

VII-DaMata-Brasil-001

ANÁLISE DOS RESÍDUOS GERADOS NA EVAPORAÇÃO DE LIXIVIADOS PRODUZIDOS EM ATERROS SANITÁRIOS UTILIZANDO EVAPORADOR UNITÁRIO

Harley Alves da Mata Bacelar ⁽¹⁾

Engenheiro Civil, Mestrando em Geotecnia Ambiental - COPPE/UFRJ.

Álvaro Luiz Gonçalves Cantanhede

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

Iene Christie Figueiredo

M.Sc. em Engenharia Ambiental, Profª. Assistente do Depto. de Recursos Hídricos e Meio Ambiente da Escola Politécnica – UFRJ.

Endereço (1): Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Departamento de Recursos Hídricos e do 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 / (21) 8168-7087 /Fax: +55(21) 2562-7994 – e-mail: harleyalvesbacelar@ig.com.br

RESUMO

Para que uma pesquisa seja bem sucedida, é necessário que além de trazer benefícios para a sociedade sejam eles econômicos, tecnológicos ou sustentáveis, não provoque novos problemas através dos processos desenvolvidos por ela.

Neste contexto, o presente projeto de pesquisa avalia a evaporação de lixiviados através de um equipamento denominado Evaporador Unitário (EU), utilizando diversas análises a fim de se estudar todos os resíduos gerados neste processo, evitando causar qualquer dano ao meio ambiente e trazendo para população uma tecnologia promissora, por apresentar baixo custo operacional e possibilitar a geração de créditos de carbono.

O Evaporador Unitário encontra-se instalado no aterro sanitário de Gramacho/RJ, operado pela Companhia Municipal de Limpeza Urbana (COMLURB), junto a um poço de biogás. O lixiviado é transportado por carros pipa até uma lagoa de armazenamento situada próxima ao EU. Esta configuração permite a manutenção de nível constante no interior do evaporador, cujo controle da alimentação é feito por meio de um hidrômetro. O biogás gerado no próprio aterro é conduzido para o interior do equipamento, onde se processa sua queima com conseqüente liberação de energia calórica e evaporação do lixiviado, promovendo uma redução de até 97% do peso do lixiviado.

Na evaporação do lixiviado através do EU são gerados os seguintes resíduos: **Resíduo 01**, com aspecto viscoso e resultante do lixiviado não evaporado; **Resíduo 02**, resíduo sólido acumulado durante o processo de evaporação e removido na limpeza periódica do equipamento; **Vapores**, gases emitidos pelo EU obtidos na evaporação do lixiviado; **Particulados**, resíduos emitidos através do processo de combustão do biogás.

PALAVRAS-CHAVE

evaporação, evaporador unitário, gás de aterro, lixiviado, resíduos.

INTRODUÇÃO

O maior problema ambiental relativo à operação e gerenciamento dos aterros é o lixiviado, por causa da enorme poluição que pode causar em contato com o solo, águas superficiais e subterrâneas.

Os fatores mais relevantes que influem na quantidade de lixiviado a ser gerado no aterro são: precipitação pluviométrica, escoamento superficial, infiltração, evapo-transpiração, temperatura ambiente, umidade do solo e da massa de resíduos, composição e peso específico aparente do resíduo depositado e altura ou profundidade do aterro. Diariamente o aterro metropolitano de Jardim Gramacho, localizado no município de Duque de Caxias/Rio de Janeiro, produz um volume de aproximadamente 1.500 m³ de lixiviado.

Uma das formas de tratamento do lixiviado é através da sua evaporação forçada, que difere do processo natural devido ao tipo de energia utilizada: o biogás. O tratamento de lixiviado através da evaporação forçada é um sistema simples e econômico, principalmente em aterros sanitários de pequeno e médio porte. Porém para a implantação do Evaporador Unitário em um aterro é necessário que todos os resíduos gerados sejam monitorados e atendam os limites máximos estabelecidos pelas legislações em vigor.

Portanto não basta termos uma ótima eficiência em um equipamento e/ou menor custo, pois se os resíduos gerados no processo de evaporação de lixiviado criarem de alguma forma danos ao meio ambiente, estaremos fadados ao insucesso.

Na figura 01 é possível observar o Evaporador Unitário em operação no aterro de Gramacho, bem como os resíduos gerados por ele no processo de evaporação do lixiviado.

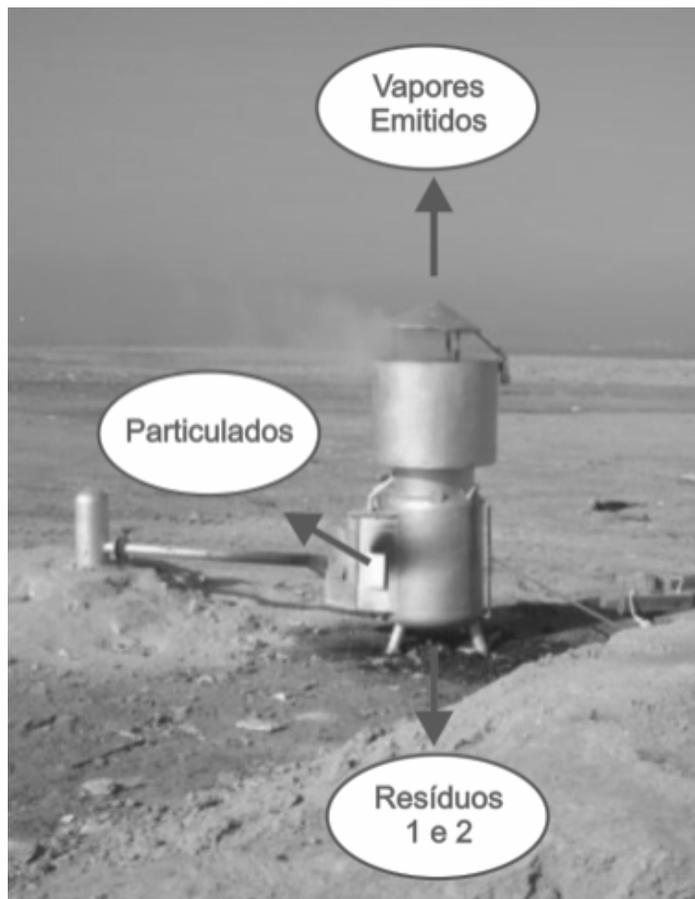


Figura 01 – Resíduos gerados pelo Evaporador Unitário.

OBJETIVO DO TRABALHO

Analisar e avaliar os diversos resíduos gerados no processo de evaporação do lixiviado do aterro de Gramacho utilizando o Evaporador Unitário.

METODOLOGIA UTILIZADA

Para analisar os resíduos gerados na evaporação do lixiviado, foram realizados os seguintes ensaios:

01 – Caracterização das amostras do Evaporador Unitário

Amostras do vapor condensado e dos resíduos da evaporação (resíduo pastoso e resíduo sólido) foram coletadas e analisadas segundo os seguintes parâmetros: DQO, DBO, cloretos, alcalinidade, NH₄, SST, SSF, SSV, ST, SV, cor, turbidez, pH, coliformes totais e coliformes termotolerantes.

02 - Evaporação do lixiviado em bancada de laboratório

O experimento consiste 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. Para garantir a preservação da amônia na amostra de vapor condensado, optou-se pelo resfriamento do frasco de coleta do condensado. Amostras do vapor condensado e do resíduo 01 da evaporação em bancada também foram analisadas, segundo os mesmos parâmetros apresentados no ensaio 01.

03 - Avaliação analítica complementar das amostras obtidas em bancada

Como complementação deste estudo, foram iniciadas análises de compostos orgânicos voláteis (Método US EPA 8260B), compostos orgânicos semi-voláteis (Método US EPA 8270C), metais (US EPA 3005A e 7470^a) e de dioxinas e furanos (Método US EPA 8290 e 1613) nas amostras de vapor condensado obtido em bancada.

04 - Análise microbiológica de DGGE (*Denaturing Gradient Gel Electrophoresis*) das amostras obtidas em bancada

No intuito de verificar a presença de algum fragmento de DNA de bactéria, foi aplicada nas amostras do vapor condensado obtidas em bancada a técnica de PCR (Reação de Polimerização em cadeia). O PCR é uma metodologia que se baseia na amplificação exponencial seletiva de uma quantidade reduzida de DNA em uma amostra. Após esta amplificação, o material é submetido à técnica de DGGE (eletroforese em gel de gradiente desnaturante). O DGGE é um método de separação eletroforético baseado em diferenças no comportamento de desnaturação de fragmentos de DNA de cadeia dupla.

05 - Análises do sistema de combustão do EU

Para caracterização das emissões atmosféricas provenientes do sistema de combustão de biogás do EU, foi utilizado o analisador portátil de gases de combustão Unigas 3000+, da Eurotron Italiana. Este equipamento permitiu quantificar as emissões de: Óxidos de nitrogênio (NO_x), Óxido Nítrico (NO), Oxigênio (O₂), Dióxido de carbono (CO₂) e Monóxido de carbono (CO) nos gases de exaustão, através de uma sonda posicionada na saída lateral do EU.

Os ensaios foram realizados em conformidade com o programa de autocontrole de emissões para atmosfera – PROCON AR, instituído pela diretriz FEEMA DZ-545, aprovada pela Deliberação CECA nº 935 – 07/08/86.

RESULTADOS OBTIDOS / ESPERADOS

Os resultados dos ensaios estão apresentados a seguir, também divididos em 05 itens:

01 – Caracterização das amostras do Evaporador Unitário

A Tabela 01 apresenta os resultados das análises das amostras de (a) Lixiviado Bruto, (b) Resíduo 01 (pastoso), (c) Vapor Condensado e (d) Resíduo 02 (resíduo sólido coletado somente na abertura do EU para limpeza geral). Os gráficos comparativos dos resultados de qualidade determinados para os experimentos de campo apresentam-se na seqüência da Tabela 01.

Conclui-se resumidamente que: **(a)** os resíduos amostrados apresentaram elevados valores de desvio padrão e coeficiente de variação para a maior parte dos parâmetros analisados, comportamento semelhante ao observado para o Lixiviado Bruto; **(b)** O Resíduo 01 apresenta elevada concentração de matéria orgânica, amônia, sólidos e cloretos. Seu pH é caracteristicamente básico; **(c)** O Vapor Condensado apresentou pH próximo à neutralidade (similar ao lixiviado bruto), baixa concentração de DQO, amônia e cloretos. Supõe-se que as condições ambientais dificultam a fixação da amônia na amostra, dificultando sua detecção; **(d)** a única amostra de Resíduo 02 coletada apresentou pH ácido, elevada concentração de DQO e amônia. Seu peso específico foi de 973,4 kg/m³. Para gerar 13 kg deste resíduo foi necessário evaporar 25.240 L de lixiviado. Estima-se assim que para cada 1,94 m³ de lixiviado evaporado, há uma produção de aproximadamente 1 kg de Resíduo 02.

Tabela 01 – Resultados das análises dos resíduos amostrados no EU.

(a) Lixiviado Bruto

DADOS	DQO	DBO	Cloretos	Alcalinidade	NH4	SST	pH
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
Média	2493	326	3851	6210	1277	102	7,8
D. Padrão	667	164	809	1980	948	121	0,39
Dados	21	6	21	21	17	21	21

(b) Resíduo 01

DADOS	DQO	DBO	Cloretos	Alcalinidade	NH4	SST	pH
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
Média	37293	nd	79294	40095	342	5986	8,9
D. Padrão	15012	-	46426	23121	296	5081	0,38
Dados	21	8	21	21	17	21	21

(c) Vapor Condensado

DADOS	DQO	DBO	Cloretos	Alcalinidade	NH4	SST	pH
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
Média	165	nd	48	340	145	11	7,6
D. Padrão	179	-	30	90	44	11	0,64
Dados	7	7	6	7	7	7	7

(d) Resíduo 02

DADOS	DQO	NH4	pH
	mg/l	mg/l	
Resultado	23260	3915	4,08
Dados	1	1	1

02 - Evaporação do lixiviado em bancada de laboratório

A Tabela 02 apresenta os resultados das análises das amostras de (a) Lixiviado Bruto, (b) Resíduo e (c) Vapor Condensado. Os gráficos comparativos dos resultados determinados em bancada encontram-se na seqüência da Tabela 02.

Os ensaios apontaram para as seguintes conclusões: **(a)** elevação do pH nas amostras de Resíduo e de Condensado, compatível com os resultados obtidos nos experimentos de campo; **(b)** acúmulo de sólidos e de matéria orgânica no Resíduo retido no balão após o ensaio de evaporação; **(c)** necessidade de refrigeração constante da amostra de condensado durante a coleta para minimizar a volatilização da amônia; **(d)** detecção de elevada concentração da amônia no vapor condensado.

Tabela 02 – Resultados das análises de qualidade das amostras da evaporação em bancada.

(a) Lixiviado Bruto

DADOS	DQO	Cloretos	Alcalinidade	NH4	SST	pH
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
Média	2168	3456	5567	1869	49	7,5
D. Padrão	485	537	327	915	18	0,12
Dados	6	6	6	5	6	6

(b) Resíduo

DADOS	DQO	Cloretos	Alcalinidade	NH4	SST	pH
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
Média	5285	53346	4333	2	1691	8,7
D. Padrão	2677	78929	1474	3	1235	1,01
Dados	3	3	3	3	3	3

(c) Vapor Condensado

DADOS	DQO	Cloretos	Alcalinidade	NH4	SST	pH
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
Média	31	376	2747	1617	9	8,5
D. Padrão	16	179	1894	261	46	0,64
Dados	3	3	3	3	3	3

03 - Avaliação analítica complementar das amostras obtidas em bancada

Foram realizados 03 ensaios nas amostras de vapor condensado obtido em bancada. A tabela 03 apresenta os resultados de cada análise e das médias dos compostos orgânicos voláteis, compostos orgânicos semi-voláteis, metais e de dioxinas e furanos.

As análises de dioxinas e furanos detectaram uma média de 27,7 pg/L de dioxinas e 6,0 pg/L de furanos, cujo somatório é cerca de 70 vezes superior ao limite máximo (equivalente a 0,50 pg/L) estabelecido pela Resolução CONAMA 316/2002, que dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos. Já a EPA estabelece um valor máximo de 30,0 pg/L.

Os valores das células em destaque na tabela 03 apresentam grandes diferenças, porém foram considerados para o cálculo da média.

Os parâmetros não detectados (ND) foram desconsiderados nos cálculos das médias.

Tabela 03 – Resultado complementar das amostras de vapor condensado em bancada.

Parâmetros Analisados	Unidades	1ª Análise 11/07/08	2ª Análise 18/08/08	3ª Análise 21/08/08	Média
Análise de Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (detectados 14 parâmetros de 62 analisados)					
Fenol	µg/L	3,90	3,55	2,93	3,46
2-Metilfenol	µg/L	48,74	7,19	28,58	28,17
3-Metilfenol	µg/L	12,26	1,01	1,08	4,78
4-Metilfenol	µg/L	7,59	0,66	0,77	3,01
2,4-Dimetilfenol	µg/L	7,30	5,37	9,34	7,34
Naftaleno	µg/L	1,91	3,54	0,71	2,05
Fenantreno	µg/L	0,73	1,32	ND	1,03
Fluoranteno	µg/L	0,81	1,28	ND	1,05
Pireno	µg/L	0,81	1,18	ND	1,00
Benzo[a]antraceno	µg/L	0,44	0,36	ND	0,40
Criseno	µg/L	0,55	0,59	ND	0,57
Dietilftalato	µg/L	5,75	ND	ND	5,75
Dibutilftalato	µg/L	0,66	ND	ND	0,66
Bis(2-etilhexil)ftalato	µg/L	147,55	404,77	538,50	363,61
Análise de Dioxinas e Furanos					
Dioxinas	pg/L	30	13	40	27,7
Furanos	pg/L	7,7	2,6	7,8	6,0
Total	pg/L	37,7	15,6	47,8	33,7
Análise de Compostos Orgânicos Voláteis (detectados 04 parâmetros de 61 analisados)					
Clorofórmio	µg/L	ND	12,32	4,49	8,41
Benzeno	µg/L	ND	ND	1,10	1,10
4-Metil-2-pentanona	µg/L	ND	ND	7,61	7,61
Tolueno	µg/L	ND	ND	1,93	1,93
Análise de Metais (detectado 01 parâmetro de 19 analisados)					
Boro	mg/L	ND	0,04	0,12	0,08

Obs: µg (micrograma) = 10⁻⁶g e pg (picograma) = 10⁻¹²g

04 - Análise microbiológica de DGGE (*Denaturing Gradient Gel Electrophoresis*) das amostras obtidas em bancada

Nos meses de junho e julho de 2008, foram realizadas 04 análises microbiológicas nas amostras do vapor condensado no ensaio em bancada, e a técnica de DGGE não detectou a presença de grupos bacterianos em nenhuma delas.

05 - Análises do sistema de combustão do EU

Em agosto de 2008 foram realizadas 03 análises dos gases emitidos pelo sistema de combustão do EU, apresentadas na tabela 04.

Tabela 04 – Resultados encontrados nas análises do sistema de combustão do EU

Amostragem	NOX (mg / Nm ³)	NO (mg / Nm ³)	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	CO (ppm)
Nº 01	72	43	0,6	11,4	25.535
Nº 02	72	46	0,7	11,5	25.603
Nº 03	66	40	0,9	11,3	25.578

De todos os parâmetros analisados, somente são limitadas pela legislação as concentrações de Óxido de Nitrogênio (NO_x), cujos resultados devem ser expressos na unidade de concentração mg/Nm³, em base seca e 3% de excesso de oxigênio.

Para potência térmica nominal menor que 70 MW, a Resolução CONAMA nº 382, de 26/12/2006, estabelece um limite de 320 mg/Nm³ para a média encontrada de Óxido de Nitrogênio emitido para a atmosfera, através dos processos de geração de calor a partir da combustão externa de gás. Na tabela 05 estão apresentados os resultados e as concentrações corrigidas a 3% de excesso de O₂.

Tabela 05 – Resultados encontrados nas análises de NOx na combustão do EU

Amostragem	Oxigênio medido (%)	Concentração medida (mg NOX/Nm ³)	Concentração corrigida a 3% de O ₂ (mg NOX / Nm ³)
Nº 01	0,6	72	64
Nº 02	0,7	72	64
Nº 03	0,9	66	59

A média obtida para as 03 amostragens de Óxido de Nitrogênio foi de 62 mg/Nm³, cinco vezes menor que o limite estabelecido pelo CONAMA.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Em relação à evaporação em campo, destacaram-se as seguintes observações: o Resíduo 01 apresentou elevada concentração de matéria orgânica, amônia, sólidos e cloretos. Seu pH é caracteristicamente básico (8,9). O vapor condensado apresentou pH próximo à neutralidade, muito similar à média obtida para o lixiviado bruto, e ainda baixa concentração de DQO, amônia e cloretos. Neste caso, supõe-se que as condições ambientais dificultam a fixação da amônia na amostra coletada e, conseqüentemente, sua detecção. A amostra de Resíduo 02 coletada apresentou elevada concentração de DQO e de amônia. Seu pH é característico de meios 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.

Nos testes de evaporação em bancada pôde-se destacar a elevação do pH nas amostras de Resíduo e de Condensado, compatível com os resultados obtidos para os mesmos resíduos amostrados em campo. De maneira similar, destacou-se o acúmulo de sólidos e de matéria orgânica no Resíduo que ficou retido no balão após o ensaio de evaporação. As condições de laboratório permitiram a detecção da amônia no Vapor Condensado, uma vez que cuidados experimentais foram tomados para impedir sua volatilização (refrigeração constante da amostra de condensado durante a coleta).

Nas avaliações analíticas complementares das amostras de vapor condensado obtido em bancada, poucos parâmetros foram detectados nos ensaios de compostos orgânicos voláteis e semi-voláteis, devido ao fato desses compostos serem facilmente volatilizados à temperatura ambiente e, portanto, não se torna presente mesmo no lixiviado bruto, que fica exposto ao ambiente na lagoa de acumulação do aterro antes de passar pelo processo de evaporação. Contudo a detecção de

alguns parâmetros pode estar relacionada à baixa temperatura (100°C) dos ensaios de bancada. Provavelmente a temperatura de operação do equipamento no aterro (em torno de 800°C) favorecerá a queima de compostos orgânicos voláteis e semi-voláteis, entre estes as dioxinas e furanos. Torna-se fundamental a condução das mesmas análises nas amostras no EU.

O Evaporador Unitário apresenta-se 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 porte.

É importante frisar que o projeto encontra-se ainda em processo de desenvolvimento e estudo, e as análises realizadas ainda não puderam determinar por completo se o EU terá que sofrer novas alterações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução nº 316, que dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos, 2002.
2. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução nº 382, que estabelece em seu Anexo I limites máximos de emissão em processos de geração de calor a partir da combustão externa de diversos combustíveis, 2006.
3. PROGRAMA DE AUTOCONTROLE DE EMISSÕES PARA A ATMOSFERA – PROCON AR, instituído pela Diretriz FEEMA DZ-545, aprovada pela Deliberação CECA nº 935, 1986.