da Operação do Evaporador Unitário

O monitoramento do Evaporador Unitário é realizado diariamente e os parâmetros de controle operacional são: horário de abastecimento de lixiviado, volume de abastecimento, volume evaporado (através de leituras do hidrômetro), temperatura ambiente e índice pluviométrico. Através desses dados torna-se possível avaliar o rendimento da evaporação apresentado pelo equipamento, em litros por hora, assim como possíveis interferências das condições climáticas locais neste rendimento.

### **Atividade (2): Monitoramento do Biogás Gerado no Poço de Alimentação do EU**

A composição do biogás do aterro é monitorada periodicamente com auxílio de um cromatógrafo portátil capaz de quantificar os seguintes compostos: CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>S e outros. Também são realizadas análises com o equipamento GEM 2000 segundo os seguintes parâmetros: CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> e outros. Nas Figuras 02 e 03 observam-se as diferentes medições do biogás no poço em que está instalado o Evaporador Unitário.



**Figura 02 – Análise do cromatográfica do biogás**



**Figura 03 – Análise do biogás - GEM 2000**

### **Atividade (3): Realização de Análises de Qualidade das Amostras Extraídas do EU**

Na operação do EU são gerados os seguintes resíduos: **(a)** Resíduo 1, com aspecto viscoso e resultante do lixiviado não evaporado, que pode ser facilmente coletado através de uma saída no fundo do EU; **(b)** Resíduo 2, resíduo sólido acumulado durante o processo de evaporação e removido na limpeza periódica do equipamento; e **(c)** Resíduo líquido obtido na condensação dos gases gerados pelo EU.

Amostras do lixiviado bruto, do vapor condensado e do Resíduo 1 são coletadas e analisadas segundo os seguintes parâmetros: DQO, DBO, cloretos, alcalinidade, NH<sub>4</sub>, SST, SSF, SSV, ST, SV, cor, turbidez, pH, coliformes totais e coliformes termotolerantes. Já o Resíduo 2 é caracterizado a partir dos seguintes parâmetros: DQO, NH<sub>4</sub>, cor, turbidez e pH. Os pontos de amostragem são identificados na Figura 01.

### **Atividade (4): Realização de Ensaios de Evaporação do Lixiviado em Bancada de Laboratório**

Os testes de evaporação em bancada consistem em evaporar o lixiviado utilizando uma manta elétrica, sob temperatura constante (entre 99°C e 101°C), e condensar os vapores gerados com auxílio de um condensador de vidro, conforme ilustrado na Figura 04. Para garantir a preservação da amônia na amostra de vapor condensado, optou-se pelo resfriamento do frasco de coleta do condensado.

As amostras do lixiviado, do vapor condensado e do resíduo da evaporação em bancada são analisadas segundo os seguintes parâmetros: DQO, DBO, cloretos, alcalinidade, NH<sub>4</sub>, SST, SSF, SSV, ST, SV, cor, turbidez, pH, coliformes totais e coliformes termotolerantes.

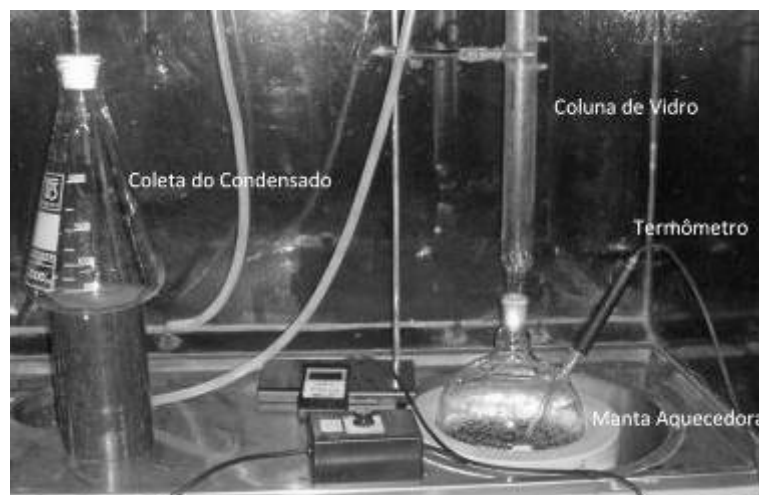


Figura 04 – Experimento de evaporação do lixiviado em bancada

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Atividade (1): Acompanhamento da Operação do Evaporador Unitário

O rendimento médio do EU registrado foi de 27,8 litros de lixiviado evaporado por hora de operação do equipamento. Os períodos de avaliação compreenderam Agosto/2007 a Outubro/2007 e Fevereiro/2008 a Março/2008. Os resultados obtidos são apresentados resumidamente na Tabela 01.

Tabela 01: Resultados do desempenho do Evaporador Unitário

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>

### Atividade (2): Monitoramento do Biogás Gerado no Poço de Alimentação do EU

A Tabela 02 mostra a média dos resultados da caracterização do biogás com a utilização do cromatógrafo portátil e com o analisador GEM 2000, para o período de Janeiro a Abril de 2008.

**Tabela 02: Caracterização do biogás**

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

**Atividade (3): Realização de Análises de Qualidade das Amostras Extraídas do EU**

As Tabelas 03, 04, 05 e 06 mostram os resultados das análises de qualidade das amostras de campo, provenientes do Evaporador, sendo elas: lixiviado bruto, resíduo 1, resíduo 2 e vapor condensado.

**Tabela 03: Estatísticas descritivas das análises do Lixiviado Bruto**

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
Média	2678	244	4084	7145	573	152	8,0	7148	412
Mínimo	1770	0	2595	3500	91	33	7,5	3060	165
Máximo	3925	591	5723	12300	1942	500	8,7	21250	1095
D. Padrão	828	205	940	2155	750	152	0,4	5345	355
Coef. Var.	31%	84%	23%	30%	131%	100%	5%	75%	86%
Nº Dados	11	8	11	11	7	11	11	11	10

**Tabela 04: Estatísticas descritivas das análises do Resíduo 1**

RESÍDUO 1	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
Média	42536	nd	81839	44864	341	7607	9,2	296055	10365
Mínimo	16500	nd	45633	7000	62	946	8,9	19200	1500
Máximo	73000	nd	138047	80000	1161	18080	9,5	1410000	28500
D. Padrão	14772	-	34220	23624	388	4973	0,25	401616	8914
Coef. Var.	35%	-	42%	53%	114%	65%	3%	136%	86%
Nº Dados	11	7	11	11	7	11	11	10	10

**Tabela 05: Estatísticas descritivas das análises do Vapor Condensado**

VAPOR CONDENSADO	DQO	Cloretos	Alcalinidade	NH <sub>4</sub>	SST	pH	Cor	Turbidez
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		PtCo	FAU
Média	259	207	1287	760	25	8,74	69	15
Mínimo	34	5	52	12	1	7,01	24	1
Máximo	862	1254	6300	4489	99	10	103	31
D. Padrão	303	462	1954	1648	29	0,81	28	10
Coef. Var.	117%	223%	152%	217%	116%	9%	41%	66%
Nº Dados	9	7	9	7	9	9	9	9

**Tabela 06: Estatísticas descritivas das análises do Resíduo 2**

RESÍDUO 2	DQO	NH <sub>4</sub>	pH	Cor	Turbidez
	mg/l	mg/l		PtCo	FAU
Resultado	23260	3915	4,08	848	1983
Nº Dados	1	1	1	1	1

#### Atividade (4): Realização de Ensaios de Evaporação do Lixiviado em Bancada de Laboratório

As Tabelas 07, 08 e 09 apresentam os resultados das análises pertinentes às amostras provenientes da evaporação em laboratório.

**Tabela 07: Estatísticas descritivas das análises das amostras de bancada – Lixiviado Bruto**

LIXIVIADO BRUTO	DQO	Cloretos	Alcalinidade	NH4	SST	pH	Cor	Turbidez
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		PtCo	FAU
<b>Média</b>	2168	3456	5567	1869	49	7,5	5123	2665
<b>Mínimo</b>	1800	2595	5300	755	29	7,3	3144	178
<b>Máximo</b>	3035	4141	6200	2741	77	7,6	7350	12000
<b>D. Padrão</b>	485	537	327	915	18	0,12	1563	5222
<b>Coef. Var.</b>	22%	16%	6%	49%	37%	2%	31%	196%
<b>Nº Dados</b>	6	6	6	5	6	6	5	5

**Tabela 08: Estatísticas descritivas das análises das amostras de bancada – Resíduo**

RESÍDUO	DQO	Cloretos	Alcalinidade	NH4	SST	pH	Cor	Turbidez
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		PtCo	FAU
<b>Média</b>	11284	31052	4867	119	1415	8,7	23340	1992
<b>Mínimo</b>	2205	6426	3200	0,42	432	7,4	9600	785
<b>Máximo</b>	38000	144471	6000	688	3850	9,6	47000	2876
<b>D. Padrão</b>	13229	55575	1138	279	1235	0,97	14035	765
<b>Coef. Var.</b>	117%	179%	23%	235%	87%	11,18%	60%	38%
<b>Nº Dados</b>	6	6	6	6	6	6	5	5

**Tabela 09: Estatísticas descritivas das análises das amostras de bancada – Vapor Condensado**

VAPOR CONDENSADO	DQO	Cloretos	Alcalinidade	NH4	SST	pH	Cor	Turbidez
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		PtCo	FAU
<b>Média</b>	31	255	4157	826	25	8,4	25	14
<b>Mínimo</b>	13	96	680	21	432	7,7	10	1
<b>Máximo</b>	42	547	6000	1870	118	9,3	39	30
<b>D. Padrão</b>	11	178	1969	882	46	0,70	10	14
<b>Coef. Var.</b>	35%	70%	47%	107%	183%	8,41%	42%	102%
<b>Nº Dados</b>	6	6	6	6	6	6	5	5

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Durante o período de operação considerado, o rendimento médio do Evaporador Unitário foi de 27,8 L/h, sem sofrer grande variação entre os resultados mensais obtidos. Considerando este rendimento médio como referência, o EU teria então uma capacidade de evaporar mensalmente 20 m<sup>3</sup> de lixiviado. O Evaporador Unitário apresenta-se então como uma opção tecnológica eficiente, de baixo custo e de fácil operação para o tratamento de lixiviados, adequando-se principalmente a aterros de pequeno e médio portes.

Até o momento não se observou qualquer relação entre o desempenho do equipamento, a temperatura ambiente e a pluviosidade local.

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

Pode-se observar que o Lixiviado Bruto apresenta grande variabilidade em relação aos parâmetros físico-químicos, dado os elevados valores de desvio padrão e coeficiente de variação determinados. Além disso, apresenta uma relação DBO/DQO muito baixa (em torno de 0,12), confirmando a hipótese de alta recalcitrância do lixiviado e, portanto, da sua difícil degradação biológica.

Para os resíduos coletados no EU (experimentos de campo), deve-se destacar as seguintes observações: **(a)** o Resíduo 1 apresenta elevada concentração de matéria orgânica, amônia, sólidos e cloretos. Seu pH é básico (9,2); **(b)** o Vapor Condensado é básico, com baixa concentração de DQO e cloretos. Neste caso, supõe-se que as condições ambientais impedem a fixação da amônia na amostra coletada, dificultando sua detecção; **(c)** no Resíduo 2 foi observada elevada concentração de DQO e de amônia. Seu pH é característico de ambientes ácidos. Assim como observado nos dados do Lixiviado Bruto, todos os resíduos amostrados apresentaram elevados valores de desvio padrão e coeficiente de variação para a maior parte dos parâmetros analisados.

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

Nos testes de evaporação em bancada pode-se destacar a elevação do pH nas amostras de Resíduo e de Condensado, compatível com os resultados obtidos para as mesmas amostras em campo. De maneira similar, destaca-se o acúmulo de sólidos e de matéria orgânica no Resíduo. As condições de laboratório permitiram a detecção da amônia no Vapor Condensado, uma vez que cuidados experimentais foram tomados para impedir sua volatilização.

Como complementação deste estudo, serão implementadas análises de compostos orgânicos voláteis e semi-voláteis, dioxinas e furanos em amostras de Vapor Condensado (experimentos de laboratório). Esses dados serão confrontados com as normas ambientais pertinentes. Além disso, será instalado na entrada de biogás do EU um medidor de vazão a fim de levantar dados específicos que permitiram melhor avaliar o desempenho do equipamento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Christensen T. H., Kjeldsen P., Bjerg P. L., Jensen D. L., Christensen J. B., Baun A.; Albrechtsen H. J., Heron G. Biogeochemistry of Landfill Leachate Plumes. Applied Geochemistry. 2001.
- Kjeldsen P., Barlaz M. A., Rooker A. P., Baun A., Ledin A., Christensen T. H. Present and Long-term Composition of Municipal Solid Waste Landfill Leachate: A Review. Critical Reviews in Environmental Science and Technology. 2002.
- Qasim S. R., Chiang W. Sanitary Landfill Leachate Generation, Control and Treatment. USA: Technomic Publishing Company. 1994.
- Tartari L. C. Avaliação do Processo de Tratamento do Chorume do Aterro Sanitário de Novo Hamburgo. Dissertação de Mestrado, ULBRA. 2003.
- Vignoli C. N. Avaliação da Minimização das Emissões de Amônia no Processo de Tratamento de Chorume por Evaporação. Dissertação de Mestrado, IQ/UFRJ. 2007.