

COMPORTAMENTO DE ÍONS METÁLICOS EM SOLOS, SEDIMENTOS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS NO CÓRREGO DA ANTA, S.J. DO RIO PRETO-SP

Raphael Hypolito¹

Silvia Cremonez Nascimento

RESUMO

A determinação e o monitoramento de metais pesados em águas, solos e sedimentos são extremamente importantes para controle ambiental. Neste trabalho determinaram-se as concentrações e disponibilidade de íons metálicos poluentes originados de várias fontes e sua dispersão em diferentes locais ao longo do Córrego da Anta - nordeste do Município de S. J. do Rio Preto, SP - drenagem do Rio Preto, inserido na Bacia Hidrográfica do Turvo/Grande. Este estudo baseou-se na identificação e quantificação de espécies químicas de metais utilizando diferentes reagentes ou extratores (extração seqüencial).

Palavras-chave: metais pesados, solos, sedimentos, águas superficiais, águas subterrâneas.

ABSTRACT

Most of the previous studies have been limited only to the determination of the total concentration of metals. Nevertheless, total concentration do not provide suitable information about bioavailability of potential toxic elements, and speciation. The aim of this work was to determines heavy metal concentrations and availability of polluting metal ions originated from the variety of sources and their dispersion along the Anta's Stream - Northeast of S. J. of Rio Preto state of São Paulo in one drainage slope of Rio Preto River, inserted in Turvo/Grande watershed. So far, this study is based on the identification and quantification of chemical species and fractionation of metals using different reagents or extracts (sequential extraction).

Keywords: heavy metals, soils, sediments, superficial water, groundwater.

INTRODUÇÃO

A destinação final de resíduos sólidos urbanos, dentre os quais incluem-se os lixos domésticos, industriais e hospitalares, tem sido de grande interesse científico devido o potencial tóxico que atinge diretamente a biota e, indiretamente, a saúde humana. Assim torna-se de extrema importância o conhecimento sobre a disponibilidade de produtos tóxicos gerados pelos lixos urbanos, especialmente metais pesados que variam em função de fatores regionais, sociais e sazonais.

Em depósitos de lixos urbanos, a decomposição dos resíduos por microorganismos, produz chorume, normalmente com características poluentes que pode propagar-se no solo, principalmente nos depósitos sem gestão ativa, formando plumas de contaminação.

A utilização de análises químicas de águas, como indicador de contaminação ambiental, pode representar, muitas vezes, um procedimento limitado, uma vez que alguns poluentes, como metais pesados, têm solubilidades reduzidas e, assim, sua con-

¹ Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental e Centro de Pesquisa de Águas Subterrâneas- Instituto de Geociências – USP. Rua do Lago 562, CEP:05508-900, São Paulo. *E-mail* : raphael.hypolito@br2001.com.br, scremo@usp.br

centração pode não corresponder à real contaminação.

Os íons metálicos apresentam baixa mobilidade nos solos graças a mecanismos de troca catiônica, adsorção aos óxidos/hidróxidos, precipitação etc. entretanto, devido o caráter reversível da maioria das reações químicas envolvidas, alterações nas condições físico-químicas do sistema solo/água, podem interferir na estabilidade da fase sólida (BORMA, 1996).

Objetivando a determinação dos mecanismos de fixação e mobilidade do Mn^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , $Cr_{(t)}$ e Pb^{2+} associados a solos, sedimentos de fundo e águas (superficiais e subterrâneas), selecionou-se uma área para estudos que compreende um trecho do Córrego da Anta, localizado no Distrito Industrial II à noroeste do Município de São José do Rio Preto – São Paulo (Figura 1).

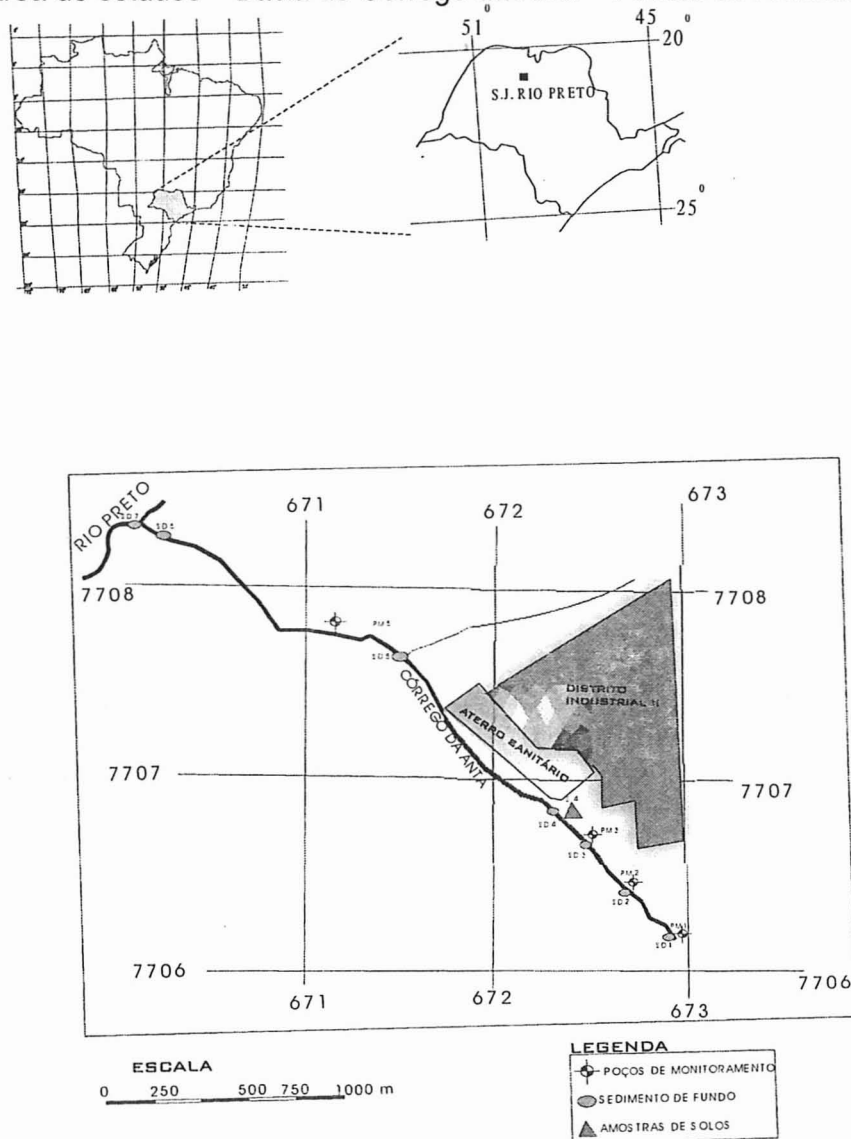
Sob o ponto de vista ambiental a área é de grande interesse, uma vez que se

constatou, total ausência de vida aquática no Córrego e presença de grande quantidade de resíduos, de diferentes procedências soterradas, há mais de vinte anos, ao longo das margens.

O local encontram-se em processo acelerado de ocupação, instalações de indústrias químicas, loteamentos, criadouros de animais etc. que utilizam águas do Córrego para, por exemplo, irrigação, dessedentação. Soma-se ainda nas margens do Córrego, a presença de um Aterro Sanitário e uma indústria de processamento de matéria orgânica animal (sebo).

Efetou-se levantamento detalhado das fontes potencialmente poluidoras com vistas à avaliação do estado de risco e demanda de medidas mitigadoras para a preservação do solo e dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

Figura 1: Área de estudos – Bacia do Córrego da Anta – Pontos de Amostragem



MATERIAIS E MÉTODOS

Como o meio físico reúne os principais agentes responsáveis pelos fenômenos que auxiliam na retenção, e/ou mobilização dos elementos metálicos, torna-se imprescindível sua cuidadosa caracterização física e química.

Para uma análise do comportamento dos íons metálicos no meio ambiente, foram realizados trabalhos de campo para coletas de amostras de solos/sedimentos, águas superficiais, subterrâneas e efluentes (chorume) gerados no aterro sanitário, com leituras dos parâmetros químicos e físico-químicos em dois períodos distintos - de seca e chuvas.

Foram escolhidos estrategicamente sete pontos para amostragem de águas superficiais e subterrâneas e de solos/ sedimentos, catalogadas de 1 a 7.

O Ponto 1 refere-se a nascente do Córrego da Anta; o 2 a um local próximo à indústria de subprodutos bovinos, o ponto 3 localiza-se no antigo lixão do município; 4 é o local onde ocorre o descarte do chorume gerado no aterro sanitário (P4); o 5 corresponde a um local afastado das indústrias; ponto 6 localiza-se próximo a foz do Córrego da Anta com o Rio Preto e o ponto 7 localiza-se no Rio Preto.

Para coleta de amostras de solos e águas subterrâneas foram perfurados poços de monitoramento (PM1, PM2 e PM3). O número de amostras foi variável, em função de suas características como cor, textura etc. As amostras de águas subterrâneas foram coletadas após esgotamento dos poços até a obtenção de água limpa e uma vez restabelecido o nível d'água, as amostras foram filtradas (milipore 0,45 mm) e armazenadas em frascos com adição de preservantes segundo metodologia da APHA, 1995.

As amostras de sedimentos (Sd1 a Sd7) e águas do Córrego, foram coletadas segundo metodologia descrita por Carvalho (1994) e acondicionadas em sacos plásticos. As amostras de solos e sedimentos de fundo foram secas ao ar livre e quarteadas. Em todas as amostras analisaram-se quimicamente os íons Cu^{2+} , $\text{Cr}_{(I)}$, Pb^{2+} , Mn^{2+} e Zn^{2+} .

Foram também realizados experimentos de extrações seqüenciais, nas amostras

de solos dos perfis dos poços e sedimentos de fundo do Córrego da Anta.

Com o objetivo de se obter a natureza das cargas das partículas coloidais dos solos, foram efetuadas determinações de seu pH (H_2O e KCl), por metodologia desenvolvida pelo Instituto Agrônomo de Campinas (1986). Determinou-se ainda a capacidade de troca catiônica (CTC) e os materiais foram caracterizados mineralogicamente através de difratometria de raios X.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amostras de solos dos pontos PM1 a PM3 e P4 e dos sedimentos de fundo (Sd 1 a Sd 7), revelaram homogeneidade granulométrica com grande predomínio da fração arenosa, enquadrando-se nas classes areia e areia argilosa (Sheppard, 1954).

Os valores de ΔpH foram positivos, indicando a presença de carga negativa nas partículas coloidais, portanto, aptas a adsorverem íons com cargas positivas, como os metais pesados de interesse para este trabalho.

Os baixos valores de CTC (Tabela 2) deve-se à presença de argilominerais como caulinita, comprovada através de análises mineralógicas.

Tabela 2: Valores de CTC de amostras de solos e sedimentos de fundo

Amostras	CTC (cmolc.kg-1)
PM 1	4,46
PM 3 I	29,76
PM 3 II	25,20
PM 3 III	25,82
P4 I	35,15
P4 III	38,51

Juntamente com os argilominerais ocorreu também o fenômeno de adsorção em óxidos de ferro e manganês. Este fato foi evidenciado pela presença desses materiais cobrindo grãos de quartzo, que predominam na mineralogia local.

Os resultados analíticos das amostras de solos, sedimentos de fundo, águas superficiais e subterrâneas encontram-se nas Tabelas 3 a 7.

Tabela 3: Concentrações de Cu^{2+} , $\text{Cr}_{(t)}$, Pb^{2+} , Mn^{2+} e Zn^{2+} ($\mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$) em amostras de solos dos perfis de solos das margens do Córrego da Anta – análises por ICP (Lab.Actlabs –Canadá).

Íons	PM1 I	PM 1 II	PM2 I	PM2 II	PM2 III	PM3 I	PM3 II	PM 3III
Mn^{2+} (período CHUVA)	2290,00	2727,00	1158,00	1552,00	1449,00	1882,00	2038,00	1060,00
Mn^{2+} (período SECO)	4048,00	4277,00	3666,00	3895,00	3590,00	1009,00	7180,00	11227,00
Zn^{2+} (período CHUVA)	30,00	92,00	22,00	33,00	36,00	77,00	145,00	53,00
Zn^{2+} (período SECO)	54,00	95,00	65,00	63,00	59,00	302,00	150,00	109,00
Pb^{2+} (período CHUVA)	17,00	52,00	11,00	21,00	19,00	39,00	59,00	21,00
Pb^{2+} (período SECO)	32,00	16,00	24,00	18,00	27,00	146,00	75,00	33,00
Cu^{2+} (período CHUVA)	11,00	30,00	7,00	12,00	13,00	25,00	37,00	12,00
Cu^{2+} (período SECO)	29,00	33,00	25,00	28,00	30,00	196,00	82,00	64,00
$\text{Cr}_{(t)}$ (período CHUVA)	273,00	226,00	135,00	166,00	150,00	203,00	227,00	350,00
$\text{Cr}_{(t)}$ (período SECO)	484,00	416,00	274,00	297,00	264,00	395,00	659,00	543,00

Em PM 2 os teores dos íons apresentam-se baixos em ambos os períodos, não variando com a profundidade; apenas o cromo ultrapassa o limite estipulado pela CETESB de 75 ppm. Em PM3, todos os cátions excedem os limites de alerta preconizados pela CETESB, sendo que na época de chuva observa-se aumento da concen-

tração com a profundidade e diminuição por ocasião do período de seca, exceto o cromo e manganês. Em PM 1, os íons apresentam, nos dois períodos, o mesmo comportamento, com aumento de concentração em função da profundidade, exceção também observada para o cromo e manganês.

Tabela 4: Resultados analíticos ($\mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$) de amostras de solos em ponto de lançamento do chorume até a margem do Córrego da Anta – análises por ICP (Lab.Actlabs –Canadá)

íons	P 4 I	P 4 II	P 4 III	P 4 IV	P 4 V
Mn^{2+} (período CHUVA)	273,00	1195,00	1156,00	1395,00	904,00
Mn^{2+} (período SECO)	11381,00	9624,00	9242,00	9318,00	na
Zn^{2+} (período CHUVA)	185,00	394,00	364,00	389,00	212,00
Zn^{2+} (período SECO)	484,00	284,00	407,00	332,00	na
Pb^{2+} (período CHUVA)	311,00	207,00	172,00	151,00	92,00
Pb^{2+} (período SECO)	178,00	143,00	154,00	150,00	na
Cu^{2+} (período CHUVA)	256,00	161,00	153,00	156,00	89,00
Cu^{2+} (período SECO)	282,00	166,00	200,00	307,00	na
$\text{Cr}_{(t)}$ (período CHUVA)	159,00	225,00	214,00	227,00	195,00
$\text{Cr}_{(t)}$ (período SECO)	438,00	370,00	328,00	360,00	na

(na = não analisado)

Os dados das análises químicas de solos, a partir do ponto de descarte até as margens do Córrego, revelaram valores bastante superiores àqueles permissíveis pela

CETESB. No período de chuvas não foram constatadas variações dos cátions em função da distância do foco de descarte ao Córrego com o manganês apresentando con-

centração cerca de cinco vezes maior em direção à margem. Na época de seca, o manganês, o chumbo e o cromo não apresentam variações acentuadas em suas con-

centrações. O zinco e o cobre possuem comportamentos semelhantes, diminuindo seus teores a partir de um metro de distância do ponto de descarte.

Tabela 5: Concentrações ($\mu\text{mg.dm}^3$) em amostras de águas subterrâneas associadas margens do Córrego da Anta – análises por ICP-MS (Lab.Actlabs –Canadá)

íons	PM 1	PM 2 I	PM 3
Mn^{2+} (período CHUVA)	38,00	108,00	1631,00
Mn^{2+} (período SECO)	182,00	1,31	9,67
Zn^{2+} (período CHUVA)	30,00	55,00	299,00
Zn^{2+} (período SECO)	334,00	4,42	699,00
Pb^{2+} (período CHUVA)	nd	nd	0,33
Pb^{2+} (período SECO)	5,80	11,80	58,20
Cu^{2+} (período CHUVA)	8,00	18,00	19,00
Cu^{2+} (período SECO)	10,00	12,60	123,00
$\text{Cr}_{(t)}$ (período CHUVA)	4,80	11,10	2,10
$\text{Cr}_{(t)}$ (período SECO)	27,90	5,50	4,10

(nd= não detectado)

Tabela 6: Concentrações ($\mu\text{mg.dm}^3$) em amostras de águas do Córrego da Anta – análises por ICP-MS (Lab.Actlabs –Canadá)

íons	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Mn^{2+} (período CHUVA)	146,00	207,00	110,00	140,00	63,00	33,00	34,00
Mn^{2+} (período SECO)	1,10	222,00	158,00	467,00	99,30	96,50	122,00
Zn^{2+} (período CHUVA)	13,00	28,00	27,00	24,00	41,00	23,00	19,00
Zn^{2+} (período SECO)	32,70	7,10	54,80	46,20	14,70	58,00	34,70
Pb^{2+} (período CHUVA)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	Nd
Pb^{2+} (período SECO)	0,80	1,70	1,20	1,80	0,90	1,60	2,40
Cu^{2+} (período CHUVA)	5,00	9,00	8,00	10,00	10,00	9,00	6,00
Cu^{2+} (período SECO)	1,10	0,30	2,40	2,20	0,90	2,80	9,70
$\text{Cr}_{(t)}$ (período CHUVA)	1,70	2,30	3,30	4,60	6,80	2,50	7,70
$\text{Cr}_{(t)}$ (período SECO)	1,60	1,30	3,80	3,80	4,80	6,90	4,70

(nd= não detectado)

Tabela 7: Concentrações ($\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$) em amostras de sedimentos de fundo do Córrego da Anta – análises por ICP: (Lab.Actlabs –Canadá)

íons	Sd 1	Sd 2	Sd 3	Sd 4	Sd 5	Sd 6	Sd 7
Mn^{2+} (período CHUVA)	477,00	1279,00	884,00	596,00	1324,00	1092,00	1249,00
Mn^{2+} (período SECO)	12144,00	10006,00	13672,00	16498,00	7867,00	31927,00	10464,00
Zn^{2+} (período CHUVA)	21,00	51,00	42,00	30,00	39,00	61,00	103,00
Zn^{2+} (período SECO)	170,00	78,00	114,00	120,00	60,00	71,00	104,00
Pb^{2+} (período CHUVA)	14,00	14,00	32,00	5,00	3,00	19,00	35,00
Pb^{2+} (período SECO)	66,00	28,00	169,00	26,00	34,00	nd	21,00
Cu^{2+} (período CHUVA)	10,00	28,00	20,00	9,00	27,00	16,00	32,00
Cu^{2+} (período SECO)	61,00	32,00	95,00	34,00	18,00	26,00	25,00
Cr (t) (período CHUVA)	123,00	190,00	261,00	136,00	334,00	298,00	331,00
Cr (t) (período SECO)	401,00	475,00	1000,00	1380,00	910,00	2700,00	777,00

(nd= não detectado)

Os teores de cobre, chumbo e zinco mantiveram-se praticamente constantes nos sedimentos e nas águas do Córrego em ambos os períodos. O manganês, na água, apresenta-se mais elevado em relação aos outros elementos, bem como nas amostras de sedimento de fundo amostrados no período de chuva. O cromo, por sua vez, apresenta concentrações mais elevadas nas amostras de sedimentos de fundo nos dois períodos.

Nas águas do Córrego encontram-se teores mais elevados de cobre e cromo. O manganês, zinco e chumbo têm valores mais elevados no período de seca .

As análises químicas das águas e sedimentos de fundo do Rio Preto apresentam a mesma ordem de grandeza daquelas encontradas no Córrego da Anta.

Os resultados da extração seqüencial estão representados sob a forma gráfica (Figuras 2 a 4), onde as letras (*a*, *b*, *c*, *d*, *e*) indicam as cinco diferentes fases de associação metais/solos: íons solvatados, íons metálicos trocáveis, íons metálicos associados aos carbonatos, íons metálicos ligados aos óxidos/hidróxidos de ferro e manganês e íons associados à matéria orgânica. Os valores resultantes da extração total com HCl (6 M) são representadas pela letra *t*.

Figura 2: Porcentagens de íons Cu^{+2} , $\text{Cr}^{(t)}$, Pb^{+2} , Mn^{+2} , Zn^{+2} de extrações sequenciais de amostras dos solos das margens do Córrego da Anta.

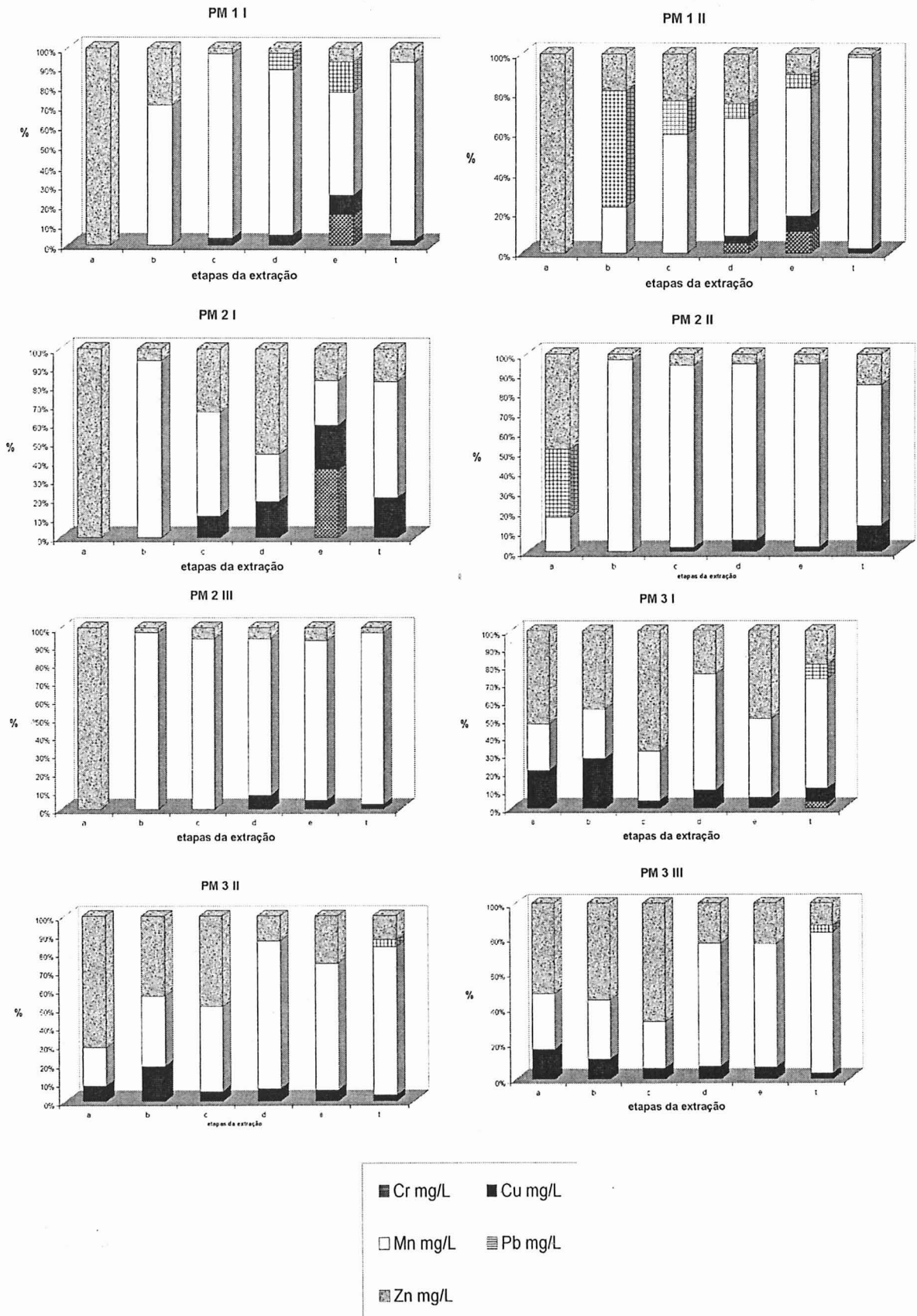


Figura 3: Porcentagens de íons Cu+2, Cr (t), Pb+2, Mn+2, Zn+2 extraídos dos solos do ponto de lançamento do chorume às margens do Córrego da Anta

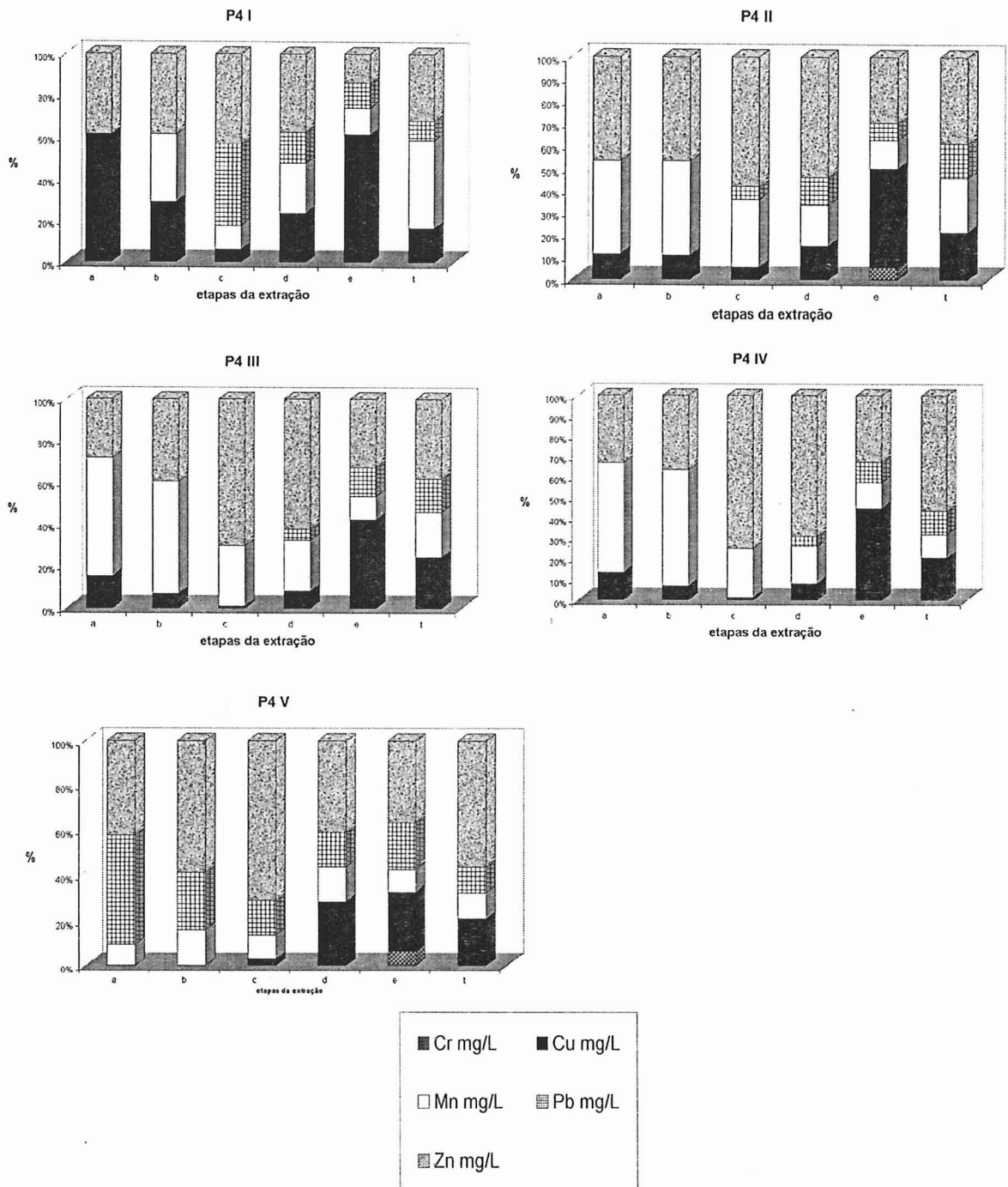
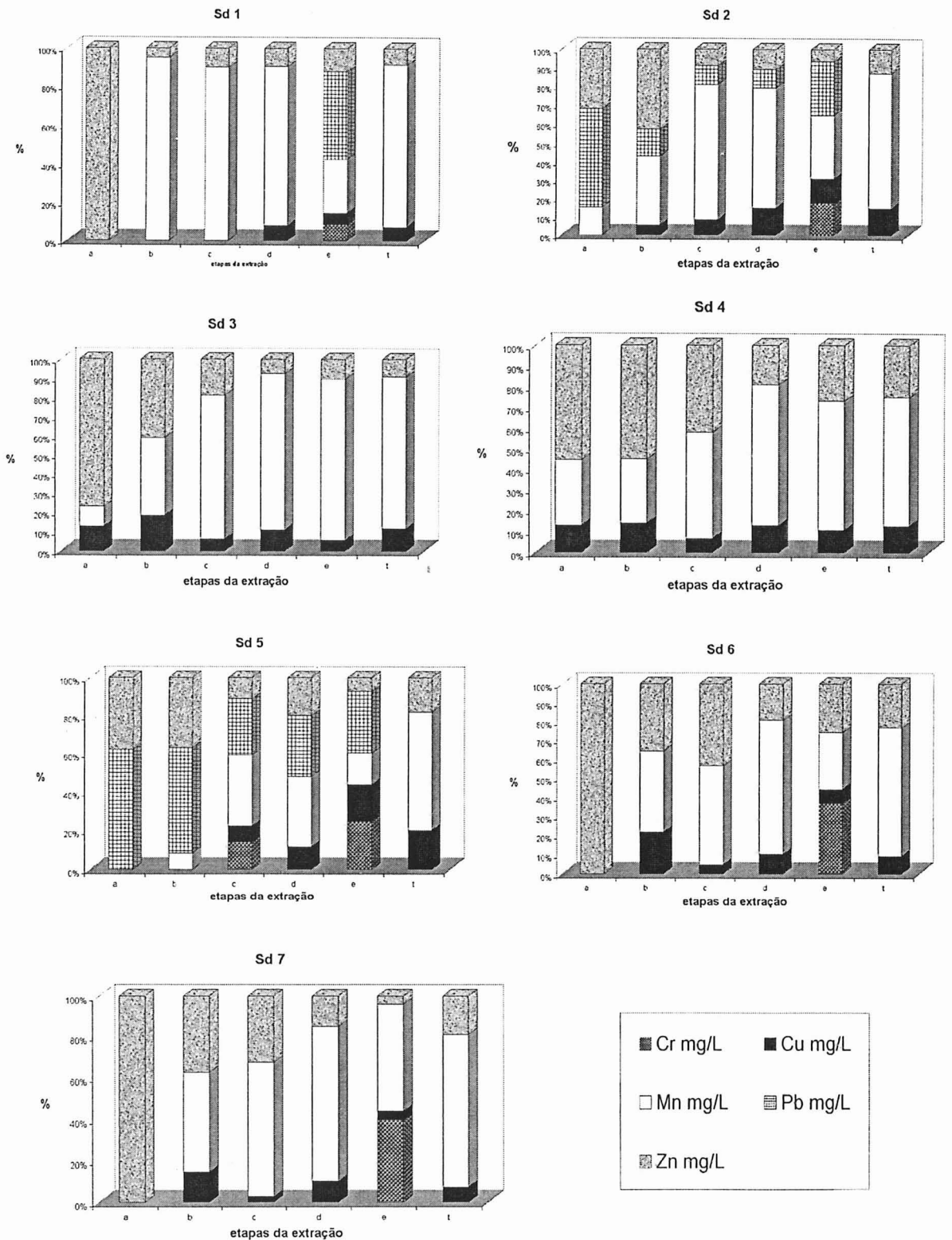


Figura 4: Porcentagens de íons Cu^{+2} , $\text{Cr} (t)$, Pb^{+2} , Mn^{+2} , Zn^{+2} dos sedimentos de fundo do Córrego da Anta, obtidos através de extrações sequenciais.



O comportamento dos íons, de modo geral, é o mesmo para os solos das margens e dos sedimentos de fundo do Córrego da Anta.

Os íons presentes em solução intergranular, como é de se esperar, contém maior quantidade de elementos solúveis como Zn^{+2} , Mn^{+2} e Cu^{+2} .

Quanto aos íons trocáveis e aqueles associados a carbonatos a maior disponibilidade também é para Zn^{+2} , Mn^{+2} e Cu^{+2} .

Os cátions ligados a ferro/manganês e matéria orgânica, por encontrarem-se intimamente dependentes das condições de pH/Eh do meio, possuem concentrações elevadas para Zn^{+2} , Mn^{+2} e Cu^{+2} e teores pouco expressivos de Pb^{+2} e Cr (1).

CONCLUSÃO

A origem das fontes poluidoras da microbacia do Córrego da Anta, assim como o comportamento dos íons associados a solos e sedimentos de fundo é bastante complexa e de difícil entendimento.

Já a própria visão global da microbacia é de difícil compreensão, uma vez que se têm locais com lixos soterrados, dispostos em diferentes épocas, distribuídos ao acaso, a quase 20 anos, que coexistem com trechos não contaminados.

Essa discrepância deve-se também à presença, no local, de indústrias como de processamento de matéria orgânica animal, inclusive com grande parcela da contaminação atmosférica e do aterro sanitário, que lançam efluentes no Córrego e em suas margens.

O solo da área de estudos possui permeabilidade relativamente elevada graças a sua textura com predomínio da fração arenosa-classe areia e areia argilosa, com granulação média a fina, característica do aquífero Bauru.

Levando em conta a topografia, direção de fluxo da água subterrânea etc. os agentes poluidores descartados pelas indústrias (chorumes) e os gerados pela decomposição gradual dos lixões, produzem plumas de contaminação que caminham em direção ao Córrego da Anta.

A fração argila do solo possui propriedades que favorecem a adsorção de íons metálicos, confirmado pelos valores de ΔpH que se apresentam sempre maiores que zero.

O comportamento iônico na área de estudos, acha-se intimamente ligado ao pH, Eh, à natureza das partículas coloidais (carregadas negativamente), à presença de óxidos/hidróxidos de ferro e manganês e também à presença de matéria orgânica em alguns pontos muito elevada.

A influência dos argilominerais nos fenômenos de adsorção foi pouco significativa uma vez que o solo é constituído essencialmente por caulinita com baixa capacidade de troca catiônica. O fenômeno de adsorção, por outro lado, é bastante significativo nos locais com elevados teores de matéria orgânica.

Os mecanismos de fixação e disponibilidade dos íons metálicos estudados podem ser compreendidos através da análise dos dados obtidos nas extrações seqüenciais.

Os íons associados ao solo das margens do Córrego da Anta, bem como aos sedimentos de fundo, apresentam o mesmo comportamento.

O zinco é encontrado em todas as fases e assim é eleito o cátion mais disponível no solo do Córrego, sendo encontrado e disponibilizado em todas as soluções intersticiais.

O cobre aparece praticamente em todas as frações, entretanto, sempre em menores quantidades que o manganês. Ele encontra-se dissolvido em alguns pontos e sob a forma trocável, de modo que sua disponibilidade fica na dependência da presença de outros íons, capazes de deslocá-lo e o cromo, menos presentes no solo, com valores pouco expressivos, apresentam-se mais ligados às frações óxidos/hidróxidos de ferro/manganês e à matéria orgânica.

Quando são analisados os resultados analíticos dos íons metálicos no solo associado ao descarte de chorumes, do foco até a margem do Córrego da Anta, verifica-se uma distribuição uniforme dos íons zinco, cobre e manganês.

O chumbo acha-se associado principalmente a carbonatos e distribuído em todas as fases próximas à margem (P4 V) indicando sua migração e acúmulo nessa direção, em uma dispersão difusa.

O cromo é encontrado associado à matéria orgânica (P4 II e P4 V), locais que correspondem à margem do Córrego.

Nos sedimentos de fundo do Córrego da Anta, tem-se comportamentos idênticos aos observados no solo, devendo ser ressaltado que o cromo aparece em maior quantidade que nos solos e associado, especialmente, à matéria orgânica.

As extrações seqüenciais, como se nota, possibilita que se estabeleçam os mecanismos de fixação e de disponibilidade dos íons metálicos estudados.

Os íons que podem ser considerados lábeis e assim, mobilizados para as águas da zonas saturadas, pela ação das águas das chuvas e pela influência da força iônica são $Zn > Mn > Cu >> Pb >> Cr$.

A associação aos carbonatos destaca-se o manganês que é o cátion cujo comportamento está intimamente ligado às variações de pH e Eh. Pode tornar-se móvel em pHs suficientemente baixos para dissolver carbonatos (pH < 6,4) e a pH ligado a potencial de óxido-redução redutor que facilmente pode ser promovido pela matéria orgânica presente.

O comportamento do cobre pode ser comparado ao do zinco, evidentemente em menor escala, pois encontra-se sempre em menores concentrações.

O chumbo encontra-se adsorvido aos óxidos-hidróxidos de ferro e manganês e também precipitado sob a forma de carbonatos. Significativa é também sua associação à matéria orgânica: fixo, quando adsorvido a ela e disponível na forma de íons complexos.

O cromo, cujo comportamento junto à matéria orgânica deve ser destacado, encontra-se num ambiente redutor adequado para sua presença sob a forma precipitada como cromo (III).

As principais causas de contaminação observadas são aquelas referentes a grande quantidade de lixo enterrada às margens do córrego, com fluxos intermitentes de contaminantes, que se somam àquelas geradas pela descarga das indústrias.

A região de estudo é extremamente quente com longos períodos de seca, prevalecendo o fluxo iônico mais concentrado

nessa época. No período seco, tem-se maior concentração de agentes poluidores e nas chuvas, dissipação.

Como medida de mitigação, sugere-se o aprimoramento do processo de tratamento do chorume gerado no aterro.

Para a fixação dos íons metálicos do solo, principalmente aqueles associados aos antigos depósitos de lixo, seria indicada uma ação química através do controle do pH pela adição de corretivos como, por exemplo, calcário.

Finalmente, sugere-se que sejam instalados poços para se efetuarem no local monitoramento constante das águas superficiais e subterrâneas.

AGRADECIMENTOS

FAPESP (Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo) Proces. 00/09435-0 and 00/08984-0, pelos auxílios concedidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA-AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, WATER ENVIRONMENTAL FEDERATION. 1995. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19 ed.
- BORMA, L. S.; EHRLICH, M.; BARBOSA, M.C.; CASTRO, F. J.C. 1996. *Estudo sobre a mobilidade de metais pesados em solos argilosos*. In: 8º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA; Rio de Janeiro, setembro de 1996.
- CARVALHO, O. N. 1994. *Hidrossedimentologia prática*. Rio de Janeiro: CPRM. 372 p.
- CETESB- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. 2002. *Valores orientadores para solos e para águas subterrâneas no Estado de São Paulo*.
- SHEPARD, F.P. 1954. *Revised nomenclature for depositational coastal features*. Amer. Ass. Pet. Geol. Bull., Tulsa. v.36, nº10, 1902-1912 p.