



Incertezas na Estimativa da Geração de Lixiviado por Aterros pelo Método Suíço

**SEELIG, Marina; THOMAZONI, André Luis; VALDEZ, Laura;
SCHNEIDER, Paulo Smith**

Laboratório de Ensaios Térmicos e Aerodinâmicos
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Rua Sarmento Leite 425/206, 90046-902, Centro Histórico, Porto Alegre RS
(51) 3308-3661, marinaseelig@mecanica.ufrgs.br

Súmula: Este trabalho examina as incertezas na estimativa da geração de lixiviado por aterros pelo método suíço. A sensibilidade do modelo está na informação da compactação dos resíduos, que tem sua definição cercada por incertezas. Como o modelo não informa sua incerteza associada, sugere-se estimar a incerteza combinada associada às grandezas de entrada para se chegar a um intervalo provável que englobe o resultado exato.

Palavras chave: chorume, lixiviado de aterros sanitários, modelagem para medição de lixiviados de aterros

Abstract: This paper examines the uncertainties in estimating landfill leachate generation by the Swiss method. It was observed that the sensitivity of the model is the information on waste compaction, which has its definition surrounded by uncertainties. As the model does not inform its associated uncertainty, it is suggested to estimate the combined uncertainty associated with the input in order to know the range that probably contains the exact result.

Key words: Leachate, sanitary landfill leachate, sanitary landfill leachate measuring models

2. Introdução e objetivos

Aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos produzem um resíduo gasoso — o biogás — e um resíduo líquido — o chorume. Enquanto que há tecnologia para transformação do biogás em um produto rentável, o tratamento do chorume é um dos principais problemas associados aos aterros.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004) define chorume (ou sumeiro) como “líquido, produzido pela decomposição de substâncias contidas nos resíduos sólidos, que tem como características a cor escura, o mau cheiro e a elevada DBO (demanda bioquímica de oxigênio)”. Também define lixiviação como “deslocamento ou arraste, por meio líquido, de certas substâncias contidas nos resíduos sólidos urbanos” e percolado como “líquido que passou através de um meio poroso”. Gomes (2009) refere-se ao chorume utilizando o termo “lixiviado” e explica-o como “líquido proveniente da



umidade natural e da água de constituição presente na matéria orgânica dos resíduos, dos produtos da degradação biológica dos materiais orgânicos e da água de infiltração na camada de cobertura e interior das células de aterramento, somado a materiais dissolvidos ou suspensos que foram extraídos da massa de resíduos”. O autor explica que o fator determinante da vazão de lixiviados de um aterro sanitário é o volume de águas pluviais infiltradas, enquanto o fator determinante das características físicas, químicas e microbiológicas do lixiviado são as características dos resíduos aterrados, e que a variabilidade na composição de acordo com o aterro e as oscilações de vazão ao longo do ano devido ao regime de chuvas são alguns dos problemas para o tratamento desse efluente.

O tratamento convencional do lixiviado divide-se em três grupos: transferência (recirculação no aterro, destinação à estação de tratamento de esgoto), biodegradação (processos aeróbios, processos anaeróbios) e métodos físico-químicos (oxidação química, adsorção, precipitação química, coagulação/floculação, sedimentação/flotação, arraste com ar — *air stripping*). Tratamentos recentes envolvem processos de separação por membranas, principalmente microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose inversa (Renou *et al.*, 2008). Alternativamente há o processo de evaporação, que diminui o volume e a concentração do lixiviado a seguir tratamento ou mesmo reduz o lixiviado a um resíduo passível de aterramento (Birchler *et al.*, 1994; Gomes, 2009; Sá, Jucá e Motta, 2012). Independente do tratamento a ser empregado, uma estimativa da geração de lixiviado pelo aterro deve ser feita, sendo os métodos mais utilizados o método suíço e o método do balanço hídrico (Gomes, 2009). O método suíço é de aplicação mais simples e por vezes resulta em estimativas mais próximas à realidade, como observado nas comparações de Gomes e Silva (2005) e de Lins e Jucá (2005).

O método suíço é um modelo matemático para medição indireta da vazão de lixiviado de aterros a partir das grandezas de entrada precipitação, área do aterro e compactação dos resíduos. Loucks e van Beek (2005) explicam que modelos são abstrações da realidade, logo seus resultados têm uma incerteza associada, que interage com as incertezas das grandezas de entrada. O objetivo deste artigo é examinar as incertezas na estimativa da geração de lixiviado por aterros pelo método suíço.

3. Referencial teórico e métodos

3.1 Geração de lixiviado por aterros

O potencial de geração de lixiviado pelo aterro pode ser determinado por meio do balanço de água no aterro, esquematizado na Figura 1. Segundo Hamada (1997), as principais entradas de água no aterro são a água que infiltra na superfície, a umidade dos resíduos e a umidade do lodo, quando adicionado, e as principais saídas de água do aterro são a água consumida na formação do biogás, a água que deixa o aterro como biogás e a água que percola o aterro, o próprio lixiviado. Haverá geração de lixiviado quando a quantidade de água no aterro exceder a capacidade de retenção de umidade da massa de resíduos aterrada. Excedida a capacidade de retenção, a água percola.

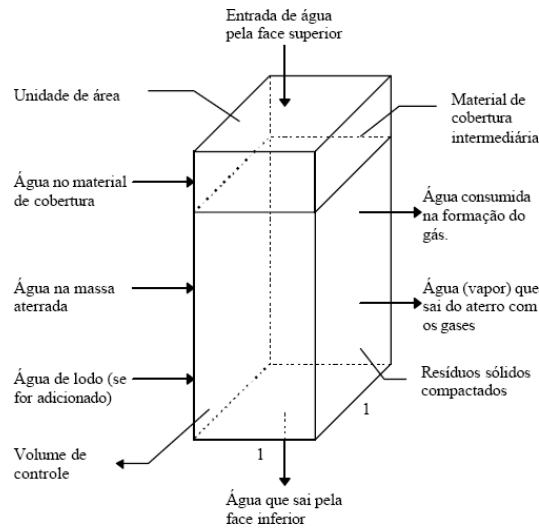


Figura 1: Balanço de água no aterro (Hamada, 1997)

O fator determinante da vazão de lixiviados de um aterro sanitário é o volume de águas pluviais infiltradas. No balanço, a água que infiltra na superfície corresponde à parcela que percola a camada de cobertura. É essa parcela que pode percolar o aterro e sair como lixiviado ou ficar retida na massa de resíduos aterrada caso ela não esteja saturada. A saturação depende do tipo da cobertura, da composição dos resíduos, da compactação dos resíduos e das condições climáticas (CONTRERA, 2008).

A melhor forma de se determinar a vazão de lixiviado gerado em um aterro é medição direta. Segundo o Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos do Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM, 2001), a medição deve ser feita em pelo menos dois pontos do sistema de tratamento: logo após o poço de coleta, ou imediatamente antes do tanque de equalização, e imediatamente antes do lançamento no corpo receptor. A outra forma para se estimar as vazões é por meio de medição indireta, por modelos matemáticos. Uma estimativa rápida e simplificada pode ser feita multiplicando-se a extensão da área operacional do aterro (m²) pelos seguintes índices, obtendo-se a vazão em metros cúbicos diários: 0,0004 para cobertura com solo argiloso, 0,0006 para cobertura com solo arenoso, 0,0008 para resíduos descobertos.

3.2 O método suíço

O método suíço de determinação da vazão de lixiviado gerado pelo aterro é um modelo empírico baseado nos estudos de Hans-Jürgen Ehrig sobre lixiviado, precipitação e compactação do aterro, conforme descrito por Corrêa Sobrinho (2000) citando Oliveira (1997). Lins (2003) atribui o equacionamento a Rocca (1981), em base anual, e Gomes (2005) atribui o mesmo equacionamento a Orth (1981), porém em base mensal. A equação é dada por:

$$Q = \frac{PAK}{t} \quad (1)$$



Q	vazão média de líquido percolado (L/s)
P	precipitação média anual ou mensal (mm)
t	número de segundos no ano ou no mês
A	área do aterro (m ²)
K	coeficiente dependente do grau de compactação dos resíduos, conforme a Tabela 1

Tabela 1: Valores do coeficiente **K** do método suíço

Compactação dos resíduos	Densidade do aterro	Coeficiente
Aterros fracamente compactados	0,4 a 0,7 t/m ³	0,25 a 0,50
Aterros fortemente compactados	Acima de 0,7 t/m ³	0,15 a 0,25

Fonte: Rocca (1981), Orth (1981)

O modelo assume que parte da água precipitada sobre o aterro se infiltra, transformando-se em lixiviado. A quantidade transformada é assumida dependente da compactação dos resíduos: aterros mais densos, menores vazões de lixiviado, aterros menos densos, maiores vazões. Contrera (2008) observa que a dependência da compactação dos resíduos é uma meia verdade, pois as características da camada de cobertura do aterro são mais influentes na infiltração, e não são consideradas no modelo. Também não são consideradas as condições climáticas: não são consideradas as variáveis insolação, temperatura, umidade e vento, influentes na evapotranspiração. Já a precipitação é considerada homogênea no tempo, suposição pouco provável.

Dado isso e dada a simplicidade das entradas quando comparadas às de outros modelos de estimativa da geração de lixiviado por aterros (balanço hídrico, racional, HELP, Modulo), Campos, Pelinson e Povinelli (2011) classificam o método suíço como um modelo pouco exato. Porém por vezes ele resulta em estimativas mais próximas à realidade quando comparado aos outros modelos. Gomes e Silva (2005), comparando estimativas dos métodos suíço, do balanço hídrico e racional a medidas de vazão do aterro da Caturrita (Santa Maria, Rio Grande do Sul), relatam que o método suíço foi o que mais se aproximou dos dados reais, com erro médio de 13% acima da vazão real, considerando série histórica longa de dados de precipitação e evapotranspiração e com erro médio de 20,9% abaixo da vazão real considerando série curta de dados, contra 34,4% e -47,5% no método do balanço hídrico e -31,2% e -75,7% no método racional (série longa e curta, respectivamente). Lins e Jucá (2005), comparando estimativas dos métodos suíço, do balanço hídrico, racional e da capacidade de campo a medidas de vazão do aterro da Muribeca (Recife, Pernambuco), também relatam que o método suíço foi o que mais se aproximou dos dados reais, com erro médio de 30,79% acima da vazão real, contra 336,75% no método do balanço hídrico, 239,1% no método racional e 125,37% no método da capacidade de campo. Silva e Ferreira (2005), comparando estimativa do método suíço a medidas de vazão do aterro de Aparecida de Goiânia (Aparecida de Goiânia, Goiás), relatam que o valor permaneceu dentro do intervalo de produção média de lixiviado, porém acima da média.



3.3 Estimativa da incerteza combinada

Incerteza de medição é o parâmetro, associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão de valores que podem fundamentadamente ser atribuídos ao mensurando. A determinação de um valor por um modelo matemático é uma medição indireta, obtida a partir da combinação de medições de grandezas de entrada. O resultado de uma medição indireta pode ser estimado com base na combinação das incertezas das medições envolvidas. Albertazzi e Sousa (2008) explicam que quando medições correlacionadas e não correlacionadas de diversas grandezas de entrada são combinadas por uma função matemática contínua e derivável, seja ela qual for, é possível estimar a incerteza da combinação por:

$$u^2(G) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial X_i} \right)^2 u^2(X_i) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \frac{\partial f}{\partial X_i} \frac{\partial f}{\partial X_j} u(X_i) u(X_j) r(X_i, X_j) \quad (2)$$

- $u(G)$ quadrado da incerteza combinada da grandeza G a ser determinada por medição indireta
- f função matemática contínua e derivável que relaciona G com as grandezas de entrada
- $\frac{\partial f}{\partial X_i}$ derivada parcial da função f em relação à grandeza de entrada X_i , também denominada coeficiente de sensibilidade associado à X_i
- $u(X_i)$ incerteza-padrão da i -ésima grandeza de entrada que está sendo combinada
- $r(X_i, X_j)$ estimativa do coeficiente de correlação entre as medições das grandezas de entrada X_i e X_j (1 para direta, -1 para inversa, 0 sem correlação)

3.4 Metodologia

As grandezas de entrada no modelo do método suíço são precipitação, área do aterro e compactação dos resíduos, sendo o tempo é uma constante. As grandezas área do aterro e compactação dos resíduos são assumidas correlacionadas diretamente. Aplicando a Equação (2) na Equação (1), a estimativa da incerteza combinada do método é dada pela expressão:

$$u^2(Q) = \left(\frac{AK}{t} \right)^2 u^2(P) + \left(\frac{PK}{t} \right)^2 u^2(A) + \left(\frac{PA}{t} \right)^2 u^2(K) + 2 \left(\frac{PK}{t} \right) \left(\frac{PA}{t} \right) u(A) u(K) \quad (3)$$

Assim, é necessário conhecer os valores e as incertezas associadas às grandezas de entrada. Para fins de análise, a incerteza das grandezas será assumida $\pm 10\%$.



3.4.1 Precipitação

O Instituto Nacional de Meteorologia disponibiliza em seu site as normais climatológicas anual e mensais (<http://www.inmet.gov.br>). Caso o aterro não monitore a chuva, sugere-se essa referência. Entrando com a média anual, deve ser informado no modelo o total de segundos em um ano, 31536000. Para fins de análise, o valor da grandeza precipitação será assumido 1350 mm com incerteza ± 135 mm (10%).

3.4.2 Área do aterro

Deve ser informada ao modelo a área do monte de resíduos exposta à chuva, logo a área da vista superior do monte. Para fins de análise, o valor da grandeza área do aterro será assumido 100000 m² (10 hectares) com incerteza ± 10000 m² (10%).

3.4.3 Compactação dos resíduos

No método suíço, a compactação dos resíduos é informada por um coeficiente relacionado à densidade do aterro, em toneladas de resíduos por volume do aterro. O coeficiente varia entre 0,25 e 0,50 se a densidade do aterro estiver entre 0,4 e 0,7 toneladas por metro cúbico (aterros fracamente compactados) e varia entre 0,15 e 0,25 se a densidade do aterro estiver acima de 0,7 t/m³ (aterros fortemente compactados).

Os dados da Tabela 1 são poucos para basear a definição do coeficiente. Assumindo que a relação entre a densidade do aterro e o coeficiente seja linear, os dados podem ser esmiuçados por interpolação e regra de três, como feito para o Gráfico 1, com intervalos do coeficiente de 0,025.

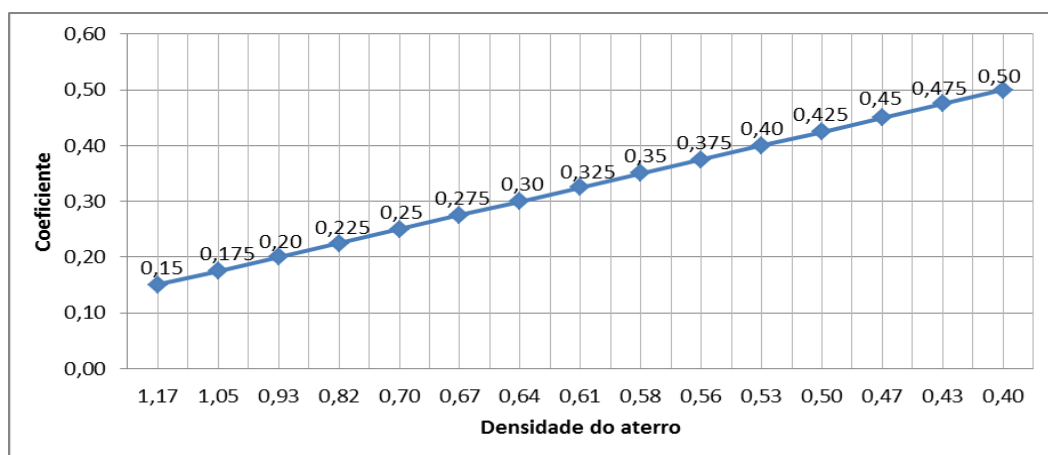


Gráfico 1: Relação linear entre a densidade do aterro e o coeficiente de compactação dos resíduos do método suíço

Para a definição do coeficiente é necessário conhecer a densidade do aterro, divisão da massa de resíduos aterrada pelo volume do aterro. Essas duas entradas têm



incertezas associadas. A incerteza-padrão associada à divisão de duas medições não correlacionadas é dada por (Albertazzi e Sousa, 2008):

$$\left[\frac{u(X_1/X_2)}{X_1/X_2} \right]^2 = \left[\frac{u(X_1)}{X_1} \right]^2 + \left[\frac{u(X_2)}{X_2} \right]^2 \quad (4)$$

Assim, a incerteza associada à densidade do aterro ρ é (M massa (t), V volume (m³)):

$$\left[\frac{u(\rho)}{\rho} \right]^2 = \left[\frac{u(M)}{M} \right]^2 + \left[\frac{u(V)}{V} \right]^2 \quad (5)$$

A massa de resíduos aterrada pode ser estimada pelo número de habitantes atendidos pelo aterro. Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe, 2012), a geração de resíduos sólidos urbanos por habitante no Brasil é de 383,2 quilogramas por ano, coletados desses 348,5 kg/ano. Para fins de análise, o valor da grandeza massa de resíduos será assumido dois milhões de toneladas com incerteza ± 200000 t (10%).

O volume do aterro pode ser aproximado pelo volume de sólidos geométricos. Por exemplo, um aterro com área de dez hectares, altura do monte de resíduos 25 metros e profundidade da vala 20 metros pode ser aproximado como um bloco retangular, sendo seu volume o resultado da multiplicação da área pela dimensão vertical: 4500000 m³. A incerteza combinada do produto entre duas medições com correlação direta é dada por (Albertazzi e Sousa, 2008):

$$\frac{u(X_1 X_2)}{X_1 X_2} = \frac{u(X_1)}{X_1} + \frac{u(X_2)}{X_2} \quad (6)$$

Assumindo que as grandezas área e dimensão vertical têm incerteza de $\pm 10\%$, a incerteza do volume do aterro V é (A área (m²), h dimensão vertical (m)):

$$\frac{u(V)}{V} = \frac{u(A)}{A} + \frac{u(h)}{h} \quad (7)$$

$$u(V) = (4500000) \left(\frac{10000}{100000} + \frac{4,5}{45} \right) = 900000$$

Ou seja, 4500000 m³ \pm 900000 m³ (20%): as incertezas das grandezas área e dimensão vertical se combinam no cálculo da incerteza do volume.

Assim, a densidade do aterro seria de 0,44 t/m³ e sua incerteza associada seria:

$$[u(\rho)]^2 = (0,44)^2 \left(\left[\frac{200000}{2000000} \right]^2 + \left[\frac{900000}{4500000} \right]^2 \right) = 0,10 \quad (8)$$



Ou seja, $0,44 \text{ t/m}^3 \pm 0,10 \text{ t/m}^3$ (22,36%): as incertezas das grandezas massa de resíduos aterrada e volume do aterro se combinam no cálculo da incerteza da densidade.

Assim, o valor da grandeza compactação dos resíduos será assumido 0,475 com incerteza $\pm 0,1062$ (22,36%).

4. Resultados e discussão

Entrando com os dados hipotéticos no modelo (Equação 1) chega-se a uma estimativa de 2,03 L/s de geração de lixiviado. A estimativa da incerteza combinada é (Equação 3):

$$u^2(Q) = (1,51E^{-03})^2(135)^2 + (2,03E^{-05})^2(10000)^2 + (4,28E^0)^2(0,11)^2 + 2(2,03E^{-05})(4,28E^0)(10000)(0,11) \quad (9)$$

$$u(Q) = 0,69$$

Ou seja, $2,03 \text{ L/s} \pm 0,69 \text{ L/s}$ (33,87%).

O desenvolvimento da Equação (9) mostra a ordem de grandeza dos coeficientes de sensibilidade associados às grandezas de entrada: 10^{-3} para precipitação, 10^{-5} para área do aterro e 10^0 para a compactação dos resíduos. Isso quer dizer que a sensibilidade do modelo está na informação da compactação dos resíduos, e que ela deve ser priorizada, já que as outras grandezas têm sensibilidade associada desprezível. Ou seja, a incerteza combinada do método é dominada pelo coeficiente de compactação dos resíduos. Isso se mantém mesmo aumentando a ordem de grandeza das entradas de precipitação e área.

A questão é que a definição do coeficiente de compactação dos resíduos, crítico ao modelo, carrega muita incerteza. A combinação começa no cálculo do volume do aterro, passa à densidade do aterro e chega à escolha do coeficiente. No exemplo da análise foram assumidas incertezas de $\pm 10\%$ para as entradas e se chegou a uma incerteza combinada no coeficiente de mais de $\pm 20\%$. Na estimativa da geração de lixiviado se chegou a uma incerteza combinada de mais de $\pm 30\%$, próxima aos erros médios do modelo em relação a dados reais de vazão observados por Gomes e Silva (2005) e Lins e Jucá (2005).

Como comentado, modelos são abstrações da realidade, logo seus resultados têm uma incerteza associada, que interage com as incertezas das grandezas de entrada. O método suíço não informa sua incerteza associada. Sendo um modelo empírico, sua aplicação a situações similares às das observações originais seria o indicado, porém essa informação é fraca, de modo que não se tem idéia do intervalo que engloba o resultado exato. Assim, sugere-se estimar a incerteza combinada associada às grandezas de entrada para se chegar a um intervalo provável, para segurança da estimativa da geração de lixiviado e para melhor interpretação dos resultados do método suíço.

5. Conclusão

O trabalho examinou as incertezas na estimativa da geração de lixiviado por aterros pelo método suíço. Foi visto que a sensibilidade do modelo está na informação da



compactação dos resíduos, que tem sua definição cercada por incertezas. Como o modelo não informa sua incerteza associada, se sugere estimar a incerteza combinada associada às grandezas de entrada para se chegar a um intervalo provável que englobe o resultado exato. Nesta análise com incertezas de $\pm 10\%$ para as entradas se chegou a uma incerteza combinada do modelo de mais de $\pm 30\%$.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro: Seelig agradece à CAPES (Projeto PNPd 02784/09-2), Thomazoni agradece à CAPES, Valdez agradece à UFRGS (BIC), Schneider agradece ao CNPq (PQ 308756/2009-6).

7. Referências

ABNT — Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Norma brasileira ABNT NBR 10004, resíduos sólidos, classificação**. 2. ed. 2004.

Abrelpe — Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2012.

Albertazzi, Armando; Sousa, André Roberto de. Resultados de medições indiretas. **Fundamentos de metrologia científica e industrial**. Manole: 2008.p. 231–262.

Birchler, D.; Milke, M.; Marks, A.; Luthy, R. Landfill leachate treatment by evaporation. **Journal of Environmental Engineering**, v. 120, n. 5, 1994, p. 1109–1131.

Campos, Rafaella; Pelinson, Natália de Souza; Povinelli, Jurandy. Comparação de métodos empíricos e computacionais para quantificação de lixiviados em aterros sanitários. **XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2011, Maceió, Brasil.

Contrera, Ronan Cleber. **Tratamento de lixiviados de aterros sanitários em sistema de reatores anaeróbio e aeróbio operados em batelada seqüencial**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) — Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil, 2008.

Corrêa Sobrinho, Nelson Lopes. **Uma análise do balanço hídrico do aterro sanitário de Presidente Prudente**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, 2000.

Gomes, Luciana Paulo (Coord.). Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras. **Programa de Pesquisas em Saneamento Básico**, 2009.

Gomes, Tiago Luis. **Avaliação quali-quantitativa do percolado gerado no aterro controlado de Santa Maria - RS.** 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, 2005.

Gomes, Tiago Luis; Silva, Carlos Ernando da. Avaliação quali-quantitativa do percolado gerado no aterro da Caturrita em Santa Maria - RS. **23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2005, Campo Grande, Brasil.

Hamada, Jorge. Estimativas de geração e caracterização do chorume em aterros sanitários. **19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 1997, Foz do Iguaçu, Brasil.

IBAM — Instituto Brasileiro de Administração Municipal. **Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos.** 2001.

Lins, Eduardo Antonio Maia. **A utilização da capacidade de campo na estimativa do percolado gerado no aterro da Muribeca.** 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, 2003.

Lins, Eduardo Antonio Maia; Jucá, José Fernando Thomé. A utilização da capacidade de campo na estimativa do percolado gerado no aterro da Muribeca. **23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2005, Campo Grande, Brasil.

Loucks, Daniel P.; van Beek, Eelco. Model sensitivity and uncertainty analysis. **Water resources systems planning and management.** UNESCO: 2005. p. 255–290.

Oliveira, F.J.P. Monitoramento ambiental para operação de aterros sanitários. **Saneamento Ambiental**, v. 7, n. 46, 1997, p. 40–41.

Orth, M.H. de A. Aterros sanitários. **Revista de Limpeza Pública**, v. 8, n. 20, 1981, p. 26–34.

Renou, S.; Givaudan, J.G.; Poulain, S.; Dirassouyan, F.; Moulin, P. Landfill leachate treatment: review and opportunity. **Journal of Hazardous Materials**, v. 150, n. 3, 2008, p. 468–493.

Rocca, A.C.C. Drenagem sub-superficial em aterros sanitários. **Revista de Limpeza Pública**, v. 8, n. 19, 1981, p. 16–27.

Sá, Lidiane Freire de; Jucá, José Fernando Thomé; Motta Sobrinho, Maurício A. da. Tratamento do lixiviado de aterro sanitário usando destilador solar. **Ambiente & Água**, v. 7, n. 1, 2012, p. 204-217.

Silva, Renato Pires da; Ferreira, Osmar Mendes. **Aterro sanitário de Aparecida de Goiânia, medição da vazão de chorume.** 2005.