



Mobilidade de metais pesados em solos de disposição de resíduos sólidos urbanos

Mobility of heavy metals in soils of arrangement municipal solid waste

João Paulo Cunha de Menezes¹
Luiz Fernando Coutinho de Oliveira²
Camila Marques Generoso³
Camila Silva Franco⁴
Ronaldo Fia^{5(*)}
Fátima Resende Luiz Fia⁶

Resumo

O conhecimento do movimento hidrodispersivo de elementos traços no solo 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 os elementos contaminantes. O presente trabalho teve como objetivo o estudo da mobilidade do Cd, Cu, Pb e Zn em solos de três áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos (RSU), empregando-se a metodologia

- 1 Doutorando em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas na Universidade Federal de Lavras, graduado em Ciências Biológicas pela Universidade Presidente Antônio Carlos, *campus* Araguari (2007) e Mestrado em Produção Vegetal pelo Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (2012).
- 2 Possui graduação em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras (1986), mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras (1992) e doutorado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (1999).
- 3 Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade Federal de Lavras, bolsista de Iniciação Científica pela FAPEMIG.
- 4 Possui graduação em Engenharia Ambiental pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), atuação em ciclo de vida de resíduos sólidos urbanos e industriais, doutora em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas pela Universidade Federal de Lavras (UFLA), MG.
- 5 Graduado em Engenharia Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (2004) e doutor em Engenharia Agrícola (Recursos Hídricos e Ambientais) pela UFV (2008). Atualmente é professor adjunto do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras e coordenador do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária; Endereço: *Campus* da UFLA, Caixa-postal: 3037, CEP: 37200-000, Lavras, Minas Gerais Brasil; E-mail: ronaldofia@deg.ufla.br. (*) Autor para correspondência.
- 6 Graduada em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras (UFLA), mestre e doutora em Engenharia Agrícola (Recursos Hídricos e Ambientais) pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Atualmente ocupa o cargo de professor adjunto do Departamento de Engenharia da UFLA; Endereço: *Campus* da UFLA, Caixa-postal: 3037, CEP: 37200-000, Lavras, Minas Gerais Brasil; E-mail: fatimarlf@deg.ufla.br

Ambiência Guarapuava (PR) v.12 Ed. Especial p. 909 - 919 Novembro 2016 ISSN 2175 - 9405

DOI:10.5935/ambiencia.2016.Especial.16



do deslocamento miscível em colunas de solo. O solo proveniente da área de disposição de RSU do município de Pouso Alegre foi o que apresentou menor potencialidade de 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. Em comparação com os demais, o solo de Lavras exige maior controle na disposição de resíduos sólidos, quando contiverem elementos traços facilmente solubilizados.

Palavras-chave: deslocamento miscível; metais pesados; poluição do solo.

Abstract

The hydrodispersive 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. Considering such information in literature, the study of this work is the mobility of Cd, Cu, Pb and Zn metals in three areas of municipal solid waste. The concentrations of ions in the effluent were analyzed using the miscible displacement methodology. 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.

Key words: miscible displacements; heavy metals; soil pollution.

Introdução

A crescente geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) é um dos grandes problemas ambientais na atualidade, sendo que a gestão desses resíduos tem sido foco de pesquisas das mais diversas áreas. A disposição inadequada dos RSU no solo compromete a qualidade do solo, da água e do ar e constitui fonte de compostos orgânicos, solventes e elementos

traços (OLIVEIRA et al., 2014). Esses resíduos são uma mistura complexa de materiais orgânicos e inorgânicos com propriedades físicas e químicas variáveis (ANICETO; HORBE, 2012).

Como produto da biodegradação gerado pela passagem da água da chuva através do maciço dos aterramentos dos resíduos sólidos em processo de decomposição, tem-se o líquido chamado de percolado



(OLIVEIRA et al., 2013). Este possui elevada carga de poluentes orgânicos e inorgânicos, os quais, ao entrar em contato com o solo, podem modificar suas características físicas, químicas e biológicas, bem como as das águas subterrâneas (MEUSER et al., 2011).

De acordo com Piaz e Ferreira (2011), RSU liberam, quando dispostos no solo, elementos químicos poluentes tanto ao homem quanto à natureza, dentre os quais se destacam o Chumbo, Cádmio, Cobre, Níquel, Manganês e o Zinco. Esses metais são denominados de elementos traços, devido à sua elevada toxicidade, mesmo em baixas concentrações. Segundo Oliveira e Marins (2011), os elementos traços comprometem a saúde ambiental por serem persistentes, uma vez que não são biodegradáveis, permanecendo longos períodos no ambiente. Por este motivo, a compreensão do comportamento e dos mecanismos de transporte de metais pesados no solo tem despertado o interesse (CAMPOS, 2010). Portanto, o desenvolvimento de estratégias eficazes para gerir poluição por metais pesados é de grande importância, mas requer amplo conhecimento dos processos de sorção e transporte de elementos traços, como também as diversas variáveis que afetam esses processos.

Os solos possuem grande capacidade de retenção dos elementos metálicos, porém, se esta capacidade for ultrapassada, os metais alterarão sua disponibilidade para o meio ambiente, tornando-se facilmente lixiviáveis, com conseqüente aporte em águas subterrâneas (OLIVEIRA et al., 2010). Um

aspecto fundamental na determinação das concentrações dos elementos traços nos solos refere-se a sua movimentação no perfil, o que não depende apenas das características do íon metálico, mas também das propriedades físicas e químicas de cada tipo de solo (FONTES et al., 2000).

A preocupação com a poluição do solo e das águas subterrâneas tem resultado em inúmeros estudos de transporte de solutos, executados por ensaios de deslocamento em colunas de solo (BEJAT et al., 2000). Esses estudos são importantes ferramentas para se compreender o transporte de solutos adsorvidos e não adsorvidos pelo solo. Na maioria das análises de transporte de solutos em meio poroso têm sido empregada a equação que contempla o fluxo de massa, dispersão, difusão e retardamento dos solutos em relação ao avanço da interface entre o líquido deslocador e o deslocado (GARCIA et al., 2012).

A bem sucedida predição do destino e do transporte de substâncias químicas na zona não saturada do solo reside na capacidade de determinar com precisão os parâmetros de transporte (MACIEL NETTO et al., 2013). Assim, 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 presentes no chorume: Cd, Cu, Pb e Zn provenientes de três áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos.



Material e Métodos

Para a realização deste trabalho, foram coletadas amostras deformadas de solo em três áreas de disposição final de RSU (Campo Belo, Lavras e Pouso Alegre) sob jurisdição da Superintendência Regional de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SUPRAM) do Sul de Minas Gerais. 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 48 h. Após secagem, as amostras foram encaminhadas 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, Cu, Pb e Zn, empregando-se de soluções previamente preparadas de Cloreto de Cádmio, Sulfato Cúprico, Sulfato de Chumbo e Sulfato de Zinco. Os ensaios foram realizados em triplicatas. 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). Foram utilizadas colunas de solo com a TFSE, empregando anéis de PVC com 5,11 cm de altura e 5,95 cm de diâmetro. A massa específica de partículas foi determinada pelo método do picnômetro segundo a

EMBRAPA (1979).

Inicialmente, em cada coluna de solo foi aplicada água desmineralizada com a finalidade de lixiviar os possíveis traços dos elementos estudados na solução do solo. Durante o processo de lixiviação, fez-se a determinação do fluxo de água, da velocidade média da água e da condutividade hidráulica do solo saturado nas colunas de solo. Para tal, foram cronometrados os tempos para a coleta de um volume de 10 mL conforme descrito por Oliveira et al. (2000).

Após a lixiviação das colunas de solo, foram aplicadas as soluções deslocadoras de Cloreto de Cádmio, Sulfato Cúprico, Cloreto de Lítio, Sulfato de Chumbo e Sulfato de Zinco na concentração de 10,0 mg.L⁻¹ e coletadas alíquotas de aproximadamente 10 mL da solução efluente com auxílio de provetas. As alíquotas das soluções efluentes coletadas nos ensaios de deslocamento miscível foram armazenadas em recipientes de vidro âmbar com tampas a 4 °C, para posterior determinação da concentração dos elementos estudados. Com os resultados do ensaio do deslocamento do Cd, Cu, Pb e Zn nas colunas de solo, empregou-se o *software* Stamond, para o ajuste do fator de retardamento (R) e do coeficiente de dispersão hidrodinâmica (D) da solução analítica desenvolvida por Van Genuchten e Wierenga (1986) da equação do transporte de solutos em colunas de solo.

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{2} \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{Rx - vt}{\sqrt{4DRt}} \right) \right] - \left(1 + \frac{vx}{D} + \frac{v^2 t}{DR} \right) e^{\left(\frac{vx}{D} \right)} \operatorname{erfc} \left(\frac{Rx + vt}{\sqrt{4DRt}} \right) + \sqrt{\frac{v^2 t}{\pi DR}} e^{-\left[\frac{-(Rx - vt)^2}{4DRt} \right]} \quad (1)$$



em que: C = concentração do soluto para qualquer tempo t ; C_0 = concentração inicial da solução; R = fator de retardamento; x = comprimento da coluna de solo; D = coeficiente de dispersão hidrodinâmica; v = velocidade média de escoamento da água nos poros do solo; Pe = número de Peclet ($Pe = v \times x / D$); $erfc$ = função erro complementar.

Com os valores dos coeficientes de dispersão hidrodinâmica, das velocidades médias da solução deslocadora e do comprimento da coluna de solo, calculou-se o número de Peclet (Pe), permitindo assim a análise do tipo de fluxo predominante.

Resultados e Discussões

Pelos resultados observados na análise granulométrica (Tabela 1), verifica-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%.

Apesar de o solo de Pouso Alegre apresentar maior quantidade da fração argila, sua capacidade de troca catiônica foi inferior ao solo de Campo Belo, possivelmente por apresentar menor pH, comportamento verificado por Gonçalves et al. (2008).

Com o ambiente acidificado, a liberação de H^+ 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 maior pH em relação aos demais, propiciou maior retenção dos elementos traços avaliados. Segundo a interpretação recomendada pela EMBRAPA (2006) aos valores das CTC, os solos avaliados apresentam baixa capacidade de retenção de cátions ($1,61 < CTC < 4,3$) e cargas dependentes de pH, típico de solos tropicais intemperizados.

Tabela 1 - Atributos físicos e químicos dos solos de disposição de RSU dos municípios de Campo Belo, Lavras e Pouso Alegre, MG

| Município | Areia | Argila | Silte | Dpg.cm ⁻³ | Ds g.cm ⁻³ | Ko cm.h ⁻¹ | pH | CTC Mg.dm ⁻³ | 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 |

Fonte: Menezes, J. P. C. et al. (2015).

Nota: Dp = massa específica de partículas; Ds = massa específica do solo; Ko = condutividade hidráulica do solo saturado; CTC = capacidade de troca catiônica; Ki e Kr = coeficientes de intemperismo.



Na adsorção do cádmio, o pH e a CTC são os atributos químicos dos solos mais influentes; e do chumbo, há participação importante dos óxidos de ferro e de alumínio (LINHARES et al. 2009). Analisando os coeficientes de intemperismo K_i e K_r , observa-se que não se pode confirmar 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.

Pelos resultados da condutividade hidráulica do solo saturado, o solo de Lavras foi o que apresentou a menor taxa de fluxo de água e, conseqüentemente, baixa condutividade hidráulica, classificando-o como lento em relação à movimentação de água no solo. Por outro lado, o solo de Campo Belo e Pouso Alegre foram classificados em moderadamente rápido com relação à movimentação de água. Esses tipos de solo apresentam uma quantidade maior de macroporos em relação ao solo de Lavras devido à estruturação granular, o que

favorece o fluxo de água no solo.

Os valores de retenção para os solos avaliados foram semelhantes àqueles obtidos por Lange et al. (2002) com exceção ao elemento Pb, porém, inferiores aos obtidos por Chalermyanont 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 limitadas 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 apresenta, 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 $Pb > Zn > Cd > Cu$, enquanto que, no solo de Lavras, a ordem foi $Zn > Pb > Cu > Cd$ e, para o solo de Pouso Alegre, $Cu > Zn > Pb > Cd$.



Tabela 2 - Coeficiente de dispersão hidrodinâmica (D), fator de retardamento (R), número de Peclet (Pe) e coeficiente de determinação (r^2) da equação de transporte de solutos no solo ajustados para os elementos traços e solos avaliados empregando o software *Stamond*.

| Campo Belo | | | | |
|---------------------|-------|--------------------------------------|-------|----------------|
| Elemento | R | D (m ² .d ⁻¹) | Pe | r ² |
| Cd | 1,247 | 0,560 | 2,341 | 0,998** |
| Cu | 1,192 | 0,662 | 1,545 | 0,998** |
| Pb | 1,618 | 0,393 | 2,358 | 0,998** |
| Zn | 1,261 | 0,695 | 1,436 | 0,980** |
| Lavras | | | | |
| Cd | 1,012 | 0,642 | 1,516 | 0,998** |
| Cu | 1,265 | 1,184 | 1,579 | 0,996** |
| Pb | 1,369 | 0,447 | 2,134 | 0,996** |
| Zn | 1,653 | 1,307 | 2,085 | 0,995** |
| Pouso Alegre | | | | |
| Cd | 1,134 | 2,337 | 1,364 | 0,995** |
| Cu | 3,138 | 1,592 | 1,239 | 0,997** |
| Pb | 1,432 | 2,426 | 1,308 | 0,996** |
| Zn | 1,562 | 1,089 | 2,713 | 0,995** |

Fonte: Menezes, J. P. C. et al. (2015).

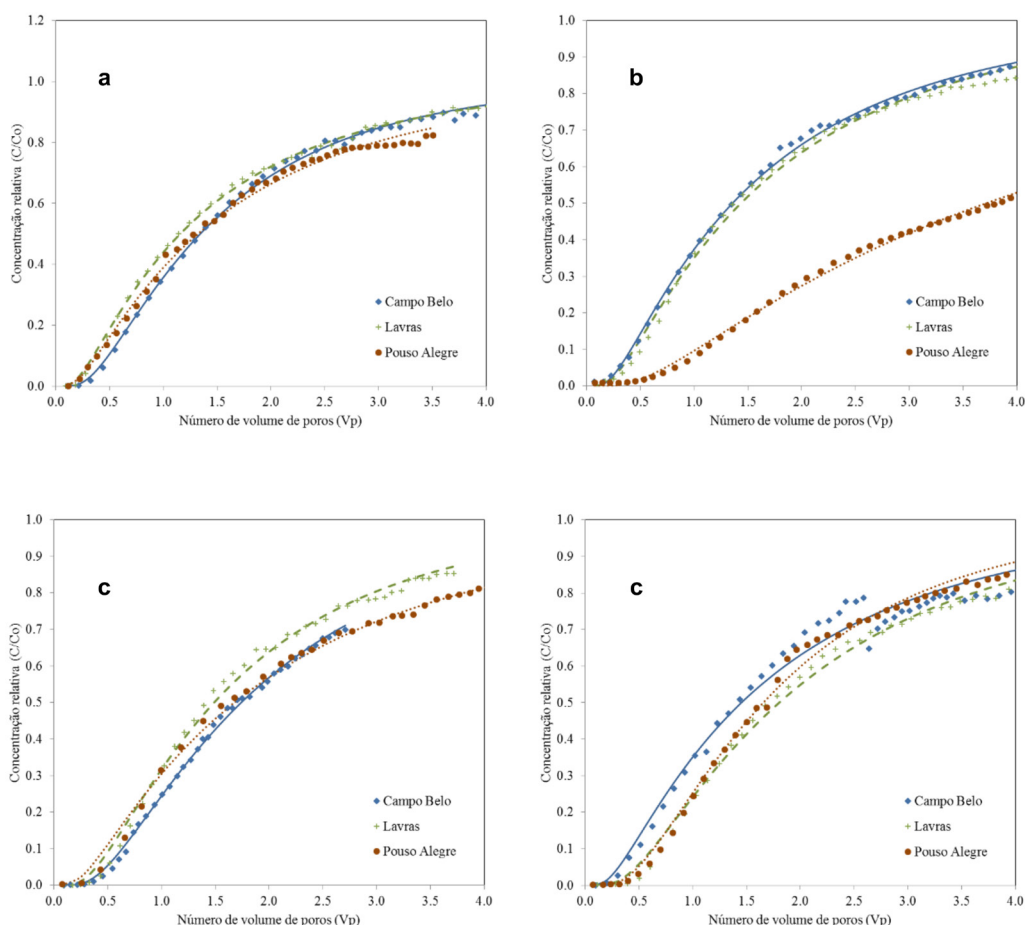
Nota: ** significativo em nível de 1% de probabilidade.

Pelos valores obtidos do fator retardamento em condições de movimento, verificou-se uma tendência de preferência na sorção dos elementos traços (Zn>Cd>Cu>Pb) como pode ser visualizado

na figura 1. Observa-se que o elemento Pb apresentou a maior mobilidade, recuperando a concentração da solução deslocadora mais rapidamente que os demais, e o Zn, o elemento de menor mobilidade.



Figura 1 - Curvas de eluição do (a) Cd, (b) Cu, (c) Pb e (d) Zn para os solos das áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos dos municípios de Campo Belo, Lavras e Pouso Alegre, MG



Fonte: Menezes, J. P. C. et al. (2015).

Analisando 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 de forma decrescente, em função dos valores dos coeficientes de dispersão hidrodinâmica, conforme segue. Para os solos de Campo Belo e Lavras, $Zn > Cu > Cd > Pb$; e para o de

Pouso Alegre, $Pb > Cd > Cu > Zn$.

Os resultados deste estudo concordam com aqueles obtidos por Huang et al. (2013) e Liu et al. (2006), 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 Kemerich et al. (2013), os



elementos Zn, Cu, Cd e Pb 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. 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, levando à sorção dos elementos pela matriz do solo e o fluxo difusivo-dispersivo.

Conclusões

Dentre os solos avaliados, o do 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: $Zn > Cd > Cu > Pb$, sendo, portanto, o Zn menos disponível para ser lixiviado e o Pb com o maior potencial de contaminação das águas subterrâneas.

Referências

- ANICETO, K. C. P.; HORBE, A. M. C. Solos urbanos formados pelo acúmulo de resíduos em Manaus, Amazonas, Brasil. **Acta Amazônica**, v.42, n.1, p. 135-148, 2012.
- BEJAT, L.; PERFECT, E.; QUISENBERRY, V.L.; COYNE, M. S.; HASZLER, G. R. Solute transport as related to soil structure in unsaturated intact soil blocks. **Soil Science Society America Journal**, v.64, p.818-826, 2000.
- CAMPOS, M. C. C. Atributos dos solos e riscos de lixiviação de metais pesados em solos tropicais. **Ambiência**, v.6, n.3, p.547-565, 2010.
- CHALERMYANONT, T.; ARRYKUL, S.; CHAROENTHAISON, N. Potential use of lateritic and marine clay soils as landfill liners to retain heavy metals. **Waste Management**, v.1, p.117-127, 2009.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília: Embrapa, Produção de Informações - Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.



EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Rio de Janeiro: Embrapa, 1979. 80 p.

FONTES, M. P. F.; MATOS, A. T.; COSTA, L. M.; NEVES, J. C. L. Competitive adsorption of zinc, cadmium, copper, and lead in three highly-weathered Brazilian soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.31, p.2939-2958, 2000.

GONÇALVES, V. C.; CARVALHO, S. A.; TATSCH, F. R. P.; SANTOS NETO, O. A.; MEURER, E. J. Adsorção de cádmio em solos caulíníticos. **Revista da FZVA**, v. 15, n.2, p. 1-10, 2008.

HUANG, B.; LI, Z.; HUANG, J.; GUO, L.; NIE, X.; WANG, Y.; ZHANG, Y.; ZENG, G. Adsorption characteristics of Cu and Zn onto various size fractions of aggregates from red paddy soil. **Journal of Hazardous Materials**, v. 264, p. 176-183, 2013.

KEMERICH, P. D. C.; MENDES, S. A.; VORPAGEL, T. H.; PIOVESAN, M. Impactos ambientais decorrentes da disposição inadequada de lixo eletrônico no solo. **Engenharia Ambiental**, v.10, n.2, p.208-219, 2013.

KLUTE, A. Methods of soil analysis: part 1 – physical and mineralogical methods. Madison: **Soil Science Society of America**, p.1025-1054, 1986.

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.

LINHARES, L. A.; EGREJA FILHO, F. B.; OLIVEIRA, C. V.; BELLIS, V. M. Adsorção de cádmio e chumbo em solos tropicais altamente intemperizados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.3, p.291-299, 2009.

LIU, C. L.; CHANG, T. W.; WANG, M. K.; HUANG, C. H. Transport of cadmium, nickel, and zinc in Taoyuan red soil using one-dimensional convective-dispersive model. **Geoderma**, v.131, p.181-189, 2006.

MACIEL NETTO, A.; LIMA, L. J. S.; ANTONINO, A. C. D.; SOUZA, E. S.; ANGULO-JARAMILLO, R. Caracterização hidrodinâmica e hidrodispersiva de um latossolo amarelo na microrregião do brejo paraibano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, n.1, p.86-96, 2013.

I Simpósio Internacional de Águas, Solos e Geotecnologias - SASGEO - 2015
Eixo temático: Métodos e técnicas aplicadas ao monitoramento ambiental
www.sasgeo.eco.br



MEUSER, H.; GREWAL, K. S.; ANLAUF, R.; MALIK, R. S.; NARWAL, R. K.; SAINI, J. Physical composition, nutrients and contaminants of typical waste dumping sites. **American Journal of Environmental Sciences**, v.7, n.1, p.26-34, 2011.

OLIVEIRA, L. F. C.; MARTINEZ, M. A.; PRUSKI, F. F.; RUIZ, H. A.; MATOS, A. T. Metodologia de amostragem de solo para a obtenção da condutividade hidráulica do solo saturado e da curva de eluição de solutos. **Engenharia na Agricultura**, v.8, n.2, p.112-121, 2000.

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.

OLIVEIRA, L. F. C.; NOGUEIRA, J. G.; FRIZZARIM, S. S.; FIA, R.; FREITAS, J. S.; FIA, F. R. L. Sorção e mobilidade do lítio em solos de áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.18, n.2, p.139-148, 2013.

OLIVEIRA, L. F. C.; FREITAS, J. S.; GENEROSO, C. M.; FIA, R. Sorção de elementos traços em solos de áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos. **Revista Ambiente & Água**, v.9, n.2, p.288-301, 2014.

OLIVEIRA, S.; PASQUAL, A. Avaliação de parâmetros indicadores de poluição por efluente líquido de aterro sanitário. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.9, n.3, p.240-249, 2004.

PIAZ, J. F. D.; FERREIRA, G. M. V. Gestão de resíduos sólidos domiciliares urbanos: o caso do município de Marau, RS. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v.5, n.1, p.33-47, 2011.

VAN GENUCHTEN, M. T.; WIERENGA, P. J. Solute dispersion coefficients and retardation factors. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis: part 1 – physical and mineralogical methods**. Madison: Soil Science Society of America, 1986. p.1025-1054.