

ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE LIXIVIADOS EM ATERROS SANITÁRIOS

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.

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.

Os resíduos sólidos se decompõem dando origem aos líquidos percolados, que constituem um problema sério relativo à degradação ambiental. Dentro da realidade dos fatos, a questão de maior preocupação é a geração de percolato (lixiviado ou chorume) que é uma mistura de compostos orgânicos e inorgânicos, nas suas formas dissolvidas e coloidais, formado durante a decomposição química dos resíduos, sendo um problema em potencial de contaminação das águas superficiais e principalmente subterrâneas. O percolato, lixiviado ou chorume pode ser caracterizado como a parte líquida da massa de resíduos, que percola através desta, carreando materiais dissolvidos ou suspensos, que constituirão cargas poluidoras ao meio ambiente. O chorume 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.

MÉTODOS EMPÍRICOS

Método do Balanço Hídrico

O método do Balanço Hídrico permite estimar o percolato 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.

$$PER = P - ES - AAS - ER \quad (1)$$

PER = volume de lixiviado, valores médios mensais;

P = índice de precipitação pluviométrica, valores médios mensais;

ES = escoamento superficial

C' = coeficiente de escoamento superficial;

I = infiltração;

AS = armazenamento de água no solo;

AS_c = armazenamento de água na camada de cobertura, representando a quantidade máxima de água armazenada no solo;

AAS = troca de armazenamento de água no solo

ER = evapotranspiração real.

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. A obtenção da estimativa de vazão de percolato e os parâmetros meteorológicos e outros dados utilizados neste método podem ser verificados no Tabela 1, Tabela 2 e Tabela 3:

Tabela 1 - Parâmetros e o respectivo modo de obtenção para o método do Balanço Hídrico.

PARÂMETROS	MODO DE OBTENÇÃO
Precipitação (P)	Boletins Pluviométricos.
Evaporação Potencial (EP)	Boletins Hidrometeorológicos.
Escoamento Superficial (ES)	Valores empíricos tabelados que dependem do tipo de solo e sua declividade ($ES = C' \times P$).
Infiltração (I)	Obtido através da subtração da Precipitação pelo Escoamento Superficial.
$I - EP$ (1)	Diferença entre a água que infiltra e a que evapora.
S (NEG ($I - EP$)) (2)	Calculado somando os valores negativos de ($I - EP$).
Armazenamento de Água no Solo de cobertura (AS) (3)	Multiplicando-se o valor disponível da água p/ cada solo pela espessura deste, quando ($I - EP$) > 0.
	Quando o solo estiver abaixo da capacidade de campo, ($I - EP$) < 0, obtém-se AS empiricamente.
Variação 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 $ER = [EP + (I - EP) - \Delta AS]$.
Percolação em mm (PER)	$PER = P - ES - AS - ER$.
Vazão mensal em L/s (QM)	$QM = (PER \times \text{ÁREA DO ATERRO}) / 2592000$
Observações:	
(1) Um valor negativo deste item indica perda potencial de água no solo e um valor positivo indica uma recarga de água no solo de cobertura. Quando a capacidade de campo do solo é atingida, esta água passará a percolar através da massa de lixo.	
(2) São adicionados os valores negativos de ($I - EP$) a partir do último mês que apresente valor positivo deste parâmetro.	
(3) Quantidade de água que pode ser retida no solo e que influencia no fluxo de percolado. Depende basicamente do tipo, estrutura, capacidade de campo e profundidade do solo.	

Fonte: (Adaptado de Fenn *et alii*, 1975, *apud* Neto *et alii*, 1999).

Tabela 2 – Coeficiente de escoamento superficial (C') para aplicação do método do Balanço Hídrico.

Tipo de Solo	Declividade	Coeficiente C'	
		Estação Seca	Estação Úmida
Arenoso	0 a 2%	0,05	0,10
	2 a 7%	0,10	0,15
Argiloso	0 a 2%	0,18	0,17
	2 a 7%	0,18	0,22

Fonte: (Fenn *et alii*, 1975, *apud* Neto *et alii*, 1999)

Tabela 3 – Umidade do solo (mm de água/m de profundidade de solo).

Tipo de Solo	Capacidade de Campo (mm/m)	Ponto de Murchamento (mm/m)	Água Disponível (mm/m)
Arenoso	200	50	150
Siltoso	300	100	200
Argiloso	375	125	250

Fonte: (Fenn *et alii*, 1975, *apud* Neto *et alii*, 1999)

Método Racional

Segundo Wilken (1978) *apud* Castro (2001) e citado por Lins (2003), 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:

$$Q = C.i.A \quad \text{equação (2)}$$

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 evapotranspirada. Tem-se, portanto a fórmula algébrica mostrada na Equação 3.

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

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). Considerar C = 0,4.

Método Suíço

Este é um método de formulação semelhante ao Método Racional, entretanto não considera os efeitos da evaporação potencial. Segundo Neto *et alii*. (1999), é um método bem simples, mas deixa a desejar no que diz respeito à precisão.

Conforme Orth (1981), *apud* Neto *et alii*, (1999), a fórmula algébrica para a aplicação do método suíço, onde se estima a vazão de percolado é mostrada na Equação 4, e na Tabela 4 os valores de K para aplicação do método.

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

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.

Tabela 4 - Valores de K para aplicação no Método Suíço.

Tipo de Aterro	Peso Específico do Lixo	K
Aterros Fracamente Compactados	0,4 a 0,7 ton/m ³	0,25 a 0,50
Aterros Fortemente Compactados	Acima de 0,7 ton/m ³	0,15 a 0,25

Fonte: (Orth, 1981, *apud* Neto *et alii*, 1999).

ESTUDO DE CASO – ATERRO CONTROLADO DA CATURRITA – SANTA MARIA - RS

Considere o Aterro Sanitário Controlado da Caturrita, situado no município de Santa Maria – RS. O aterro está localizado a 7 km do centro da cidade, estando em atividade há cerca de 20 anos, recebendo em média 150 toneladas de resíduos sólidos urbanos por dia. O aterro possui uma área total de 374.435 m² e sua área de contribuição para o balanço hídrico de 37.429 m². A tabela 1 apresenta as medidas experimentais de vazão de lixiviado durante o período de maio/2004 a abril/2005 e a tabela 2 são apresentados os Boletins Pluviométricos FEPAGRO (1970 – 2004) e Boletins Hidrometeorológicos EMBRAPA (1961 – 1990). **Estimar a geração de percolado através dos 3 métodos empíricos e apresentar uma comparação e análise dos resultados obtidos.**

Tabela 1 - Vazão medida na calha Parshall, quantidade de amostragens e percolação para os respectivos meses.

Mês	Vazão Média Medida na Calha (m ³ /dia)	Percolação (mm)
mai/04	48,9	39,2
jun/04	31,6	25,4
jul/04	46,8	37,5
ago/04	77,8	62,4
set/04	68,3	54,7
out/04	35,7	28,6
nov/04	77,9	62,4
dez/04	2,3	1,8
jan/05	0,0	0,0
fev/05	0,0	0,0
mar/05	0,0	0,0
abr/05	58,7	47,1

Tabela 1 – Dados de Precipitação e Evapotranspiração a serem considerados para estimativa de lixiviado.

Mes	Séries longas		Séries curtas	
	Precipitação (mm)	Evapotranspiração Potencial - (mm)	Precipitação (mm)	Evapotranspiração Potencial - (mm)
Jan	145	135	72	160
Fev	123	116	38	102
Mar	142	104	159	115
Abr	149	67	216	63
Mai	120	46	89	38
Jun	143	28	68	36
Jul	148	31	64	40
Ago	117	38	67	56
Set	133	48	79	75
Out	153	72	83	111
Nov	127	97	129	121
dez	125	118	73	157