

---

## PARÂMETROS DE TRANSPORTE DE METAIS PESADOS EM RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Débora Astoni Moreira<sup>1</sup>, Mauro Aparecido Martinez<sup>2</sup>, José Antonio Rodrigues de Souza<sup>3</sup>, Antonio Teixeira de Matos<sup>4</sup>, Rafael Oliveira Batista<sup>5</sup>

### RESUMO

Objetivou-se, com a realização deste trabalho, estudar a influência da idade dos resíduos sólidos urbanos aterrados nos parâmetros de transporte dos metais pesados contidos no percolado produzido por resíduos sólidos urbanos recém coletados (RSU\_Fresco). Nos ensaios, foram utilizados resíduos sólidos urbanos com 15 anos (RSU\_Antigo) e 8 anos (RSU\_Maduro) de aterramento e percolado com concentração média de 0,146 mg L<sup>-1</sup> de Cu, 0,046 mg L<sup>-1</sup> de Cd, 17,2 mg L<sup>-1</sup> de Zn e 0,135 mg L<sup>-1</sup> de Pb. Dentre os resíduos avaliados, o RSU\_Antigo foi o que apresentou maior a capacidade de retenção dos metais. Os fatores de retardamento dos metais pesados nos resíduos estudados (RSU\_Antigo e RSU\_Maduro) seguiram a seguinte seqüência de magnitude: Pb>Cu>Zn>Cd.

**Palavras-chave:** chorume, fator de retardamento, mobilidade de miscíveis.

### ABSTRACT

#### TRANSPORT PARAMETERS OF HEAVY METALS IN LANDFILL RESIDUE

The aim of this work was to study the influence of the age of the buried urban solid residues (RSU) on transport parameters of the heavy metals contained in leachate produced by Fresh RSU. The study was done in the urban solid residues of 15 (RSU\_Old) and 8 years (RSU\_Mature) old dumps and leachate having a mean concentration of 0.146 mg L<sup>-1</sup> of Cu, 0.046 mg L<sup>-1</sup> of Cd, 17.2 mg L<sup>-1</sup> of Zn and 0.135 mg L<sup>-1</sup> of Pb. The data showed that the RSU-old have higher capacity of retaining such metals. The magnitude of retardation factor was Pb>Cu>Zn>Cd.

**Keywords:** landfill leachate, retardation factor, miscible displacement.

---

#### Recebido para publicação em 03/09/2008. Aprovado em 10/06/2009

1 Bacharel em Química, Doutora em Eng. Agrícola, Depto Eng. Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. e-mail: deboraastoni@yahoo.com.br.

2 Eng. Agrônomo, Prof. Titular, DEA/UFV

3 Eng. Agrícola, DS Eng. Agrícola, DEA/UFV

4 Eng. Agrícola, DS. Eng. Agrícola, Prof. Associado, DEA/UFV

5 Eng. Agrícola, DS Eng. Agrícola, DEA/UFV

## INTRODUÇÃO

A alta toxicidade e o caráter cumulativo dos metais pesados têm sido motivos de grande preocupação mundial, proporcionando o aumento significativo de trabalhos que objetivem desenvolver tecnologias para remoção destas substâncias potencialmente nocivas ao meio ambiente.

Dentre as alternativas tecnológicas para disposição de resíduos sólidos urbanos (RSU), o aterro sanitário ainda é a técnica mais utilizada (LEAHY e SHREVE, 2000), pois, apresenta menor custo para comunidades com poucos recursos financeiros e humanos (D'ALMEIDA e VILHENA, 2000).

A disposição do percolado (chorume + água de chuva infiltrada) produzido em aterros sanitários é considerada, ainda hoje, um dos principais problemas ambientais gerados nessa atividade, em virtude das altas concentrações de matéria orgânica e de metais pesados que essa água residuária contém. A disposição inadequada do percolado pode proporcionar significativa contaminação do solo e água.

A recirculação do percolado em células de RSU, no interior de aterros sanitários, tem sido apontada como técnica de grande viabilidade no tratamento de percolado, ocorrendo, nesse caso, rápido declínio no potencial poluidor do líquido, além de acelerar a estabilização do resíduo sólido urbano aterrado (CARVALHO et al., 2006 e GUIDOLINI et al., 2005).

A mobilidade dos íons no meio poroso pode ser avaliada por meio de técnicas baseadas em deslocamento de fluidos miscíveis e recursos computacionais. A determinação do fator de retardamento (R) pode ser feita, indiretamente, por meio de realização de ensaios de adsorção “em lote”, obtendo-se as isotermas de adsorção, ou, diretamente, a partir de análise da curva de efluente, obtidas em colunas de lixiviação (MATOS, 1995). Para Valocchi (1984) o fator de retardamento representa a defasagem entre a velocidade de avanço do soluto e a velocidade de avanço da frente de molhamento da solução percolante.

Assim, objetivou-se, com a realização deste trabalho, determinar os fatores de retardamento e o coeficiente dispersivo-difusivo dos metais Cu, Cd, Pb e Zn em resíduos sólidos urbanos.

O experimento foi conduzido no Laboratório de Solo e Resíduos Sólidos, do Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG.

O resíduo sólido urbano aterrado foi coletado no lixão da cidade de Visconde do Rio Branco, MG, sendo coletadas amostras de RSU enterrado há 8 anos (RSU\_Maduro) e 15 anos (RSU\_Antigo). O material coletado foi submetido a peneiramento, para separação das frações menores que 2 mm. O percolado de resíduo sólido urbano recém coletado (RSU\_Fresco) foi produzido, utilizando-se uma caixa de fibra de vidro, com capacidade de 10.000 L, a qual foi preenchida com RSU, coletado na cidade de Viçosa, MG.

Para avaliação da capacidade do material orgânico (RSU\_Maduro e RSU\_Antigo) em reter os metais contidos no percolado gerado por RSU\_Fresco, foi adotada a metodologia de ensaios de mobilidade em colunas de lixiviação, apresentada por Matos (1995).

Na confecção das colunas de lixiviação foram utilizados tubos de PVC com 4,7 cm de diâmetro e 20,0 cm de comprimento, cujas paredes internas foram cobertas com uma mistura de cola e areia, a fim de impedir o escoamento preferencial, neste local. Na extremidade inferior das colunas, foram dispostos um disco de lã de vidro e uma tela plástica, para impedir a perda de material sólido. Cada coluna foi preenchida com um único tipo de resíduo avaliado. Este preenchimento foi realizado, com auxílio de um funil de haste longa, formando-se camadas de dois centímetros de espessura, que foram compactadas, utilizando-se um êmbolo de menor diâmetro, colocadas de forma sucessiva até a coluna de material atingir 15 cm de altura. Desta forma, procurou-se proporcionar a mesma massa específica quantificada utilizando-se o método da proveta, obtendo-se uma coluna homogênea e evitando a ocorrência de fluxo preferencial dentro da coluna de resíduo. Sobre a coluna de resíduos, foi disposto um disco de lã de vidro, de modo a evitar turbilhonamento do percolado e formação de selamento da superfície do mesmo.

As colunas de resíduos foram saturadas com água deionizada, promovendo-se, assim, a expulsão de bolhas de ar que pudessem obstruir o fluxo da solução nos poros.

Essa saturação foi feita por capilaridade, colocando-se as colunas dentro de um recipiente contendo água, cujo nível era de, no mínimo, dois terços da altura da coluna de resíduos (FERREIRA, 1987), por um período de 72 horas.

Após a saturação, as colunas foram acondicionadas em

estruturas de madeira, para sua sustentação, iniciando-se, então, a aplicação de água deionizada, com o auxílio de frascos de Mariotte. Após a infiltração de toda a água deionizada, que se encontrava sobre a coluna de resíduos, iniciou-se a aplicação de percolado (Figura 1).



**Figura 1.** Sistema montado para estudo da remoção de metais em colunas de lixiviação.

O sistema foi montado de modo a aplicar, simultaneamente para um mesmo resíduo avaliado, água deionizada (testemunha) e percolado nas concentrações de metais pesados, de 146 mg L<sup>-1</sup> de Cu, 0,046 mg L<sup>-1</sup> de Cd, 17,2 mg L<sup>-1</sup> de Zn e 0,135 mg L<sup>-1</sup> de Pb, além de concentrações equivalentes a 5 e a 25 vezes esses valores. O experimento foi montado e conduzido, por três vezes, para cada resíduo avaliado. Para obtenção das curvas de eluição, os efluentes foram coletados em frascos de numeração seqüenciada e volumes conhecidos, para que se pudesse acompanhar a variação na concentração dos metais e do volume do efluente, até a obtenção de no mínimo 15 volumes de poros (VP) (MATOS et al., 1999).

O volume de poros foi calculado empregando-se a Equação 1.

$$V_p = \alpha V = \pi r^2 h \left( 1 - \frac{\rho_s}{\rho_p} \right) \quad (1)$$

em que,

$V_p$  = volume de poros, cm<sup>3</sup>;

$V$  = volume da coluna de resíduo, cm<sup>3</sup>;

$\alpha$  = porosidade, cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>;

$r$  = raio interno da coluna, cm;

$h$  = espessura da coluna de resíduo, cm;

$\rho_s$  = massa específica do resíduo, g cm<sup>-3</sup>; e

$\rho_p$  = massa específica das partículas do resíduo, g cm<sup>-3</sup>.

Nos efluentes, foram determinadas as concentrações de Cu, Cd, Zn e Pb, por espectrofotometria de absorção atômica, e os valores das concentrações médias foram relacionados ao do volume total de efluente drenado. De posse da correlação entre os dados de concentração relativa  $C/C_0$  (relação entre a concentração do metal no efluente e a concentração no percolado aplicado) e o volume de poros, além do fluxo, massa específica do resíduo, teor de água e comprimento da coluna, determinaram-se os fatores de retardamento ( $R$ ) e o coeficiente dispersivo-difusivo ( $D$ ), por meio do programa computacional DISP 1.1 (BORGES JUNIOR e FERREIRA, 2006).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo Nielsen e Biggar (1962), as curvas de eluição são importantes para se estudar o transporte de solutos em meios porosos, uma vez que a obtenção do fator de retardamento e coeficiente de dispersão-difusão são parâmetros importantes para a modelagem matemática do transporte de poluentes em meios porosos. O formato da curva deslocada para direita (maiores valores do fator de retardamento) é indicativo da existência de interação solo-soluto, resultando em retenção do metal por quaisquer dos mecanismos: adsorção ao complexo de troca, adsorção

específica e precipitação.

No experimento de mobilidade de metais foram necessários, em média, quatro dias de coleta ininterrupta de efluentes, por repetição, para que todo o líquido contido no frasco de Mariotte, de 5 L de volume, percolasse nas colunas de lixiviação, devido a baixa permeabilidade apresentada pelos RSUs ao percolado.

Nas colunas de lixiviação contendo RSUs foram utilizados água deionizada, percolado contendo concentrações médias de Pb, Cu, Cd e Zn, 5 e 25 vezes

estas concentrações. Em virtude da alta concentração de cloreto no percolado (450 mg.L<sup>-1</sup>), ao adicionar chumbo ocorria a sua precipitação na forma de cloreto de chumbo (PbCl<sub>2</sub>), sendo, portanto, necessário adicionar Pb em excesso de modo a conseguir concentração de Pb igual a 0,135 mg L<sup>-1</sup>.

No Quadro 1 estão apresentados os valores do número de Peclet, do fator de retardamento e coeficientes de dispersão-difusão do cádmio, chumbo, cobre e zinco para o RSU\_Antigo e RSU\_Maduro.

**Quadro 1.** Valores médios do número de Peclet, fator de retardamento (R) e coeficiente de dispersão-difusão (D.(cm<sup>2</sup>).h<sup>-1</sup>) do cádmio, chumbo, cobre e zinco para o RSU\_Antigo e RSU\_Maduro

Material	Percolado*	Metais											
		Pb			Cu			Zn			Cd		
		Peclet	R	D	Peclet	R	D	Peclet	R	D	Peclet	R	D
RSU_Antigo	1	13,55	16,30	9,79	14,14	12,43	9,38	17,69	10,60	7,49	20,91	8,34	6,40
	2	14,46	10,75	7,41	13,72	7,56	7,81	15,27	7,07	7,01	15,57	5,41	6,88
	3	17,45	8,39	7,44	18,32	6,90	7,09	18,97	4,82	6,85	20,12	2,05	6,42
RSU_Maduro	1	13,93	14,37	9,37	15,45	8,53	8,45	12,94	7,16	10,08	17,95	5,22	7,27
	2	16,25	9,28	7,23	18,29	7,14	7,94	16,21	5,67	8,96	20,48	2,88	7,09
	3	19,62	6,72	7,14	20,29	5,89	6,90	18,12	4,80	7,73	20,17	2,02	4,97

6

No Quadro 1, pode-se observar que, para todos os resíduos e, nas três concentrações estudadas, o chumbo e o cobre apresentaram maiores valores do fator de retardamento do que o cádmio e zinco. Resultado semelhante foi obtido por Matos (1995), que também encontrou maior interação do cobre e chumbo em solo, que as obtidas para o cádmio e zinco.

O chumbo foi o metal que apresentou maior interação com os RSUs, nas três concentrações estudadas, o que pode ser verificado pelo maior valor do fator de retardamento, quando comparados aos obtidos para os demais metais estudados. Para Nielsen e Biggar (1962), maiores valores do fator de retardamento representam maior interação entre o soluto e o solo.

Os valores de retenção para os RSUs foram superiores àqueles obtidos por Carvalho (2001) e Lange et al. (2002), porém, inferiores aos obtidos Chalermyanont et al. (2008),

que estudaram adsorção destes metais em solo de área de disposição de resíduos sólidos urbanos.

A seqüência de retenção, para os RSUs, nas três concentrações, foi Pb>Cu>Zn>Cd. Seqüência semelhante foi obtida por Carvalho (2001), Lange et al. (2002) e Chalermyanont et al. (2008).

Considerando as concentrações dos metais cádmio, chumbo, cobre e zinco no fluido deslocador (Quadro 1), verificam-se maiores valores do fator retardamento nas menores concentrações, em virtude da menor disputa pelos sítios de troca disponíveis. Para Elbachá (1989), o aumento na concentração dos metais na solução provoca aumento da velocidade de reação, fazendo com que elas ocorram num menor intervalo de tempo, esgotando mais rapidamente a capacidade reativa do material poroso.

Os valores do fator de retardamento indicam que o RSU\_Antigo apresentou maior capacidade em reter metais

6 \*Percolado com concentração médias dos metais (1), 5 vezes a concentração média destes metais no percolado (2) e 25 vezes a concentração média destes metais no percolado (3)

pesados que o RSU\_Maduro, uma vez que este parâmetro expressa indiretamente a capacidade do resíduo em reter íons. Este fato confirma os resultados obtidos nos ensaios de determinação da capacidade máxima de adsorção, indicando, portanto, que é recomendável a recirculação do percolado coletado em células de RSU\_Fresco em células mais antigas do aterro sanitário.

O número de Peclet (P) é um parâmetro que ajuda na determinação do tipo de transporte predominante. Segundo classificação proposta por Sun (1995), os RSUs, nas três concentrações, apresentaram como processo predominante de transporte a dispersão mecânica, uma vez que P foi superior a 10 e inferior a 100.

Assim, em RSU\_Antigo, onde há maior quantidade de matéria orgânica estabilizada, ocorre menor permeabilidade e conseqüente velocidade de avanço do percolado menor, havendo maior tempo de contato dos cátions com os sítios de adsorção, resultando numa maior remoção dos metais.

## CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste experimento, conclui-se que:

- Nos resíduos estudados (RSU\_Antigo, RSU\_Maduro), os fatores de retardamento seguiu a seguinte seqüência  $Pb > Cu > Zn > Cd$ ;
- O RSU\_Antigo apresentou maior capacidade de retenção dos metais do percolado de aterro sanitário.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORGES JÚNIOR, J.C.F.; FERREIRA, P.A. Equações e programa computacional para cálculo do transporte de solutos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.3, p.604–611, 2006.

CARVALHO, A.L. **Contaminação de águas subsuperficiais em área de disposição de resíduos sólidos urbanos – o caso do antigo lixão de Viçosa (MG)**. Viçosa, MG: UFV, 2001. 147p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CARVALHO, A.L.; MATOS, A.T.; HAMAKAWA, P.J.; AZEVEDO, R.F. Produção de percolado por resíduos sólidos urbanos de diferentes idades, na presença de resíduos da construção civil e sob recirculação. **Revista Engenharia na Agricultura**, v.14, n. 2, p.131-138, 2006.

CHALERMYANONT, T.; ARRYKUL, S.; CHAROENTHAISONG, N. Potential use of lateritic and marine clay soils as landfill liners to retain heavy metals. **Waste Management**, 2008, “no prelo”.

D’ALMEIDA, M.L.O.; VILHENA, A. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**. São Paulo-SP. 2a ed. IPT/CEMPRE, 2000. 370 p.

FERREIRA, P.A. **Drenagem**. Brasília, DF: ABEAS, Curso de Engenharia de Irrigação, 1987. 58p. (Módulo 11).

GUIDOLINI, J.; BARCELLOS, I.; PUGET, F.P.; HALASZ, M.R.T. Arranjos alternativos para o pré-tratamento do chorume do depósito municipal de Aracruz. **Revista Educação e Tecnologia**. v.1, n.1, p.1 – 11, 2005.

LANGE, L.C.; SIMÕES, G.F.; FERREIRA, C.F.A.; COELHO, H.M.G. Estudo do transporte de contaminantes em meios porosos aplicado a aterros de disposição de resíduos sólidos urbanos. In: CASTILHOS JR. A.B.; LANGE, L.C.; GOMES, L.P.; PESSIN, N. (Org.). **Alternativas de Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos para Pequenas Comunidades**. Rio de Janeiro: RIMa/ABES, 2002, v. 1, p. 85-92.

LEAHY, J.G.; SHREVE, G.S. The effect of organic carbon on the sequential reductive dehalogenation of tetrachloroethylene in landfill leachates. **Water Research**, v.34, n.8, p.2390 - 2396, 2000

MATOS, A.T. **Fatores de retardamento e coeficientes de dispersão-difusão do zinco, cádmio, cobre e chumbo em solos do município de Viçosa-MG**. Viçosa, MG: UFV, 1995. 110p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MATOS, A.T.; COSTA, L.M.; FONTES, M.P.F.; MARTINEZ, M.A. Retardation factors and the dispersion-diffusion coefficients of Zn, Cd, Cu, and Pb, in soils from Viçosa-MG, Brazil. **Transactions of ASAE**, v. 42, n.4, p.903-910, 1999.

NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Miscible displacement: III Theoretical considerations. **Soil Science Society of**

**American Proceeding**. Madison, v.26, p.216-221, 1962.

SUN, N.Z. **Mathematical modeling of groundwater pollution**. Geological publishing, Beijing, 1995 377p.

VALOCCHI, A.J. Describing the transport of ion-exchanging contaminants using an effective Kd approach. **Water Resource Research**. Washington, v. 20, n. 4, p.499-503, 1984.