

Resumo

A distribuição dos metais pesados Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn nas frações geoquímicas em solos do Pólo Industrial (PIM) e Aterro Sanitário Controlado (ASC) da cidade de Manaus foi estudada. Nos solos coletados foram analisados os atributos químicos e físicos e concentração dos metais pesados por espectrometria de absorção atômica de chama (FAAS) em chama ar-acetileno nas frações trocável, carbonácea, oxídica e matéria orgânica. Os solos do ASC e PIM foram caracterizados por terem valores elevados de Cd, Co, Cr, Fe e Pb em todas as frações geoquímicas estudadas. Particularmente o solo coletado no PIM apresentou também altas concentrações de Cu, Ni e Zn. Os resultados mostraram que os metais possuem distribuições diferentes nos solos contaminados, sendo influenciados por fatores como pH, quantidade de matéria orgânica, complexação, competição iônica e interações químicas que contribuíram para sua mobilidade e/ou adsorção.

Abstract

Heavy metal contents from soil Manaus Pole Industrial (PIM), and landfill Controlled (ASC) were determined in geochemical fraction in aim to study on distribution of Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn. In soils collected were analyzed the chemical and physical attributes and heavy metal contents of the exchangeable, carbonaceous, oxidic, organic and residual geochemical fractions by Flame Atomic Absorption Spectrometry (FAAS) using to air-acetylene. ASC and PIM soils were characterized by having high values of Cd, Co, Cr, Fe and Pb in all fractions geochemical studied. Particularly in the soil collected in the PIM also showed high concentrations of Cu, Ni and Zn. Findings showed the metals having different distributions in contaminated soil and being influenced by factors such as pH, amount of organic matter, complexation, competition and ion chemical interactions that contributed to their mobility and / or adsorption.

-
- Edson Valente Chaves⁽¹⁾
 - Genilson Pereira Santana⁽²⁾

¹ Doutor em Biotecnologia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas - Gerência de Química e Meio Ambiente – CEP 69020-120 – Manaus – Amazonas – Brasil. E-mail: edson_valente@yahoo.com.br

² Doutor em Química da Universidade Federal do Amazonas - Departamento de Química – CEP 69077-000 – Manaus – Amazonas

1 Introdução

O comportamento de poluentes em solos, como metais pesados e suas diversas formas químicas (solúvel, móvel e retida), é, a princípio, ditada por parâmetros físicos, químicos e mineralógicos (EPA, 2007). Os metais pesados no ambiente podem seguir diferentes vias de fixação, liberação ou transporte, acumulando-se no solo e com isso altera a atividade microbiana, causando fitotoxicidade e contaminando os recursos hídricos. Isso representa grande risco para a saúde de animais e seres humanos, pois ao entrar na cadeia alimentar em grandes concentrações, causa distúrbios em seus processos metabólicos. Particularmente, nos seres humanos é possível observar efeitos neurotóxicos, hepatotóxicos, nefrotóxicos, teratogênicos, carcinogênicos ou mutagênicos (MATTIAZZO e ANDRADE, 2000).

O método desenvolvido por Tessier et al. (1979), é o mais difundido para extração seqüencial das formas químicas dos metais pesados no solo. Este método se baseia em cinco extrações: solúvel em água ou trocável; associada aos carbonatos, óxidos de manganês e ferro, matéria orgânica e, finalmente, a fração residual, metais ligados à rede cristalina dos minerais.

Amostras de solos contaminados foram coletadas a fim de estudar a distribuição de metais pesados (Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn) nas frações geoquímicas provenientes de carga poluidora de chorume (ASC) e despejo industrial (PIM), além de prever o risco potencial de contaminação devido às mudanças de condições físico-químicas, como pH, potencial de oxidação, quantidade de matéria-orgânica, etc.

2 Material e Métodos

2.1 Descrição da área

O solo do PIM fica às margens do Igarapé do Quarenta (S 3°06'25.53", 59°57'37.82" O), situado na área central Manaus, abrigando cerca de 250.000 habitantes (Figura 1). Nessa região foram construídos mais de 400 empreendimentos industriais de alta tecnologia, o setor elétrico-eletrônico é responsável por 55% de sua produção (MENDONÇA, 2004 e IBGE, 2007). O PIM, aliado ao crescimento demográfico rápido e desordenado ao longo dos anos provocou inúmeras alterações ambientais no ecossistema de Manaus, dentre as quais se destacam a poluição por metais pesados nos corpos hídricos, plantas e solos urbanos (SILVA, 1996; VALLE, 1998; SAMPAIO, 2000; OLIVEIRA, 2002; ELIAS, 2003).

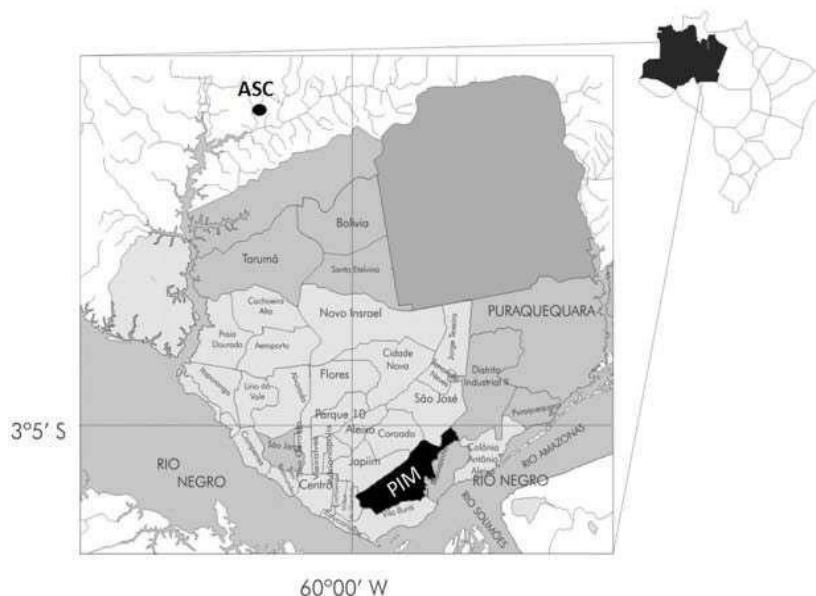


Figura 1 – Localização geográfica onde as amostras de solos foram coletadas.

2.2 Preparo da mostra

Amostras de solo do ASC, PIM e controle (Latossolo Amarelo da floresta preservada da UFAM) foram coletadas com auxílio de um trado. Sendo que, cada amostra de solo foi composta por 10 sub-amostras (2 kg/área), escolhidos aleatoriamente na área, e em uma profundidade de 00-60 cm. A escolha do tipo de solo da UFAM foi baseada no fato de que tanto o solo utilizado para compor as células do ASC quanto na região das fábricas do PIM são Latossolos Amarelos (BARRONCAS, 1999). As amostras de solo foram homogeneizadas e secas ao ar por duas semanas e peneiradas em malhas de 2 mm, identificados por Terra Fina Seca ao Ar (TFSA). As amostras de TFSA foram utilizadas em todas as análises físicas e químicas deste trabalho (EMBRAPA, 1999).

2.3 Determinação dos atributos químicos e físicos

Os atributos químicos: Matéria Orgânica (MO), (H^+ e Al^{3+}), P, K, Na, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn e físicos: pH em água, pH em $CaCl_2$, areia, silte e argila foram determinados segundo métodos sugeridos pela EMBRAPA em triplicata (EMBRAPA, 1999).

2.4 Extração seqüencial para determinação de metais pesados

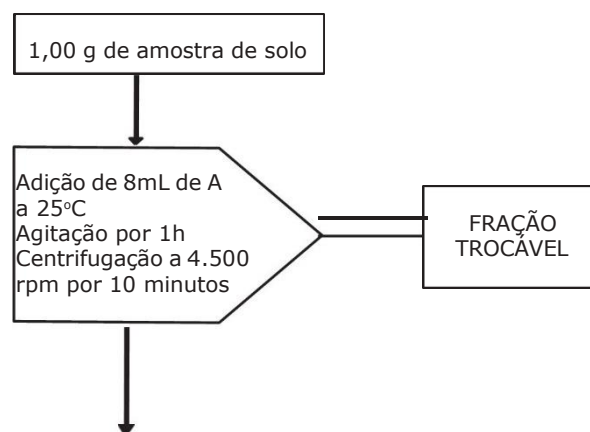
A determinação das espécies metálicas nas amostras de solos foi realizada seguindo o método de extração seqüencial (TESSIER et al., 1979). Sendo utilizadas as soluções descritas na Tabela 1.

Tabela 1 – Soluções utilizadas para fazer a extração seqüencial de metais pesados nas amostras de sedimento.

Frações	Soluções Extratoras	pH	Legenda
Trocável (T)	$MgCl_2$ a $1,00 \text{ mol L}^{-1}$	7,0	A
Carbonácea (C)	$NaOAc$ a $1,00 \text{ mol L}^{-1}$	5,0	B
Oxídica (O)	$NH_2OH \cdot HCl$ a $0,04 \text{ mol L}^{-1}$ em HAc a 25%	1,8	C
	H_2O_2 a 30% + HNO_3 $0,02 \text{ mol L}^{-1}$	2,0	D1
Matéria Orgânica (MO)	H_2O_2 a 30%	2,0	D2
	NH_4OAc $3,2 \text{ mol L}^{-1}$ em HNO_3 a 20%	-	D3

Para tanto, as amostras foram secas a $50^\circ C$ por uma hora em uma estufa, sendo medido cerca de 1,000 g para tubos de centrífuga de polietileno de 50 mL. As quatro fases geoquímicas foram obtidas segundo fluxograma descrito na Figura 2. Os resíduos obtidos de cada fração foram lavados com água desmineralizada e centrifugados a 4.500 rpm por cinco minutos antes da adição dos extratores de cada fração. A partir dos extratos obtidos, 5,00 mL foram acidificados com HNO_3 concentrado e diluídos para 25,0 mL com água desmineralizada. As determinações dos metais pesados foram realizadas por espectrometria de absorção atômica com chama em ar-acetileno, utilizando-se o método direto e reagente padrão certificados (SpecSol) cujo valor da solução cuja concentração é de $1.000 \pm 0,003 \text{ mg g}^{-1}$, nos comprimentos

de ondas (nm) e os respectivos limites de detecção ($mg kg^{-1}$): Cd (228,8 e 0,009); Co (240,7 e 0,05); Cr (357,9 e 0,05); Cu (324,7 e 0,025); Fe (248,3 e 0,05); Mn (279,5 e 0,02); Ni (232,0 e 0,04); Pb (217,0 e 0,06) e Zn (213,9 e 0,008).



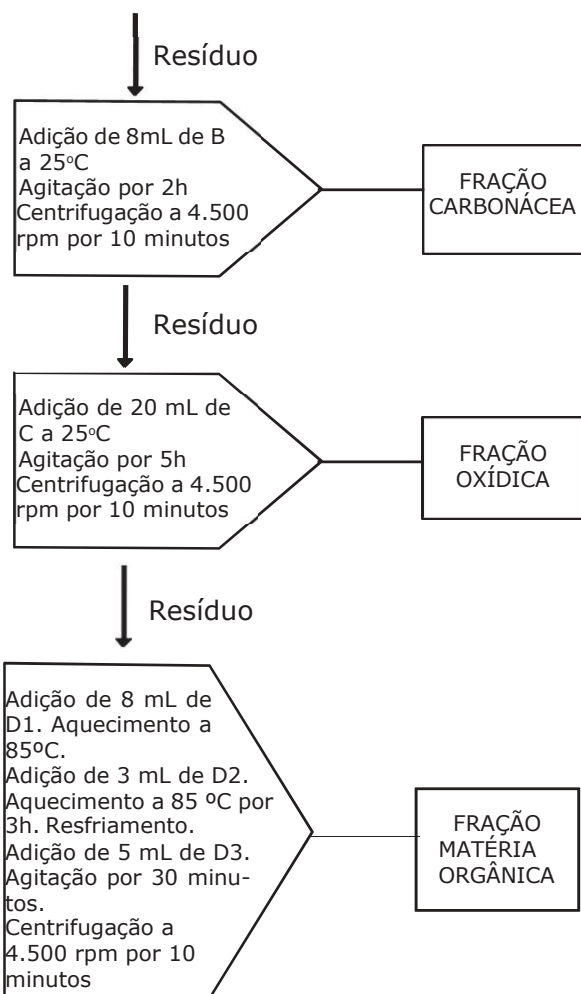


Figura 2 – Método de extração sequencial. Fonte Tessier et al. (1979).

2 Resultados e Discussão

Em relação ao solo controle, os atributos químicos e físicos do ASC e PIM apresentaram valores altos de pH; P; Ca; Na; Cu; Fe; Mn; Zn e baixos de M.O (Tabela 2). Em alguns casos, os resultados são maiores para apenas um determinado solo, como: acidez trocável (H^+ e Al^{3+}) e Mg trocável para o PIM e K para o ASC.

As análises granulométricas mostraram que os dois solos contaminados possuem característica de solo arenoso, enquanto o controle, argiloso. Estes resultados indicam que ASC e PIM tiveram seus atributos químicos e físicos alterados devido aos processos de contaminação antrópicos ocorridos nos dois solos. Mas mesmo assim, os solos mostram valores de

•pH negativos, caracterizando a predominância de cargas negativas (TOMÉ Jr, 1997); ou seja, o solo do PIM, ASC e Controle possuem •pH da mesma ordem de magnitude.

Tabela 2 – Atributos químicos e físicos do ASC, PIM e controle.

Atributo	ASC	PIM	Controle
pH em água	6,4(0,5)	6,1(0,3)	4,6(0,3)
pH em $CaCl_2$	5,7(0,3)	5,4(0,6)	4,0(0,2)
Areia (%)	51,0(2,1)	67,0(2,7)	11,0(0,8)
Silte (%)	14,0(0,6)	13,0(1,0)	10,0(0,7)
Argila (%)	35,0(1,1)	20,0(0,9)	79,0(2,2)
MO (g C kg^{-1})	5,2(0,2)	7,7(0,2)	9,4(0,3)
H e Al^{3+} (C $mol\ dm^{-3}$)	8,3(0,6)	59,4(3,1)	17,1(0,4)
P (mg kg^{-1})	2,4(0,1)	2,5(0,3)	1,5(0,1)
K (mg kg^{-1})	120,1(1,2)	1,5(0,1)	12,6(0,5)
Na (mg kg^{-1})	26,6(1,0)	5,4(0,4)	0,10(0,02)
Ca (%)	13,9(0,8)	9,2(0,5)	5,4(0,2)
Mg (%)	1,4(0,1)	30,2(2,5)	2,9(0,3)
Cu (mg kg^{-1})	4,4(0,3)	24,8(1,3)	3,5(0,3)
Fe (mg kg^{-1})	125,6(3,1)	1657,7 (10,6)	90,6(5,7)
Mn (mg kg^{-1})	12,4(0,2)	133,2(3,9)	2,3(0,1)
Zn (mg kg^{-1})	3,4(0,3)	9,7(0,3)	0,6(0,1)

2.2 Estudo das Frações Geoquímicas de Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn E Ni

Em geral, as concentrações dos metais nos solos contaminados são maiores que as do controle (Tabela 3). Outra característica observada é que a concentração total de metais pesados (T + C + O + MO) do solo do PIM é maior que do ASC, guardando a seguinte proporção PIM/ASC: Cd (8,5:1); Co (2,2:1); Cr (2,2:1); Cu (2,8:1); Mn (24,5:1); Pb (38,1:1); Zn (28,6:1). A única exceção é para Fe (1:1,7) que possui menor concentração total no PIM em relação ao ASC. O Ni foi o único metal que apresentou no solo do ASC concentração inferior ao limite de detecção (0,04 mg kg^{-1}).

Tabela 3 – Concentração (mg kg⁻¹) dos metais pesados nas frações geoquímicas do ASC, PIM e controle

		Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn	Ni
ASC	T	1,5(0,2)	8,2(0,8)	84,9(2,1)	2,1(0,2)	262,5(4,3)	12,6(0,7)	19,3(0,9)	15,2(0,8)	ND
	C	2,6(0,4)	9,8(0,9)	73,4(3,2)	2,8(0,1)	269,0(4,5)	3,8(0,5)	13,7(0,5)	15,7(1,0)	ND
	O	1,1(0,1)	3,9(0,5)	71,4(4,2)	2,3(0,1)	1790,7(20,1)	4,3(0,3)	18,4(1,0)	7,0(0,4)	ND
	MO	1,1(0,1)	5,6(0,3)	64,6(2,3)	2,9(0,2)	1535,7(18,7)	3,4(0,4)	15,2(0,7)	4,7(0,3)	ND
	Total	6,3	27,5	294,3	10,1	3857,9	24,1	66,6	42,6	ND
PIM	T	21,1(1,2)	15,0(1,1)	157,3(4,5)	91,6(2,3)	379,0(10,2)	159,0(5,6)	714,9(4,5)	367,3(4,2)	361,3(10,1)
	C	14,5(0,2)	15,5(0,9)	159,7(4,7)	52,8(1,7)	62,5(3,4)	122,7(4,5)	721,5(10,1)	391,0(7,8)	247,6(14,3)
	O	8,0(0,2)	16,4(1,2)	153,3(4,8)	47,9(3,2)	1163,0(23,4)	144,5(8,4)	508,7(5,8)	164,5(3,4)	235,0(11,2)
	MO	9,7(0,2)	13,7(0,9)	168,2(8,0)	93,0(1,4)	658,3(10,4)	164,5(9,4)	591,9(7,8)	297,3(9,2)	207,3(8,4)
	Total	53,3	60,6	638,5	285,3	2262,8	590,7	2537	1220,1	1051,2
Controle	T	0,9(0,1)	3,1(0,6)	37,2(1,2)	1,8(0,1)	104,9(3,7)	5,6(0,4)	9,1(0,5)	4,4(0,2)	5,1(0,1)
	C	1,5(0,1)	4,5(0,6)	33,1(1,7)	1,8(0,2)	113,1(2,1)	1,5(0,2)	4,5(0,3)	2,7(0,2)	7,8(0,2)
	O	0,8(0,1)	1,8(0,4)	38,8(2,4)	1,7(0,1)	171,5(5,5)	1,6(0,2)	7,0(0,3)	1,7(0,2)	7,2(0,2)
	MO	0,7(0,1)	2,6(0,2)	32,5(2,1)	1,4(0,1)	138,7(4,5)	1,7(0,2)	6,8(0,4)	1,3(0,1)	6,7(0,1)
	Total	3,9	12,0	141,6	6,7	528,2	10,4	20,4	10,1	26,8

Nas frações geoquímicas as maiores concentrações foram encontradas da seguinte forma: I) fração trocável Cr, Mn e Pb no ASC, Cd e Ni no PIM e Cu, Mn, Pb e Zn no controle; II) fração carbonácea Cd, Co e Zn no ASC, Pb e Zn no PIM e Co, Cd, Cu e Ni no controle; III) fração oxidada Fe no ASC, o Fe e Co no PIM e o Fe e Cr no controle; e IV) fração matéria orgânica Cu no ASC e Mn, Cu, Cr no PIM. De modo geral, os metais pesados apresentaram diferentes ordens de distribuição relativa, sendo que o Cr (ASC)-Ni (PIM)-Cu (controle)-Zn (controle), Zn (ASC)-Cd (controle), Co (PIM)-Zn (PIM) e Pb (PIM)-Cd (PIM) apresentaram diferentes afinidades nas frações geoquímicas (Figura 3).

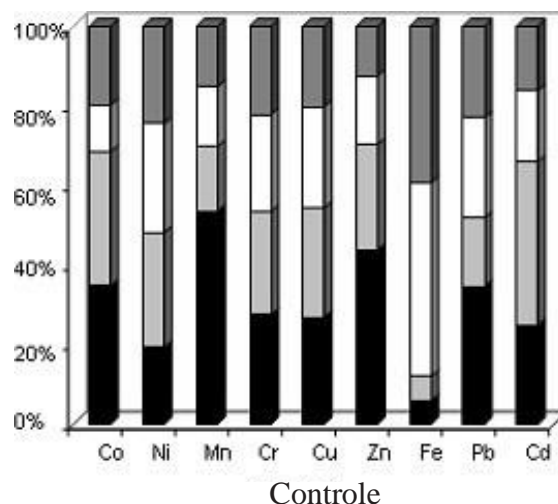
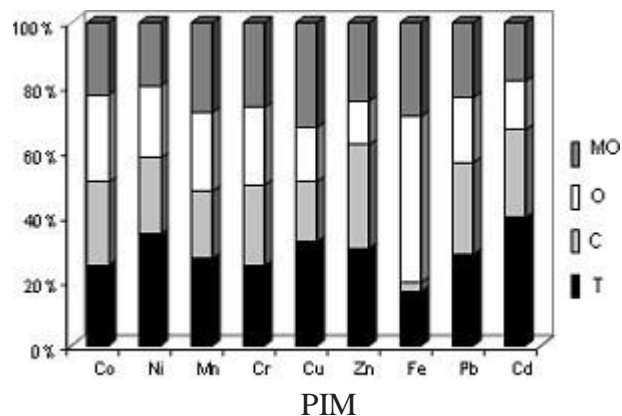
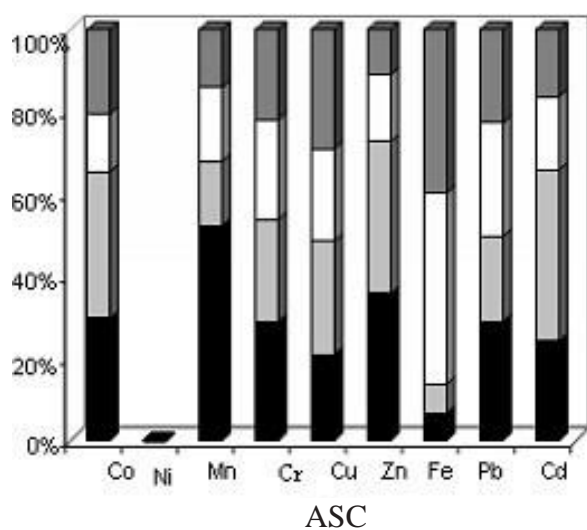


Figura 3 – Distribuição relativa de metais pesados entre as frações geoquímicas dos solos do ASC, PIM e controle.

Individualmente, os metais pesados foram caracterizados por comportamentos bastante distintos entre si. O Co associado às frações geoquímicas mostra que o PIM e o controle possuem a mesma relação de afinidade e distribuição, sendo a maior concentração na oxidada. A princípio a maior disponibilidade de Co nesta fração ocorreu pela influência da alta concentração de Mn, aliado ao fato do valor de pH que contribui para formação de carbonatos (GONZÁLEZ e SILVA, 2003). No ASC a menor concentração de Co foi observada na fração

oxidada, cujo valor alto de pH favorece a formação de óxidos deste metal, uma vez que

a elevação do valor de pH possibilita menor disponibilidade de H⁺ para ocupar cargas negativas do solo, facilitando o processo de troca dos íons metálicos (TOME Jr, 1997; ATSDR, 2006; EPA, 2007).

O Ni apresentou afinidade e distribuição diferente no PIM e controle, cuja concentração maior ocorreu na fração trocável e carbonácea do PIM e controle, respectivamente. Este fato pode ser atribuído ao comportamento deste metal no solo que, ainda, é pouco conhecido. Sabe-se que este elemento é um dos mais móveis e que tem facilidade de formar complexo (SÁ, 2003). No PIM a presença de alta concentração de Na, Ca e Mg favorece mais facilmente a forte adsorção do Ni o que justifica os altos valores de concentração encontrados na fração trocável em relação ao controle (RAURET, 1998). Outro aspecto a ser considerado é o valor de pH em água do solo controle de 4,6 que favorece a associação do Ni à fração carbonácea (TESSIER et al., 1979).

O Mn apresentou a seguinte variação de afinidade nas frações geoquímicas nos solos: igual no controle e ASC e diferente no PIM. Pelo fato do predomínio da forma divalente em pH de 4,0 a 7,0 em água, esta variação de Mn já era esperada, pois neste intervalo o equilíbrio entre as formas do Mn é bastante acentuado (AZEVEDO e CHASIN, 2003). Devido à deficiência do Mn (Tabela 2) os solos do ASC e controle apresentaram a forma trocável como a mais disponível, o que permite o estabelecimento de uma forte relação de interação com o Fe (BORKERT et al., 2002). No solo do PIM prevalece a forma orgânica, o que é normal, já que os valores de concentração de

Mn e acidez potencial são elevados, facilitando o processo de oxirredução (RAIJ e BATAGLIA, 1991).

A relação de afinidade do Cr nas frações geoquímicas indica diferentes variações e distribuição relativa parecida em todos os solos estudados. Segundo a literatura, o Cr pode estar presente na forma de Cr³⁺ (forma mais disponível) ou Cr⁶⁺ (condições oxidantes) (FÖRSTNER e WITTMANN, 1983).

O Cr³⁺ oxida a Cr⁶⁺ reação facilitada pela presença de substâncias orgânicas, MnO₂,

umidade e pH ácido. A forma Cr³⁺ é favorecida

principalmente pela reação de redução do Cr⁶⁺ e maior concentração de MO em relação aos solos contaminados e PIM. Desta forma, o solo controle possui maior distribuição relativa de Cr na fração oxidada. No solo do PIM, o Cr encontra-se mais disponível na fração orgânica facilitada pela alta concentração de Mn, principalmente na forma de MnO₂. O ASC possui maior distribuição de Cr na fração trocável por apresentar baixa concentração de MO e valor de pH próximo da neutralidade, sendo Cr³⁺ o íon mais disponível, presente principalmente na forma de óxido insolúveis, Cr₂O₃.nH₂O, possuindo pouca mobilidade (MARQUES et al., 2002).

A maior afinidade do Cu observada nas frações geoquímicas é a MO para os solos do ASC e PIM e trocável no solo controle. É comum observar o comportamento de maior afinidade do Cu na forma trocável, formando complexos estáveis em solos com maior concentração de MO, como ocorre no solo controle em pH próximo a 4,5 cuja mobilidade é baixa (LOPES e ABREU, 2000). O PIM e ASC apresentam características contrárias ao controle, isso faz com que tenham maior disponibilidade na fração carbonácea (ATSDR, 1990).

Os solos contaminados apresentaram maior afinidade de Zn na fração carbonácea e o controle na fração trocável. Nos solos contaminados, a forma carbonácea é favorecida pelo valor de pH, sendo superior ao controle, diminuindo a tendência de serem absorvidos ou, muitas vezes, associado a outros elementos, como Pb, Cd e Cu. Esta tendência é diferente no solo controle, que apresenta a forma trocável como mais disponível (FÖRSTNER e WITTMANN, 1983; MATTIAZZO-PREZOTTO, 1994).

A relação de afinidade e distribuição relativa nas frações geoquímicas do Fe revela que este metal apresenta o mesmo comportamento nos três solos estudados, ou seja, na fração oxidada ocorre as maiores concentrações. Como o Fe se encontra presente nos solos na forma, principalmente, de óxidos e hidróxidos esse resultado já era esperado (O'NEIL, 1994).

A distribuição relativa no Pb mostrou pouca variação e a maior afinidade, em geral, na fração trocável nos três solos. Um dos fatores que poderia ter contribuído para maior afinidade na fração trocável é o pH e a quantidade de MO presente nos solos estudados. Em solos, como os do PIM e ASC, os valores de pH variam entre 6,1 e 6,4, respectivamente, e conseqüentemente a presença de MO é menor. Esse resultado contradiz as observações de Kabata-Pendias e Pendias, cujos resultados mostram que o Pb é fortemente absorvido na MO (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 2001). A maior afinidade do Pb na fração trocável se deve a tendência do metal em formar óxiidróxidos ou precipitar na forma de carbonatos ou fosfatos. O solo controle por possuir valor de pH de 4,6 e maior quantidade de MO em relação aos solos contaminados, é suscetível de formar complexos orgânicos, o que torna o Pb mais biodisponível para as plantas (USEPA, 1986).

A concentração Cd, presente nos solos controle e ASC, apresentou distribuição similar e maior afinidade na fração carbonácea. No solo controle, a fração carbonácea é mais disponível devido o baixo valor de pH e maior concentração de MO que promove poucas interações catiônicas, principalmente entre os micronutrientes do solo. O aumento de pH e a diminuição da concentração da MO fazem com que haja as mesmas interações no ASC

(GUSSARSON, 1994). No PIM, a forma trocável foi mais evidente devido o aumento dessas interações, provocada pelo aumento de pH e concentração de micronutrientes (WHO, 1998).

Portanto, as distribuições distintas que ocorreram com os metais nas frações geoquímicas no solo se devem a fatores que contribuíram para a sua mobilidade e/ou adsorção como: pH; quantidade de matéria orgânica; competição iônica; complexação e quelação pela matéria orgânica; absorção específica em óxidos de ferro, alumínio, manganês e oclusão em carbonatos (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 2001; SANNINGS e STIETZL, 1993; FETTER, 1993; NAIDU et al., 1994; WARMAN e COPPER, 2000; KIEKENS, 1995).

3 CONCLUSÕES

Os atributos químicos e físicos mostraram que os solos contaminados do PIM e ASC foram alterados em suas propriedades devido à crescente atividade antrópica. O estudo nas frações geoquímicas revelou que os solos do PIM e ASC possui elevada concentração de Cd, Co, Cr, Fe e Pb e somente no PIM de Cu, Ni e Zn. Proporcionalmente, o solo do PIM apresentou valores de concentração superiores ao ASC, com exceção do Fe. Essa avaliação indica que a contribuição antrópica, no estágio atual é grande no PIM e moderada no ASC. As análises do comportamento dos metais pesados nas frações geoquímicas mostraram que os metais possuem distribuições distintas nos solos contaminados, sendo influenciadas por fatores físicos e químicos como pH, quantidade de MO, complexação, competição iônica e interações químicas imprescindíveis na mobilidade e/ou adsorção dos metais pesados estudados.

AGRADECIMENTOS

A FAPEAM pelas bolsas de PIBIC cedida e compra de parte do espectrômetro de absorção atômica, ao CNPq pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). Toxicological profile for copper. Syracuse: US Department of Commerce, 1990.
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). Toxicological profile for cobalt, Atlanta, 2006.
- AZEVEDO, F.; CHASIN, A.A. Metais – Gerenciamento da Toxicidade. Editora Atheneu – InterTox, 2003.
- BARRONCAS, P.S.R. Estudo da Concentração de Metais Pesados nos Igarapés Matrinxã, Acará, Bolívia e Tarumã (Manaus - AM). Manaus, 1999 Dissertação: Química de Produtos Naturais, Instituto de Ciência Exatas, Universidade Federal do Amazonas.
- BORKERT, C.M.; PEREIRA, L.R.; SFREDO, G.J.; OLIVEIRA JR., A.; ORTIZ, F.R. Calibração de zinco no solo do estado do Mato Grosso. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 24, São Pedro, 2002.
- ELIAS, E.P. Absorção de alguns metais pesados pela *Homolepis aturensis* (H.B.K) Chase Manaus, 2003. Dissertação: Química de Produtos Naturais, Instituto de Ciência Exatas, Universidade Federal do Amazonas.
- EMBRAPA. Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes. Organizador Fábio César da Silva. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999.,EPA. Disponível em: www.epa.gov/ada/download/issue/issue14.pdf/. Acesso em junho de 2007.
- FETTER, C.W. Contaminant Hydrogeology. McMillan, 1993.
- FÖRSTNER, U.; WITTMANN, G.T.W. Metal Pollution in the Aquatic Environment. Berlin, Springer-Verlag, 1983.
- GONZÁLEZ, F.H.; SILVA, S.C. Introdução à Bioquímica Veterinária. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.
- GUSSARSON, M. Cadmium-induced alterations in nutrient composition and growth of *Betula pendula* seedlings: the significance of the fine roots as a primary target for cadmium toxicity. *Journal of Plant Nutrition*, Madison, v. 17, 2151p. 1994.
- IBGE. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em outubro de 2007.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. Trace elements in soils and plants. 3rd ed. Boca Raton, CRC Press, 2001.
- KIEKENS, L. Zinc. In: *Heavy Metals in Soils*; Alloway, B. J. [Editor]; Chapman and Hall, London. 1995.
- LOPES, A.S.; ABREU, C.A. Micronutrientes na agricultura brasileira: evolução histórica e futura. *Revista Brasileira de Ciência e Solo*, n. 1, p. 265-271. 2000.
- MARQUES, J.J.G.S.M.; CURI, N. E SCHULZE, D.G. Trace elements in Cerrado soils. Tópicos em *Revista Brasileira de Ciência e Solo*, n. 2, p. 103-107. 2002.
- MATTIAZZO, M. E; ANDRADE, C. A. Aplicabilidade do biossólido em plantações florestais: lixiviação de N orgânico e toxicidade de metais pesados. In: *Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto*. Ed. Wagner Bettiol, W. e Camargo, O.A. Jaguariuna, SP: EMBRAPA, Meio Ambiente, 2000.
- MATTIAZZO-PREZOTTO, M.E. Comportamento de cobre, cádmio, crômio, níquel e zinco adicionados a solos de clima tropical em diferentes valores de pH. Piracicaba. 1994. Tese: ESALQ/USP.

- MENDONÇA, R. B. S. 2004. Avaliação de parâmetros físico-químicos das águas do Igarapé do Quarenta Manaus – AM. Manaus, 2004. Dissertação: Química de Produtos Naturais, Instituto de Ciência Exatas, Universidade Federal do Amazonas.
- NAIDU, R.; BOLAN, N.S.; KOOKANA, R.S.; TILLER, K.G.. Ionic-strength and pH effects on the sorption of cadmium and the surface charge of soils. *J. Environ. Sci, Oxford*, v. 45, 419p. 1994.
- O'NEIL, P. Major elements in the earth's crust – Iron. In: (Ed). *Environmental chemistry*. 2a ed. Chapman e Hall. 1994.
- OLIVEIRA, T.C.S. Distribuição de metais pesados em sedimentos na região do Distrito Industrial de Manaus - Amazonas. Manaus, 2002. Dissertação: Química de Produtos Naturais, Instituto de Ciência Exatas, Universidade Federal do Amazonas.
- RAIJ, B. VAN; BATAGLIA, O.C. Análise química do solo. In Ferreira, M.E.; Cruz, M.C.P. (eds.). *Micronutrientes na agricultura*. Piracicaba: POTAFOS / CNPq. 1991.
- RAURET, G. Extraction procedures for the determination of heavy metals in contaminated soil and sediment. *Talanta*, v. 46, n. 3, p. 449-453. 1998,.
- SÁ, F. 2003. Distribuição e fracionamento de contaminantes nos sedimentos superficiais e atividades de dragagem no complexo estuário da baía de Paranaguá (Pr). Pontal do Sul, 2003. Dissertação: Geologia Ambiental, Universidade Federal do Paraná.
- SAMPAIO, A.Q. Caracterização física e química dos sedimentos do Distrito Indústria de Manaus – Am. Manaus, 2000. Dissertação: Química de Produtos Naturais, Instituto de Ciência Exatas, Universidade Federal do Amazonas.
- SANNINGS, D., STIETZL, H. United State/German bilateral agreement on hazardous waste site cleanup project. In: *Contaminated Soil'93*. Dordrecht: Kluwer Academic Publication, 1993.
- SANTOS, I. N., HORBE, A. M. C., SILVA, M. S.
- R., MIRANDA, S. A. F. Influência de um aterro sanitário e de efluentes domésticos nas águas superficiais do Rio Tarumã e afluentes – AM. *Acta Amazônica*, v. 36, n. 2, p. 229-236. 2006.
- SILVA, M.S R. Metais pesados em sedimentos de fundo de igarapés (Manaus – Am). Belém, 1996. Dissertação: Universidade Federal do Pará.
- TESSIER, A.; CAMPBELL, P.G.C.E BISSON, M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Anal. Chem. Washington. Analytical Chemistry*, v. 51, n. 8.1979.
- TOMÉ Jr., J.B. Manual para interpretação de análises de solo. Guaíba: Agropecuária, 1997.
- USEPA. Standards for the use and disposal of sewage sludge. Washington: EPA. (Code of Federal Regulations 40 CRF Part 503), 1986.
- VALLE, C.M. do1998. Impacto Ambiental Urbano: Avaliação física e química dos solos da bacia do Igarapé do Quarenta (Manaus – Am). Manaus, 1998. Dissertação: Química de Produtos Naturais, Instituto de Ciência Exatas, Universidade Federal do Amazonas.
- WARMAN, P.R.; COPPER J.M. Fertilization of a mixed forage crop with fresh and composted chicken manure and NPK fertilizer: effects on soil and tissue Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn and Zn. *Can J.Canadian J. Environ. Sci*, v. 80, 345p. 2000.
- WHO (World Health Organization). IPCS. Environmental health criteria 85 - lead - environmental aspects. Geneva, 1998.