

APLICAÇÃO DE MODELOS EMPIRICOS NA ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE PERCOLADO EM ATERRO SANITÁRIO

Tiago L. GOMES

Mestre em Engenharia Civil Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – UFSM - Faixa Camobi Km 9 – Campus UFSM – 97105-900 – Santa Maria, RS, Brasil – E-mail: tgomes@mail.ufsm.br

Carlos E. SILVA

Doutor em Engenharia Química, Professor do Departamento de Hidráulica e Saneamento - UFSM, Faixa Camobi Km 9 – Campus UFSM – 97105-900 – Santa Maria, RS, Brasil – E-mail: ces@ct.ufsm.br

Teobaldo F. GRÄBIN

Acadêmico em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Maria, Faixa camobi Km 9 – Campus UFSM – 97105-900 – Santa Maria, RS, Brasil – Email: teobaldoufsm@yahoo.com.br

RESUMO

Os resíduos sólidos se decompõem dando origem aos líquidos percolados, que constituem um problema sério relativo à degradação ambiental. A estimativa do volume de percolado em um aterro permite dimensionar sistemas adequados de tratamento, buscando minimizar o impacto gerado pela disposição de resíduos sólidos. Para a estimativa do volume de percolado gerado foram utilizados os métodos empíricos do Balanço Hídrico, Racional e Suíço. Considerando séries históricas longas de dados o método Racional apresentou 31,2% de erro médio abaixo da vazão real, enquanto os métodos, Suíço e do Balanço Hídrico apresentaram, respectivamente, 13,0% e 34,4% de erros acima da vazão real. Utilizando séries curtas de dados, os erros foram todos inferiores às vazões reais e iguais a 75,7%, 20,9% e 47,5% para os métodos Racional, Suíço e Balanço Hídrico, respectivamente. O método Suíço foi o que melhor se ajustou a vazão média real para as duas séries de dados. Entretanto, o método do Balanço Hídrico apresentou curva de tendência mais próxima da vazão real, considerado os dados do período de monitoramento.

Palavras-chave: balanço hídrico, aterro sanitário, resíduos sólidos.

1 - INTRODUÇÃO

A geração de resíduos sólidos apresenta-se como uma das grandes preocupações ambientais do mundo moderno. As sociedades de consumo avançam de forma a destruir os recursos naturais, e os bens, em geral, têm vida útil limitada, transformando-se cedo ou tarde em resíduos. Associado ao aumento da população, à carência de programas de gerenciamento e investimentos públicos na área de saneamento, o Brasil apresenta um quadro dramático em relação à destinação final dos resíduos sólidos.

Segundo Jucá (2003), a forma de apresentação dos dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000 sugeriu indícios exageradamente favoráveis no que se refere à quantidade de resíduos vazados nas unidades de destinação final, pois aproximadamente 73,2% de todo o resíduo coletado no Brasil estaria tendo um destino final adequado, em aterros sanitários ou controlados. Porém quando se analisam as informações tomando-se por base, o número de municípios, o efeito já não é tão favorável. Os resultados apontam que 63,1% dos municípios depositam seus resíduos em lixões, ainda sim, houve uma melhora em relação a 1991 de 13,1%, quando este percentual era de 76%. Quanto à presença de Aterro sanitário, apenas 13,7% declaram que possuem aterros sanitários, sendo superior a 1991, quando o percentual encontrava-se em 10%. A situação é mais grave nos municípios com população inferior a 20.000 habitantes, pois estes representam 73,1%. Nestes municípios, 68,5% dos resíduos gerados são vazados em locais inadequados.

Em termos ambientais, a disposição inadequada dos resíduos sólidos pode contribuir para a poluição do ar, das águas, do solo, estética, bem como promover impactos negativos sobre a fauna e flora dos ecossistemas locais. Em relação aos aspectos sanitários, o principal problema está na proliferação de vetores, mecânicos ou biológicos, de importância à saúde pública, capazes de transmitir diversas enfermidades ao homem, por diferentes vias de transmissão (FNS, 1999).

Os resíduos sólidos se decompõem dando origem aos líquidos lixiviados, que constituem um problema sério relativo à degradação ambiental. Segundo Ehrig (1992), o lixiviado pode ser caracterizado como a parte líquida que percola através da massa de resíduos, carreando materiais dissolvidos ou suspensos, que constituirão cargas poluidoras ao meio ambiente. O percolado é composto pelo líquido que entra na massa de resíduos, proveniente de fontes externas, tais como sistema de drenagem superficial, chuvas, lençóis freáticos, nascentes e aqueles resultantes da decomposição dos resíduos sólidos (lixiviado).

Conforme Ehrig (1992) e Lechner (1994), o volume de percolado produzido em aterros sanitários, aterros controlados ou lixões depende dos seguintes fatores:

- precipitação e evapotranspiração na área do aterro;
- escoamento superficial;
- infiltração subterrânea;
- umidade natural da massa de resíduos;
- grau de compactação dos resíduos;
- capacidade de retenção de umidade na massa de resíduo.

Segundo Fiúza (2000), a qualidade da operação de um aterro interfere na quantidade de chorume produzido. O cuidado operacional com o recobrimento adequado pode, decididamente, diminuir a quantidade de chorume a ser gerado, mesmo nas condições de chuvas intensas.

Segundo Oliveira & Pasqual, (2000), os resíduos sólidos, inicialmente agem como uma esponja, absorvendo água, até que o material atinja um teor de umidade, conhecida como capacidade de

retenção. Qualquer acréscimo de água adicional resulta na percolação de igual quantidade da massa, carreando substâncias solúveis e nocivas presentes na massa de resíduos.

Entretanto Schalch, (1984) apud Oliveira & Pasqual, (2000), comentam que, devido à heterogeneidade da massa de resíduos, a percolação poderá se formar antes que a capacidade de retenção seja atingida, pois alguns dos canais da massa de resíduos podem não absorver no instante a água. O mesmo trabalho ainda faz referência que a absorção do lixiviado é variável e depende das características do subsolo.

A estimativa do percolado gerado em um aterro sanitário é uma tarefa importante para o dimensionamento adequado de um sistema de tratamento. Yuen (1999) apresenta a revisão dos principais modelos de balanço hídrico que estão registrados na literatura.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a aplicação de modelos de balanço hídrico na estimativa do volume de percolado gerado em um aterro sanitário controlado.

2 - MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Aterro Sanitário Controlado da Caturrita, situado no município de Santa Maria, RS, Brasil. O aterro está localizado a 7 km do centro da cidade, estando em atividade há cerca de 20 anos e recebendo atualmente em torno de 150 toneladas/dia de resíduos sólidos urbanos. O sistema de disposição final de resíduos possui uma área total de 374.435 m². Entretanto, a área do aterro controlado é de apenas 37.429 m², como apresentada na Figura 1.

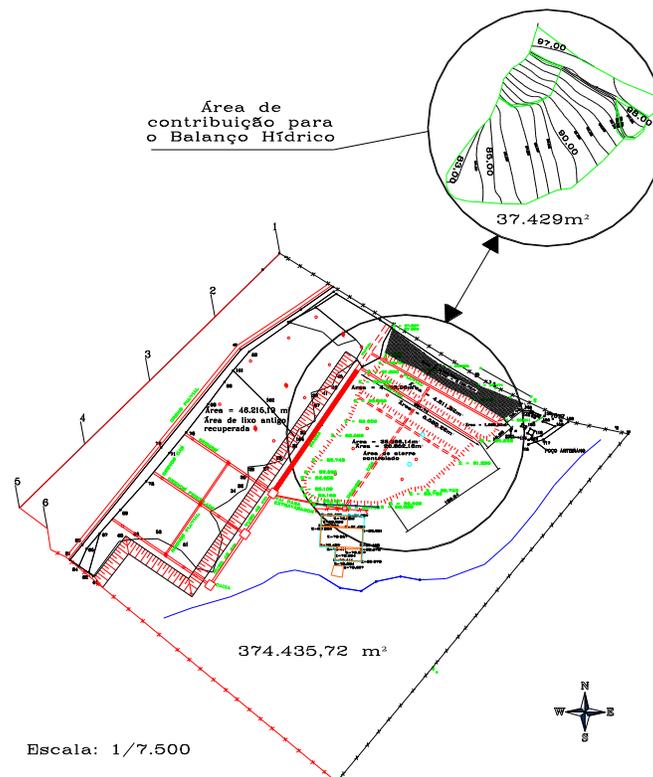


Figura 1 – Aterro da Caturrita com sua área total e sua área de contribuição para o balanço hídrico.

A estimativa do percolado foi realizada através dos métodos Suíço, Racional e Balanço Hídrico, com séries históricas longas e curtas. As séries longas consistem em dados de precipitações de 34 anos e dados de evapotranspiração de 29 anos. As séries curtas contemplaram os dados de precipitação e evapotranspiração durante o período de monitoramento, ou seja, entre maio de 2004 e abril de 2005.

As séries longas compreendem dados mensais de precipitação entre o período de 1970 a 2004, obtidos da estação meteorológica da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária – FEPAGRO-Florestas, Distrito de Boca do Monte, Santa Maria, RS. Os dados de Evapotranspiração foram obtidos da Embrapa compreendidos entre 1961 e 1990 (EMBRAPA, 2004). Para as séries curtas utilizaram-se dados da FEPAGRO entre maio e dezembro de 2004 e do INMET entre janeiro e abril de 2005 (INMET, 2005). Ambas as séries utilizam médias mensais para os históricos de dados.

Para aferir os dados estimados de vazão pelos métodos simplificados, foram realizadas medições esporádicas de vazões entre maio e agosto de 2004, enquanto a partir de setembro de 2004 foram realizadas duas medições diárias de vazão, uma pela manhã outra à tarde. As medições foram realizadas na saída do sistema de tratamento do percolado drenado do aterro. As medições foram realizadas em uma calha Parshall de 2 polegadas, em fibra de vidro. Fazia-se à leitura da lâmina de água em centímetros e posteriormente convertia-se em vazão através da curva de calibração da calha.

A seguir são apresentadas as descrições para utilização dos métodos empíricos na estimativa do volume de percolado gerado.

2.1 - Método do Balanço Hídrico

Este método permite estimar o percolado baseado em um fluxo unidimensional, na conservação de massa, e nas características de transmissão e retenção da cobertura do solo, como apresentado na equação 1.

$$P + U_w = E + G + L + R + \Delta U_w + \Delta U_s \quad (1)$$

onde:

P = Precipitação;

U_w = umidade do resíduo (contribui apenas uma vez no balanço hídrico);

E = Evaporação;

G = Vapor d'água que sai com os gases;

L = Água que sai como percolado;

R = Escoamento superficial (runoff);

ΔU_w = Água absorvida ou retida pelo lixo;

ΔU_s = Água absorvida ou retida pela camada de cobertura.

A precipitação e a evaporação podem ser obtidas com boletins meteorológicos. Enquanto que o escoamento superficial, a infiltração e o armazenamento são obtidos empiricamente com o auxílio de tabelas.

2.2 - Método Racional

O cálculo da vazão superficial por este método baseia-se em três parâmetros: área da bacia de contribuição; intensidade e duração das chuvas e o coeficiente de escoamento, conforme Equação 2 abaixo:

$$Q = C.i.A \quad (2)$$

onde:

Q = vazão superficial máxima (L/s ou m³/s);

C = coeficiente de escoamento ou "runoff", relação entre o pico de vazão e a chuva média sobre a área receptora;

i = intensidade média da chuva (L ou m³ por ha/s);

A = área da bacia receptora da chuva (ha).

Entretanto, para obter a parcela da precipitação que infiltra, deve-se subtrair o volume total precipitado sobre a área do aterro, do volume escoado, que é calculado pelo método racional, dentro do mesmo intervalo de tempo. Devendo, deste resultado, subtrair a parcela de água devida à evapotranspiração. Tem-se, portanto a fórmula algébrica mostrada na Equação 3.

$$Q = \frac{[(P - ES) - EP]}{t} . A \quad (3)$$

onde:

Q = Vazão do percolado em litros por segundo;

P = Precipitação média mensal, em milímetros;

EP = Evaporação Potencial, em milímetros;

A = Área de contribuição em metros quadrados;

t = Número de segundos em 1 mês (2592000 s);

ES = (P x C) = Escoamento superficial, em milímetros;

C = Coeficiente de escoamento superficial ("run-off", adimensional).

2.3 - Método Suíço

Este é um método de formulação semelhante ao método Racional, entretanto não considera os efeitos da evaporação potencial. A formulação algébrica é mostrada na Equação 4.

$$Q = \frac{(P.A.K)}{t} \quad (4)$$

onde:

Q = Vazão média do percolado em litros por segundo;

P = Precipitação média mensal (mm);

A = Área total do aterro (m²);

t = Número de segundos em 1 mês que é de 2592000 segundos;

K = Coeficiente que depende do grau de compactação dos resíduos sólidos urbanos. Foi considerado para o estudo de Lins & Jucá (2003) K = 0,5.

3 - RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta a síntese das vazões de percolado medidas experimentalmente através da calha Parshall durante o período de monitoramento. Verifica-se o pequeno volume de percolado gerado durante os meses de dezembro/04 a março/05. Estes valores estão certamente associados à menor precipitação e a maior evapotranspiração ocorridas neste período de monitoramento. Ressalta-se que no período de realização do presente estudo verificou-se um comportamento atípico em relação a estes parâmetros, como pode ser observado pela comparação dos valores referentes às séries longas e curtas, apresentados na Tabela 1. A precipitação média anual histórica nesta região é de 1625 mm, entretanto, durante o presente estudo verificou-se uma precipitação anual de 1137 mm.

Tabela 1 – Medidas da vazão de percolado na calha Parshall e valores médios mensais de precipitação e evapotranspiração na área de estudo.

Mês	Vazão média (m ³ /dia)	Percolação (mm)	Precipitação (mm)		Evapotranspiração (mm)	
			Longa	Curta	Longa	Curta
mai/04	48,9	39,2	120	89	46	38
jun/04	31,6	25,4	143	68	28	36
jul/04	46,8	37,5	148	64	31	40
ago/04	77,8	62,4	117	67	38	56
set/04	68,3	54,7	133	79	48	75
out/04	35,7	28,6	153	83	72	111
nov/04	77,9	62,4	127	129	97	121
dez/04	2,3	1,8	125	73	118	157
jan/05	0,0	0,0	145	72	135	160
fev/05	0,0	0,0	123	38	116	102
mar/05	0,0	0,0	142	159	104	115
abr/05	58,7	47,1	149	216	67	63

É importante ressaltar que as medidas experimentais da vazão de percolado trás algumas limitações que podem ter influenciado na vazão real do sistema, dentre as quais:

- O aterro não apresenta impermeabilização lateral, isto é, parte da percolado pode escapar dos limites da área e as lagoas não recebem em totalidade os líquidos percolados;
- Parcela dos percolados podem ser infiltrada na base do aterro pela falha de impermeabilização de fundo;
- A calha Parshall foi instalada na saída do sistema de tratamento de percolado por lagoas de estabilização (3 lagoas). Para corresponder melhor a vazão real, a sua instalação deveria ocupar o ponto afluente, entretanto, no início dos estudos a primeira lagoa recebia dois tributários de drenagem provenientes do aterro, segmentando as vazões;
- Para os meses de dezembro de 2004 a março de 2005 obteve-se vazão nula pela ausência ou insuficiência de circulação entre as lagoas. Este fato pode ser explicado pelo somatório dos efeitos de evaporação nas lagoas adicionado a possível existência de pontos de infiltração na manta, sendo estes superiores a vazão de entrada no sistema no ponto afluente. Em observações durante as coletas verificava-se a presença de vazão afluente entrando na primeira lagoa.

A Tabela 2 apresenta os coeficientes e procedimentos utilizados na estimativa da geração de percolado pelo método do Balanço Hídrico. De maneira semelhante, a Tabela 3 apresenta os parâmetros para a estimativa de percolado pelo método Racional. Para o Método Suíço os coeficientes que foram utilizados estão na Tabela 4, igualmente aos métodos anteriores realizaram-se estimativas para séries históricas longas e curtas.

Tabela 2 - Parâmetros e o respectivo modo de obtenção para o Método do Balanço Hídrico.

PARÂMETROS	MODO DE OBTENÇÃO
Precipitação (P)	Boletins Pluviométricos FEPAGRO (1970 – 2004) ou (maio/2004 – abril/2005)
Evaporação Potencial (EP)	Boletins Hidrometeorológicos EMBRAPA (1961 – 1990) ou (maio/2004 – abril/2005)
Escoamento Superficial (ES = C' x P)	Para C' utilizou-se 0,15 e 0,18 com inclinação de 2 a 7%, para meses secos e úmidos respectivamente, visto que são valores intermediários entre solo Argiloso e Arenoso, pois o solo local é um Silte Argiloso.
Infiltração (I)	Obtido através da subtração da Precipitação pelo Escoamento Superficial.
I – EP	Diferença entre a água que infiltra e a que evapora.
S (NEG (I – EP))	Calculado somando os valores negativos de (I – EP).
Armazenamento de Água no Solo de cobertura (AS)	Foi obtido o valor de 120 mm e o desenvolvimento da seqüência para meses de déficit, conforme tabela da revisão bibliográfica.
Varição no armazenamento de água no solo (ΔAS)	Diferença entre a água armazenada no solo, de um mês para o outro ($\Delta AS = AS_n - AS_{n-1}$).
Evaporação real (ER)	Quando (I – EP) > 0, então ER = EP e quando (I – EP) < 0, então ER = [EP + (I – EP) - ΔAS].
Percolação em mm (PER)	PER = P – ES – AS – ER.
Vazão mensal em m ³ /dia (QM)	QM = ((PER x 37429) / 2592000) * 3,6 * 24

Fonte: (adaptado de Lins, 2003)

Tabela 3 - Parâmetros e o respectivo modo de obtenção para o Método Racional.

PARÂMETROS	MODO DE OBTENÇÃO
Precipitação (P)	Boletins Pluviométricos FEPAGRO (1970 – 2004) ou (maio/2004 – abril/2005)
Evaporação Potencial (EP)	Boletins Hidrometeorológicos EMBRAPA (1961 – 1990) ou (maio/2004 – abril/2005)
Área de contribuição para o Balanço Hídrico (A)	A = 37429m ²
Número de segundos em 1 mês (t)	t = 2592000 segundos
Coefficiente de escoamento superficial (c)	c = 0,4 considerando aterro com cobertura de solo exposto, declividade entre 0 e 5% e textura do solo entre uma areia e um silte argiloso.
Escoamento Superficial (Es = P x c)	Escoamento Superficial em mm, depende da precipitação do mês.
Vazão em m ³ /dia (Q)	Q = {(P - Es - EP) x A} / t x 86,4

Tabela 4 - Parâmetros e o respectivo modo de obtenção para o Método Suíço.

PARÂMETROS	MODO DE OBTENÇÃO
Precipitação (P)	Boletins Pluviométricos FEPAGRO (1970 – 2004) ou (maio/2004 – abril/2005)
Grau de Compactação (K)	K = 0,25, considerando aterro de fracamente a fortemente compactado.
Área de contribuição b. hídrico (A)	A = 37429m ²
Número de segundos em 1 mês (t)	t = 2592000 segundos
Vazão em m ³ /dia (Q)	Q = [(P x A x K) / t] x 86,4

Os coeficientes e parâmetros para utilização dos métodos empíricos foram alocados em planilhas eletrônicas e estimados os valores de percolado referente às séries longas e séries curtas. A Tabela 5 apresenta a síntese dos resultados obtidos e a representação gráfica dos resultados são apresentados nas Figuras 2 e 3.

Tabela 5 - Resultados da estimativa de percolado através dos métodos empíricos para séries longas e curtas e a vazão real medida na calha.

MÊS	Método Racional (m ³ /dia)		Método Suíço (m ³ /dia)		Método B. Hídrico (m ³ /dia)		Medida na Calha (m ³ /dia)
	Longas	Curtas	Longas	Curtas	Longas	Curtas	Real
Jan	0,0	0,0	45,3	22,3	0,0	0,0	0,0
Fev	0,0	0,0	38,3	11,8	0,0	0,0	0,0
Mar	0,0	0,0	44,2	49,6	0,0	0,0	0,0
Abr	27,9	83,1	46,5	67,4	74,4	150,5	58,7
Mai	32,4	19,5	37,4	27,9	65,3	44,0	48,9
Jun	72,2	6,1	44,6	21,2	111,4	24,8	31,6
Jul	71,9	0,0	46,1	19,9	112,4	15,9	46,8
Ago	40,0	0,0	36,4	20,8	72,0	0,0	77,8
Set	39,5	0,0	41,4	24,7	80,9	0,0	68,3
Out	24,3	0,0	47,6	26,0	71,9	0,0	35,7
Nov	0,0	0,0	39,7	40,2	13,8	0,0	77,9
Dez	0,0	0,0	38,9	22,7	0,0	0,0	2,3
Anual	308,2	108,7	506,4	354,5	602,1	235,2	448,0
Erro Médio (%)	31,2	75,7	-13,0	20,9	-34,4	47,5	-

Analisando-se a geração anual de percolados, verifica-se que o método Suíço apresentou o menor erro médio na estimativa para as duas simulações de séries históricas de dados. Entretanto o método Suíço distribui uniformemente suas vazões durante o ano, com isso não se aproxima das curvas de tendências da medida real, prejudicando a qualidade da simulação mês a mês. Para vazões mensais o método Suíço sempre irá estimar geração de percolado, por não considerar importantes variáveis, como a evapotranspiração. O método Racional foi o que apresentou o maior erro para as simulações utilizando-se as séries curtas de dados históricos, apresentado valores nulos para 9 meses do período anual avaliado, nestas condições o método do Balanço Hídrico apresentou valores nulos para 8 meses, demonstrando assim a pouca aplicabilidade destas séries de dados. Para os três métodos empíricos utilizados, as séries curtas de dados históricos sempre apresentaram as piores estimativas de geração de percolados. Todos os três métodos apresentaram valores de geração de percolados inferiores aos valores experimentais. Por outro lado, a utilização das séries longas nas

simulações levou aos menores erros, quando comparados às medidas experimentais de percolado gerado. O método Racional subestima a geração anual de percolado em torno de 31 %. Considerando as limitações apresentadas quanto às medidas experimentais do percolado, acredita-se que os valores superestimados pelos métodos Suíço (21 %) e do Balanço Hídrico (34 %) estejam mais próximos aos valores reais. Ressalta-se ainda que o aterro ainda esta em operação de destinação final de resíduos, o que não é recomendável na aplicação de modelos que simulam geração de percolado.

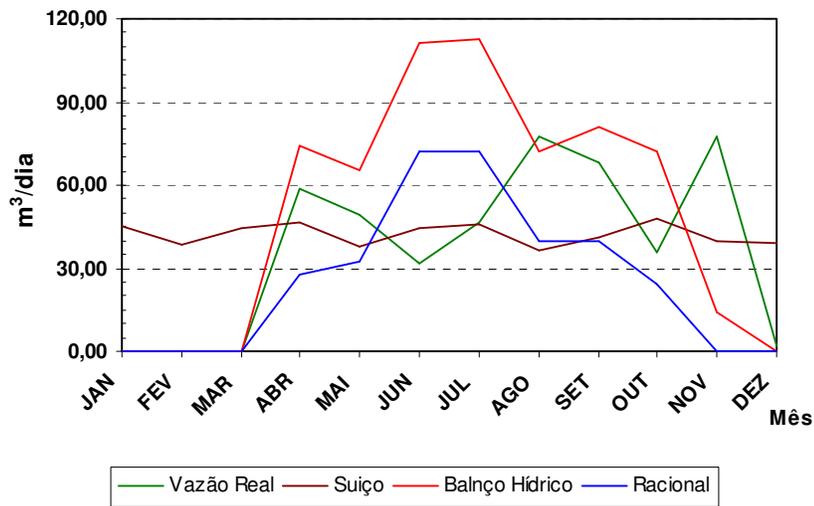


Figura 2 – Comparação dos métodos de estimativa de percolados utilizando-se as séries longas de dados históricos.

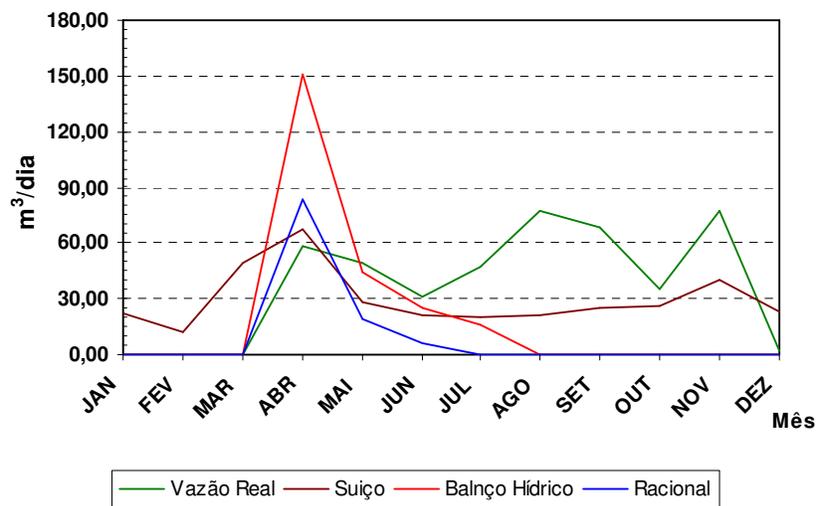


Figura 3 – Comparação dos métodos de estimativa de percolados utilizando-se as séries curtass de dados históricos.

4 - CONCLUSÕES

O método do Balanço Hídrico mostrou-se mais promissor na estimativa de percolados gerados em aterros sanitários, apresentando um erro médio em torno de 34 % acima da vazão real medida através da calha Parshall. As séries longas de dados históricos de precipitação e evapotranspiração foram mais adequadas nas simulações da geração de percolados pelos métodos empíricos utilizados, quando comparadas aos dados restritos ao período de estudo (maio/2004 a abril/2005). O balanço hídrico na área de estudo não apresenta déficit hídrico para séries históricas longas independentemente do mês avaliado. Entretanto, devido à ocorrência de condições meteorológicas atípicas, verificou-se situações de déficit hídrico durante 4 meses do período anual monitorado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio recebido.

BIBLIOGRAFIA

- EMBRAPA (2004). Banco de Dados Climáticos do Brasil. Disponível em: <<http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br/resultados/>>. Acesso em: 08/11/2004.
- EHRIG, H. J. (1992). Cantidad y Contenidos de Lixiviados de Rellenos de Desechos Domésticos, In: Proyecto CEPIS/GTZ Fortalecimiento Técnico de CEPIS, San José, Costa Rica.
- FIÚZA, J. M. S. et alii. (2000). Monitoramento do Chorume do Aterro Centro de Salvador. In Anais do XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 3 a 8 Dezembro de 2000, Porto Alegre, Brasil, CD-Room.
- FNS - Fundação Nacional de Saúde – Ministério da Saúde (1999). Manual de Saneamento, Brasília (Brasil). 3ª edição, FNS, 170pp.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Agrometeorologia (2005). Balanço Hídrico. Disponível em: <http://reia.inmet.gov.br/agrometeorologia/agro_menu.php?opc=4>. Acesso em: 28/03/2005.
- JUCÁ, J. A. T. (2003). A Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil. In Anais do V Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental, 19 a 23 de maio, Porto Alegre (Brasil), CD-Room.
- LECHNER, P. (1994). Water Balance and Leachate Quantity. In: Curso Internacional sobre Diseño y Disposición Final de Residuos Sólidos (Rellenos Sanitarios). Disponível em: <<http://www.resol.com.br>>. Acesso em: 05/09/2003.
- LINS, E. A. M. (2003). A Utilização da Capacidade de Campo na Estimativa do Percolado Gerado no Aterro da Muribeca. Dissertação de Mestrado em Ciências em Engenharia Civil – Universidade Federal de Pernambuco, Recife (Brasil), 142 pp.
- OLIVEIRA, S. DE & PASQUAL, A. (2000). Monitoramento do Lixiviado de Aterro Sanitário. In Anais do XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 03 a 08 de dezembro, Porto Alegre (Brasil), CD-Room.
- YUEN, S. T. S. (1999). Bioreactor Landfills Promoted By Leachate Recirculation: A Full-Scale Study. 1999. 329f. Tese de Doutorado, University of Melbourne, Melbourne, Austrália. Disponível em: <<http://www.civag.unimelb.edu.au/~syu/>>. Acesso em 13/03/2003.