

III-292 – GERAÇÃO DE LÍQUIDOS LIXIVIADOS EM ATERROS DE RSU – PROPOSTA DE MODELAGEM E COMPARAÇÃO COM MÉTODOS UTILIZADOS PARA AVALIAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO

Maria do Socorro Costa São Mateus⁽¹⁾

Engenheira Civil pela UCSal – Universidade Católica do Salvador. Mestre em Geotecnia pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Possui Doutorado em Geotecnia Ambiental pela COPPE-UFRJ. Professora Adjunto do Departamento de Tecnologia – UEFS, Feira de Santana-Ba.

Sandro Lemos Machado⁽²⁾

Engenheiro Civil pela UFBA. Mestre e Doutor em Geotecnia pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Professor Adjunto, DCTM/UFBA, Salvador-Ba, smachado@ufba.br

Maria Claudia Barbosa⁽³⁾

Engenheira Civil e Mestre em Geotecnia pela PUC-Rio. Possui Doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro com estágio na UWO (University of Western Ontario, Canadá) Professora Adjunto, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro-RJ, mclaudia@coc.ufrj.br

Endereço⁽¹⁾: Campus Universitário, Módulo 3, BR-116 km-03 Bairro Novo Horizonte – Feira de Santana - Ba - CEP: 44031-460 - Brasil - Tel: (75) 3161-8056 - e-mail: so_mateus@yahoo.com.br

RESUMO

O trabalho compara os resultados obtidos para infiltração de água de chuva e volume de líquidos lixiviados em aterros de resíduos sólidos urbanos (RSU), utilizando três métodos de balanço hídrico: método Suíço, frequentemente utilizado nos projetos de aterro sanitário, método proposto por Daniel & Koerner (1997), baseado no método do balanço hídrico e o método proposto por São Mateus et al. (2012), que considera a interação entre os parâmetros referentes ao RSU, solo da camada de cobertura e os parâmetros climatológicos. Os resultados mostram que os métodos Suíço e de Daniel & Koerner fornecem volumes de líquidos lixiviados muito abaixo dos valores medidos.

PALAVRAS-CHAVE: Balanço Hídrico em Aterro, Geração de Lixiviados, Aterro sanitário de RSU.

INTRODUÇÃO

Os aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos (RSU), da forma como atualmente são construídos no Brasil, recebem grande quantidade de resíduos orgânicos, principalmente restos de alimentos. Estes resíduos correspondem, em média, a 50% - 60% do peso depositado nos aterros e são responsáveis pela geração do chorume e do biogás, que são nocivos ao ambiente caso não sejam devidamente tratados.

Embora a Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída com a Lei Federal nº. 12.305/2010, tenha como uma de suas metas o emprego de aterros sanitários para receberem resíduos que não sejam passíveis de reciclagem e/ou reaproveitamento, a efetivação de tal meta requer um longo processo de educação ambiental e um extenso trabalho de parceria entre as esferas municipal, estadual e federal. Sendo assim, enquanto esse processo de transformação e de mudança de postura acontece, a existência de aterros sanitários ainda recebendo todos ou quase todos os resíduos domésticos se apresenta como uma solução indicada para erradicação dos lixões existentes na maior parte dos municípios brasileiros.

Neste contexto, e considerando que os projetos de aterro sanitário incluem a previsão do volume de líquidos lixiviados, é importante a utilização de modelos de balanço hídrico que sejam adequados para cada local e características do aterro e seus resíduos. Os líquidos lixiviados representam uma combinação do chorume, contribuição das chuvas e do teor de umidade dos resíduos, sendo importante, portanto, a utilização de modelos que incluam todas as variáveis envolvidas no balanço hídrico, como os parâmetros dos resíduos, dos materiais de cobertura, de operação dos aterros, além dos dados climatológicos que são fundamentais e já considerados nos modelos existentes.

O presente trabalho compara o volume de líquidos lixiviados, calculado utilizando o método Suíço, o método proposto por Daniel & Koerner (1997), baseado no método do balanço hídrico e o método proposto por São Mateus et al. (2012), que considera dados medidos no campo e em laboratório, para o aterro Sanitário Metropolitano Centro (AMC), em Salvador-Bahia.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia do trabalho consistiu em utilizar os três métodos de balanço hídrico citados, para calcular o volume diário de líquidos lixiviados gerados na Célula 5 do aterro sanitário de Salvador-Ba, Aterro Metropolitano Centro (AMC), durante um período de 01 (um) ano.

MÉTODO SUÍÇO

O método Suíço utiliza a equação (1) para estimativa da vazão de líquidos lixiviados.

$$Q = (P \cdot A \cdot K) / t \quad \text{equação (1)}$$

Onde:

Q - vazão média de líquido percolado (m^3/dia); t - dia; P - precipitação pluviométrica para o período estudado (mm); K - fator que depende do grau de compactação do material; A - área do aterro (m^2).

Segundo Orth (1981), K varia em função do peso específico (γ) do material; ou seja: K = 0,25 a 0,50 para γ variando entre 0,4 t/m^3 e 0,7 t/m^3 e K = 0,15 a 0,25 (quando $\gamma > 0,7\text{t/m}^3$). Como a precipitação pluviométrica incide sobre a camada de cobertura, o peso específico considerado foi o dessa camada e o valor encontrado para a condição de campo foi 1,75 t/m^3 . O valor de K adotado foi 0,15.

Foram utilizadas as mesmas condições apresentadas em São Mateus et al. (2012), para a Célula 5 considerando camada de cobertura em solo com 60cm de espessura, representando a situação em campo durante o período estudado (2004 – 2005).

A Célula 5 recebeu RSU no período de maio/2003 – maio/2004. A partir de junho/2004, a Célula parou de receber resíduos e foi compactada uma camada de cobertura que, a partir de fev/2005, recebeu recobrimento com manta em uma parte da sua extensão.

Os dados pluviométricos diários foram medidos na estação meteorológica portátil, instalada na área do aterro sanitário.

A área (A) da camada de cobertura exposta às intempéries, utilizada nos cálculos, está apresentada na tabela 1.

Tabela 1: Célula 5 – Área da camada de solo de cobertura exposta às intempéries.

Mês/ano	Área exposta (m^2)
Jun-Dez/2004	41405,56
Jan/2005	41405,56
Fev/2005	36005,56
Mar-Ago/2005	30605,56

MÉTODO PROPOSTO POR SÃO MATEUS et al. (2012)

Os resultados obtidos com a aplicação do método Suíço foram comparados àqueles encontrados para a célula 5, quando da utilização do método proposto por São Mateus et al. (2012), equações (2) e (3), que considera o teor de umidade inicial do RSU, a perda de massa pela decomposição da fração orgânica e a compressibilidade devido à perda de massa do resíduo e à expulsão de líquidos. Nesse método, foram considerados os componentes meteorológicos e as características do perfil estudado da célula, admitindo-se o princípio da conservação de massa.

A equação (2) foi utilizada para calcular o balanço hídrico diário na camada de cobertura e obter a infiltração de água para o RSU.

$$I_{(RSU)} = P + w_{i(solo)} - ES - E - \Delta w_{(acumulada\ no\ solo)} \quad \text{equação (2)}$$

Sendo:

$I_{(RSU)}$ – infiltração no RSU (m^3); P – precipitação pluviométrica (mm); $w_{i(solo)}$ – umidade inicial do solo de cobertura, convertida em volume de água (m^3); ES – escoamento superficial (mm); E – evaporação (mm); $\Delta w_{(acumulada\ no\ solo)}$ – umidade acumulada no solo de cobertura (m^3). Os dados climatológicos foram convertidos em volume de água (m^3).

O teor de umidade do RSU e do solo de cobertura foi determinado em estufa, em laboratório. Os valores para o teor de umidade gravimétrica (w) em base seca, teor de umidade volumétrica (θ), peso específico (γ) e coeficiente de permeabilidade saturada ($ksat$), utilizados neste trabalho são apresentados na tabela 2.

Tabela 2: Parâmetros do RSU e do solo de cobertura.

Parâmetros	RSU	Solo da camada de cobertura
γ (t/m ³)	0,71	1,75
w_i (%) - base seca	92	9,6
θ (%)	-	15,36
$ksat$ (cm/s)	-	$8,33 \times 10^{-7}$
θ_{sat} (%)	-	42

O teor de umidade volumétrica (θ) é obtido, multiplicando o teor de umidade gravimétrica (w) em base seca pelo peso específico seco (γ_d).

O método proposto considera que o escoamento superficial é função da precipitação pluviométrica (P) e da infiltração ($I_{(solo)}$) que acontece na camada de cobertura (equação 3).

$$ES = P - I_{(solo)} \quad \text{equação (3)}$$

A infiltração no solo foi calculada considerando a equação de PHILIP (1957d), que calcula a capacidade de infiltração do solo e depende de parâmetros como coeficiente de permeabilidade e teor de umidade do solo na condição saturada, teor de umidade do solo para cada intervalo de tempo considerado e sucção correspondente.

Após calcular a capacidade de infiltração, foi feita a seguinte verificação: se a precipitação pluviométrica ocorrida no intervalo de tempo considerado (intensidade pluviométrica) for superior à capacidade de infiltração no solo, haverá escoamento superficial (calculado pela equação 3) e a infiltração no solo ($I_{(solo)}$) será igual à própria capacidade de infiltração obtida pela equação de PHILIP (1957d). Caso contrário, o escoamento superficial será considerado igual a zero e toda a água de chuva infiltrará no solo de cobertura.

A evaporação foi calculada usando a equação (4), obtida a partir de ensaios de evaporação com o solo da camada de cobertura da célula.

$$(E_{solo}/EP) = 4,945(\theta) - 0,34161 \quad \text{equação (4)}$$

Onde: E_{solo} – evaporação da água presente na amostra de solo estudado em recipiente; EP – evaporação medida em recipiente idêntico, contendo apenas água; θ – teor de umidade volumétrica do solo.

A quantidade de água adicionada ou retirada da camada de cobertura é representada por ($I_{(solo)} - E$) que representa o armazenamento. Quando dividido pela espessura da camada de cobertura (Δz), obtém-se a variação de umidade volumétrica ($\Delta\theta$).

Para cada intervalo de tempo considerado, se a soma da umidade inicial com a variação de umidade na camada de cobertura for superior à umidade na capacidade de campo, esta umidade será adotada como umidade inicial no próximo intervalo de tempo e o excedente irá para o resíduo, constituindo a infiltração no RSU. Senão, a

umidade inicial no próximo intervalo de tempo será a soma supracitada e não haverá infiltração de água para o resíduo. Isto pode ser melhor explicado, da seguinte forma:

Se $[(I_{(solo)} - E) + w_{(solo)}] > \text{umidade na capacidade de campo } (w_{cc})$,
 $\Delta w_{(acumulada \text{ no solo})} = w_{cc}$ e $I_{RSU} = [(I_{(solo)} - E) + w_{(solo)}] - w_{cc}$

Se $[(I_{(solo)} - E) + w_{(solo)}] < \text{umidade na capacidade de campo } (w_{cc})$, toda a umidade permanecerá retida no solo e $I_{(RSU)} = 0$

Sendo “ $w_{(solo)}$ ” a umidade gravimétrica inicial da camada de solo, para cada intervalo de tempo “ Δt ”, considerado no balanço hídrico.

O cálculo do balanço hídrico global (sem definir como a quantidade de líquidos está distribuída dentro da massa de resíduos) diário no RSU foi realizado por meio da equação (5).

$$\Delta w_{(acum \text{ na célula})} = I_{(RSU)} + w_{i(RSU)} - L - \Delta V_{w \text{ consumido biogás}} - \Delta V_{w \text{ vapor de água}} \quad \text{equação (5)}$$

Sendo:

$\Delta w_{(acum \text{ na célula})}$ – umidade acumulada na célula (m^3);

$w_{i(RSU)}$ – teor de umidade gravimétrica inicial do RSU a cada disposição no aterro (m^3);

L – volume de líquidos lixiviados (m^3);

$\Delta V_{w \text{ consumido biogás}}$ – volume de água consumida na geração de biogás (m^3), obtido por cálculo estequiométrico;

$\Delta V_{w \text{ vapor de água}}$ – volume de água que sai sob a forma de vapor com o biogás (m^3).

O intervalo de tempo utilizado no balanço hídrico da Célula 5 foi de 1 (um) dia e, para isto, todos os dados de campo foram convertidos para este intervalo.

Para o modelo proposto por São Mateus et al. (2012), uma vez definido o balanço hídrico global da célula (equação 5), onde se obtém a umidade acumulada, esta é detalhada como sendo a soma da umidade de constituição dos RSU ($w_{(const \text{ RSU})}$) com a umidade livre ($w_{(livre)}$) nos poros da massa de resíduos e que pode ser representada pela equação (6).

$$\Delta w_{(acum \text{ na célula})} = w_{(const \text{ RSU})} + w_{(livre)} \quad \text{equação (6)}$$

A umidade livre equivale teoricamente ao volume de líquido livre presente no interior do aterro, cujo nível pode ser medido através de piezômetros. A representatividade do modelo pode ser verificada, através da comparação entre o nível de lixiviado livre (calculado) e o nível monitorado no campo.

A umidade de constituição dos RSU ($w_{(const \text{ RSU})}$) é obtida, subtraindo-se da sua umidade inicial ($w_{i(RSU)}$) a umidade expulsa por compressão (w_{exp}) devido às tensões geostáticas, e a umidade liberada pela parcela de RSU decomposto (w_{dec}) (Equação 7).

$$w_{(const \text{ RSU})} = w_{i(RSU)} - w_{(exp)} - w_{(dec)} \quad \text{equação (7)}$$

O volume de lixiviados e a infiltração de água de chuva também foram obtidos, aplicando o método proposto por Daniel & Koerner (1997), que tem como base os métodos do balanço hídrico, de Thornthwaite & Mather (1957) e de Kmet (1982).

MÉTODO PROPOSTO POR DANIEL & KOERNER (1997)

O roteiro a seguir apresenta o método proposto por Daniel & Koerner (1997) e que foi utilizado para cálculo mensal.

- Dados de entrada:

a) $T_{média}$ ($^{\circ}C$) - temperatura média mensal, obtida em Estação Climatológica

b) P (mm) – precipitação pluviométrica mensal, obtida em Estação Climatológica

c) N – duração mensal da luz solar, obtida em tabela

d) C – coeficiente de escoamento superficial, obtido em tabela

- Cálculo dos parâmetros:

a) índice de calor mensal (Hm) - Se $T < 0^{\circ}\text{C}$, $Hm = 0$ e se $T > 0^{\circ}\text{C}$, $Hm = (0,2T)^{1,514}$

b) evapotranspiração potencial diária não ajustada (UPET - mm) - equivale à máxima quantidade de água disponível para evapotranspirar, quando o solo estiver saturado. Se $T < 0^{\circ}\text{C}$, $UPET = 0$. Caso $0^{\circ}\text{C} < T < 27^{\circ}\text{C}$, $UPET = 0,53(10T/Ha)^a$. Quando T for maior ou igual a 27°C , $UPET = -0,015T^2 + 1,093T - 14,208$

Sendo:

Ha - índice anual de calor (adimensional), que equivale ao somatório de Hm dos 12 meses

$$a = (6,75 \times 10^{-7}).Ha^3 - (7,71 \times 10^{-5}).Ha^2 + 0,01792.Ha + 0,49239$$

c) evapotranspiração potencial (PET – mm): $PET = UPET \times N$

d) escoamento superficial (ES – mm): $ES = P \times C$

e) infiltração (IN – mm): $IN = P - ES$

f) perda acumulada de água (W_L) – é o somatório dos valores mensais negativos de (IN-PET), desde o início do ano. Se $(IN-PET) \geq 0$, $W_L = 0$, senão: $W_L = (IN - PET)$.

g) WS - quantidade de água (em mm) armazenada na zona das raízes

Para iniciar, deve-se verificar o último mês com (IN - PET) positivo e tomá-lo como ponto de partida, supondo que enquanto último mês do período chuvoso a cobertura encontra-se na capacidade de campo. Neste caso, WS será calculado adicionando-se o valor de (IN - PET) para o mês em questão, ao valor de água armazenada do mês anterior. Se WS exceder o máximo valor ($WS_{\text{máx}}$), este último valor deverá ser adotado. Caso (IN - PET) seja negativo, $WS = (WS_{\text{máx}}) \cdot 10^{b \cdot (IN - PET)}$

Onde:

$$b = 0,455/(WS_{\text{máx}}) \text{ e } (WS_{\text{máx}}) = \sum \theta_{\text{icc}} \cdot (H_{\text{root}})_i$$

θ_{icc} - umidade da camada i na capacidade de campo (CC)

$(H_{\text{root}})_i$ - profundidade da zona de raízes na camada i

Para este trabalho, utilizou-se a umidade inicial ($w_i = 9,6\%$ e $\theta_i = 0,42$) do material de cobertura. Adotou-se espessura da camada de cobertura igual a 60cm.

h) variação no armazenamento de água (CWS)

Para iniciar o processo de cálculo do armazenamento de água na zona das raízes (WS), deve-se começar pelo mês utilizado e, adotar o valor zero para a variação desse mês. Para os meses subsequentes, a variação deverá ser obtida por $CWS = WS_n - WS_{n-1}$

Onde: WS_n - água armazenada no mês em questão e WS_{n-1} - água armazenada no mês anterior

CWS será negativo se o solo na zona das raízes estiver perdendo água.

i) evapotranspiração atual ou real (AET – mm)

Se $(IN - PET) \geq 0$, $AET = PET$ ou, se $(IN - PET) < 0$, $AET = IN - CWS$

j) percolação (PERC – mm)

Se $(IN - PET) \leq 0$, $PERC = 0$ (não haverá percolação), caso contrário, $PERC = (IN - PET) - CWS$

k) Fazer a verificação dos cálculos

Para cada mês, far-se-á: $CK = PERC + AET + CWS + ES$ que deverá ser igual à precipitação (P)

l) Cálculo da taxa de percolação (fluxo)

Fluxo = $PERC / t$

RESULTADOS

A figura 1 apresenta a variação diária da precipitação pluviométrica medida na estação meteorológica instalada na área do aterro sanitário, para o período de junho/2004 – agosto/2005. Os valores diários para o escoamento superficial (ES) e a evaporação (E), foram calculados de acordo com São Mateus et al. (2012) e são mostrados na figura.

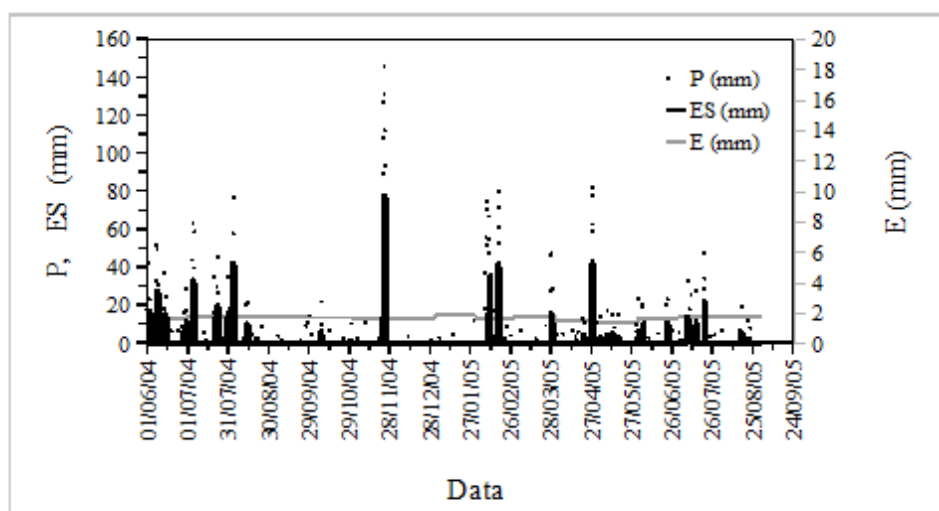


Figura 1: Precipitação pluviométrica medida na área do aterro sanitário, escoamento superficial e evaporação calculados por São Mateus et al. (2012) – período junho/2004 a agosto/2005

A figura 2 mostra o volume acumulado de líquido presente no RSU, quando disposto na Célula 5, e compara com a contribuição da precipitação pluviométrica na Célula para o mesmo período. O período apresentado na figura é maio/2003 – maio/2004, para o qual houve disposição de resíduos na Célula. O teor de umidade gravimétrica (em base seca) do RSU foi de 92%, determinado em laboratório.

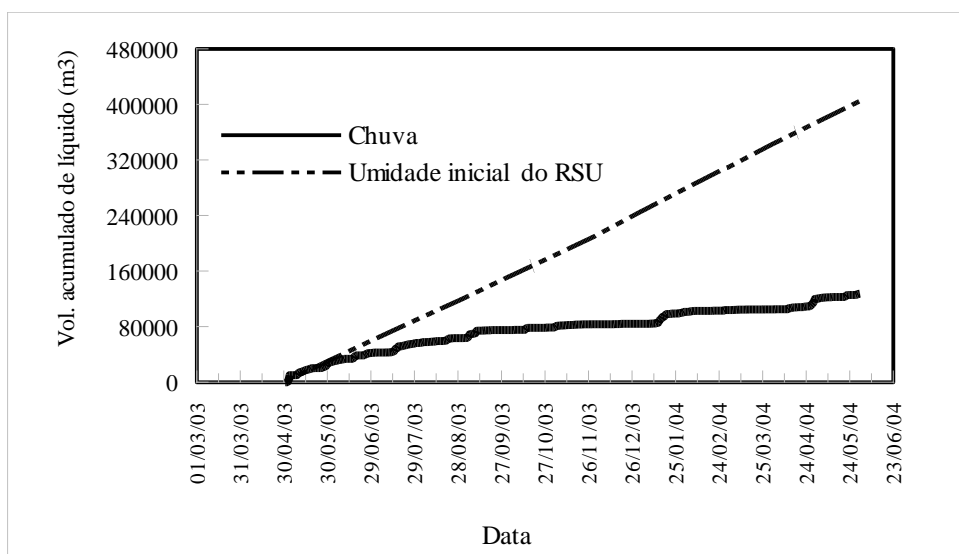


Figura 2: Precipitação pluviométrica medida na área do aterro sanitário e volume de líquidos equivalente ao teor de umidade do RSU – período maio/2003 a maio/2004 (São Mateus et al., 2012)

A figura 2 apresenta o resultado do estudo realizado por São Mateus et al. (2012), mostrando que existe uma contribuição significativa do teor de umidade do RSU para a quantidade de líquidos que entra na Célula 5 e que independe da precipitação pluviométrica que incide sobre a Célula.

A figura 3 compara os volumes de precipitação pluviométrica com os volumes de líquidos lixiviados medidos na Célula 5 e calculados pelo método Suíço.

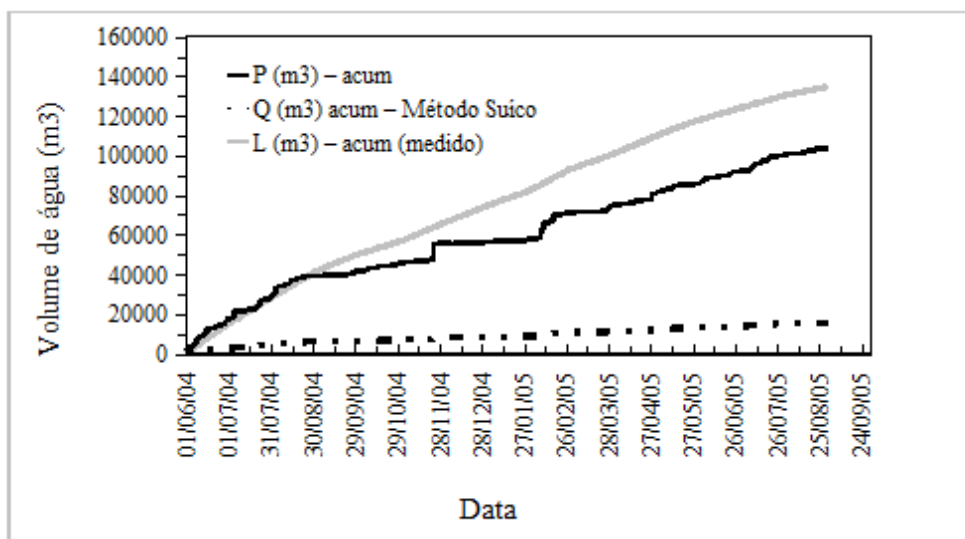


Figura 3: Precipitação pluviométrica acumulada medida na área do aterro sanitário, volume acumulado de lixiviados medido na Célula 5 e calculado pelo método Suíço – período junho/2004 a agosto/2005

A figura 3 mostra, para a situação estudada, que o método Suíço subestima a quantidade de líquidos lixiviados gerados na Célula 5. Mostra também que a quantidade total de lixiviados gerados na célula é superior à quantidade de chuva para o período, indicando que existem outras fontes de entrada de água na célula, conforme apresentado em São Mateus et al. (2012). Como a célula é impermeabilizada na base com manta de PEAD e camada de argila, a contribuição de entrada de água provém dos resíduos que são aterrados e trazem consigo quantidade de água representada pelo teor de umidade.

A figura 4 compara a quantidade de líquidos lixiviados calculados pelo método Suíço com a infiltração de água na camada de cobertura e no RSU, calculados por São Mateus et al. (2012).

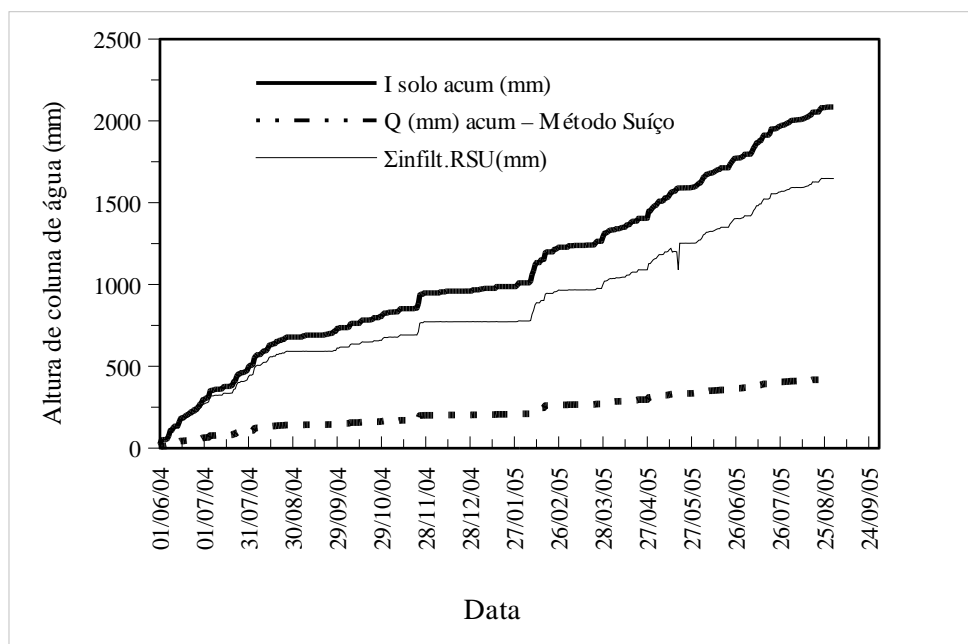


Figura 4: Comparação entre os valores calculados pelo método Suíço para o lixiviado e por São Mateus et al. (2012) para infiltração na camada de cobertura em solo e no RSU da Célula 5 – junho/2004 a agosto/2005

Na figura 4, observa-se que o método Suíço fornece valores muito inferiores para os líquidos lixiviados gerados, quando comparados com a infiltração de líquidos na cobertura e no RSU. O primeiro método considera os dados pluviométricos, a área de exposição às intempéries e a densidade do material. Em contrapartida, o cálculo da infiltração no solo e no RSU depende dos dados climatológicos (precipitação pluviométrica e evaporação), das características do material de cobertura (densidade, coeficiente de permeabilidade, armazenamento de água e variação de umidade na camada).

A figura 5 apresenta a comparação entre volume de líquidos lixiviados medidos e calculados pelos métodos Suíço e de Daniel & Koerner (1997), mostrando que ambos os métodos apresentam resultados inferiores ao medido em campo. O método proposto por São Mateus et al. (2012) obtém o volume de líquidos lixiviados a partir do nível piezométrico dentro da célula e vice-versa, e os cálculos realizados mostraram valores muito próximos dos resultados de monitoramento em campo.

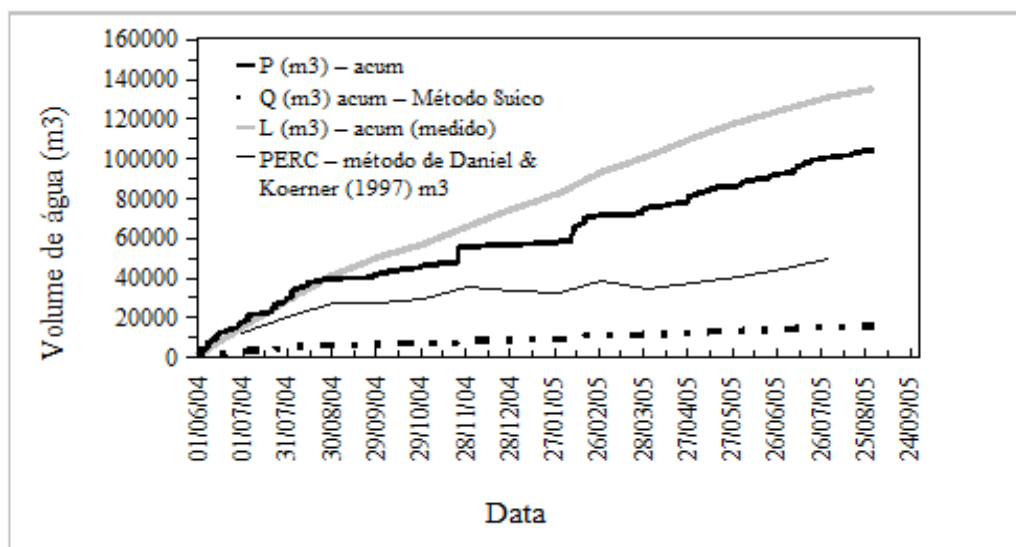


Figura 5: Precipitação pluviométrica acumulada medida na área do aterro sanitário, volume acumulado de lixiviados medido na Célula 5 e calculado pelos métodos Suíço e de Daniel & Koerner (1997) – período junho/2004 a agosto/2005

CONCLUSÕES

Com base nos métodos utilizados para cálculo de líquidos lixiviados em aterros de RSU, foi possível concluir que:

- o método Suíço e o método de Daniel & Koerner (1997) subestimaram o volume de líquidos lixiviados gerados na Célula estudada, contendo camada de cobertura. O cálculo foi realizado para a condição de Célula sem cobertura e o resultado também foi muito inferior à quantidade de lixiviados medida na saída da Célula
- a camada de cobertura e suas características controlam a ação dos agentes climatológicos sobre a infiltração de água para o RSU e consequente geração de líquidos lixiviados no aterro sanitário estudado, conforme mostrado por São Mateus et al. (2012)
- a contribuição do teor de umidade do RSU para a geração de líquidos lixiviados, conforme mostrado por São Mateus et al. (2012), no aterro estudado, é significativa sendo muito superior à influência da precipitação pluviométrica local e independente desta
- a contabilização diária dos componentes meteorológicos, tais como precipitação pluviométrica e evaporação, é importante pois os fenômenos não são considerados na média e seus efeitos podem ser contabilizados de forma adequada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BLIGHT, G. E.; FOURIE, A. B. Leachate Generation in Landfills in Semi-arid Climates. Proc. Instn. Civ. Engrs. Geotech. Engng., 137, Oct., p. 181-188, 1999.
2. CAPELO NETO, J.; MOTA, S.; SILVA, Fernando J. A. da Geração de Percolado em Aterro Sanitário no Semi-Árido Nordeste: uma abordagem quantitativa. **Rev. Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 4, n. 3, jul./set., n. 4, out./dez. p. 160-167, 1999.
3. COELHO, H. M. G.; SIMÕES, G. F.; LANGE, L. C. Modelo para Avaliação do Balanço Hídrico em Células de Resíduos Sólidos Urbanos, considerando Camadas de Cobertura Intermediárias e Finais. XXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 2007. Anais. Belo Horizonte MG, 2007, p.1-9.
4. CORTÁZAR, A. L. G. de et al. Comparative Analysis of three Hydrological Landfill Models through a Pratical Application. In: IX INTERNATIONAL WASTE MANAGEMENT AND LANDFILL SYMPOSIUM. 2003. Proceedings Sardinia. S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy, 2003.

5. DANIEL, D.E.; KOERNER, R.M. Cover Systems. In: DANIEL, D.E. (Ed) Geotechnical Practice for Waste Disposal. 1. ed. London, UK: Chapman & Hall. Chapter 18, 1993.
6. FENN, D. G.; HANLEY, K. J.; DE GEORE, T. V. Use of the Water Balance Method for Predicting Leachate Generation for Solid Waste Disposition Sites. U. S. Environmental Protection Agency, Report n°. EPA/530/SW 168, 1975.
7. HAMADA, J. Estimativa de Geração e Caracterização do Chorume em Aterros Sanitários. XIX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AMBIENTAL. 1997. Anais. Foz do Iguaçu PR, 1997, p. 1801-1810.
8. HAMADA, J.; ABEICHE, L. H. T. Ferramenta Computacional para Estimativa do Volume Mensal de Percolados em Aterros Sanitários. XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 2001. Anais. João Pessoa PB, 2001, p. 1-9.
9. MEDEIROS, P. A.; SILVA, J. D. da; CASTILHOS JÚNIOR, A. B. de Balanço Hídrico em Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos – Escala Experimental de Laboratório. Lixo – Alternativas de Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos para Pequenas Comunidades – Coletânia de Trabalhos Técnicos, p. 39-46. PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2002.
10. PADILLA, R. S. Aplicação de um modelo computacional tridimensional para estimativa de balanço hídrico em aterros sanitários. 107f. Belo Horizonte. 2007. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia-UFGM 2007.
11. SÃO MATEUS, M. do S. C. Proposta de Modelo para Avaliação do Balanço Hídrico de Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos: Estudo de Caso do Aterro Metropolitano Centro de Salvador-BA. Tese de Doutorado, UFRJ-COPPE, Rio de Janeiro-RJ, 312p., 2008.
12. SÃO MATEUS, M. do S. C.; MACHADO, S. L.; BARBOSA, M. C. An attempt to perform water balance in a Brazilian municipal solid waste landfill. Journal Waste Management 32, 471–481, 2012.