

**VI-139 – AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE ÍONS DE METAIS PESADOS ASSOCIADOS A SOLOS DE DOIS ATERROS SANITÁRIOS DA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO - SP****Sibele Ezaki⁽¹⁾**

Geóloga pelo Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. Mestrado pelo Programa de Recursos Minerais e Hidrogeologia – IGc/USP. Pesquisadora do Instituto Geológico da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo.

Raphael Hypolito⁽²⁾

Professor do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, Departamento de Sedimentologia e Geologia Ambiental. Pesquisador do Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas – CEPAS (IGc/USP)

Endereço⁽¹⁾: Rua do Lago, 562 – Cidade Universitária – São Paulo – SP- CEP: 05508-080 - Brasil - Tel: (11) 30914145 - e-mail: sibezaki@yahoo.com.br / sibezaki@igeologico.sp.gov.br

RESUMO

A aplicação de cobertura diária de solo sobre os resíduos nos aterros sanitários visa: minimizar a entrada de águas de chuva no interior do aterro evitando aumento no volume de chorume; proteger a superfície das células sanitárias para evitar a proliferação de vetores; evitar escape descontrolado de gases e vazamento de chorume, reter substâncias etc.

Dentre estas funções geotécnicas, sanitárias e de proteção ambiental, pouco ênfase é dada ao papel do solo na incorporação de poluentes. Nota-se a escassez de estudos sobre as características químicas, mineralógicas e texturais de solos utilizados em aterros associadas à retenção/fixação de íons poluentes como os metais pesados.

Nesse sentido, este trabalho teve como proposta discutir o papel do solo de cobertura no controle da qualidade ambiental e avaliar a disponibilidade de íons Pb, Cu, Cr e Ni associados a solos de dois aterros da Região Metropolitana de São Paulo.

PALAVRAS-CHAVE: Metais Pesados, Solos, Aterros Sanitários.

INTRODUÇÃO

O aterro sanitário é considerado um método adequado de disposição final de resíduos sólidos urbanos por atender a exigências técnicas que visam assegurar o controle ambiental e evitar danos ou riscos à saúde pública. Contudo, não deixa de se constituir numa forma de armazenamento de resíduos no solo, implicando, ainda que em pequena escala, em potencial poluidor. Além disso, pequena parcela dos resíduos que chegam aos aterros é constituída de substâncias perigosas, na qual se inserem os metais pesados. Há a preocupação de que estes metais possam ser liberados e transportados pelo chorume com o passar do tempo.

Os trabalhos sobre comportamento de metais pesados no interior de aterros dão ênfase à degradabilidade da matéria orgânica e às condições químicas associadas às fases de decomposição, destacando os mecanismos de complexação e de sorção de íons metálicos às partículas coloidais orgânicas. Praticamente, esses estudos, não estabelecem correlação entre metais pesados e solos utilizados em aterros.

O estudo da interação solo/lixo/chorume permite compreender os mecanismos de mobilidade e fixação dos metais nos aterros. Os íons contaminantes distribuem-se nestes três principais compartimentos do sistema e o somatório deles corresponde ao conteúdo total de metais, disponíveis ou não, num aterro.

No lixo, a disponibilidade dos íons acha-se na dependência das atividades físicas, químicas, microbiológicas (função de temperatura, fase de decomposição e outros fatores) que ocorrem no aterro, influenciando no tempo de liberação dos metais dos resíduos originais.

No chorume os íons encontram-se em solução, associados às partículas coloidais (orgânicas e inorgânicas) e sob forma de complexo.



23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

No solo, além da participação estrutural, a presença de íons ocorre preferencialmente sob a forma adsorvida à superfície mineral, e/ou em solução intersticial, na forma complexada ou associada a colóides. Sua disponibilidade também é função das condições químicas e físico-químicas reinantes no meio, bem como de outras características como as mineralógicas, texturais, pH, capacidade de troca catiônica (CTC) etc.

A determinação dos conteúdos de metais em cada um destes compartimentos não é realizada de forma sistemática no Brasil, uma vez que essa prática exige metodologias padronizadas de amostragem, de tratamento de amostras e de análises, além de equipamentos adequados, mobilização periódica de equipes.

Neste trabalho enfatizou-se o papel incorporador de substâncias poluentes (metais pesados) desempenhado pelos solos de cobertura de resíduos no controle da qualidade ambiental. Os principais objetivos foram estudar as propriedades texturais, mineralógicas e químicas de solos de 2 aterros sanitários da Região Metropolitana de São Paulo e avaliar a disponibilidade de íons de metais pesados a eles associados.

TRABALHOS ANTERIORES

De modo geral, os estudos sobre efeitos da interação solo-chorume são ainda escassos no Brasil, especialmente quando se trata do comportamento de metais pesados associados ao solo. As metodologias adotadas pelos autores variam muito desde as técnicas de amostragem, de caracterização dos atributos e classificação dos solos, até as técnicas de análises químicas (Tabela 1). Este fato dificulta a comparação entre os resultados obtidos.

Dentre os trabalhos anteriores, pode-se citar o de Heitzmann Jr (1999) que avaliou a influência dos resíduos do lixão de Itatiba-SP e dos aterros de Paulínia-SP e Piracicaba-SP na composição dos solos. Detectou-se contaminação por Ba ($>1500 \mu\text{g g}^{-1}$) nos de Itatiba e Piracicaba e Ni ($>200 \mu\text{g g}^{-1}$) e Zn ($>600 \mu\text{g g}^{-1}$) em Paulínia, ultrapassando limites da classe BWIII (valor de intervenção), conforme lista internacional de toxicidade de solos (Eikemann & Kloke *apud* Heitzmann Jr, 1999). Os limites BWII (valor de referência tolerável) foram atingidos em Itatiba para Cu ($50 \mu\text{g g}^{-1}$), V ($100 \mu\text{g g}^{-1}$), Zn ($300 \mu\text{g g}^{-1}$) e Zr ($500 \mu\text{g g}^{-1}$); em Piracicaba para Cu e V e em Paulínia para Ba ($300 \mu\text{g g}^{-1}$), Co ($200 \mu\text{g g}^{-1}$) e V.

Muñoz (2002) analisou amostras de solo, água, chorume e vegetais na área do Aterro Sanitário de Ribeirão Preto-SP, detectando presença de Hg, Cu, Pb, Cd, Mn, Zn e Cr por espectrofotometria de absorção atômica. Para os solos utilizou método de extração de metais pesados por água régia e digestão em placa aquecida, segundo *Australian Standard Association*.

Rodrigues (2002), estudando amostras de solo em contato com lixo/chorume no entorno do Lixão de Ilhabela – São Sebastião/SP, determinou pela análise química total (ICP-AES), enriquecimento em íons Pb (24 a 126 mg kg^{-1}) e Zn (82 a 251 mg kg^{-1}) em relação ao solo referência (Pb: 8 mg kg^{-1} e Zn: 82 mg kg^{-1}). Por meio de extrações sequenciais determinou Pb, Mn e Ba adsorvidos às frações carbonática, matéria orgânica e óxidos-hidróxidos; o Zn foi o íon mais extraído na fração percolada pela água.

Sisinno & Moreira (1996) avaliaram os impactos ambientais do Aterro Controlado Morro do Céu, Niterói-RJ, na área circunvizinha a zona de proteção de mananciais, analisando a qualidade das águas de nascentes, poços e do Córrego Mata-Paca, além de amostras de solo e sedimento. Determinaram concentrações totais de Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn em solo/sedimento por digestão com mistura de HF e HNO_3 e leitura ICP-AES. Para determinação das concentrações de metais fracamente adsorvidos utilizaram extração com HCl 0,1N e espectrofotometria de absorção atômica.

Nascimento (2002) e Hypolito & Nascimento (2004) estudaram a influência do Aterro Sanitário de São José do Rio Preto (SP) no Córrego da Anta, constatando a ausência de vida no meio aquático, possivelmente associada a efluentes lançados. Detectaram-se metais pesados nas águas subterrâneas, acima dos limites permitidos pela legislação brasileira, além da contaminação de solo nos arredores do aterro. Realizaram-se extrações sequenciais para determinação da associação dos metais pesados às frações do solo.

Tabela 1: Comparação entre as técnicas de determinação dos teores de metais pesados em solos utilizados por alguns autores.

FONTE	METODOLOGIA	LOCAL	SOLO
-------	-------------	-------	------



CETESB (2001) - Valores Orientadores para Solos	Total - digestão em HNO_3/HCl (EPA 3050 do SW 8462, 1986)	Estado de São Paulo	
Heitzmann Jr, J.F. (1999)	Total - digestão $\text{HNO}_3\text{-HF-HClO}_4$ (ICP-AES) fração silte < 0,063mm	Lixão de Itatiba	Classif. alemã: granulom mista; distribuição bastante regular; coeso; areia bastante siltosa; compacto; permeabilidade baixa a muito baixa
		Aterro Sanitário Piracicaba	granul fina; distrib. bastante regular; altamente coeso; silte medianamente plástico; compacto; permeabilidade baixa a desprezível
		Aterro Paulínia	granul. fina; distrib. bastante regular; alta/ coeso; argila mediana/ plástica; medianamente compacto a compacto; perm. muito baixa
Munoz, S. I. S (2002)	Total - Extração c/ água régia em placa aquecida (Australian Standard Association): 1,0 g solo, fração < 1,5mm	Aterro Sanitário de Riberião Preto	arenito Botucatu
Cremonez, S. C. (2002)	Total - Fluorescência de Raios X Adsorvidos - Extração c/ HCl 6M: 2,0 g solo fração < 2mm Intersticiais - Extração c/ H_2O destilada	Aterros São José do Rio Preto	arenito podsol e latossolo (IPT, 1997); latossolo verm-amarelo podsolizado a fraco, textura média (Aguiar, 2001)
Sisinno, C. L. S.; Moreira, J. C. (1990):	Total - Extração c/ $\text{HF}+\text{HNO}_3$ Adsorvidos - Extração c/ HCl 0,1 N	Aterro Controlado Morro do Céu - RJ	argilo-arenoso
Rodrigues, C. L. (2002)	Total - Extração c/ água régia (ICP-AES); fração < 2mm Intersticiais - Extração c/ água destilada: 2,0 g solo; fração < 2mm	Lixão de Ilhabela	areia argilosa a areia siltosa
Ezaki, S.; Hypolito, R. (2004)	Total - Fluorescência de Raios X Adsorvidos - Extração c/ HNO_3 8N: 1,0 g solo e 50mL; fração < 2mm Intersticiais - Extração c/ H_2O destilada: 1,0 g solo e 50mL; fração < 2mm	Aterro I	argissolos (PVA – Podzólico Vermelho-Amarelo) (Oliveira et al., 1999).
		Aterro II	cambissolos (Oliveira et al. 1999)

As técnicas analíticas normalmente utilizadas para determinação da composição química total dos solos são FRX (fusão) e ICP-AES (digestão total a quente com misturas de HNO_3 , H_2SO_4 , HF , HCl , HClO_4 , água régia etc.), que dissolvem completamente a fase sólida do solo. Os metais pesados detectados correspondem àqueles adsorvidos ao solo e contidos nas estruturas minerais (MACLEAN & BLEDSOE, 1992). Os resultados podem ser comparados aos valores orientadores – referência, alerta, intervenção – estabelecidos pela CETESB (2001) no Estado de São Paulo, para determinação do grau de contaminação.

Técnicas como extrações seletivas e sequenciais, que consistem na reação de amostras de solo com soluções químicas de força crescente, permitem determinar íons totais adsorvidos disponíveis, bem como a especiação química do íons metálicos nas formas solvatada, trocável, associada às fases carbonato, óxido-hidróxido de ferro e manganês, e à matéria orgânica (MARQUES, 2003).

Neste trabalho, para fins de avaliação da disponibilidade de íons de metais pesados associados a solos de aterros, foram utilizados procedimentos como a digestão parcial da fase sólida em meio nítrico (extração total), que libera os metais associados a fontes de poluição recente, nas formas trocável, adsorvida e precipitada. Para determinação dos íons intersticiais dos solos, utilizou-se extração seletiva em água.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram selecionados dois aterros sanitários para caracterização dos solos utilizados como cobertura de resíduo urbano, denominados Aterros I e II.



23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

O Aterro I localiza-se na porção oeste da Grande São Paulo, próximo do limite entre os Municípios de São Paulo e Caieiras, e ocupa área de 1.300.000 m². Foi construído em escadas, aproveitando-se encosta de morro. As camadas de lixo compactadas elevam-se até 5 m de altura e são cobertas por camada de 50 cm solo coluvionar e saprolítico - originado de micaxistos, metarenitos e rochas cálcio-silicáticas do Grupo São Roque. São dispostos resíduos sólidos domiciliares (6 500 ton/dia), industriais – classes II e III (15 000 ton/mês), entulhos (1 000 ton/dia) e lodos de esgoto e chorume (6 500 ton/mês).

O Aterro II situa-se no Grande ABC, ocupando área de 470.000 m². Trata-se de antiga cava de mineração de areia que já foi preenchida e atualmente ultrapassa o nível original do terreno. Camadas de lixo elevam-se a 5 m de altura, sendo cobertas por camada de 10 a 15 cm de solo de alteração de micaxistos e xistos porfiroblásticos (Complexo Pilar). São dispostos cerca de 1,7 ton/dia de resíduos sólidos domiciliares, provenientes de 7 municípios da Grande São Paulo. Dispõe de tratamento do chorume próprio, cujo lodo é redistribuído no aterro.

AMOSTRAGEM E TRATAMENTO DAS AMOSTRAS

Coletaram-se amostras de solos tomados como referência (brancos) ao longo de perfis nas jazidas dos aterros. No Aterro I, para amostragem de solo impactadas pelo contato com lixo e chorume, exumaram-se amostras aterradas com auxílio de retro-escavadeiras, em 3 células, sendo uma próxima à base do aterro, outra no meio (30 m acima) e uma no topo (100 m acima).

No Aterro II, foram coletadas amostras superficiais, em locais onde houve escape de chorume nos taludes. Foram também obtidas amostras de solo associadas a antiga camada de lixo, atualmente exposta, nas imediações do aterro.

Todas as amostras foram devidamente acondicionadas e etiquetadas. Após a secagem, as amostras foram destorroadas, peneiradas e quarteadas, separando-se a fração menor que 2 mm para análises granulométrica, mineralógica e química.

ANÁLISES

Análises granulométricas dos solos (referência) foram realizadas segundo Método da Pipeta de Robson (dispersão total); os resultados foram projetados em diagrama triangular de classificação textural do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos.

A determinação da composição mineralógica dos solos (fração argila) foi realizada por difração de raios X, com radiação Cu K α (equipamento SIEMENS-D5000).

Valores de pH dos solos referenciais e impactados foram determinados por método de RAIJ *et al.* (1987) adotado na ESALQ-USP, permitindo o cálculo de ΔpH ($\text{pH}_{\text{CaCl}_2} - \text{pH}_{\text{KCl}}$).

A determinação da capacidade de troca catiônica-CTC dos solos brancos foi realizada pelo Laboratório de Fertilidade de Solos – ESALQ-USP.

A composição química quantitativa (elementos maiores e traço) dos solos referenciais e aqueles impactados foi determinada por Fluorescência de raios X (equipamento PW2400 / Phillips).

Para determinação dos íons de metais pesados associados ao solo, foram efetuados tratamentos com água destilada para determinação da concentração de íons intersticiais e com HNO₃ (8M), para extração total dos íons disponíveis associados aos solos conforme Marques (2003) e Hypolito *et al.* (2004). As amostras de solo foram mantidas a 40°C e, posteriormente, em dessecador por 1 h. Na sequência, foi pesado 1,0000 g de solo em béquer de 150 mL e adicionados 50 mL de solução. O conteúdo foi agitado a cada 30 minutos e, após 2 h, filtrado. A solução avolumada foi analisada por Espectrofotometria de Absorção Atômica (AA700BC/CG) no Laboratório de Hidrogeoquímica II, do CEPAS – IGc/USP.



RESULTADOS

CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS DOS ATERROS

O solo do Aterro I apresenta textura argilosa a franco argilosa. Predominam caulinita, mica (muscovita e/ou illita), quartzo e gibbsita e, acessoriamente, ocorrem óxi-hidróxidos de ferro. Valores de ΔpH negativos para a maioria das amostras de solo (branco) demonstram baixa capacidade de associação de íons de metais à superfície de seus constituintes. Amostras impactadas pelo contato com chorume, ao contrário, apresentaram ΔpH positivos indicando presença de cargas negativas, que facilitam a adsorção de cátions. Baixo valor de capacidade de troca catiônica ($13,7 \text{ mmol}_c.\text{dm}^{-3}$) confere a natureza das partículas minerais que correspondem, principalmente, a argilominerais do tipo 1:1 como a caulinita.

O solo do Aterro II enquadra-se nas classes franco argilo-arenosa e franco-arenosa. Foram identificados caulinita, mica (muscovita e/ou illita), quartzo e vermiculita. A CTC é baixa, mas cerca de três vezes maior ($38,8 \text{ mmol}_c.\text{dm}^{-3}$) que no Aterro I. Os valores de ΔpH dos solos demonstram presença predominante de cargas positivas livres dos colóides do solo, aptas a adsorverem metais.

FLUORESCÊNCIAS DE RAIOS X

Os solos impactados coletados nos aterros, quando comparados aos solos tomados como referência, mostraram enriquecimento por metais pesados devido fenômenos de adsorção e/ou precipitação, resultado do contato chorume/solo/lixo.

Nos solos que estiveram em contato com o chorume, bem como nas amostras de interface (solo/lixo) verificou-se intensa adsorção de cátions. Dentre os cátions em porcentagens maiores constataram-se, elevados teores de manganês, cálcio e magnésio, enquanto potássio, cálcio e alumínio foram os mais lixiviados.

No Aterro I os teores de metais pesados são acentuados devido o descarte de resíduos industriais e também aos lodos de esgoto.

O cobre foi intensamente adsorvido às partículas dos solos de células mais recentes, enquanto elevados teores de chumbo foram averiguados somente nas amostras de célula mediana no aterro. Todas as amostras demonstraram contaminação por níquel e cobalto.

O solo adotado como referência apresentou teores naturalmente elevados de cromo que não se alteraram nas demais amostras (Tabela 2).



Tabela 2: Composição química dos solos do Aterro I.

ATERRO I										
Parâmetro	Limite de Detecção	CETESB Valores Referência/Alerta	Branco	Solo impactado com chorume						
				BASE		MEIO		TOPO	SUPERFICIAL (berma/talude)	
				SCA-1a	SCA-1b (interface)	SCA-2a	SCA-2b (interface)	SCA-3	SCA-4	SCA-5
Elementos Maiores (%)										
SiO ₂	0,30	-	58,63	58,91	57,77	57,29	58,23	61,10	59,08	62,79
Al ₂ O ₃	0,021	-	21,41	19,07	19,19	20,54	20,03	18,83	16,19	15,99
Fe ₂ O ₃	0,003	-	9,07	11,40	11,32	10,45	10,54	7,55	8,92	8,82
MnO	0,001	-	0,02	0,26	0,26	0,26	0,34	0,06	0,42	0,25
MgO	0,012	-	0,11	0,51	0,65	0,35	0,33	0,26	4,26	2,56
K ₂ O	0,006	-	2,39	0,97	1,13	1,21	1,13	2,63	3,10	2,00
CaO	0,003	-	0,02	0,06	0,30	0,09	0,12	0,30	0,34	0,16
Na ₂ O	0,015	-	0,28	0,18	0,29	0,09	0,18	0,43	0,15	0,18
TiO ₂	0,003	-	1,03	1,39	1,41	0,85	0,84	0,80	0,98	0,89
P ₂ O ₅	0,007	-	0,06	0,09	0,09	0,09	0,09	0,15	0,10	0,04
Elementos Traço (mg kg ⁻¹)										
S	30	-	< 30	< 30	165	< 30	113	201	< 30	< 30
Cl	237	-	<237	854	814	<237	252	396	183	182
F	214	-	398	<214	<214	341	303	479	1525	1072
Cr	4	40/75	107	110	114	91	91	99	83	95
Cu	2	35/60	23	53	52	39	40	129	24	101
Ni	1	13/30	11	59	57	44	47	42	48	39
Pb	2	17/100	22	22	17	145	242	44	17	23
Co	3	13/25	27	41	39	42	46	37	45	72
Zn	1	60/300	16	63	82	72	103	75	106	187

Obs: Em negrito destacam-se valores que ultrapassaram os Valores de Alerta da CETESB (2001).



23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

Nos solos coletados no Aterro II, assim como no Aterro I, constatou-se forte adsorção de cátions Mg, Ca e, pontualmente, de Mn. O K encontra-se, como esperado, em processo de lixiviação.

Os solos não apresentaram enriquecimento significativo de metais pesados, exceto para o cobalto. Os valores orientadores de alerta preconizados pela CETESB (2001), não foram atingidos para Pb, Ni e Zn. O cromo foi novamente constatado como contaminante natural do solo referencial, se comparados ao padrão da CETESB, embora nas amostras em contato com chorume, seu teor tenha sofrido sensível decréscimo (Tabela 3).

Tabela 3: Composição química dos solos do Aterro II.

ATERRO II												
Parâmetro	Limite de Detecção	CETESB Valores Referenciais/Alerta	Branco	Solo Impactado								
				SCB-1	SCB-2	SCB-3	SCB-4	SCB-5	SCB-6	SCB-7	SCB-8	SCB-9
Elementos Maiores (%)												
SiO ₂	0,30	-	66,72	64,43	74,94	71,36	65,03	62,24	60,29	65,4	62,98	61,74
Al ₂ O ₃	0,021	-	17,12	17,09	11,46	13,97	18,10	20,08	20,46	19,65	20,42	21,16
Fe ₂ O ₃	0,003	-	7,30	6,43	4,05	4,90	5,78	0,01	0,07	0,03	0,02	0,05
MnO	0,001	-	0,04	0,04	0,04	0,04	0,84	0,02	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
MgO	0,012	-	0,13	0,27	0,40	0,25	0,21	0,02	0,34	< 0,01	0,02	0,06
K ₂ O	0,006	-	1,79	1,51	1,09	0,83	0,90	0,07	0,12	0,06	0,13	0,06
CaO	0,003	-	< 0,01	0,69	0,69	0,99	0,07	0,18	0,1	0,09	0,06	0,06
Na ₂ O	0,015	-	0,07	0,19	0,14	0,12	1,33	0,942	0,98	0,943	1,02	0,98
TiO ₂	0,003	-	0,96	0,96	0,66	0,83	0,09	0,07	0,07	0,05	0,06	0,07
P ₂ O ₅	0,007	-	0,06	0,07	0,10	0,11	5,78	< 100	221,8	< 100	< 100	257,9
Elementos Traço (mg kg ⁻¹)												
S	30	-	80	3653	877	< 100	112	487,8	392,2	515,7	700,5	42,8
Cl	15	-	<15	205	546	693	561	351	551,5	< 223	360,7	498,4
F	223	-	485	704	654	1481	1308	33,4	33,1	27	30,1	26,3
Cr	4	40/75	80	73	54	66	62	21	18	16	25	20
Cu	2	35/60	24	25	26	26	27	12	12	12	9	10
Ni	1	13/30	12	14	12	21	23	39	46	58	49	59
Pb	2	17/100	24	39	30	56	48	97	17	21	23	16
Co	3	13/25	21	166	92	39	33	74	65	65	86	64
Zn	1	60/300	22	59	54	55	54	62	60	65	63	62

Obs: Em negrito destacam-se valores superiores aos teores Alerta da CETESB (2001).

EXTRAÇÕES TOTAIS (HNO₃ 8N) E SELETIVAS EM ÁGUA

Os resultados analíticos demonstram baixas concentrações de íons de metais pesados nos espaços intersticiais dos solos dos aterros.

As extrações nítricas mostram, entretanto, enriquecimento dos metais pesados em comparação aos solos de referência e elevados valores de íons adsorvidos e disponíveis ao meio (Tabela 4).

Tabela 4. Resultado das extrações seletivas de metais de solo em água e em HNO₃ (8N) dos Aterros I e II.

ATERRO I												
Metal mg kg ⁻¹	Limite de Detecção	Extração	Branco	SCA- 1a	SCA- 1b	SCA- 2a	SCA- 2b	SCA- 3	SCA- 4	SCA- 5		
Pb ²⁺	0,05	H ₂ O	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
		HNO ₃	2,8	10,2	16,8	61,5	89,5	17,4	9,2	9,9		
Cu ²⁺	0,025	H ₂ O	0,1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,1	0,1	0,2		
		HNO ₃	0,4	12,4	16,2	5,2	11,2	2,54	4,3	11,1		
Cr _t	0,02	H ₂ O	n.d.	n.d.	0,1	n.d.	n.d.	0,01	n.d.	n.d.		
		HNO ₃	n.d.	2,6	6,0	0,9	1,7	0,69	1,2	1,2		
Ni ²⁺	0,04	H ₂ O	n.d.	0,3	n.d.	0,7	n.d.	0,02	n.d.	n.d.		
		HNO ₃	0, 8	10,1	12,5	3,9	7,9	0,96	2,4	2,1		
ATERRO II												
Metal mg kg ⁻¹	Limite de Detecção	Extração	Branco	SCB- 1	SCB- 2	SCB- 3	SCB- 4	SCB- 5	SCB- 6	SCB- 7	SCB- 8	SCB- 9
Pb ²⁺	0,05	H ₂ O	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
		HNO ₃	3,9	13,5	19,3	44,0	15,1	3,1	23,4	20,1	14,4	23,7
Cu ²⁺	0,025	H ₂ O	0,2	0,2	0,5	0,1	0,2	0,3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
		HNO ₃	0,4	10,9	13,4	26,5	3,0	1,9	2,6	1,0	1,7	1,8
Cr _t	0,02	H ₂ O	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
		HNO ₃	0,4	3,3	3,4	3,7	1,2	0,10	10,1	0,10	4,6	6,8
Ni ²⁺	0,04	H ₂ O	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
		HNO ₃	0,3	3,4	2,3	2,5	1,5	4,0	5,2	4,4	4,3	4,7

n.d.: não detectado

Os teores de metais pesados adsorvidos aos solos apresentam-se, de modo geral, mais elevados no Aterro I. Isso pode ser atribuído, em parte, à quantidade de metais presentes no lixo (tipo de resíduos dispostos, origem etc.), embora sejam necessárias determinações sistemáticas dos teores de metais pesados nos resíduos de ambos os aterros.

No solo do Aterro II, apesar da presença de vermiculita como componente a mais que elevou a CTC em relação ao Aterro I, a adsorção foi menor em função da textura mais arenosa que ocasionou maior velocidade de fluxo no processo de lixiviação com menor tempo de residência no sistema íon/solo.

Futuramente, devem ser conduzidos trabalhos sobre mecanismos de mobilidade e fixação de metais pesados associados a esses solos, bem como a outros tipos de solos, para que determinem as condições (químicas e físico-químicas) que interferem na disponibilização de íons de metais pesados ao meio.

CONCLUSÕES

As extrações seletivas e totais de íons metálicos associados a solos permitem quantificar a disponibilidades dos mesmos ao meio ambiente e constituem instrumento adicional na avaliação do grau de contaminação de áreas.



A aplicação desta metodologia juntamente com a caracterização das propriedades texturais, mineralógicas e químicas dos solos e o acompanhamento das mudanças que podem afetar a forma química e a disponibilidade dos metais, constituem importante contribuição para investigação e diagnóstico ambiental em áreas destinadas à disposição de resíduos sólidos urbanos.

Dadas as diferentes respostas que os solos apresentam aos processos que ocorrem no aterro, deve-se considerar a necessidade de maior atenção à caracterização química, textural e mineralógica dos materiais utilizados como cobertura para que suas propriedades sejam melhoradas, garantindo maior controle ambiental.

Finalmente, embora já seja consenso, vale reforçar a necessidade de se efetivar o gerenciamento de resíduos sólidos que garanta a separação rigorosa dos componentes perigosos do lixo, antes de sua entrada nos aterros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CETESB–COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, São Paulo (Estado). *Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo*. São Paulo, CETESB, 2001.
2. HEITZMANN Jr., J.F. *Alterações na composição do solo nas proximidades de depósitos de resíduos domésticos na Bacia do Rio Piracicaba, São Paulo*. São Paulo, ABGE, 66p. (Série Síntese de Tese, nº 9), 1999.
3. HYPOLITO, R.; NASCIMENTO, S.C. Comportamento de íons metálicos em solos, sedimentos, águas superficiais e subterrâneas no Córrego d Anta, S.J. do Rio Preto. *Revista Águas Subterrâneas*, 18. Curitiba: ABAS, p.55-65, 2004.
4. HYPOLITO, R.; MARQUES, J. F.; NASCIMENTO, S.C.; PUGAS, M. S. Extração iônica de soluções intersticiais de solo. *Revista Águas Subterrâneas*, ABAS, 2005 (no prelo).
5. MACLEAN, J.E.; BLEDSOE, B.E. *Behavior of Metals in Soils*. USEPA-United States Environmental Protection Agency, EPA/540/S-92/018 Ground Water Issue, 1992.
6. MARQUES, J. F. *Comportamento de íons Pb, Zn e Cu em área impactada por escória, produto da reciclagem de baterias chumbo-ácido*. São Paulo. Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 2003
7. MUÑOZ, S.I.S. *Impacto ambiental na área do aterro sanitário e incinerador de resíduos sólidos de Ribeirão Preto, SP: Avaliação dos níveis de metais pesados*. Ribeirão Preto. Tese (Doutorado), Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto – Universidade de São Paulo, 2002
8. NASCIMENTO, S. C. *Influência de resíduos sólidos contendo Mn, Zn, Cu, Cr e Pb na qualidade do sistema água/solo/sedimento do Córrego da Anta – São José do Rio Preto-SP*. São Paulo. Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 2002.
9. OLIVEIRA, J.B.; CAMARGO, M.N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. *Mapa Pedológico do Estado de São Paulo*. EMBRAPA / IAC, 1999.
10. RAIJ, B.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H. *Análise química do solo para fins de fertilidade*. Campinas, Fundação Cargill, 170p., 1987.
11. RODRIGUES, C.L. *Influência da disposição de resíduos sólidos domésticos e infiltração do chorume na região do Lixão de Ilhabela-SP*. São Paulo. Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 98p., 2002.
12. SISINNO, C.L.S.; MOREIRA, J.C. Avaliação da contaminação e poluição ambiental na área de influência do aterro controlado do Morro do Céu, Niterói, Brasil. *Cadernos de Saúde Pública* [online], Out/Dez 1996, vol. 12, n.4. p.515-523, 1996 (Disponível em http://scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102311X1996000400010&lng=em&nrm=isso)



**23º CONGRESSO BRASILEIRO
DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**
De 18 a 23 de setembro de 2005 - Campo Grande - Mato Grosso do Sul



**"Saneamento Ambiental Brasileiro:
Utopia ou Realidade?"**