

## **NOTA TÉCNICA**

### **PRODUÇÃO DE PERCOLADO POR RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DE DIFERENTES IDADES, NA PRESENÇA DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E SOB RECIRCULAÇÃO**

André Luciano de Carvalho<sup>1</sup>, Antonio Teixeira de Matos<sup>2</sup>, Paulo José Hamakawa<sup>3</sup>,  
Roberto Francisco de Azevedo<sup>4</sup>

#### **RESUMO**

Com a realização desta pesquisa, objetivou-se quantificar a produção de efluentes em colunas de resíduos sólidos urbanos (RSU) de diferentes idades, contendo ou não uma camada de 0,30 m de resíduo de construção civil (RCC) em sua base, submetidas à recirculação do percolado produzido. As colunas foram formadas por RSU novo (RSU recém coletado) sem RCC (CNSE); RSU maduro (RSU aterrado por 3 anos) sem RCC (CMSE); RSU velho (RSU aterrado por 13 anos) sem RCC (CVSE); RSU novo com RCC (CNCE); RSU maduro com RCC (CMCE) e RSU velho com RCC (CVCE), sendo o RSU acondicionado, seqüencialmente, em camadas de 0,15 m de espessura, e comprimido de forma a estabelecer um peso específico de 7 kN.m<sup>-3</sup>. O tratamento foi estabelecido da seguinte forma: as colunas CNSE e CNCE não receberam percolado, servindo somente como produtores, para recirculação do líquido nas colunas CVSE e CVCE. Por sua vez, as colunas CMSE e CMCE receberam, por recirculação, o próprio efluente. A produção de percolado nas colunas com camada de RCC foi menor que aquela obtida nas colunas que não a continha. As colunas preenchidas com RSU velho (CVSE e CVCE), mesmo recebendo percolado por recirculação, foram as que produziram as menores lâminas de percolado, sendo essa produção menos dependente da precipitação de chuva do que a quantificada em colunas constituídas por RSU novo e maduro.

**Palavras-chave:** recirculação, chorume, lixo urbano

#### **ABSTRACT**

##### **Percolate production for urban solid residues of different ages, in the presence of residues of the building demolition and under recirculation**

The present work was carried out in order to quantify the effluent production in columns of the different ages urban solid residues (RSU), containing or not a 0.30 m layer of residue from building demolition (RCC) on the base, and submitted to recirculation of the produced percolate. The columns were formed by; new RSU (recently collected) without RCC (CNSE); mature RSU (RSU aged 3 years) without RCC (CMSE); old RSU (RSU aged 13 years) without RCC (CVSE); new RSU with RCC (CNCE); mature RSU with RCC (CMCE) and old RSU with RCC (CVCE). The RSU was sequentially conditioned under layers of 0,15 m and 7 kN.m<sup>-3</sup> density. The treatment was established as follows: the columns CNSE and CNCE receive no percolate, serving only as producers for recirculation of the liquid the columns CVSE and CVCE. The columns CMSE and CMCE received their own effluent. The percolate production in the RCC-layered columns was lower than that obtained in the columns without RCC. The columns filled with old RSU (CVSE and CVCE) produced the lowest percolate sheets, and this production was less dependent from rain precipitation than the one quantified in columns constituted by new and mature RSU.

**Keywords:** recirculation, landfill leachates, urban residues

<sup>1</sup> Engenheiro Civil, DS em Engenharia Agrícola, Consultor da Fundação Estadual do Meio Ambiente, Belo Horizonte, MG; Professor da UNIPAC; e-mail: andreluciano2001@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Engenheiro Agrícola, DS em Solos e Nutrição de Plantas, Professor do Departamento de Eng. Agrícola, UFV; Fone: (31) 38991886; e-mail: atmatos@ufv.br

<sup>3</sup> Eng. Agrônomo, DS em Eng. Agrícola, Professor do Departamento de Engenharia Agrícola, UFV; e-mail: hamakawa@ufv.br

<sup>4</sup> Engenheiro Civil, PhD em Engenharia Civil, Professor do Departamento de Eng. Civil, UFV, e-mail: razevedo@ufv.br

## INTRODUÇÃO

A gestão e a destinação final do resíduo sólido urbano (RSU), comumente denominado como lixo, constitui um dos grandes problemas a ser enfrentado pela humanidade. No Brasil, este é um problema de grande dimensão, ante o grande volume gerado e a forma, na maior parte das vezes, inadequada em que o resíduo tem sido gerenciado e disposto.

Somente o aterramento não resolve o problema do RSU, uma vez que parte dos resíduos aterrados dão origem a um líquido de coloração escura, altamente poluidor, comumente denominado chorume (Orth, 1981). Segundo Quian et al. (2002), percolados em aterros sanitários são líquidos contaminados que contêm materiais dissolvidos e suspensos. É gerado como resultado da expulsão de líquido do resíduo, devido a seu próprio peso ou à carga de compactação (denominado percolado primário) e a percolação de água através do aterro (denominado percolado secundário). A fonte de água de percolação pode ser a precipitação, irrigação, águas subterrâneas ou percolados recirculados através do aterro.

A precipitação é o fator de maior influência na produção de percolados em aterros sanitários, sendo obtidas altas produções em períodos chuvosos e baixas em períodos mais secos. Chuvas com baixa intensidade, porém prolongadas, proporcionam maior produção de percolados do que as rápidas, com alta intensidade (Quian et al., 2002).

O percolado produzido é um dos fatores de maior limitação para a disposição de resíduos orgânicos sobre o solo, uma vez que sua migração, desde a superfície do terreno até o lençol freático, pode transportar uma série de compostos químicos e agentes biológicos, poluindo, conseqüentemente, os mananciais de águas superficiais ou subterrâneas.

Em um projeto de aterro sanitário, deve ser contemplada, necessariamente, a instalação de rede de drenagem para o percolado e para os gases gerados nas células de lixo. O percolado coletado deve ser tratado para que possa ser lançado em corpo hídrico receptor e os gases queimados ou aproveitados como fonte de

energia para minimizar a contaminação atmosférica.

O dimensionamento do sistema de tratamento deve estar baseado na vazão e concentração de material orgânico e outros poluentes no percolado. Entretanto, o tratamento do percolado é, ainda, grande desafio na elaboração dos projetos de aterros sanitários, uma vez que suas características são alteradas em função da quantidade de água incorporada ao chorume, das características dos resíduos dispostos no aterro e, principalmente, da idade do aterro (Ferreira et al., 2001).

De acordo com a CETESB (1995), um método tecnicamente viável para condicionamento de percolado é a adoção de um sistema que permita a sua recirculação no próprio aterro sanitário. Segundo o IPT/CEMPRE (2000), a recirculação do percolado para o interior do aterro sanitário, de maneira que ele possa percolar através da massa de sólidos disposta em camadas, é uma técnica atual e bastante inovadora no tratamento deste líquido poluidor. Entretanto, muito pouco se sabe sobre a vazão de percolado produzida, notadamente quando o percolado primário é lançado sobre células de lixo de idades diferentes.

A presença de camada de resíduo da construção civil (RCC) na base das pilhas de RSU em aterros pode funcionar como uma barreira "química" para metais pesados presentes no percolado (Souza, 1988). Por essa razão, torna-se importante avaliar a produção de percolados de RSU, quando existe a presença de camada de RCC na base das células.

A estimativa da quantidade de percolado produzida em aterros sanitários tem sido obtida por meio de balanços hidrológicos, que incluem a produção de chorume com a degradação do material orgânico aterrado, a precipitação e evaporação anuais, além das taxas de infiltração e de capacidade de armazenamento de líquido da massa de resíduo.

Com a realização desta pesquisa, objetivou-se quantificar a produção de efluentes em colunas preenchidas com resíduos urbanos de diferentes idades, na presença ou não de uma camada de entulho de construção civil, submetidos à recirculação de líquido percolado.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Área Experimental de Tratamento de Resíduos Urbanos do Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. Para o desenvolvimento das atividades de pesquisa, foram construídas seis colunas para representar células de um aterro sanitário. Cada coluna foi constituída por três manilhas de concreto armado, com 1,00 m de diâmetro interno e 1,00 m de altura, sobrepostas e seladas na junção com argamassa de cimento, formando um cilindro rígido de 3,00 m de altura (Figura 1).

As colunas foram denominadas, conforme a forma como foram preenchidas: CNSE (RSU novo sem RCC); CMSE (RSU maduro sem RCC); CVSE (RSU velho sem RCC); CNCE (RSU novo com RCC); CMCE (RSU maduro com RCC) e CVCE (RSU velho com RCC).

O RSU novo ou recém coletado foi classificado e sua massa foi determinada, sendo o material constituinte assim distribuído no CNSE e CNCE: 14,5% e 15,0% de papel/papelão; 14,5% e 18,8% de plástico fino; 3,0% e 2,8% de plástico duro; 0,5% e 1,2% de PET; 1,8% e 4,3% de vidro; 0,1% e 0,8% de alumínio; 1,8% e 1,5% de metais; 62,8% e 52,4% de material orgânico e 1,0% e 3,2% de outros, respectivamente. Não foi possível proceder à caracterização física e composição gravimétrica do RSU maduro (aterrado durante três anos) e do RSU velho (aterrado durante treze anos), ambos desterrados do lixão do município de Visconde do Rio Branco-MG, a uma profundidade de 3,00 m, devido ao seu adiantado estado de decomposição, dificultando, assim, a identificação dos materiais neles presentes. O resíduo da construção civil (RCC), colocado na base de algumas colunas, foi quebrado e peneirado, para se obter granulometria entre 2 e 10 cm.

Todas as colunas foram preenchidas, inicialmente, com uma camada de

drenagem na base, de 0,10 m espessura, composta por 0,07 m de brita nº 1 e 0,03 m de areia grossa. Sobre a camada de drenagem, as CNCE, CMCE e CVCE receberam uma camada de 0,30 m de espessura de RCC. Acima da camada de drenagem, no caso das colunas que não receberam a camada de RCC, e da camada de RCC, nas colunas que a receberam, foram acondicionadas, seqüencialmente, camadas de RSU, de modo que, após compactadas, alcançassem a espessura de 0,15 m, com peso específico de  $7 \text{ kN.m}^{-3}$ . As camadas de RSU foram sobrepostas até ser atingida a altura de 2,47 m. No topo da camada de RSU, foi colocada, em todas as colunas, uma camada de 0,10 m de brita nº 1 e, sobre ela, uma camada de 0,25 m de areia grossa, a fim de facilitar e homogeneizar a infiltração da água de chuva e do percolado, em caso de sua recirculação nas colunas.

Os percolados produzidos, semanalmente, em cada coluna foram armazenados em recipientes individualizados e específicos, até o momento de sua aplicação quinzenal. A aplicação foi feita com a utilização de regador plástico de 8 L, pela superfície, na camada de areia grossa e brita disposta sobre a massa dos resíduos (Figura 2), garantindo, assim, melhor uniformização do líquido na massa dos mesmos.

O tratamento de recirculação do percolado foi estabelecido da seguinte maneira: a CNSE e a CNCE não receberam percolados, servindo somente de produtores de percolado para recirculação na CVSE e na CVCE, respectivamente. Por sua vez, a CMSE e a CMCE receberam, por recirculação, o próprio efluente. O percolado recirculado nas colunas não foi submetido a pré-tratamento, caracterizando-se o sistema, desta forma, como sendo de recirculação direta.

Os dados de precipitação e de temperatura do ar foram obtidos na Estação Meteorológica de Viçosa-MG.



**Figura 1.** Vista geral das manilhas de concreto usadas na formação das colunas de resíduo sólido urbano



**Figura 2.** Detalhe da forma de aplicação do líquido percolado sobre as colunas de resíduo sólido urbano

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Quadro 1 está apresentado um resumo mensal dos resultados de produção de percolado nas colunas e os dados meteorológicos coletados ao longo do período experimental.

Nos meses de agosto e setembro, a precipitação ocorrida, perfazendo um total de 77,5 mm, foi insuficiente para proporcionar a produção de percolados nas colunas, independentemente da idade do RSU que a preencheu. Só com as

precipitações do mês de outubro (29,8 mm), iniciou-se a produção de percolados nas colunas CNSE, CVSE e CVCE.

Em teoria, percolados só serão produzidos após ter o material igualado ou suplantado o teor de água na capacidade de campo do material. Segundo Fenn et al. (1975), o teor de água de resíduos sólidos urbanos, na capacidade de campo, varia de 0,10 a 0,20  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ . Entretanto, Quian et al. (2002) citam valores em torno de 0,30  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  como sendo os mais próximos aos da capacidade de campo deste material.

Considerando-se que, neste trabalho, o RSU foi submetido à intensiva aplicação de percolados e que havia drenagem livre no sistema, o valor obtido pode ser tomado como sendo o do teor de água na capacidade de campo. Assim, o teor de água no RSU velho, obtido como a média dos valores encontrados em 12 amostras de material, retiradas em diferentes profundidades, foi de  $26,43 \text{ dag kg}^{-1}$ , o que, após as transformações, atinge um valor de  $0,188 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , dentro da faixa apresentada por Fenn et al. (1975) para capacidade de campo do material.

No caso da CVSE e CVCE, a mais rápida produção de percolados pode estar associada ao fato de o RSU velho ser um material que já entrou nas colunas com teor de água mais alto, assim como não apresentar grande quantidade de poros de estagnação de líquido.

A presença de uma camada de RCC nas colunas proporcionou redução na produção de percolados nas colunas, o que pode estar associado ao fato de o material apresentar grande capacidade de armazenamento de água e ter proporcionado diminuição na velocidade de percolação do líquido, atuando como camada de baixa condutividade hidráulica, o que pode ter os deixado expostos à evaporação, no topo das colunas. Suspeita-se que a formação de biofilme na superfície e interstícios do RCC tenha sido a razão principal para esta ocorrência.

Verificou-se diferença acentuada nos valores de lâmina de líquido percolado produzido nas colunas. As colunas preenchidas com RSU velho (CVSE e CVCE), apesar de terem recebido, além da precipitação natural de chuva, os percolados da CNSE e CNCE, respectivamente, foram os que produziram as menores lâminas totais de percolado. A CMSE e a CMCE, receptores da chuva e do próprio percolado, proporcionaram as maiores produções de percolado. As colunas que serviram apenas como geradores de percolados (CNSE e CNCE), não recebendo recirculação de percolados, mas apenas chuva, apresentaram-se em condição intermediária, em termos de produção de percolados.

Expressando a lâmina total coletada no ano em termos de média diária, tem-se, para a CNSE o valor de  $5 \text{ mm dia}^{-1}$  e para a CNCE o valor de  $3,9 \text{ mm dia}^{-1}$ . Bonaparte (1995) obteve

taxa de geração de percolados de até  $0,34 \text{ mm dia}^{-1}$ , durante a fase de enchimento das células de um aterro sanitário, que, após 3 anos do fechamento e cobertura das células, caiu para cerca de  $0,007 \text{ mm dia}^{-1}$ , em local com precipitação média anual  $1.000 \text{ mm ano}^{-1}$ , valores esses bem inferiores aos obtidos neste trabalho. Por outro lado, Quian et al. (2002) relataram uma produção de percolados entre 2 e  $3 \text{ mm dia}^{-1}$  em aterros sanitários de Nova York. As maiores taxas obtidas no presente trabalho são devidas, basicamente, às condições experimentais impostas, que impediam o escoamento superficial e maximizavam a infiltração da água de chuva, uma vez que o material não recebeu selamento superficial.

Na CNSE, a lâmina produzida de chorume (diferença entre o que foi produzido de percolado e a precipitação nesse período) foi de 477 mm, valor este que representa 25,9% da lâmina total de percolado. Baseando-se nas mesmas considerações para cálculo da lâmina de chorume, produzida na coluna CNCE, obtém-se um valor de 68 mm, o que representa 4,7% do total do percolado produzido nessa coluna. Estas diferenças na produção de percolados podem ser atribuídas a dois fatores: a maior evaporação de água do material, conforme já discutido anteriormente; e as diferenças na composição do RSU novo, que continha 62,8% de resíduos orgânicos na CNSE e 52,4% na CNCE.

As colunas contendo RSU mais velho (CVSE e CVCE), mesmo tendo recebido a aplicação dos percolados produzidos nas colunas contendo RSU mais novo (CNSE e CNCE), apresentaram uma produção de percolados muito baixa. Somando-se o valor da precipitação com a lâmina de percolado aplicada, como recirculação, verifica-se que apenas 37,1% da quantidade de líquido aplicada na CVSE e de 36,5% do aplicado na CVCE constituíram percolado drenado nessas colunas. Considerando-se que não houve escoamento superficial e como foram muito pouco prováveis as perdas por vazamentos, em razão da "hermeticidade" das colunas, acredita-se que uma pequena parte deste volume tenha sido armazenada na massa de material, sabidamente de grande capacidade de retenção de água, sendo o restante perdido por evaporação.

As maiores perdas por evaporação nesta coluna podem ser explicadas pela baixa velocidade de percolação do líquido, evidenciada, por exemplo, quando, em determinados períodos, não houve infiltração da lâmina precipitada e nem da lâmina aplicada para recirculação, por ser o material constituinte da CVCE, naturalmente, mais compactado e com baixa macroporosidade. Com a passagem de um líquido rico em material orgânico em suspensão, como é o caso da CNCE, houve selamento dos poros existentes na massa de material, dificultando a percolação do líquido e, assim, favorecendo a evaporação da água. Assim, observa-se no Quadro 1 que, no final do período de experimentação, embora tenha recebido muito pouca água de chuva e percolado, a coluna CVCE continuou a produzir percolado em quantidades significativas.

As grandes lâminas de percolado produzidas nas colunas preenchidas com RSU maduro (CMSE e CMCE) são indicativas de que o material orgânico presente, ainda, apresentava capacidade em produzir chorume, além de pequena capacidade de retenção de água no

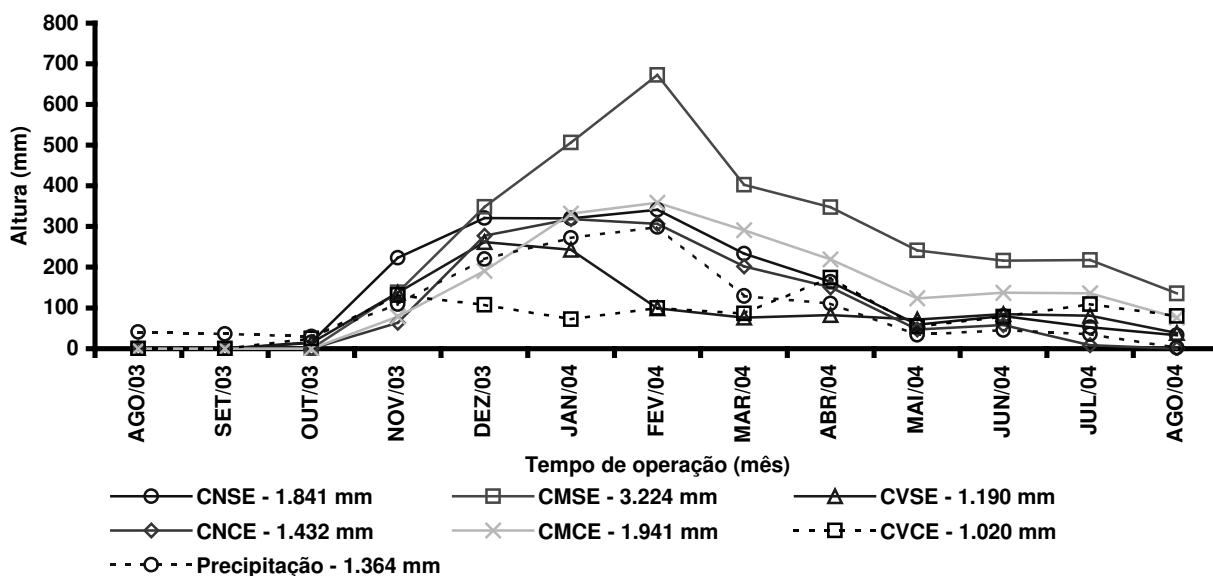
material e pequena evaporação de água do material. As altas velocidades de percolação do líquido na coluna de material, as maiores dentre todas as colunas avaliadas, ao diminuir o tempo de exposição do líquido à evaporação, constituíram fator determinante para esta ocorrência.

Na Figura 3, estão mostradas as curvas com os resultados comparativos da coleta mensal de percolado das colunas, obtidos durante o período de 317 dias de condução do experimento, bem como a precipitação pluviométrica no mesmo período. Observando a figura, verifica-se que as maiores lâminas produzidas de percolado ocorreram no período em que ocorreram as maiores precipitações, ou seja, de novembro de 2003 a abril de 2004. A ausência na produção de percolados no início do período experimental (agosto a outubro), ainda que tenha ocorrido chuva no período, são indicativos de que o material estava com teor de água abaixo da capacidade de campo e que o RSU novo, mesmo sendo muito rico em material orgânico degradável, produz muito pouco chorume, sob condições de baixa disponibilidade hídrica.

**Quadro 1.** Dados meteorológicos e de média mensal de líquido percolado nas colunas

Meses	T <sub>méd</sub> (°C)	Prec. (mm)	CNSE (mm)	CMSE (mm)	CVSE (mm)	CNCE (mm)	CMCE (mm)	CVCE (mm)	Média (mm)
AGO/03	16,28	41,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SET/03	18,44	36,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
OUT/03	19,96	29,80	16,03	0,00	14,04	0,00	0,00	24,87	9,16
NOV/03	20,72	109,80	223,02	137,42	136,93	63,57	79,08	131,43	128,58
DEZ/03	21,72	219,40	320,09	348,41	261,31	277,04	190,85	107,96	250,94
JAN/04	20,95	271,80	319,37	506,46	242,19	318,50	331,50	72,45	298,41
FEV/04	20,99	298,80	341,01	672,75	99,43	306,09	358,05	99,91	312,87
MAR/04	20,73	129,40	233,01	402,22	76,61	201,90	290,55	86,38	215,11
ABRIL/04	20,13	111,20	163,73	347,01	83,02	150,46	218,94	173,96	189,52
MAIO/04	17,76	33,80	58,85	240,71	71,93	46,97	123,99	54,46	99,49
JUN/04	15,50	45,40	80,61	215,96	85,41	57,89	136,73	78,76	109,23
JUL/04	15,31	35,20	52,73	217,54	80,81	8,83	135,54	109,23	100,78
AGO/04	16,47	2,00	32,83	135,61	38,45	0,28	76,15	80,14	60,58
TOTAL ANUAL (mm)		1.364	1.841	3.224	1.190	1.432	1.941	1.020	1.775

Sendo que, a CNSE e a CNCE não receptoras de percolados recirculados, CVSE e CVCE, receptoras, respectivamente, dos percolados produzidos na CNSE e CNCE e o LMSE e a CMCE, foram receptoras, por recirculação, do próprio efluente



**Figura 3.** Produção de percolado nas colunas

A alta velocidade de percolação do líquido na CMSE, talvez devido à formação de algum canal preferencial na massa de resíduos, possivelmente em razão do surgimento de uma rede de poros contínuos, proporcionou surpreendente produção de percolados. A rapidez na passagem do líquido propiciou que ele apresentasse baixo tempo de residência no material contido na CMSE, possibilitando sua rápida disponibilização para nova recirculação, possibilitando, assim, que o líquido fosse recirculado mais vezes, em comparação com o que ocorreu nas outras colunas.

O RSU velho proporcionou, ao longo de quase todo o período de avaliação, mais uniforme produção de percolados, contrabalançando os efeitos da precipitação, claramente mal distribuída no período. Tal fato pode estar associado, dentre outras coisas, à maior estabilidade na retenção de água e da rede de poros presentes no interior do material.

A maior infiltração e, conseqüentemente, maior geração de percolado nas colunas deste experimento do que a normalmente observada em aterros sanitários está associada ao tipo de cobertura usado para

o RSU, que, no presente experimento foi um material arenoso e brita, com maior permeabilidade do que o solo argiloso, que é, normalmente, utilizado como cobertura em aterros sanitários. Entretanto, em aterros sanitários em que se estabeleça a técnica de recirculação de percolados, os valores obtidos podem ser tomados como referência, pois esta técnica pressupõe que ótimas condições para infiltração deverão ser proporcionadas ao líquido em recirculação.

## CONCLUSÕES

Tendo em vista os objetivos propostos nesta pesquisa e os resultados alcançados, algumas conclusões foram obtidas, conforme apresentado a seguir:

- A produção de líquido percolado nas colunas contendo camada de RCC na base (CNCE, CMCE e CVCE) foi menor do que a lâmina de percolado produzido nas colunas sem camada de entulho (CNSE, CMSE e CVSE);

- As colunas preenchidas com RSU velho (CVSE e CVCE), mesmo tendo recebido percolado, por recirculação, produziram as menores lâminas de percolado;

- O RSU contendo 62,76% de resíduos orgânicos produziu 477 mm de chorume, no período de 317 dias, 25,9% da lâmina total de percolado produzido nesta coluna. No RSU que continha 52,43% de resíduos orgânicos, foi produzido 68 mm de chorume, 4,7% do total do percolado produzido nesta coluna;

- A produção de percolados em RSU novo e maduro é mais dependente da precipitação no período do que em RSU velho;

- RSU novo, mesmo sendo muito rico em material orgânico degradável, produz muito pouco chorume, sob condições de baixa disponibilidade hídrica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BONAPARTE, R. Long-term performance of landfills. *Geo Environment*, 2000, New Orleans, 2000, **Proceedings...** New Orleans: ASCE, 2000, p. 514-543. (Special Publication, nº 46)

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL E LIMPEZA PÚBLICA – CETESB. **Caracterização e estudo de tratabilidade de líquidos percolados de aterros sanitários**. São Paulo: CETESB, 1995. 66p.

FENN, D.G.; HANLEY, K.J.; DeGEARE, T.V. **Use of the water balance for predicting leachate concentration from solid waste disposal sites.**, Washington: USEPA, 1975 (EPA/530-SW-168)

FERREIRA, J.A.; GIORDANO, G.; RITTER, E.; ROSSO, T.C.A.; CAMPOS, J.C.; LIMA, P.Z.M. Uma revisão das técnicas de tratamento de chorume e a realidade do Estado do Rio de Janeiro. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21, 2001, João Pessoa. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2001. CD-Rom.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM - CEMPRE. **Lixo municipal. Manual de gerenciamento integrado**. 2. edição. São Paulo: CEMPRE, 2000, 370p.

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

QIAN, X.; KOERNER, R.M.; GRAY, D.H. **Geotechnical aspects of landfill design and construction**. New Jersey: Prentice Hall, 2002. 717p.

SOUZA, H.A. **Estudo da contaminação ambiental na área do aterro sanitário da BR-040, da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (MG)**. Ouro Preto: Departamento de Geologia da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 1998. 147p. (Dissertação de Mestrado)