

## DESLOCAMENTO DE METAIS PESADOS EM SOLOS UTILIZADOS PARA DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

JOÃO PAULO CUNHA DE MENEZES<sup>1</sup>, CAMILA MARQUES GENEROSO<sup>2</sup>, RONALDO FIA<sup>3</sup>, LUIZ FERNANDO COUTINHO DE OLIVEIRA<sup>4</sup>,

<sup>1</sup>Biólogo, Doutorando em Recursos Hídricos, bolsista FAPEMIG, Universidade Federal de Lavras (campus Universitário, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000 • Lavras/MG), [jpaulo\\_bio@hotmail.com](mailto:jpaulo_bio@hotmail.com).

<sup>2</sup>Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG.

<sup>3</sup>Engenheiro Agrícola e Ambiental, Docente, Departamento de Engenharia da UFLA, Lavras-MG.

<sup>4</sup>Engenheiro Agrícola, Docente, Departamento de Engenharia da UFLA, Lavras-MG.

Apresentado no  
XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014  
27 a 31 de julho de 2014- Campo Grande- MS, Brasil

**RESUMO:** O conhecimento hidrodispersivo do solo no movimento de elementos traços é de fundamental importância para prevenção e remediação de danos causados ao ambiente. Neste sentido, estudos devem ser desenvolvidos sobre as interações que ocorrem nos solos e as soluções contaminantes. Estudou-se nesse trabalho a mobilidade dos metais Cd e Cu em três áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos do Sul de Minas Gerais. A concentração dos íons no efluente foram analisados empregando-se a metodologia de deslocamento miscível. Os valores mais elevados dos fatores de retardamento ocorreram no solo de Pouso Alegre (PA) e Lavras (L) para os íons Cu e no solo de Campo Belo (CB), para Cd. Os valores dos coeficientes dispersivos-difusivos decresceram no sentido dos solos PA>L>CB, sendo que o maior valor ocorreu no solo PA para o Cd, e o menor no solo CB, para o Cd. Dentre os solos avaliados, o PA foi o que apresentou menor potencialidade com relação à lixiviação dos elementos traços avaliados, sendo o solo de L o de maior vulnerabilidade no que se refere ao potencial de contaminação das águas subterrâneas o que exige um maior controle na disposição de resíduos sólidos contendo elementos traços facilmente solubilizados.

**PALAVRAS-CHAVE:** deslocamento miscível, cobre, cádmio, poluição da água

### DISPLACEMENT OF HEAVY METALS IN SOIL USED FOR MUNICIPAL SOLID WASTE

**ABSTRACT:** The hydro dispersive knowledge of soil in movement of heavy metals is fundamentally important to prevent and remediate environmental damages. Therefore, studies should be developed on interactions that occur in soils and contaminants solutions. Was studied of this work the mobility of Cd and Cu metals in three areas of municipal solid waste. The concentrations of ions in the effluent were analyzed using the miscible displacement methodology. The highest value of retardation factors occurred in the soil located in Pouso Alegre (PA) and Lavras (L) for the Cu ions and in the soil located in Campo Belo (CB) for Cd. The values of dispersive-diffusion coefficients decreased in relation to the soils of PA>L>CB, whereas the highest value occurred in the PA soil for Cd and the lowest in CB soil for Cd. Among these evaluated soils, PA presented the lowest potential in relation to leaching of trace elements evaluated. L soil has the highest vulnerability in terms of potential for groundwater contaminations, which requires a greater control in disposal of solid waste containing easily solubilized trace elements.

**KEYWORDS:** miscible displacements, copper, cadmium, water pollution

**INTRODUÇÃO:** A dificuldade que abrange a questão da disposição final do resíduo sólido urbano, apesar de ser um dos principais pontos relacionados com o saneamento das cidades, na maioria das vezes ainda permanece sem solução. Atualmente, os dados disponíveis no Brasil (IBGE, 2014) indicam que apenas 27,7% das unidades de disposição final de resíduos no Brasil são formas

sanitariamente adequadas de tratamento de resíduos. Vários estudos de poluição das águas subterrâneas mostram que todo lixão provoca algum tipo de poluição; desta forma, é de se presumir que também muitos aterros sanitários, mal construídos, poderão estar alterando a qualidade dos aquíferos (MOREIRA et al., 2009). Deste modo, preocupações como a contaminação do solo e dos recursos hídricos, decorrente da presença de elementos metálicos provenientes da inadequada disposição de RSU, conduzem pesquisadores a direcionar seus objetivos de pesquisa a estes problemas. Portanto, para reduzir o risco potencial de contaminação por compostos nocivos da reação de decomposição desses resíduos ao meio, é necessário conhecer as interações entre os elementos traços e o solo. Em vista do exposto, este trabalho objetivou o estudo da mobilidade dos elementos traços presente no chorume, Cd e Cu, em colunas de solo saturado provenientes de três áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos. A hipótese do estudo baseia-se no fato de que os diferentes tipos de solos são vulneráveis à contaminação das águas subterrâneas.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Para a realização deste trabalho, foram coletadas amostras deformadas de solo em três áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos (RSU) dos municípios de Campo Belo, Lavras e Pouso Alegre, MG. Inicialmente, as amostras de solo foram destorroadas e peneiradas com malha de 2,0 mm de abertura, e posteriormente, secas em estufa a 105°C para obtenção da TFSE (Terra Fina Seca em Estufa) por um período de 48h. Após secagem, as amostras foram armazenadas em sacos de polietileno e, parte foi encaminhada ao Departamento de Ciência do Solo (DCS/UFLA) para a caracterização química e física, segundo as metodologias preconizadas pela EMBRAPA (1979). Os elementos traços empregados neste estudo foram Cd e Cu, empregando-se de soluções previamente preparadas de Cloreto de Cádmio e Sulfato Cúprico. Nos ensaios de mobilidade dos elementos traços no solo, empregou-se a metodologia do deslocamento miscível em colunas de solo, conforme descrito por Oliveira et al. (2010) e Miranda; Duarte (2002). Com os valores dos coeficientes de dispersão hidrodinâmica, velocidades médias da solução deslocadora e do comprimento da coluna de solo, calculou-se o número de Pelet (Pe), permitindo assim, a análise do tipo de fluxo predominante (KORF et al. 2008).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A Tabela 1 apresenta o resumo dos resultados das análises física e química dos solos de disposição de RSUs dos municípios de Campo Belo, Lavras e Pouso Alegre, MG. Observe-se uma alta porcentagem da fração argila correspondente a 60% para o solo do município de Pouso Alegre, em comparação ao solo de Campo Belo e principalmente ao solo de Lavras que obteve apenas 29%. Sendo assim, o solo de Lavras foi classificado como de textura franco argiloso, o de Campo Belo de textura argilosa e o de Pouso Alegre de textura muito argilosa.

TABELA 1. Análises física e química dos solos de disposição de RSU dos municípios de Campo Belo, Lavras e Pouso Alegre, MG

Município	Areia	Argila	Silte	Dp g cm <sup>-3</sup>	Ds g cm <sup>-3</sup>	Ko cm h <sup>-1</sup>	pH	CTC mg dm <sup>-3</sup>	Ki	Kr
Campo Belo	38	43	19	2,66	0,91	10,41	6,3	4,2	1,79	1,52
Lavras	30	29	41	2,76	0,93	1,48	5,6	2,2	1,68	1,20
Pouso Alegre	21	60	19	2,71	0,82	8,01	5,3	3,1	1,24	0,95

D<sub>p</sub> = massa específica de partículas; D<sub>s</sub> = massa específica do solo; K<sub>o</sub> = condutividade hidráulica do solo saturado.

Pela análise dos valores das CTC, segundo a interpretação preconizada pela Embrapa (2006), os solos avaliados apresentam baixa capacidade de retenção de cátions (1,61 < CTC < 4,3) e cargas dependentes de pH, como foi verificado por Castro et al. (2010), típico de solos tropicais intemperizados. Dentre os solos classificados como de textura argilosa, o do município de Campo Belo apresentou o maior valor da capacidade de troca catiônica (CTC) em comparação com o solo de Pouso Alegre, o que nos leva a crer que exista diferença no tipo de argilo-mineral presente nesses solos. Com o ambiente acidificado, a liberação de H<sup>+</sup> propicia uma menor interação de cargas positivas com o solo, contribuindo para a redução do poder de retenção do solo de Pouso Alegre e Lavras. A baixa CTC do solo de Lavras também é justificada pela sua baixa quantidade da fração argila. Para o solo de Campo Belo, por apresentar um pH mais alto em relação aos demais, propiciou um maior poder de retenção dos

elementos traços avaliados. Analisando os coeficientes de intemperismo  $K_i$  e  $K_r$ , observa-se que não se pode confirmar a inferência de que o maior valor de CTC pode ser atribuído ao tipo de argilo-mineral, pois o solo de Campo Belo apresentou os maiores valores desses coeficientes que o caracteriza como sendo o mais intemperizado. A Tabela 2 apresenta o ajuste dos parâmetros D e R, bem como o e número de Peclet, empregando o software *Stamond*. Observa-se um bom ajuste dos parâmetros R e D com valores dos coeficientes de determinação ( $r^2$ ) próximos de 1.

TABELA 2. Coeficiente de dispersão hidrodinâmica (D), fator de retardamento(R) da equação de transporte de solutos no solo ajustados para os elementos traços e solos avaliados

Elemento	Campo Belo			
	R	D ( $m^2d^{-1}$ )	Pe	$r^2$
Cd	1,247	0,560	2,341	0,998**
Cu	1,192	0,662	1,545	0,998**
Lavras				
Cd	1,012	0,642	1,516	0,998**
Cu	1,265	1,184	1,579	0,996**
Pouso Alegre				
Cd	1,134	2,337	1,364	0,995**
Cu	3,138	1,592	1,239	0,997**

\*\* significativo em nível de 1% de probabilidade

Os valores do fator retardamento (R) para os solos avaliados seguiram a mesma tendência dos valores observados por Lange et al. (2002), porém inferiores aos obtidos por Chalermyanont et al. (2008) e Moreira et al. (2009), que estudaram adsorção destes metais em solo de área de disposição de resíduos sólidos urbanos. Provavelmente, a concentração foi um fator que influenciou muito no valor do fator de retardamento, uma vez que, havendo sítios de cargas limitados nas colunas de lixiviação, quanto maior a quantidade de cátions presentes na solução em percolação, mais rápida deverá ser sua saturação iônica. A Tabela 2 demonstra, com base nos valores dos fatores de retardamento, a crescente interação dos íons analisados com a fração coloidal dos solos. Observa uma energia de adsorção aos sítios de troca nos solos de Campo Belo a ordem  $Cd > Cu$ , enquanto que no solo de Lavras a ordem foi  $Cu > Cd$  e para o solo Pouso Alegre  $Cu > Cd$ . A Figura 1 apresentam as curvas de efluentes para Cd e Cu, obtidas com os solos dos municípios estudados, pelo ajustamento do modelo teórico aos dados experimentais usando o programa *Stamond*. Os valores de R ajustados com base na curva de eluição mostra uma tendência, sendo o solo de Campo Belo o mais reativo seguidos dos solos de Pouso Alegre e Lavras. Pelos valores obtidos do fator retardamento (R) em condições de movimento, verificou-se uma tendência de preferência na sorção dos elementos traços da obtida ( $Cd > Cu$ ) como pode ser visualizado na Figura 2. O número de Peclet (Pe) é um parâmetro no qual ajuda na determinação do tipo de transporte predominante do efluente. Segundo a classificação Sun (1995), os valores do número de Pe obtidos neste estudo (Tabela 2), verificou-se a existência dos fluxos difusivo e dispersivo, com os elementos traços ordenados do forma decrescente, em função do valores do coeficientes de dispersão hidrodinâmica, conforme segue: para os solos de Campo Belo e Lavras:  $Cu > Cd$  e para o de Pouso Alegre:  $Cd > Cu$ . Os resultados deste estudo concordam com ao obtidos por Huang et al. (2013) que comentam que o Cu e o Zn são os metais pesados menos móveis no solo devido à sua forte adsorção nos colóides orgânicos e inorgânicos. Segundo Kemerichet al. (2013) os elementos Cu e Cd apresentam uma alta afinidade pela fração coloidal do solo, formando com as superfícies reativas do solo, moléculas estáveis, que correspondem à adsorção específica, com alta energia de ligação e estabilidade. Com relação aos atributos físicos (Tabela 1), todos os solos apresentaram valores da condutividade hidráulica entre 0,4 a 18  $cm.h^{-1}$ , sendo classificados, segundo Gerscovich (2011), como solos de baixa condutividade, embora a porosidade tenha sido elevada ( $>60\%$ ). A baixa condutividade hidráulica dos solos avaliados refletiu no ensaio do deslocamento da frente de contaminação dos elementos avaliados, proporcionando um maior tempo de contato da solução deslocadora com a matriz do solo, proporcionando a sorção dos elementos pela matriz do solo e o fluxo difusivo-dispersivo.

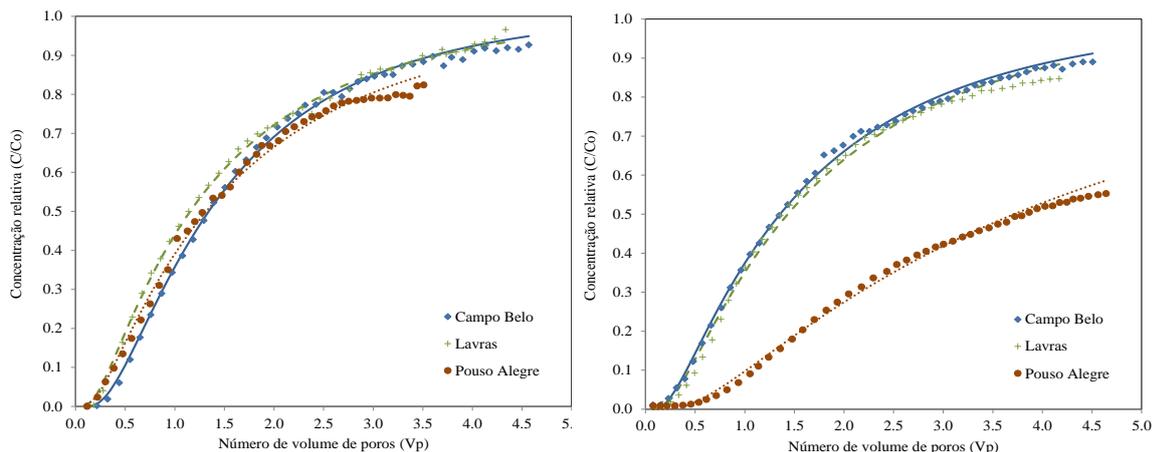


FIGURA 1. Curvas de eluição do (a) Cd e (b) Cu para os solos das áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos dos municípios de Campo Belo, Lavras e Pouso Alegre, MG.

**CONCLUSÕES:** O município de Pouso Alegre foi o que apresentou a menor potencialidade com relação à lixiviação dos elementos traços avaliados, sendo o solo de Lavras o de maior vulnerabilidade no que se refere ao potencial de contaminação das águas subterrâneas o que exige um maior controle na disposição de resíduos sólidos contendo elementos traços facilmente solubilizados. Com relação à mobilidade dos metais avaliados, verificou-se uma tendência de preferência na sorção dos elementos traços avaliados, que ordenados de forma decrescente são assim relacionados: Cd>Cu.

**AGRADECIMENTOS:** À FAPEMIG pelo auxílio financeiro no financiamento dessa pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- CASTRO, M.L.L.; BORGES, J.D.; OLIVEIRA, L.F.C.; RODRIGUES, C.; FIGUEIREDO, C.C.; CASTRO, W.J. (2010). Sorção de cromo em solos do cerrado goiano, Brasil. *Ambi-Água*, v. 5, n. 2, p. 133-143.
- CHALERMYANONT, T.; ARRYKUL, S.; CHAROENTHAISONG, N. Potential use of lateritic and marine clay soils as landfill liners to retain heavy metals. *Waste Management*, v.1, p.117-127, 2009.
- D'ALMEIDA, M.L.O.; VILHENA, A. Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado. São Paulo-SP. 2a ed. IPT/CEMPRE, 2000. 370 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 80p., 1979.
- GERSCOVICH, D.M.S. Fluxo em solos saturados. Rio de Janeiro: UERJ, 169p., 2011.
- HUANG, B.; LI, Z.; et al. Adsorption characteristics of Cu and Zn onto various size fractions of aggregates from red paddy soil, *Journal of Hazardous Materials*, v. 264, pp. 176-183, 2013.
- IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/lixo\\_coletado/lixo\\_coletado109.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/lixo_coletado/lixo_coletado109.shtm)>. Acesso em: 01 abril. 2014.
- KEMERICH, P.D.C. et al. Impactos ambientais decorrentes da disposição inadequada de lixo eletrônico no solo. *Engenharia Ambiental*, v.10, n.2, p.208-219, 2013.
- 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, v. 1, p. 85-92, 2002.
- MIRANDA, J.H.; DUARTE, S.N. Modelo para simulação da dinâmica de nitrato em colunas verticais de solo não saturado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n.2, p.235-241, 2002.
- MOREIRA; D.A.; et al. Parâmetros de transporte de metais pesados em resíduos sólidos urbanos. *Engenharia na Agricultura*, v.17 n.4, p. 317-322, 2009.
- OLIVEIRA, L.F.C.; CASTRO, M.L.L.; RODRIGUES, C.; BORGES, J.D. Adsorção e deslocamento do íon cádmio em solos do cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.8, p.848-855, 2010.