

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS E TÉCNICAS NUCLEARES
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

**Avaliação do potencial de contaminação do Lixão de
Contagem utilizando as técnicas de análise: Ativação
Neutrônica Instrumental (AANI) e Espectrometria de Massa
Acoplada a uma Fonte de Plasma - (ICP-MS)**

Aluna: Selma Maria de Oliveira Lopes Cabaleiro

Orientador: Prof. Dr. Arno Heeren de Oliveira

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS E TÉCNICAS NUCLEARES
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

**Avaliação do potencial de contaminação do Lixão
de Contagem utilizando as técnicas de análise:
Ativação Neutrônica Instrumental (AANI) e
Espectrometria de Massa Acoplada a uma Fonte de
Plasma - (ICP-MS)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências e Técnicas Nucleares da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências e Técnicas Nucleares.

Área: Aplicações das Radiações, Radioproteção e Instrumentação Nuclear

Orientador: Prof. Arno Heeren de Oliveira
Departamento de Engenharia Nuclear

Selma Maria de Oliveira Lopes Cabaleiro

Belo Horizonte- Minas Gerais

2006



**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA NUCLEAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS E TÉCNICAS NUCLEARES**

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO:

**“Avaliação do potencial de contaminação do Lixão de Contagem
utilizando as técnicas de análise: Ativação Neutrônica Instrumental
(AANI) e Espectrometria de Massa Acoplada a uma Fonte de Plasma -
(ICP-MS)”**

ALUNA: SELMA MARIA DE OLIVEIRA LOPES CABALEIRO

Dissertação defendida e aprovada pela Comissão Examinadora constituída por

ORIENTADOR: _____
Prof. Arno Heeren de Oliveira, Doutor

Clemente José Gusmão Carneiro, Doutor.

Jefferson Vianna Bandeira, Doutor.

Maria Adelaide Rabelo Vasconcelos Veado, Doutora

Maria Isabel Guimarães Severo, Doutora

Área de concentração: Aplicação das Radiações, Radioproteção e Instrumentação Nuclear

Agradecimentos

Ao chegar ao final deste trabalho, percebi quão gratificante foi ter percorrido este caminho ao lado destas pessoas, a quem agradeço de coração.

Agradeço ao Prof. Dr. Arno Heeren de Oliveira pelo companheirismo e orientação.

Ao engenheiro Weber Coutinho pela colaboração valiosa quando da definição do tema desta dissertação e pela disponibilização dos documentos e registros referentes a este tema.

Ao Engenheiro geólogo Décio A. Beato pelo precioso trabalho norteador desta dissertação e cessão de direitos de uso de mapas e figuras.

Ao CDTN/CNEN pela disponibilização dos recursos laboratoriais do setor de Radioquímica na execução da AANI e apoio técnico.

Ao Service Central d'Analyse de Lyon- CNRS pela realização das análises no ICP-MS.

À professora Maria Adelaide R.V.Veado, pela valiosa ajuda na etapa de AANI.

À Maria Ângela B.C. Menezes pela inestimável ajuda nas análises químicas de AANI.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Nuclear, pelo auxílio na rotina dos trabalhos.

Aos professores do DEN, pelos fundamentos oferecidos nas aulas.

Ao Henrique Lopes Cabaleiro pela valiosa ajuda nas etapas de amostragem e etapa de AANI.

Ao Frederico pelos trabalhos de digitação, informática e revisão.

Ao CDTN pelo empréstimo dos instrumentos de campo necessários a esta pesquisa.

Aos proprietários dos poços subterrâneos pela permissão da coleta das amostras.

Aos companheiros de mestrado, pela vivência e compartilhamento de nossos sonhos, em especial, ao Danilo e Bruna.

Aos amigos Erna Kroon e Marco Campos pela amizade e compreensão.

Ao Porfírio, pelo seu conhecimento e disponibilidade para auxiliar na compilação dos resultados.

A todos que auxiliaram para o sucesso desta pesquisa.

A Deus por ter me dado a luz no meu dia a dia.

*Paz para todo el trigo que debe nacer
Paz para todo el amor que buscará follaje
Paz para todos los que viven
Paz para todas las tierras y las aguas*

Pablo Neruda

Dedico este trabalho a meus filhos, Henrique, Sofia e Frederico, e em especial a meu marido, Porfírio, pelo amor, estímulo e paciência.

SUMÁRIO

RESUMO	I
ABSTRACT	II
LISTA DE FIGURAS	III
LISTA DE TABELAS.....	IV
LISTA DE TABELAS.....	IV
LISTA DE SIGLAS.....	V
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
1.1 RESÍDUOS SÓLIDOS	3
1.1.1 Disposição final no solo	4
1.1.2 Impacto ambiental decorrente da presença de Lixões	6
1.2 CARACTERIZAÇÃO DO POTENCIAL POLUIDOR DO PARQUE INDUSTRIAL DE CONTAGEM	15
1.3 IMPORTÂNCIA DAS ÁGUAS	18
1.4 POLUIÇÃO POR METAIS PESADOS	22
1.4.1 Toxicidade e bioacumulação de metais pesados.....	29
CAPÍTULO 2 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	31
2.2 MATRIZES E PONTOS DE COLETA	33
2.3 PROCEDIMENTO DE COLETA E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	37
2.4 MÉTODOS DE ANÁLISE	38
2.4.1 AANI - Análise por Ativação Neutrônica Instrumental	38
2.4.2 Espectrometria de Massa Acoplada a uma Fonte de Plasma (ICP-MS)	40
CAPÍTULO 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
3.1 MATERIAL DE REFERÊNCIA	42
3.2 RESULTADOS	43
3.3.1 Considerações sobre a variabilidade na amostragem.....	59
3.3.2 Considerações sobre os valores de referência.....	60
CONCLUSÕES	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
ANEXO	68

RESUMO

A disposição inadequada de resíduos no solo e águas é reconhecida como um dos graves problemas contemporâneos. Os efeitos do lançamento de rejeitos na natureza são incalculáveis e recaem principalmente na escassez, contaminação da água e aumento das doenças associadas à poluição ambiental. Entre as técnicas de disposição de resíduos sólidos urbanos e industriais, estão os aterros sanitários e/ou controlados, que apresentam menor relação de custo, especialmente quando se dispõe de área apropriada.

Nos processos de disposição final, ocorre a decomposição do material originalmente disposto devido à ação da micro biota nativa, seja por aerobiose, que ocorre nas regiões mais superficiais das células, quanto em anaerobiose, que ocorre nas regiões mais profundas. O chorume, produto da biodeterioração dos resíduos, apresenta características físico-químicas e microbiológicas peculiares (compostos orgânicos, polares e apolares, e metais pesados), função da composição, origem, idade dos resíduos e da fase de decomposição do processo, que por algum mecanismo de transporte contaminam o meio ambiente e por sua toxicidade prejudicam o ser vivo.

Em Contagem, há cerca de 20 anos, resíduos domésticos, industriais e hospitalares foram depositados, não obedecendo às exigências mínimas ambientais e sanitárias e aos critérios de engenharia e normas operacionais específicas, constituindo o chamado Lixão, situado às margens do córrego Bitácula, que deságua no Ribeirão Sarandi, principal afluente da Lagoa da Pampulha (PROPAM, 1998).

O estudo teve como objetivo avaliar o potencial de contaminação do Lixão por elementos tóxicos, Al, As, Ba, Cd, Pb, Co, Cu, Cr, Fe, Hg, Mn, Ni e Zn, por meio das técnicas de análises: Ativação Neutrônica Instrumental e Espectrometria de Massa Acoplada a uma Fonte de Plasma nas matrizes: água superficiais e subterrâneas, sedimentos de fundo e borda e chorume.

Os resultados confirmaram a acumulação nos sedimentos de borda e fundo dos elementos tóxicos encontrados no chorume e a contaminação das águas superficiais e subterrâneas.

Palavras-chave: resíduos sólidos- contaminação- metais pesados- ICP-MS - Ativação Neutrônica Instrumental

ABSTRACT

The inadequate disposal of residues in the ground and waters is recognized as one of the serious contemporaries' problems. The effect of launching rejects in the nature are incalculable and cause, mainly, the scarcity, contamination of the water and increase of the illnesses associates to the environmental pollution. Within the techniques of disposal of urban solid residues and industrial, there are the landfill wastes and/or controlled, that present minor cost relation, especially when there is an appropriate area.

In the final disposal processes, occurs the decomposition of the material originally disposed due to native micro biota action, as a result of aerobiose, which occurs in the most superficial regions of the cells, or a result of anaerobiose, which occurs in the deepest regions. The lecheate, as a product of the biodeterioration of the residues added to the infiltrated water in the deposit, has peculiar physics-chemistries characteristics (organic composites, polar and apolar, heavy metals and microbiological) function of the composition, origin, age of the residues and of the phase of decomposition of the process, which by some mechanism of transport, contaminate the environment and for its toxicity damages the live beings.

The dump is situated in the city of Contagem, in the Industrial district, at edges of the stream Bitácula, which flows into the Sarandi River, main tributary of the Pampulha's Lake. Domestic, industrial and hospital residues had been deposited for about 20 years, not obeying to the ambient and sanitary minimum requirements, to the engineering's criteria and specific operational norms (PROPAM, 1998).

This work evaluated the potential of contamination of the Lixão de Contagem for toxic elements: Al, As, Cd, Pb, Co, Cu Cr, Fe, Hg, Mn, Nil e Zn, by techniques of Instrumental Neutronic Activation and Inductively Coupled Mass Spectrometry (ICP-MS) in the following matrices: surface and underground water, border and bottom sediments and percolate.

The results confirmed the accumulation in bottom and border sediments of these toxic elements in percolate, besides contamination of surface and underground water.

Key-words: solid residues- contamination- heavy metals; Inductively Coupled Mass Spectrometry (ICP-MS); Instrumental Neutronic Activation Analysis (INAA).

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 - MAPA DE VULNERABILIDADE NATURAL DOS AQUÍFEROS À CONTAMINAÇÃO	21
FIGURA 1.2 – TABELA PERIÓDICA SEGUNDO LEYGNIE (1993).....	23
FIGURA 1.3 - ELEMENTOS TRAÇOS ESSENCIAIS DE ACORDO COM BATLEY (1989).....	24
FIGURA 2.1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	31
FIGURA 2.2 - LOCALIZAÇÃO DO LIXÃO EM RELAÇÃO ÀS SUB-BACIAS	32
FIGURA 2.3 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS AMOSTRADOS	35
FIGURA 3.2.B - DISTRIBUIÇÃO DOS ELEMENTOS TÓXICOS NA MATRIZ CHORUME LÍQUIDO	48
FIGURA 3.3.B - DISTRIBUIÇÃO DOS ELEMENTOS TÓXICOS NAS ÁGUAS SUPERFICIAIS.....	51
FIGURA 3.4 - DISTRIBUIÇÃO DOS ELEMENTOS TÓXICOS NOS SEDIMENTOS DE BORDA.....	53
FIGURA 3.5 - DISTRIBUIÇÃO DOS ELEMENTOS TÓXICOS NO SEDIMENTO DE FUNDO	55
FIGURA 3.6.A - DISTRIBUIÇÃO DOS ELEMENTOS TÓXICOS NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	57
FIGURA 3.6.B - DISTRIBUIÇÃO DOS ELEMENTOS TÓXICOS NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Parâmetros físico-químicos do percolado de aterros sanitários evidenciando as mais altas concentrações verificadas.....	9
Tabela 1.2 – Teores máximos permitido de alguns metais potencialmente prejudiciais em águas naturais (Classe 1).....	11
Tabela 1.3 – Teores máximos de alguns metais potencialmente prejudiciais presentes nos efluentes para lançamento direta ou indiretamente em corpos de água.....	12
Tabela 1.4 - Valores referenciais da qualidade de sedimentos definidos em protocolos internacionais.....	13
Tabela 1.5 – Teores máximos de metais potencialmente prejudiciais presentes nas águas subterrâneas definidos pela CETESB -2001.....	14
Tabela 1.6 – Estimativa da carga poluidora da Bacia do Onça oriunda dos efluentes líquidos.....	17
Tabela 1.7 - Estimativa dos resíduos industriais gerados no Centro Industrial de Contagem.....	18
Tabela 1.8 - Características dos principais elementos tóxicos (VEADO, 1997).....	25
Tabela 2.1 – Identificação e caracterização de matrizes e pontos de coleta.....	36
Tabela 3.1 - Resultados obtidos por AANI - SL-1 (em $\mu\text{g.g}^{-1}$).....	42
Tabela 3.2 - Resultados obtidos por ICP-MS – SLR-4 - NCRC ($\mu\text{g.L}^{-1}$).....	43
Tabela 3.3 - Concentração ($\mu\text{g. g}^{-1}$) da matriz chorume sólido- 1ª, 2ª, 3ª. campanhas-AANI.....	44
Tabela 3.4 -Concentração da matriz chorume líquido ($\mu\text{g.L}^{-1}$) 1ª e 2ª campanhas analisadas por ICP-MS.....	46
Tabela 3.5 - Concentração ($\mu\text{g.L}^{-1}$) da matriz água superficial analisada por ICP-MS – 1ª e 2ª campanhas.....	49
Tabela 3.6 - Concentração ($\mu\text{g. g}^{-1}$) da matriz sedimento de borda 1ª e 2ª. campanhas - AANI.....	52
Tabela 3.7 - Concentração ($\mu\text{g.g}^{-1}$) da matriz Sedimento de fundo- 1ª, 2ª e 3ª. campanhas - AA NI.....	54
Tabela 3.8 - Concentração ($\mu\text{g.L}^{-1}$) da matriz água subterrânea, 2ª. Campanha-ICP-MS.....	56

LISTA DE SIGLAS

- AANI** - Análise por Ativação Neutrônica Instrumental
- AIHQS** - Avaliação Integrada e Hierárquica da Qualidade de Sedimentos
- ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas
- AIT** - Avaliação e Identificação da Toxicidade
- CCME** - Canadian Council of Ministers for the Environment
- CDTN** - Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear
- CETESB** - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
- DBO** - Demanda Bioquímica de Oxigênio
- DQO** - Demanda Química de Oxigênio
- CINCO** - Centro Industrial de Contagem
- CONAMA** - Conselho Nacional do Meio Ambiente
- CPRM** - Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais
- ER-L** - Effects range low
- ER-M** - Effects range medium
- FEAM** - Fundação Estadual do Meio Ambiente
- IAEA** - International Atomic Energy Agency
- ICP-MS** - Inductively Coupled Plasma with Mass Spectrometry
- LEL** - Low effect level
- MES** - Metais Extraídos Simultaneamente
- NRCC** - National Research Council of Canada
- OME** - Ontario Ministry of the Environment
- P** - Poço de água subterrânea
- PEL** - Probably effect level
- PROPAM** - Programa de Recuperação e Desenvolvimento Ambiental da Bacia da Pampulha
- PROSAM** - Programa de Saneamento Ambiental das Bacias do Arrudas e do Onça
- SAG** - Água superficial
- SCHO** - Chorume
- SEL** - Medium effect level
- SL-1** - Solo 1

SLR-4 – Solo referência

SSB - Sedimento de borda

SSF - Sedimento de Fundo

SVA - Sulfetos Volatilizáveis por Acidificação

TEL - Threshold effect level

TIE - Toxicity Identification Evaluation

UFSCar - Universidade Federal de São Carlos

UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas

USEPA - United States Environmental Protection Agency

VGQS – Valores- Guias de Qualidade de Sedimento

Introdução

A água é vital para a sobrevivência dos seres vivos em nosso planeta, tendo usos econômicos múltiplos, como geração de energia, pesca, abastecimento público, turismo, irrigação, os quais geram impactos. A demanda de água no Mundo cresceu 35 vezes ao longo dos últimos três séculos. Houve um grande aumento do uso de água em indústrias, bem como, para fins sanitários em setores municipais, o que provocou contínua e crescente poluição do solo e da água (PINTO COELHO ET AL.).

Apesar do grande potencial hídrico do território brasileiro, os conflitos, decorrentes do direito à utilização da água, aliado ao desperdício, mau uso e contaminação, são evidentes. Do ponto de vista ecológico, a qualidade da água é função da condição de adaptação dos seres vivos a um determinado meio. Neste caso, sua qualidade depende dos aportes naturais dados pela chuva e pelas condições geológicas naturais e dos solos da bacia de drenagem, acrescidos dos aportes antropogênicos (BREKHOVSKIKH, 2001)

As águas podem ter sua qualidade deteriorada por agentes de origem inorgânica, como por exemplo, os elementos o chumbo ou mercúrio, ou orgânica, como é o caso dos coliformes provenientes de esgotos domésticos. A decomposição natural da matéria orgânica, quando acumulada, pode causar mudanças importantes na concentração de oxigênio e nos valores de pH, com conseqüências irreparáveis para diversos seres vivos (SOUSA, 1998).

As principais causas da poluição dos recursos hídricos brasileiros são: a urbanização com alta densidade populacional, sem tratamento ou tratamento insuficiente dos esgotos (despejo dos esgotos nos rios); a falta de tratamento de efluentes industriais; a disposição inadequada de resíduos urbanos e industriais (geralmente, diretamente no solo); práticas usadas na agricultura (uso de pesticidas, efluentes de agroindústrias, irrigação, criação de animais, uso de adubos minerais); extração de minérios (uso de mercúrio); acidentes durante o transporte, manuseio e armazenagem de materiais perigosos; instalação deficiente de estações de tratamento de esgotos. Esses aspectos são responsáveis pela existência de alguns contaminantes nas águas superficiais e subterrâneas: altos teores de nitratos e fosfatos; solventes sintéticos; desinfetantes; metais pesados causadores de doenças.

O problema da contaminação do meio ambiente por metais pesados alcança hoje dimensões mundiais, sendo observado tanto em países em desenvolvimento como nos desenvolvidos. A ausência de medidas de controle dos rejeitos industriais em relação aos poluentes metálicos teve como consequência a contaminação dos sistemas aquáticos continentais ou marinhos. Estes fatos conduziram a atenção mundial para o risco potencial dos poluentes metálicos nos sistemas aquáticos, sendo enfatizado seu caráter acumulativo e sua capacidade de translocação através da cadeia trófica. Os fenômenos de acumulação e magnificação destes elementos através dos elos da cadeia biológica foram confirmados em vários estudos. O homem utiliza na sua alimentação justamente os elos mais elevados da cadeia biológica, os quais apresentam em maior escala o fenômeno de magnificação dos níveis de metais pesados. A contaminação é lenta dificultando a caracterização da doença nos primeiros estágios (BAIRD, 2002).

A área em estudo está situada no município de Contagem, no distrito Industrial, denominado CINCO - Centro Industrial de Contagem, situado a 20 Km de Belo Horizonte, às margens do córrego Bitácula, que deságua no Ribeirão Sarandi, principal afluente da Lagoa da Pampulha. Há aproximadamente 20 anos, o depósito de lixo, hoje chamado de Lixão, funcionava como aterro controlado, contudo, no decorrer dos anos passou a receber lixo indiscriminadamente, sem a devida preocupação com o tipo de resíduo, se hospitalar, doméstico ou industrial, se perigoso ou inerte, além disso, a estrutura não atendia às exigências mínimas ambientais e sanitárias, sem adoção de critérios de engenharia e normas operacionais específicas (PROPAM, 1998).

Estes resíduos, estimados em 2.620.000 toneladas, foram depositados numa área de 16 ha. Apesar de desativado em abril de 1998, necessita que seja recuperado ambientalmente pelos riscos que oferece, relativo aos gases, à contaminação do lençol superficial e subterrâneo e escorregamento de maciços com altura de 25 metros. Aliado a isso, está inserido em área urbana adensada com uma população do entorno de 20000 habitantes, faz divisa com instalações industriais (FEAM,1996).

Conforme estudos realizados na Lagoa da Pampulha há fortes indícios de contaminação do solo e das águas superficiais com impacto direto na saúde da população da área de abrangência (CPRM, 1997). O estudo visa identificar os elementos tóxicos provenientes do lixão de Contagem e sua distribuição nas matrizes água superficial, água subterrânea, sedimentos e chorume, por meio das técnicas: Análise por Ativação Neutrônica Instrumental e Espectrometria de Massa Acoplada a Fonte de Plasma

Capítulo 1 - Revisão bibliográfica

1.1 Resíduos sólidos

São considerados resíduos sólidos industriais aqueles que se apresentam em estado sólido ou semi-sólido resultantes da atividade industrial, incluindo-se os lodos provenientes de instalações de tratamento de águas residuárias, os gerados em equipamentos de controle de poluição, como também alguns líquidos cujas características tornem inviável ao lançamento em rede pública de esgotos ou corpos de água, ou que exijam soluções economicamente inviáveis, em face da melhor tecnologia disponível. A decisão técnica e econômica tomada em todas as fases do tratamento à disposição final deverá se basear na classificação dos mesmos. A NBR-10004 (Resíduos Sólidos e Classificação/ABNT) classifica os resíduos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, indicando quais resíduos devem ter manuseio e destinação mais rigidamente controlados. A classificação proposta baseia-se fundamentalmente nas características dos resíduos, em listagem de resíduos reconhecidamente perigosos e em listagens de padrões de concentração de poluentes. Segundo a NBR 10004 os resíduos são agrupados em três classes:

Resíduos Classe I: Perigosos- são os que apresentam características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e patogenicidade incorrendo em risco à saúde pública ou acarretando efeitos adversos ao meio ambiente, quando manuseados de forma inadequada. A identificação de resíduos perigosos se faz a partir do Teste de Lixiviação conforme NBR-10005 (Lixiviação de Resíduos- /ABNT). São ainda classificados como perigosos restos de embalagem contaminados, resíduos de derramamento ou produtos fora de especificação de substâncias tóxicas.

Resíduos Classe II: Não-inertes- são resíduos sólidos ou mistura de resíduos sólidos não enquadrados na Classe I. Estes resíduos podem ter propriedades como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água

Resíduos Classe III: Inertes- são resíduos sólidos ou mistura de resíduos sólidos que quando submetidos ao Teste de Solubilização norma, não apresentam nenhuma solubilização de algum constituinte, em concentrações superiores aos padrões definidos

A identificação é bastante complexa, em face das limitações existentes nos laboratórios nacionais, e recorrendo apenas às listagens considera-se suficiente. Daí a importância de se ter conhecimento prévio do processo industrial, que permita a identificação das substâncias e verificação de sua periculosidade. A amostragem de resíduos constitui operação de fundamental importância. Isto se torna difícil quando se trata de resíduo não homogêneo. A NBR-10007 (Amostragem de Resíduos - Procedimento / ABNT) relaciona os procedimentos a serem adotados nas diversas campanhas de amostragem.

A minimização da geração de resíduos se constitui numa estratégia importante no gerenciamento de resíduos, baseando-se na adoção de técnicas que possibilitem a redução de volume e/ou toxicidade dos resíduos e conseqüentemente de sua carga poluidora. Cabe ressaltar a importância da prevenção da geração de resíduos perigosos e a utilização das alternativas de disposição que excluam a disposição no solo. As vantagens da minimização são grandes: redução de custos de destinação associada à alteração das características qualitativas e quantitativas e obtenção de receita pela comercialização dos produtos oriundos da separação. São duas estratégias efetivas para minimizar os resíduos: redução na fonte e reciclagem.

Conceitua-se armazenamento de resíduos como a contenção temporária em área autorizada pelo órgão ambiental, à espera de reciclagem/recuperação, tratamento ou disposição final adequada, atendendo às condições básicas de segurança. Deve-se obedecer à Portaria Minter no. 124 de 20/08/80 seguidas das normas: NBR 1183 – “Armazenamento de Resíduos Sólidos Perigosos - Procedimento”- ABNT; NB 1264 - “Armazenamento de Resíduos Sólidos Classe II e III” - ABNT .

Um projeto de armazenamento de resíduos adequado deve observar critérios mínimos para escolha de sua localização, isolamento e sinalização, controle de operação, além das formas de acondicionamento e segregação dos resíduos. A adoção de medidas de impermeabilização da área, sistemas de drenagem de águas pluviais e líquidos percolados, bacias de contenção na área de entorno, e poços de monitoramento das águas subterrâneas são fundamentais para o sucesso do armazenamento.

1.1.1 Disposição final no solo

Dentre as formas de disposição final de resíduos industriais está a disposição em aterros sanitários ou industriais, injeção em poços profundos e o uso de minas abandonadas. A forma mais utilizada é o aterro sanitário.

O conhecimento das propriedades do solo é fundamental para se fazer uma adequada disposição de resíduos. Solo é todo material da crosta terrestre que não oferece resistência intransponível à escavação mecânica e que perde totalmente a resistência em contato permanente com a água. Todo solo se caracteriza por suas propriedades físicas e físico-químicas, que são: massa específica aparente e aparente seca, textura, granulometria e forma de grãos, plasticidade, natureza mineralógica, capacidade de troca catiônica, atividade, coesão, estrutura das argilas, consistência e resistência à compressão simples, contração e resistência seca, sensibilidade, porosidade, índice de vazios, percolação de água nos solos. São essas propriedades que conferem o êxito na escolha de uma área destinada a receber resíduos industriais, de saúde e doméstico.

Os aterros sanitários são obras de engenharia construídas sobre o solo, sendo que muitas de suas estruturas são executadas com o próprio solo. São obras de um aterro: construção de diques de contenção, construção de acessos de terra e camadas de terra compactada na sub-base com a função de impermeabilização, construção de bermas de equilíbrio. O êxito no projeto e operação do aterro está na observação dos seguintes aspectos de mecânica dos solos: compactação dos solos, ruptura hidráulica dos maciços, compressibilidade, recalques e estabilidade dos taludes de terra, que visam não só a qualidade da obra de engenharia, mas também colaboram para a não contaminação do solo e dos aquíferos.

O solo atua como atenuador de poluição dos aquíferos. Os mecanismos responsáveis por esta função são diluição, tamponamento de pH, precipitação por reação do sólido com a água ou com sólidos do local, precipitação causada por hidrólise, remoção causada por oxi-redução, filtração mecânica, volatilização e perda de gases, assimilação ou degradação biológica, decaimento radioativo, filtração em membrana ou adsorção. O risco da disposição indiscriminada de resíduos no solo está associado, principalmente, ao transporte destes poluentes pela infiltração dos líquidos percolados. Esta migração é responsável pela contaminação do subsolo e das águas subterrâneas. A percolação de águas contaminadas através do subsolo também estão sujeitas a mecanismos de atenuação dos poluentes nela contidos através de processos físicos, reações geoquímicas, processos bioquímicos e biofísicos.

As conseqüências da disposição inadequada dos resíduos no solo podem causar poluição do ar (exalação de odores, fumaça, gases tóxicos ou material particulado); poluição das águas superficiais pelo escoamento de líquidos percolados ou carreamento

de resíduos pela ação das águas de chuva e poluição do solo e das águas subterrâneas pela infiltração dos líquidos percolados.

O custo de destinação final em aterros é baixo, entretanto nem todo tipo de resíduo se adequa a este tipo de disposição. São passíveis de disposição em aterro, resíduos, cujos poluentes nele contidos, possam sofrer alguma forma de atenuação no solo, seja por degradação, ou processos de retenção (filtração, adsorção e troca iônica).

A escolha do local do aterro deve atender ao planejamento do desenvolvimento econômico, social e urbano da região; às diretrizes fixadas para o uso e ocupação do solo; proteção à saúde pública e defesa do meio ambiente; grau de urbanização e compatibilidade com o entorno; caracterização hidrogeológica; potencial de contaminação das águas superficiais e subterrâneas; localização dos mananciais de abastecimento de água; baixa densidade populacional; baixo índice de precipitação pluviométrica, alto índice de evapotranspiração, subsolo constituído de material argiloso; distâncias de 500 m de residência; distância de 200 m de corpos de água superficiais; subsolo constituído de material granular fino com coeficiente de permeabilidade inferior 10^{-5} cm/s; declividade máxima de 20 % no terreno, para aterros de resíduos perigosos; teor de argila, índice de plasticidade e permeabilidade; a remoção dos líquidos percolados bem como seu tratamento, seja físico-químico convencional, biológico ou avançado (absorção em carvão ativado, *stripping*).

1.1.2 Impacto ambiental decorrente da presença de Lixões

As áreas de lixões são consideradas fontes locais de contaminação ambiental devido principalmente à geração de chorume. O chorume é um líquido formado pela decomposição de substâncias contidas nos resíduos sólidos que têm cor escura, mau cheiro e elevada Demanda Bioquímica de Oxigênio. Fontes externas como águas de chuva, nascentes e sistemas de drenagem superficial aumentam o volume do chorume, que contém contaminantes orgânicos e metais, sob a forma de substâncias suspensas e solúveis atingindo as águas superficiais ou até mesmo o lençol freático por infiltração do solo. Além disso, o solo sob o lixo permanece com chorume, estando contaminado.

A produção do chorume é um processo dinâmico comandado por organismos que decompõem a matéria orgânica, ocorrendo em duas fases, aeróbia e anaeróbia.

A caracterização da composição do chorume no aterro constitui uma ferramenta essencial para o gerenciamento dos seus impactos, por ser uma das principais fontes de

poluição da zona de influência. Análise de DBO, DQO, N e P no chorume fornece informações sobre o desenvolvimento dos processos biológicos dentro do aterro bem como indica quais poluentes podem ser removidos no seu tratamento, podendo sugerir qual tratamento é mais adequado.

Dentre os vários fatores que afetam a qualidade do percolado estão a composição dos resíduos sólidos, idades do aterro, sazonalidade, clima, precipitação, hidrologia local e altura do depósito. A idade dos resíduos sólidos e o grau de estabilização têm efeito importante na composição deste líquido, de forma que seu potencial poluidor apresente-se inversamente proporcional à idade do aterro.

CHIAN & DEWALLE (1976), analisando o líquido percolado de um aterro, verificaram mudanças nos valores de DQO, turbidez, cor, pH e sólidos suspensos em função do tempo. Eles observaram que a idade do aterro pode estar relacionada com a razão de alguns parâmetros químicos e físicos e mudanças na coloração do percolado em função do tempo se devem à presença de colóides de hidróxido de ferro, implicando no aumento a turbidez.

Os principais fatores que afetam a formação do chorume, são de natureza quantitativa ou qualitativa, em se tratando de volume ou composição, respectivamente, são eles: oxigênio, pH, temperatura, nutrientes e umidade.

Os resíduos sólidos depositados em um lixão estão sujeitos à decomposição por atividades físicas, químicas e biológicas, o que resulta na geração de subprodutos sólidos, líquidos e gasosos.

A taxa de decomposição é função dos materiais constituintes do lixo, de suas características químicas, físicas e biológicas, da quantidade de oxigênio disponível, da umidade e da temperatura e dos microorganismos.

No início da decomposição é verificada intensa atividade aeróbia, caracterizada pela atividade de microorganismos aeróbios, ocasião em que as temperaturas são elevadas, havendo liberação de CO₂ e vapor de água da massa do lixo, com conseqüente redução de oxigênio no meio, implicando em condições propícias à anaerobiose, dando origem à segunda fase, caracterizada pela intensa atividade digestiva de liquefação, com a formação de ácidos orgânicos que podem ser utilizados como alimento pelas bactérias metanogênicas (DALMÁZIO, 2003). A fase anaeróbia ocorre em baixas temperaturas de

fermentação, pela ausência do oxigênio e em função dos gases despreendidos como metano, sulfídrico e outros.

Como as características do percolado são dependentes do material e da taxa de sua decomposição, as bactérias podem ser consideradas como os principais agentes de influência no processo de formação de gases associados (CH_4 , CO_2 , H_2 , N_2 , amônia e outros).

O estudo da decomposição química do líquido é importante em razão da mesma ser uma das principais fontes de contaminação em zonas de influência de aterros e de resíduos sólidos.

Segundo CASTILHOS JÚNIOR (1991), vários pesquisadores estudaram a constituição de percolado nos aterros (Tabela 1.1). Observando-se os valores apresentados, percebem-se as inúmeras características negativas do percolado de aterros sanitários, indicando a necessidade de seu tratamento para que a disposição de resíduos sólidos se faça de modo a não comprometer a qualidade ambiental.

Tabela 1.1 – Parâmetros físico-químicos do percolado de aterros sanitários evidenciando as mais altas concentrações verificadas

componente	Varição
pH	3,7-8,5
Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)	2810-16800
Dureza em CaCO_3 (mg /L)	0-22800
DQO (mg /L)	40-89500
DBO (mg /L)	40-33400
Sólidos Totais (mg /L)	0-59200
Fósforo total (mg /L)	0-130
Ca (mg /L)	50-7200
Mg (mg /L)	17-15600
Na (mg /L)	0-7700
K (mg /L)	28-3770
Fe total (mg /L)	0-2800
Zn (mg /L)	0-370
Cu (mg /L)	0-1
Cd (mg /L)	<0,03 -17
Pb (mg /L)	<0,05-2
Cloretos (mg /L)	4,7-2467
Sulfatos (mg /L)	1,1-1558

Fonte: CASTILHOS JÚNIOR, 1991

CHAPPUIS (1991), após vários ensaios de intensidade e toxicidade genética e estimativa de avaliação de Câncer nos Estados Unidos, alertou que o percolado do aterro de resíduos sólidos municipais é tão cronicamente e intensamente tóxico quanto o percolado de aterro de co-disposição de resíduos perigosos.

Os compostos químicos presentes no percolado podem sofrer uma série de reações de conversão e destruição quando passam através do solo. A capacidade de cada tipo de

solo em atenuar esse líquido é distinta. Os solos argilosos apresentam maior capacidade de remoção de metais, já os solos arenosos apresentam melhor resultado na remoção da matéria orgânica. Alguns testes demonstram que o solo apresenta capacidade limitada de remover certas substâncias químicas do percolado.

Segundo CARVALHO (1997), *os principais mecanismos de alteração do percolado são:*

- Filtração mecânica: diminui a concentração de sólidos suspensos no percolado. A capacidade do solo em filtrar ou remover partículas suspensas depende da textura e espessura de sua camada. A filtração é efetiva na limitação do deslocamento dos microorganismos, sendo que a remoção de patógenos só se completa quando a camada do solo for suficientemente espessa;
- Precipitação e co-precipitação: quando o percolado movimenta-se no aterro, mudanças nas condições microambientais, como temperatura, pH e composição da solução podem resultar na imobilização de alguns de seus constituintes, os quais são convertidos em compostos insolúveis. A grande vantagem deste mecanismo de remoção de poluentes está em sua alta capacidade e baixa reversibilidade, sendo importante na remoção de metais pesados;
- Adsorção: resultam na redução dos poluentes que se ligam quimicamente a minerais argilosos, óxidos hidratados e matéria orgânica do solo. A capacidade de adsorção não específica dependerá da disponibilidade de cargas superficiais na matriz do solo, sendo essa característica denominada capacidade de troca de cátions e capacidade de troca aniônica;
- Diluição e dispersão: reduz a concentração de poluentes no percolado pela sua mistura com maiores quantidades de águas subterrâneas, porém a atenuação atingida por este mecanismo não reduz a quantidade total de poluentes no sistema de águas subterrâneas, lembrando que a dispersão sobre uma grande área torna impraticável a recuperação desta água por ação remediadora;
- Atividade microbiana: A ação microbiana de alteração do percolado é feita pela assimilação e utilização de poluentes orgânicos e inorgânicos, por microorganismos do solo, alterando o pH do líquido e resultando na destruição de microorganismos patogênicos;

- Volatilização: ocorre quando o composto migratório evapora e se movimenta por zonas não saturadas do solo acima do lençol freático. Somente substâncias com baixa pressão de vapor podem ser volatilizadas, devendo migrar para superfície do solo e mover-se para atmosfera. De outra maneira, ela pode tornar-se parte da pluma de gases, movendo-se para fora do aterro por meio de formações sub-superficiais acima do lençol freático.

Ressalta-se que apenas um mecanismo atenuante não será eficaz na remoção do poluente químico presente no percolado. Todos os mecanismos estarão operando em algum momento, em qualquer lugar do aterro no qual esse líquido se movimenta para a base. Os mecanismos mais ativos e o grau de atenuação atingido dependerão das propriedades físicas e químicas do solo.

A saúde de um sistema aquático é um sistema complexo, com um número grande de variáveis, sendo evidente a inadequabilidade da avaliação da poluição hídrica em se considerando os sistemas em separado, uma vez que interações ecológicas estão presentes.

A Resolução CONAMA No. 357/2005 estabelece limites e classificação as águas doces, salinas e salobras do território nacional, além de restringir o lançamento de efluentes de qualquer fonte poluidora que direta ou indiretamente alcancem os corpos de água . Norma brasileira que rege o controle de poluição hídrica em nível federal, recentemente aprovada. As Tabelas 1.2 e 1.3 apresentam estes limites permitidos para as águas de superfície e para os efluentes a serem lançados em corpos de água .

Tabela 1.2 – Teores máximos permitido de alguns metais potencialmente prejudiciais em águas naturais (Classe 1)

Elemento	Concentração (mg.L⁻¹)
alumínio	0,1
arsênio	0,01
bário	0,7
cádmio	0,001
chumbo	0,01
cobalto	0,05
cobre	0,009
cromo total	0,05
ferro solúvel	0,3
manganês	0,1
mercúrio	0,0002
níquel	0,025
zinco	0,18

Fonte: CONAMA No.357, 2005

Tabela 1.3 – Teores máximos de alguns metais potencialmente prejudiciais presentes nos efluentes para lançamento direta ou indiretamente em corpos de água

Elemento	Concentração (mg.L⁻¹)
pH	5 a 9
materiais sedimentáveis	1,0
bário	5,0
arsênio	0,5
cádmio	0,2
chumbo	0,5
cobre	1,0
cromo trivalente	2,0
cromo hexavalente	0,5
ferro solúvel	15,0
manganês solúvel	1,0
mercúrio	0,01
níquel	2,0
zinco	5,0

Fonte: Resolução CONAMA No. 357, 2005

A qualidade do sedimento como parâmetro de controle é amplamente reconhecida como um dos fatores indispensáveis à caracterização do recurso hídrico (BEAUCHEMIN, 2002).

Considerando os três compartimentos mais importantes no que diz respeito a metais pesados (epilímio, plâncton total e sedimento) estudos comprovam que o sedimento é o principal reservatório destes elementos, seguido do plâncton total. Esta matriz é muito utilizada como parâmetro de avaliação da poluição por metais em águas naturais. Concentrações de produtos químicos no sedimento atingem proporções muito mais elevadas do que aquelas encontradas nas águas. O particionamento ou sorção de um composto químico entre água e sedimento depende de vários fatores incluindo a solubilidade, pH, redox, afinidade do carbono orgânico do sedimento e o carbono orgânico dissolvido, tamanho dos grãos do sedimento, constituintes minerais do sedimento (óxidos de ferro, manganês e alumínio)), além da quantidade de ácidos sulfonados voláteis no sedimento (BREKHOVSKIKH, 2001).

A interação da qualidade do sedimento e a bioacumulação de poluentes químicos são afetados por processos físicos (turbulência e bioturvação), químicos (peso molecular e polaridade, além de sinergismo ou antagonismo) e biológicos (relação tipo de

contaminante com a espécie específica estudada e seu processo de eliminação) (USEPA, 1998).

Os critérios de qualificação de sedimentos são amplamente descritos por BANDEIRA, 2004. No Brasil, ainda não se tem estabelecido valores de referência para sedimentos, assim sendo, considerou-se os valores orientadores definidos nos protocolos internacionais conforme Tabelas 1.4 .

Tabela 1.4 - Valores referenciais da qualidade de sedimentos definidos em protocolos internacionais

Metal	CCME¹ ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	OME² ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	Long and Morgan (USEPA) ³($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
arsênio	5,9 -17	6-33	33-85
cádmio	0,596 -3,53	0,6-10	5-9
cromo	37,3-90	26-110	80-145
cobre	35,7-197	16-110	17-390
chumbo	35- 91,3	31-250	35-110
manganês		460-1100	
mercúrio	0,174-0,486	0,2-2	0,15-1.3
níquel	18-35,9	16-75	30-50
zinco	123-315	120-820	120-270

¹ Canadian Council of Ministers for the Environment

² Ontario Ministry of the Environment

³ Long and Morgan Working with USEPA data

Nos últimos anos tem havido um grande interesse no desenvolvimento, aperfeiçoamento e aplicação de metodologias para avaliar o grau de contaminação de sedimentos. Estes, apesar de fornecerem habitat para muitos organismos aquáticos, também constituem, um importante depósito para muitos dos mais persistentes químicos que são introduzidos no ambiente. Visando comparar diferentes metodologias que foram desenvolvidas nos últimos anos para avaliar a toxicidade de contaminantes associados a sedimentos de água doce, subsidiando o estabelecimento de protocolos dos procedimentos de testes considerados mais adequados e analisando a qualidade do sedimento de alguns reservatórios do Estado de São Paulo, foram realizados testes de toxicidade aguda, utilizando-se o anfípodo *Hyaella azteca* como organismo-teste. Foram testados os sedimentos dos reservatórios Billings, Rasgão, Barra Bonita, Bariri e Promissão, além do sedimento do reservatório Pedro Beicht, que foi considerado sedimento controle. O conjunto de dados levantados por este estudo em associação aos demais levantados pelo Projeto QualiSed (UFSCar-UNICAMP-CETESB) formaram a base para a proposição de um programa de avaliação integrada e hierárquica da

qualidade de sedimentos (AIHQs), onde os VGQS em uso no Canadá e EUA são usados como valores orientadores de determinadas ações (análises físicas, químicas, biológicas e ecotoxicológicas) tomadas nas diferentes etapas do programa (SILVÉRIO, 2003).

O solo atua freqüentemente como filtro, com capacidade de depuração e imobilização de grande parte das impurezas nele depositadas, no entanto, esta capacidade é limitada, podendo ocorrer alteração da qualidade do solo, devido ao efeito cumulativo da deposição de poluentes atmosféricos, à aplicação de defensivos agrícolas e fertilizantes e à disposição de resíduos sólidos industriais urbanos, materiais tóxicos e radioativos. Em função das características do solo, a água se infiltra, atravessando os diversos substratos horizontais, e caso haja contaminantes estes poderão atingir as águas subterrâneas.

A questão da proteção da qualidade das águas subterrâneas e solos se faz necessária, e a adoção de valores orientadores subsidia decisões não só quanto ao controle de poluição de águas e solos, como também na identificação e recuperação de áreas contaminadas (BUCKLEY, 2003).

A CETESB desenvolveu um projeto para estabelecer valores de referência de qualidade e valores de intervenção para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo. Na ausência de uma legislação que defina limites orientadores no Estado de Minas Gerais, adotaram-se neste estudo os limites definidos para águas subterrâneas pela CETESB (Tabela 1.5).

Tabela 1.5 – Teores máximos de metais potencialmente prejudiciais presentes nas águas subterrâneas definidos pela CETESB -2001

Elemento	Concentração ($\mu\text{g.L}^{-1}$)
alumínio	200
bário	700
arsênio	10
cádmio	5,0
chumbo	10
cobalto	30
cobre	2000
cromo	50
ferro solúvel	300
manganês solúvel	100
mercúrio	1,0
níquel	50
zinco	5000

1.2 Caracterização do potencial poluidor do Parque Industrial de Contagem

O diagnóstico do Parque Industrial, inserido no Estudo de Controle da Poluição Industrial do PROSAM. (ESSE – Engenharia e Consultoria, 1999), visou à busca pela adequada proteção de recursos hídricos da região da Bacia da Pampulha. O trabalho permitiu a identificação das indústrias poluidoras que se encontram na área do estudo, representada pelas sub-bacias dos rios Arrudas e Onça e a partir de uma seleção de indústrias, correspondendo a 10 % do universo, foi feito estudo quantitativo e qualitativo dos efluentes líquidos e de seus resíduos sólidos. Em seguida, com ajuda de técnicos de órgãos e entidades afetos ao objeto do estudo, foi feita avaliação do potencial poluidor do parque industrial, visando adequar e formular, de forma objetiva, as políticas de gerenciamento do sistema de controle ambiental, concluindo quanto aos impactos decorrentes das atividades desenvolvidas na área de estudo.

As atividades econômicas identificadas na área de estudo foram classificadas em **Não poluentes**: atividades que não poluem o meio ambiente, e que no âmbito da área de estudo não geram efluentes líquidos e/ou sólidos; **Potencialmente poluentes**: atividades que, de acordo com o processo industrial, podem ou não gerar efluentes líquidos ou sólidos; **Poluentes**: atividades que efetivamente provocam degradação ambiental, com descarte de efluentes líquidos ou resíduos sólidos em quantidade ou concentração acima do limite fixado pela legislação ambiental vigente, e que causam direta ou indiretamente impactos negativos ao meio físico, biótico e sócio-econômico.

A definição de potencial poluidor foi baseada na análise da atividade industrial, de 211 indústrias poluentes; 1365 indústrias potencialmente poluentes e 1549 indústrias não poluentes

A região, onde se localiza o Lixão, pertence à bacia do Onça onde se concentram 20 % das indústrias da sub-bacia, com consumo de água aproximado de 176.000 litros (45 % do total consumido pelas indústrias). As tipologias que sobressaem na área de estudo são: metalurgia, mecânica, editora e gráfica, química e alimentícia.

A determinação da carga de poluidora gerada por estas atividades considerou os seguintes parâmetros: DBO, DQO, sólidos suspensos, metais pesados tóxicos: As, Cd, Pb, Cu, Cr⁺⁶, Sn, Hg, Ni, Ag, Se, Zn, além dos poluentes: fenóis, fósforo, sulfatos e cianetos.

A Tabela 1.6 apresenta a estimativa da carga poluidora da Bacia do Onça de acordo com relatório da ESSE Engenharia e Consultoria, 1999.

A avaliação da quantidade e qualidade do resíduo sólido produzido na bacia do Onça foi feita com base em amostras de 160 indústrias, responsáveis pela geração de 498.481 t/ano de resíduos, sendo que cerca de 95 % são resíduos classe II e 0,5 % são da classe I, conforme classificação da NBR 10004/ 87. Cerca de 98 % é reciclado dentro ou fora da empresa, restando 1,5 % cujo destino é a aterro público.

Tabela 1.6 – Estimativa da carga poluidora da Bacia do Onça oriunda dos efluentes líquidos

Parâmetro	Carga (kg/dia)
DBO ₅	3301
DQO	8282
Sólidos em suspensão	4868
arsênio	0,000
cádmio	0,002
chumbo	0,505
cobre	1,293
cromo hexavalente	0,677
estanho	0,034
mercúrio	0,000
níquel	0,657
prata	0,002
selênio	0,002
zinco	2,566
fenóis	13,25
fósforo total	21,98
sulfatos	245,93
cianetos	0,12

Fonte: ESSE Engenharia e Consultoria-1999

Constatou-se que o número de indústrias metalúrgicas e siderúrgicas é relevante no Parque industrial. A Tabela 1.7 apresenta a estimativa de resíduos industriais gerados no pólo industrial, onde a indústria metalúrgica responde por 77 % dos resíduos produzidos.

Tabela 1.7 - Estimativa dos resíduos industriais gerados no Centro Industrial de Contagem

Atividade econômica	Distribuição de resíduo produzido (%)
Produtos minerais não metálicos	3,52
Metalurgia	77,30
Mecânica	1,00
Material elétrico, eletrônico e de comunicação	0,45
Material de transporte	0,94
Madeira e mobiliário	0,58
Papel e celulose	1,27
Borracha	0,96
Couro, peles	0,25
Química	1,30
Produtos farmacêuticos e veterinários	1,12
Refino de petróleo e destilação de álcool	0,35
Produtos de matérias plásticas	0,91
Têxtil	0,08
Produtos alimentares	6,13
Bebidas	2,39
Vestuário, artefatos de tecido.	0,55
Diversas	0,90

Fonte: ESSE Engenharia e Consultoria-1999

1.3 Importância das águas

As águas subterrâneas são pouco exploradas em decorrência do sistema de abastecimento público que atende praticamente toda população, inclusive em áreas rurais. Todavia na última década, notou-se considerável crescimento no número de poços pelas indústrias, sítiantes e clubes que buscam alternativas mais econômicas. Esta prática tem-se mostrado comum no restante do país, e em países desenvolvidos cresce o

número de poços tubulares. As águas subterrâneas têm utilizações das mais diversas de acordo com o tipo de captação.

Pelo fato das águas superficiais serem visíveis, imagina-se que os rios, barragens e lagos devam ser a maior fonte de atendimento ao homem. Na verdade, pouco mais de 97 % da água doce disponível na terra encontra-se no subsolo e, portanto menos de 3 % da água potável disponível no planeta provém da superfície. Segundo estimativas da UNESCO (1992), no período de 1970 a 1995 foram perfurados 300 milhões de poços. Estes poços fornecem água subterrânea para abastecimento de mais de 50 % da população do planeta e para irrigação de aproximadamente 90 milhões de hectares.

Na Comunidade Européia, 75 % dos sistemas públicos de abastecimento de água utilizam água subterrânea, sendo que em alguns países como Dinamarca, Suécia, Bélgica, Alemanha e Áustria esse percentual chega a 90 % (OCDE, 1989). No Brasil, a falta de controle na utilização da água subterrânea provavelmente não permite fazer estimativas sem erros significativos. Mesmo assim, dados do IBGE (1991) revelam que 61 % da população é abastecida por água subterrânea.

As águas superficiais representam águas em trânsito que se renovam em períodos muito curtos. Os aportes dependem das chuvas e das perdas por evapotranspiração, que sofrem influência de agentes e fatores climáticos, como temperatura do ar, ventos, umidade relativa e insolação.

As águas subterrâneas encontradas nos sistemas aquíferos regionais são águas antigas, que se acumularam ao longo de milhares de anos e se encontram, em condições naturais, numa situação próxima ao equilíbrio, governado por um mecanismo de carga e descarga. Além dessas águas não se encontram diretamente expostas às influências climáticas, seu movimento é muito lento, implicando em tempo de trânsito muito longo. Mas, nem toda água do subsolo pode ser extraída das formações aquíferas em que se encontra. O volume explotável de um aquífero é uma variável de decisão a ser determinada como parte de um plano de gestão do sistema (KOSOV, 2001).

As águas de superfície (lagos, represas e rios) e águas subterrâneas não são recursos independentes. Em muitos casos podem existir ligações entre corpos de água superficiais e aquíferos. Dependendo da permeabilidade do leito do rio e da diferença de carga potenciométrica entre o rio e aquífero a água pode fluir do rio para o aquífero ou vice-versa. As descargas de águas de fontes, que emergem do sopé de muitas encostas,

são exemplo da ligação entre as águas subterrâneas e a superficial. Além da quantidade também a qualidade da água subterrânea pode ser afetada pela infiltração de água superficial contaminada. Em geral a água subterrânea não apresenta maiores problemas de contaminação física ou biológica. A água superficial é muito mais vulnerável a contaminações oriundas da atividade humana, cujo tratamento é geralmente oneroso. A água subterrânea, embora menos vulnerável, também pode ser afetada por contaminantes provenientes de perdas em redes de esgoto, derramamentos de petróleo, intrusões de água de qualidade inferior. Quando a contaminação acontece, a remoção é muito mais difícil do que no caso de águas superficiais, podendo em alguns casos se tornar irreversível. Isto se justifica, pelo lento movimento da água subterrânea, sobretudo quando o substrato é constituído de materiais finos, intercalado em formações de permeabilidade alta, associado a fenômenos de adsorção e trocas iônicas na superfície da matriz sólida. Tais fenômenos são especialmente significativos quando existem materiais argilosos presentes no aquífero, sendo responsáveis pela remoção de certos elementos contaminantes dissolvidos na água, momento em que o aquífero desempenha papel de um filtro e de um purificador, por sua capacidade de adsorção e sua matriz sólida.

A vulnerabilidade de um aquífero à contaminação é a susceptibilidade em ser adversamente afetado por carga contaminante. A classificação deve ser considerada com cautela quando se tratar de contaminantes móveis e persistentes no solo. Na verdade, a vulnerabilidade deve ser avaliada para cada tipo de contaminante (bacteriológico, metais, químicos, orgânicos, etc.) ou cada grupo de atividades contaminantes (saneamento, efluentes industriais, atividades agrícolas), pois o conceito de vulnerabilidade ampla a um contaminante universal em um cenário típico de contaminação não tem validade. Estudos geoquímicos definiram classes de vulnerabilidade (CPRM, 2001):

- ❖ “Vulnerabilidade alta: aquífero livre de pequena espessura, associado a afloramento de rocha fraturada e ilhas de dragagem. Níveis freáticos superficiais até 100m de profundidade. Afloramentos pontuais referem-se a pedreiras abandonadas e afloramentos de rocha sã ou saprólito.
- ❖ Vulnerabilidade moderada: aquífero livre coberto a livre associado a solos residuais e localmente, argilas areias e cascalhos aluviais. Níveis freáticos inferiores a 5 m.

A litologia trata da composição mineralógica, da distribuição do tamanho dos grãos e grau de compactação dos sedimentos e rochas constituintes do arcabouço geológico. A estratigrafia descreve as relações geométricas e cronológicas entre os vários elementos constituintes do sistema geológico, tais como lentes, camadas e formações de origem sedimentar. As discordâncias são características estratigráficas especialmente importantes em hidrogeologia (FREEZE & CHERRY, 1979). Trata-se de descontinuidades estratigráficas ou superfícies que refletem a ocorrência de um intervalo de tempo durante o qual o processo de deposição é interrompido, ou ainda, durante o qual a superfície da rocha existente foi interrompida, erodida ou afetada por movimentos tectônicos. Essas discordâncias, muitas vezes, apresentam-se como superfícies que separam meios de permeabilidade diferente, e por isso freqüentemente estão associadas com a ocorrência de aquíferos.

A estrutura diz respeito às características geométricas produzidas no sistema geológico por deformação após deposição ou cristalização, como é o caso das juntas, fraturas e falhas, e dobras. O conhecimento da geologia de uma região, isto é, de sua litoestratigrafia e estrutura é o ponto de partida para a compreensão da distribuição espacial dos aquíferos e aquíferos.

Nos aquíferos, devido à lenta circulação das águas subterrâneas, capacidade de adsorção dos terrenos e pequeno tamanho dos canalículos, uma contaminação pode levar muito tempo para se manifestar. O notável poder de depuração dos aquíferos, em relação a muitos contaminantes, e o grande volume de água que armazenam, faz com que as contaminações extensas se manifestem muito lentamente e as contaminações localizadas somente apareçam após um tempo considerável. Recuperar um aquífero contaminado é tarefa árdua.

Dentre as formas mais freqüentes de contaminação das águas subterrâneas está a deposição de resíduos sólidos na superfície do solo. Atividades industriais e municipais das grandes cidades produzem diariamente grandes quantidades de resíduos sólidos que são armazenados em aterros ou simplesmente lançados na superfície do terreno.

1.4 Poluição por metais pesados

Os elementos ditos “metais pesados” foram definidos no congresso de Heidelberg em 1983 como sendo os elementos de densidade superior a $5,0 \text{ g/cm}^3$ (MINEAR e KEITH, 1982). Por outro lado vários autores tomam o hábito de designar os “metais pesados”,

como todos os elementos que tenham conotação tóxica. A Figura 1.2 apresenta a tabela periódica que identifica os elementos “metais pesados” (LEYGONIE, 1993), como aqueles situados dentro do polígono amarelo e os elementos considerados tóxicos nos diversos documentos científicos e convenções internacionais e pela Organização Mundial da Saúde, hachurados em negro.

Vários elementos tóxicos estão fora do polígono amarelo, alguns deles de densidade média: Se (4,28 g/cm³), As (5,75 g/cm³), Te (6,24 g/cm³). Um outro elemento, o berílio (1,85 g/cm³) é um elemento leve, porém muito tóxico. Pode-se notar também que os lantanídeos são em geral considerados como elementos pouco tóxicos, enquanto que os actinídeos, como o urânio, são ao contrário, muito tóxicos (toxidez bioquímica e radiológica).

1	H																	He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Au	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	Ac	Rf	Ha													
Lantanídeos			Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu			
Actinídeos			Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lw		

Figura 1.2 – Tabela periódica segundo Leygonie (1993)

Considera-se essencial à vida cerca de 30 elementos químicos, divididos como 11 elementos maiores e 19 elementos traços, como estão representados por BATLEY (1989) na Figura 1.3.

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra																

Elementos Maiores
 Elementos traços
 lantanídeos
 actnídeos

Figura 1.3 - Elementos traços essenciais de acordo com Batley (1989)

CHAPPUIS (1991) considera como oligo-elementos todos os elementos encontrados dentro do organismo além dos elementos maiores. Porém, suas presenças têm significâncias diferentes. Por exemplo, o autor faz menção ao papel importante dos elementos cobre, zinco e selênio para as enzimas; o iodo para os hormônios; o cobalto para as vitaminas; o silício, rubídio e estrôncio no plasma; do ferro nas hemoglobinas; e mesmo o mercúrio que se encontra nos organismos vivos, quando detectado com técnicas mais sensíveis.

Os elementos metálicos são classificados por FÖRSTNER E WITTMANN (1981) segundo os três critérios abaixo

- 1) não críticos: Na - K - Mg - Ca - H - O - N - C - P - Fe - S - Cl - Br - F - Li - Rb - Sr - Al - Si ;
- 2) tóxicos, porém muito insolúveis ou raros: Ti - Hf - Zr - W - Nb - Ta - Re - Ga - La - Os - Rh - Ir - Ru - Ba;
- 3) muito tóxicos: Be - Co - Ni - Cu - Zn - Sn - As - Se - Te - Pd - Ag - Cd - Pt - Au - Hg - Tl - Pb - Sb - Bi.

A Tabela 1.8 lista os elementos tóxicos relacionando as características de toxicidade (VEADO, 1997).

Tabela 1.8 - Características dos principais elementos tóxicos (VEADO, 1997)

<u>Elemento</u>	<u>Forma na natureza</u>	<u>Estado de Oxidação</u>	<u>Fontes</u> * natural ** poluição	<u>Considerações Toxicológicas</u>
antimônio	Raramente é encontrado em seu estado puro. Está principalmente associado com a sulfã, S, como Sb ₂ S ₃ ou com óxidos como Sb ₂ O ₄ , Sb ₂ O ₃ .	Sb(III)	*Encontrado no carvão sob a forma de sulfã muito volátil. Encontra-se em rochas ígneas, galeñas e calcares. Pode também ser encontrado em certas formas de vida marinha em concentrações 300 vezes maiores que na água. **Está freqüentemente associado às minas de Hg, Ag, Pb, e Cu.	O antimônio não é considerado como elemento essencial à nutrição humana. É um elemento utilizado como hemético, mas em doses baixas (100 mg) pode ser fatal. Pode causar problemas cardíacos, erupções cutâneas e pneumonias.
Sb		Sb(V)		
arsênio	Encontrado ocasionalmente em estado puro, mas está freqüentemente associado com S, Se, Te, Co, Cu, Fe, Ni et Sn. A forma As ₂ O ₃ é recuperada na extração destes metais.	As(III) As(V)	*Solo (~ > 500 mg/kg) ; Fontes minerais: FeAsS, As ₂ S ₃ , AsO ₂ , FeAs ₂ , As ₄ S ₄ . Alimentos (frutas e vegetais naturais). ** Carvão (16 mg de As/Kg de Carvão) ; Indústrias minerais em geral, principalmente de ouro, cobre, petróleo, detergentes, pesticidas, fertilizantes, e herbicidas.	O Arsênio III é muito tóxico em solução (ingestão de 100 mg = envenenamento; 130 mg = dose letal). O Arsênio V é menos tóxico. Pode causar câncer da pele e do fígado. Suas formas orgânicas são muito menos tóxicas que as formas minerais.
As				
bário	Ele se encontra principalmente sob a forma de sulfato (BaSO ₄) e Carbonato (BaCO ₃).	Ba(II)	*Sua fonte mineral natural é o Carbonato de Bário. **Minerais de chumbo e zinco. Pode também ser encontrado em teor de traço no carvão.	O bário não é encontrado em concentrações significativas em soluções, pois seus carbonatos e sulfatos são insolúveis. O bário produz um efeito estimulante nos músculos, incluindo o coração. Causa excreção na saliva, diarreia e pressão arterial alta.
Ba				
berílio	A forma mais abundante é o Berílio : (3BeO.Al ₂ O ₃ .6SiO ₂)	Be(II)	*Silicatos minerais. Rochas cristalinas. Algumas plantas. **Extração de Berílio, produção e rejeitos de lâmpadas fluorescentes, tubo de raios X, indústrias nucleares e metalúrgicas.	O Be (II) não é encontrado em sistema aquoso. Causa tumor de ossos e de pulmões nos animais e no homem. O Oxido de berilo é particularmente tóxico.
Be				

<u>Elemento</u>	<u>Forma na natureza</u>	<u>Estado de Oxidação</u>	<u>Fontes</u> * natural ** poluição	<u>Considerações Toxicológicas</u>
cádmio Cd	É um elemento raro na natureza. Encontra-se nos minerais e em minas de chumbo e zinco.	Cd(II)	*Pode ser encontrado como impureza em vários minerais: CdCO ₃ , CdS, CdO. **A fonte mais importante de poluição é o refino de zinco. Os fertilizantes têm uma concentração 9 à 36 ppm. Pode ser encontrado também em canalizações de zinco, e na galvanização dos tubos de ferro. A emissão atmosférica é proveniente da incineração e da transformação de certos produtos, tais como radiadores de veículos, rejeitos de aços, garrafas plásticas, assentos de veículos, materiais com pigmentação e fotográficos.	O cádmio age nos rins. As competições das interações entre Zn e Cd nos tecidos animais mostram uma correlação com a arteriosclerose. É muito tóxico para o homem, mas os efeitos de doses de longa duração não são ainda conhecidos.
romo Cr	O cromo não se encontra sob forma livre. Encontra-se principalmente sob a forma de (MgFe)O(Cr,AlFe) ₂ O ₃ .	Cr(III) Cr(VI)	*Rochas sedimentares onde há concentração de fosfitos e fosfatos. Fonte mineral: Fe ₂ Cr ₂ O ₄ . Pode ser encontrado nos solos e plantas. **Galvanização de metais e indústrias de tintas.	O Cr (VI) e seus compostos são os mais tóxicos. Estes são irritantes, corrosivos e tóxicos para os tecidos humanos. Pode causar câncer de pulmão.
obre Cu	Encontra-se sob forma de sulfato, CuFeS ₂ . É o mineral mais importante nas sulfas primárias e complexas de Sb, As, Bi.	Cu(I) Cu(II) Cu(III)	* A quantidade de cobre nos solos é muito variável, porém nos minerais as concentrações são altas (1-50 ppm). **Indústrias de cigarro, de tubulação e de tratamentos agrícolas.	O cobre não é considerado como tóxico por acumulação como o Pb e o Hg pois o cobre ingerido pode ser excretado pelo corpo humano sem ser retido, porém altas doses pode causar câncer de problemas gastro-intestinais.
chumbo Pb	Os minerais galenos têm a maior porção na natureza em concentração do elemento chumbo. Os elementos que podem estar associados com o chumbo são: Fe, Zn, Ag, Cu, Au, Cd, Sb, As e Bi.	Pb(II)	*O chumbo se encontra no solo em concentrações muito variáveis (2-200 ppm). As fontes minerais são: PbO, PbS, PbCO ₃ , PbSO ₄ . **A maior fonte poluidora é a emissão pelos automóveis, navios e munições.	O chumbo pode se acumular nos pulmões, e causar danos à circulação sanguínea, aos intestinos, ao sistema nervoso, aos rins e ao coração.

<u>Elemento</u>	<u>Forma na natureza</u>	<u>Estado de Oxidação</u>	<u>Fontes</u> * natural ** poluição	<u>Considerações Toxicológicas</u>
Mn	Elemento encontrado na forma de MnO ₂ na crosta terrestre e sob a forma de óxidos minerais. A forma mais comum é HgS.	Mn(II) Mn(IV)	**A produção de ferro e aço são as fontes de poluição do ar e das águas em manganês.	A toxicologia do manganês não é muito significativa. Em altas doses, ele afeta o sistema nervoso central, causando desordem de memória e alucinações.
Hg		Hg(I) Hg(II)	*A combustão do carvão, as evaporações naturais, erupções vulcânicas, são as fontes mais importantes dentro da atmosfera. Fontes Minerais: Hg ₂ Cl ₂ , HgS, HgO. **Fabricação de cloro. Indústrias eletrônicas. Pesticidas e Fungicidas.	Na água se encontra na forma Hg (II) Sob a forma de metil, ele penetra facilmente nos peixes, alimentos e conseqüentemente ao homem, onde ele se instala lentamente nos glóbulos vermelhos, destruindo as células do cérebro que controlam a coordenação. O mercúrio é considerado um dos poluentes muito tóxicos.
Ni	Os compostos de níquel existem dentro de diversas fontes minerais. Sua principal forma (Ni,Fe) ₈ S ₈	Ni(II)	*Elemento encontrado principalmente em água, pois seus sais são muito solúveis. **A poluição vem principalmente de incinerações do carvão, do petróleo e seus derivados.	O níquel e seus compostos são tóxicos em teores de concentrações muito mais elevados que aqueles encontrados em água. Sua toxidez ainda não é muito conhecida.
Se	O selênio é encontrado sob a forma de sais com Ni, Co, Mo, Cu.	Se(II) Se(IV) Se(VI)	*Carvão, "black shales". Depósitos sulfoculvênicos. **Encontra-se em refinarias de Cu, Pb, Au, Ni et Ag.	Elemento considerado como muito tóxico. Pode provocar: anemia, depressão e problemas do sistema nervoso, quando atinge o fígado, torna a pele com coloração amarela. Existe risco de causar cáries dentárias e gengivites.
Ag	A prata é encontrada principalmente como sulfato Ag ₂ SO ₄ ou associada com Pb e Cu. Este elemento forma complexos solúveis com amoníaco, bisulfato, cianeto e sulfatos.	Ag(I) Ag(III)	*Fontes minerais: Ag ₂ O, AgCl, Ag ₂ S, AgF. **O nitrato de prata é muito utilizado na indústria: fotográfica, de tintas, colorantes para porcelana. É também utilizado como anti-séptico e para a conservação dos alimentos e de bebidas.	A prata não é considerada como um poluente significante em águas naturais. Tendi em vista o seu custo, as indústrias utilizam sistemas de recuperação.
Zn	O zinco se encontra sob forma de sulfato: ZnS. Este elemento pode estar associado com outros metais tais como: Pb, Cu, Cd e Fe.	Zn(II)	**A maior parte a poluição em zinco, vem de fertilizantes. Os sais de Zn são utilizados para a galvanização de tubulações.	O zinco solúvel não está em concentrações significantes em águas naturais. Em água de torneira, pode ser encontrado de 3 à 2100 µg/l.

<u>Elemento</u>	<u>Forma na natureza</u>	<u>Estado de Oxidação</u>	<u>Fontes * natural ** poluição</u>	<u>Considerações Toxicológicas</u>
boro B	Encontra-se sob forma de borato em fontes de águas quentes, e lagos de regiões vulcânicas, onde este elemento forma complexos voláteis.	B(III)	* Este elemento é encontrado em fontes térmicas e em ventos vulcânicos. **O boro está concentrado em águas de campos petrolíferos, de carvão e em rejeitos de plantas e animais.	O boro é bioquimicamente importante, pois ele substitui o carbono nas moléculas de gordura e de açúcar. Sabe-se que a ingestão excessiva de ácido bórico ou de borato causa náuseas e convulsões.
flúor F	Os minerais mais comuns, onde flúor é encontrado, são: F_2Ca , Na_3AlF_6 , $Ca_{10}F_2(PO_4)_6$. Os gases vulcânicos são também ricos HF.		*É encontrado em rochas metamórficas: apatita e mica. **A maior fonte poluidora em flúor vem dos fertilizantes, fosfatos, plantas e combustão do carvão. O flúor pode ser proveniente de indústrias de alumínio, aço e cerâmica.	A excessiva quantidade de flúor é responsável pelo efeito tóxico conhecido como “fluorose dental” Pode causar danos ao esqueleto e reumatismo. A ingestão contínua pode causar danos aos rins
tório Th	Elemento radioativo encontrado em vários depósitos.	Th(II) Th(III) Th(IV)	Usado em mantas de gás incandescentes, e em liga de combustível em reatores nucleares.	Muito perigoso devido a sua radioatividade
urânio U	Metal Radioativo encontrado em vários depósitos	U(II) U(III) U(IV) U(V) U(VI)	* Crosta Terrestre = 2ppm Água do mar= 0,0003ppm ** Combustível Nuclear, bombas nucleares.	Muito perigoso devido à sua radioatividade.
radônio Rn	Gás produzido pelo ^{226}Ra . Encontrado na forma RnF_2	Rn(II)	* Atmosfera em teor de traço; Crosta terrestre= $1,7 \cdot 10^{-10}$, água do mar= $9 \cdot 10^{1,5}$	Tóxico devido à sua radioatividade.

1.4.1 Toxicidade e bioacumulação de metais pesados

O mercúrio (Hg), chumbo (Pb), cádmio (Cd), e arsênio (As) são os elementos que apresentam grandes riscos ambientais em razão de seu intenso uso, toxicidade e ampla distribuição. Até o momento, nenhum invadiu o ambiente a ponto de constituir um perigo difundido por toda parte. Contudo foi descoberto que cada um deles ocorre em níveis tóxicos em determinados locais nos últimos tempos. Os metais diferenciam-se dos compostos orgânicos tóxicos por serem não-degradáveis, de maneira que podem acumular-se nos componentes do ambiente onde manifestam sua toxicidade. Os locais de fixação final dos metais pesados são os solos e sedimentos.

Embora pensemos nos metais pesados como poluentes da água e contaminantes dos nossos alimentos, eles são em sua maioria transportados de um lugar para outro via aérea, seja como gases ou como espécies adsorvidas sobre ou absorvidas em material particulado em suspensão.

A toxicidade destes elementos depende em grande parte da forma química do elemento, isto é, de sua especiação. As formas, quase totalmente insolúveis, passam através do corpo humano sem causar grandes danos. As formas mais devastadoras dos metais são as que provocam doenças imediatas ou morte (como óxido de Arsênio em dose suficientemente elevada), já que a terapia não pode exercer seus efeitos em um tempo tão curto, e aquelas que podem passar através da membrana protetora do cérebro - a barreira sangue-cérebro, ou da que protege o feto em desenvolvimento. Para alguns metais pesados, como o mercúrio, a forma mais tóxica é a que tem grupos alquila ligados ao metal, dado que muitos destes compostos são solúveis nos tecidos animais e atravessam as membranas biológicas. A toxicidade de uma dada concentração de um metal pesado presente em um curso de água natural depende do pH e da quantidade de carbono absorvido e em suspensão, já que as interações como complexação e adsorção podem remover, de forma satisfatória, alguns íons metálicos e eliminar sua atividade biológica potencial.

Embora o vapor de mercúrio seja altamente tóxico, os quatro metais pesados, Hg, Pb, Cd e As, nas suas formas de elementos livres condensados, não são particularmente tóxicos. Porém os quatro são perigosos nas suas formas catiônicas e também quando ligados a cadeias curtas de átomos de carbono. Do ponto de vista bioquímico, o mecanismo de sua ação tóxica deriva da forte afinidade de cátions pelo enxofre.

Sabe-se que algumas substâncias experimentam o fenômeno da biomagnificação: suas concentrações aumentam progressivamente ao longo de uma cadeia alimentar ecológica. O único dos quatro metais pesados que é capaz, indiscutivelmente, de fazer isso é o mercúrio. Entretanto, muitos organismos aquáticos podem bioconcentrar metais pesados, como por exemplo, ostras e mexilhões que podem conter níveis de mercúrio e cádmio cem mil vezes maior que os das águas nas quais vivem (BAIRD, 2002).

Capítulo 2 - Materiais e métodos

2.1 Caracterização da área de estudo

O Lixão está inserido na bacia de drenagem do reservatório da Lagoa da Pampulha, que tem área de 97,91 Km², situada na região metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais. Parte dela encontra-se no município de Belo Horizonte (43,97 km² ou 44 %) e parte no município de Contagem (53,94 km² ou 55,1 %). A Figura 2.1 apresenta a área de estudo.

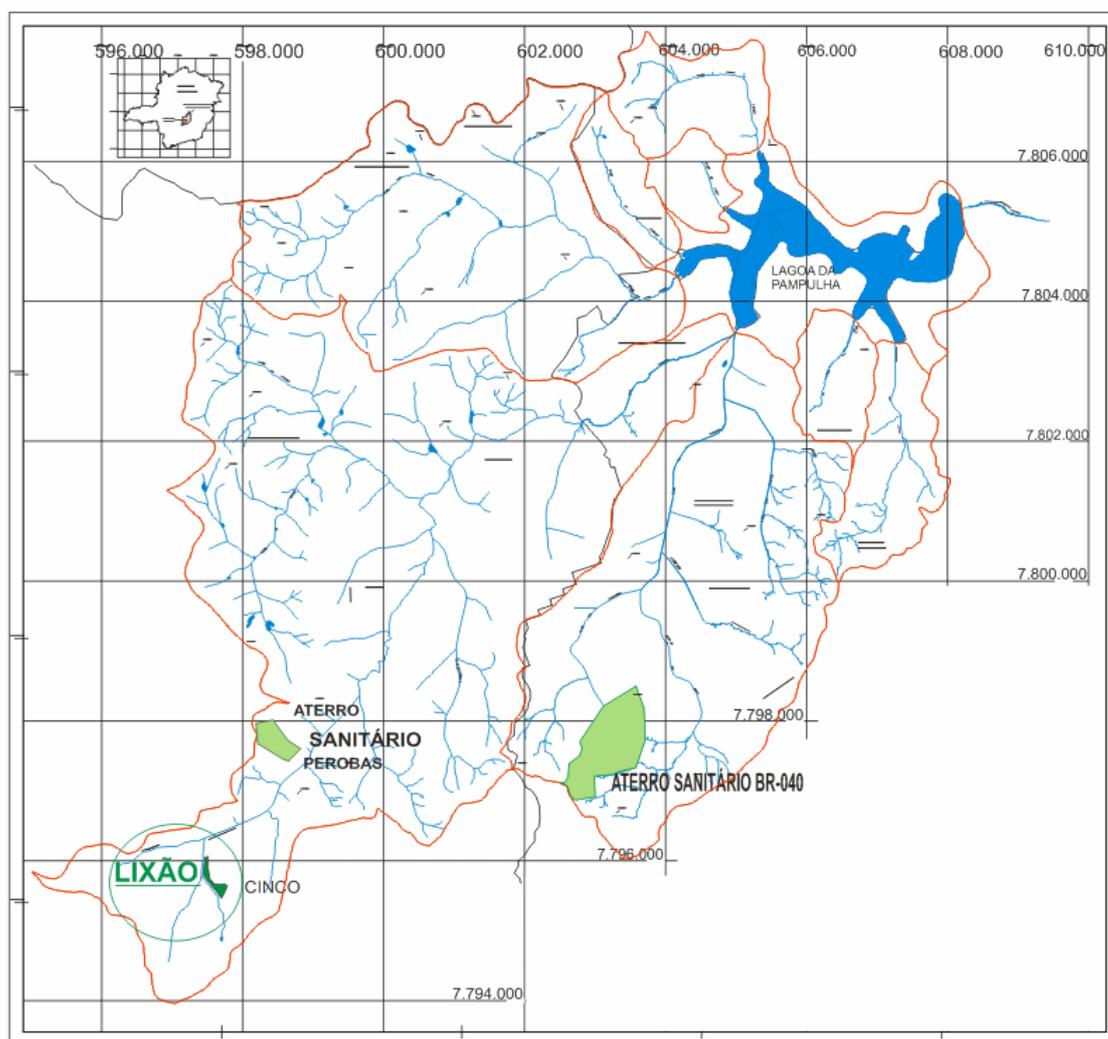
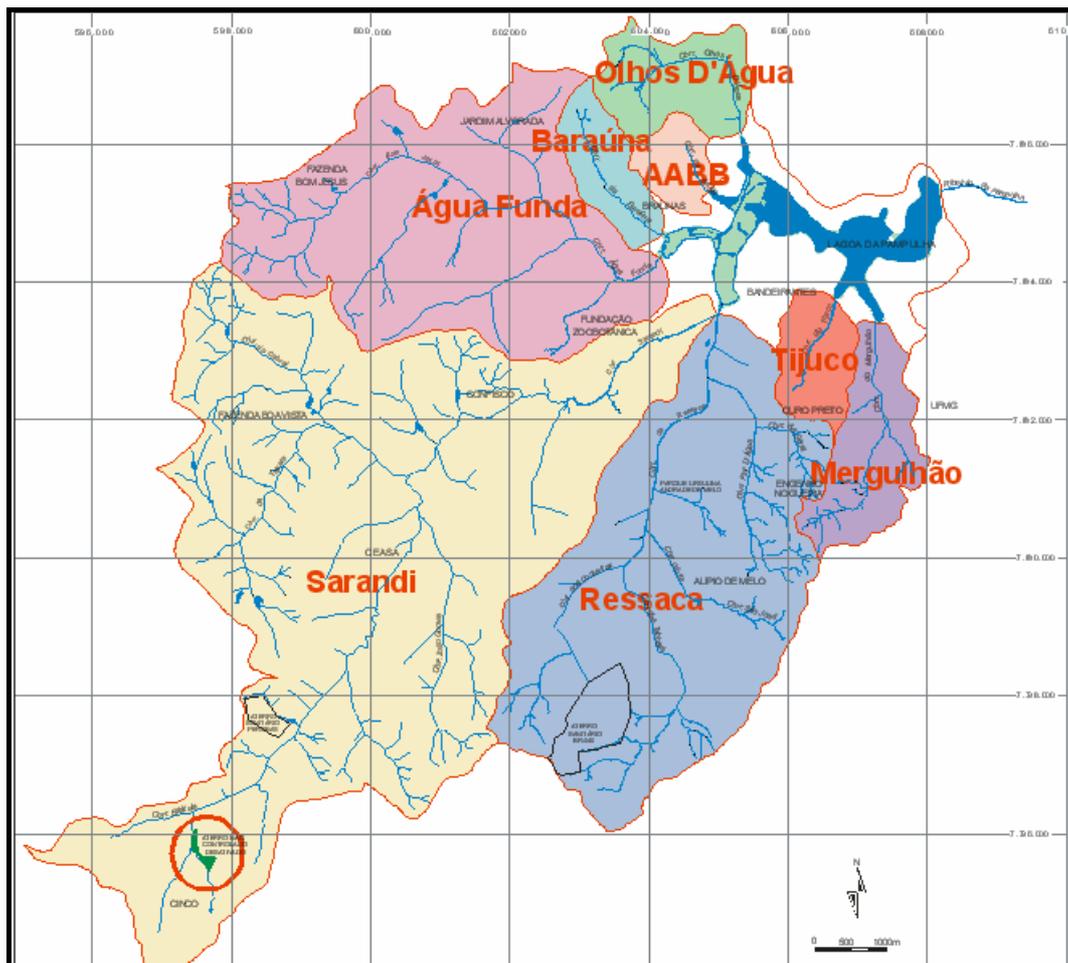


Figura 2.1 - Mapa de localização da área de estudo

A represa da Pampulha, também conhecida como Lagoa da Pampulha, deságua no Ribeirão Pampulha, integrante da bacia do Ribeirão do Onça afluente do Rio das

Velhas. São tributários diretos da Lagoa, os córregos Olhos d'água, AABB, Baraúna, Água Funda, Sarandi, Ressaca, Tijuco e Mergulhão. Sendo que os córregos Sarandi e Ressaca são responsáveis pela contribuição de 70 % de volume de água, representando 63 % da área total de drenagem e 94 % da bacia do córrego Sarandi localiza-se em Contagem.

A Figura 2.2 apresenta as sub-bacias que deságuam na Bacia do Rio das Velhas, evidenciando a posição do Lixão.



Fonte: “Estudo Hidrogeológico da Bacia da Pampulha”, CPRM 2001.

Figura 2.2 - Localização do Lixão em relação às sub-bacias

A ocupação desordenada das sub-bacias Sarandi e Ressaca, aliado à falta de saneamento básico contribuíram para deterioração da qualidade das águas.

A área se insere no contexto geológico do Cráton do São Francisco, com ocorrência de rochas de composição granitóide e diques de composição variada. Em áreas adjacentes,

ocorrem as seqüências do Super Grupo Rio das Velhas, Minas e São Francisco. O substrato encontra-se fraturado preferencialmente nas direções NW e NE, direções preferenciais dos cursos d'água.

O relevo é caracterizado por colinas de topo plano e arqueado, encostas formando anfiteatro de declividade média a suave e vales amplos com drenagens pouco encaixadas. Os vales encontram-se em terrenos de declividade muito baixa e as encostas possuem declividade baixa.

SILVA ET AL. (1995) identificaram a sub-bacia do córrego Sarandi como a principal fonte de poluentes e sedimentos da Lagoa, com destaque para áreas elevadas e o vale do Córrego Bitácula, oriundo do Centro Industrial de Contagem, nas margens da BR-040. Atualmente, observa-se que persistem inadequada ocupação de áreas e o desmatamento, além de aterros clandestinos e decapeamento do solo para loteamento e instalações industriais. As áreas inadequadas, ocupadas principalmente por população de baixa renda, estão às margens dos córregos, onde se percebe a erosão devido à retirada de vegetação e exposição do solo às chuvas. Os aterros clandestinos são encontrados ao longo das ruas e avenidas e em canais de drenagens, que devido à disposição inadequada e à falta de compactação, torna fácil a erosão e o carreamento das águas, expondo o solo às forças das águas de chuva favorecendo escoamento torrencial, criando ravinas e voçorocas, fontes permanentes de sedimentos.

A origem dos principais elementos nas águas é decorrente dos tipos litológicos e estruturas por onde elas percolam e das cargas contaminantes em superfície e no subsolo. O processo de circulação das águas subterrâneas lixivia os materiais incorporando elementos que as mineralizam, isto é, os elementos encontrados são produtos do meio geoquímico por onde circulam e da carga contaminante.

Os principais elementos de origem litológica são bicarbonatos, cálcio, magnésio, sódio e potássio presentes nos minerais que constituem os granitos gnaisse e diques básicos. Quanto aos elementos traços, destacam-se ferro, manganês e fosfato presentes nos minerais das rochas, principalmente nos diques básicos, como piroxênios, óxidos e apatita (CPRM, 2001).

2.2 Matrizes e pontos de coleta

As matrizes escolhidas para este estudo foram: água superficial do córrego Bitácula, sedimento de borda, sedimento de fundo, chorume, e águas subterrâneas. As

amostragens foram feitas em três campanhas, sendo que a 1ª e 3ª campanhas foram feitas em época de seca e a 2ª campanha, em época de chuvas.

Os pontos foram escolhidos considerando a proximidade do lixão e suas posições em relação à área de estudo são apresentadas na Figura 2.3. Foram cinco pontos ao longo do lixão identificados na Tabela 2.1, escolhidos de forma a traçar o caminamento da drenagem ao longo do lixão, sendo:

- ✓ Ponto 1: a montante do Lixão;
- ✓ Ponto 2: primeira surgência de chorume;
- ✓ Ponto 3: ponto central do Lixão;
- ✓ Ponto 4: fim do Lixão;
- ✓ Ponto 5: a jusante do Lixão.

Os Pontos 4 e 5 não foram amostrados na 3ª campanha por impossibilidade de acesso.

Foram ainda coletadas amostras de Poços tubulares, para caracterização das águas subterrâneas, sendo também escolhidos 5 poços, sendo:

- ✓ Poço 1: localizado a montante do Lixão;
- ✓ Demais poços escolhidos como os mais próximos e acessíveis a jusante da área em estudo.

Em cada Ponto e Poço foram coletadas três alíquotas por matriz.

O Anexo apresenta um registro fotográfico do Lixão e dos pontos de amostragem.

Adotou-se o seguinte critério para identificação das amostras de águas superficiais, sedimentos e chorume:

S= Inicial do autor da dissertação

AG= Água

CHO= Chorume

SB= Sedimento de borda

SF= Sedimento de fundo

1º. Algarismo= ponto ao longo do Lixão (varia de 1 a 5)

2º. Algarismo= Número da alíquota por ponto (varia de 1 a 3)

Para os poços de águas subterrâneas:

P= Poço de água subterrânea

1°. Algarismo= Número do poço (varia de 1 a 5)

2°. Algarismo= Número da alíquota por poço (varia de 1 a 3)

Campanhas: Época de seca

Época de chuvas

Época de seca

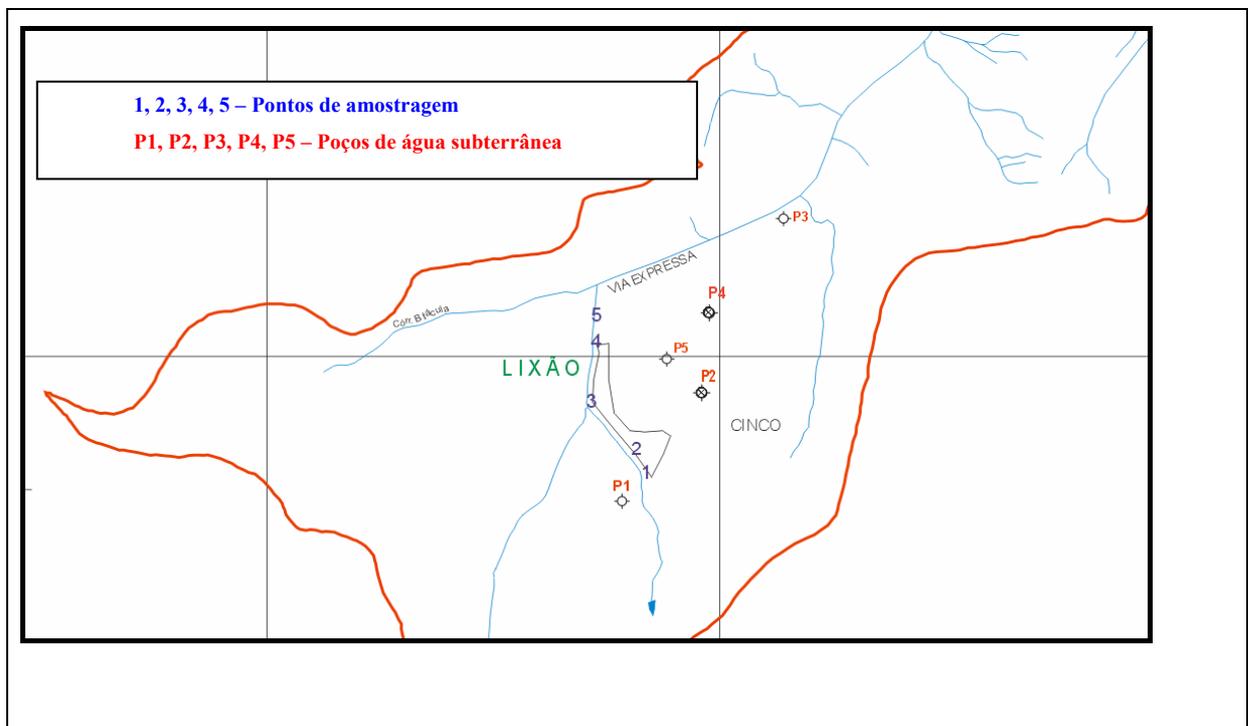


Figura 2.3 – Mapa de localização dos pontos amostrados

Tabela 2.1 – Identificação e caracterização de matrizes e pontos de coleta

Ponto de coleta	Coordenadas UTM – SAD69	Matriz	Código	Descrição do ponto
Ponto 1	7795033 N 597702 E	Água	SAG11/SAG12/SAG13	Início do Lixão
	7795033 N 597702 E	Sedimento de borda	SSB11/SSB12/SSB13	Início do Lixão
	7795033 N 597702 E	Sedimento de fundo	SSF11/SSF12/SSF13	Início do Lixão
Ponto 2	7795033 N 597702 E	chorume	SCHO21/SCHO22/ SCHO23	Início do Lixão
Ponto 3	7795534 N 595960 E	Água	SAG31/SAG32/SAG33	horto
	7795534 N 595960 E	Sedimento de borda	SSB31/SSB32/SSB33	horto
	7795534 N 595960 E	Sedimento de fundo	SSF31/SSF32/SSF33	horto
	7795534 N 595960 E	chorume	SCHO31/SCHO32/ SCHO33	horto
Ponto 4	7795441 N 596163 E	Água	SAG41/SAG42/SAG43	Fim do lixão
	7795441 N 596163 E	Sedimento de borda	SSB41/SSB42/SSB43	Fim do lixão
	7795441 N 596163 E	Sedimento de fundo	SSF41/SSF42/SSF43	Fim do lixão
Ponto 5	7795441 N 596163 E	Água	SAG51/SAG52/SAG53	Após o lixão
	7795441 N 596163 E	Sedimento de borda	SSB51/SSB52/SSB53	Após o lixão
	7795441 N 596163 E	Sedimento de fundo	SSF51/SSF52/SSF53	Após o lixão
Poço 1	N 7795340 E597565 Z=946	Água	P11/P12/P13	Termotécnica
Poço 2	N 7795837 E 597928 Z=963	Água	P21/P22/P23	Nansem
Poço 3	N 7796607 E 598278 Z=920	Água	P31/P32/P33	Posto Pica-pau
Poço 4	N 7796194 E 597962 Z=941	Água	P41/P42/P43	Aimoré Busto
Poço 5	N 7795977 E 597763 Z=963	Água	P51/P52/P53	Aimoré Docas

2.3 Procedimento de coleta e preparação das amostras

Procedimento de coleta de amostras de água:

- *Águas superficiais* - Coletadas a uma profundidade de 15 cm. Em cada ponto foram coletadas 3 amostras por matriz. As amostras foram acidificadas com 5 gotas de HNO₃ – 60 %, remetendo a pH <2, que tem por objetivo prevenir perdas de elementos nas paredes dos frascos, bem como modificações químicas indesejáveis. A armazenagem se fez a 4°C.
- *Águas subterrâneas*: foram amostrados poços de água subterrânea, adjacentes à região do Lixão, selecionados em função da proximidade com o Lixão. Observou-se o fato do poço está em operação ou não. No caso de poço desativado, descartou-se água que porventura estava na tubulação. Cada amostra foi acidificada, prevenindo perdas de elementos nas paredes dos frascos, bem como modificações químicas indesejáveis. A armazenagem se faz a 4° C.
- Procedimento de coleta de amostras de chorume: A escolha dos pontos foi feita em função do surgimento de fluxo do chorume, ao longo do talude. Em cada ponto de amostragem coletou-se 3 alíquotas, utilizando-se frascos de 20 ml de poliestireno. A armazenagem foi feita a 4°C. A separação sólido/ líquido foi feita por decantação, tendo sido submetido à acidificação.
- Procedimento da coleta e preparação de amostras de sedimentos: Em cada ponto de amostragem foram coletados 3 alíquotas de sedimentos, utilizando-se frascos de 20 ml de poliestireno. A armazenagem foi efetuada da mesma forma que para água (4° C), desconsiderando o tempo de transporte.

Preparação das amostras

Para análise utilizando ICP-MS, as amostras líquidas foram filtradas com filtro milipore 27 µm para eliminar material em suspensão, e armazenadas a 4°C até o momento da análise. As amostras de sedimento e chorume sólido foram secas em estufa a uma temperatura de 40°C. Cerca de 70 mg de cada amostra foram colocadas em recipientes de teflon tendo sido adicionado 4,0 mL de ácido nítrico, 1,0 mL de ácido clorídrico e 1,0 mL de ácido fluorídrico e levados ao microondas (ETHOSSPLUS) com potência de 1000 W, temperatura de 190°C, por 20 minutos . Após o resfriamento, as amostras

foram volumadas a 20 mL, utilizando água ultra-pura (18MΩ.cm de resistividade) e em seguida analisadas.

Para análise utilizando AANI, as amostras sólidas foram peneiradas (a parcela grossa foi submetida a moagem) e secas em estufa à temperatura de 40 °C, por 24 horas, depois homogeneizadas com material estéril colocadas em bandejas, quarteadas, extraídas e pesadas (aproximadamente 300 mg) e encaminhadas para análise.

2.4 Métodos de análise

Os métodos de análise utilizados na determinação de poluentes inorgânicos foram: ICP-MS- Espectrometria de massa acoplada a fonte de plasma e AANI - Análise por ativação Neutrônica Instrumental. Estes métodos são complementares, e têm sensibilidade para detecção da ordem de ppb a ppt, somado à capacidade de determinação de 60 elementos da Tabela periódica em um único experimento.

2.4.1 AANI - Análise por Ativação Neutrônica Instrumental

As análises se AANI foram realizadas no Laboratório de Ativação Neutrônica do Centro de Desenvolvimento e Tecnologia Nuclear/Comissão Nacional de Energia Nuclear, CDTN/. A técnica consiste em irradiar amostras no Reator de pesquisa nuclear TRIGA MARK I IPR-R1, potência de 100kW, com fluxo médio de nêutrons térmicos de $6,6 \cdot 10^{11} \text{ n.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Após irradiação a análise é feita por ESPECTROMETRIA GAMA com DETECTOR GeHP com resolução de 0,77 KeV do FWHM (largura da meia altura do pico) para Co - 57 na energia de 122 KeV, e para o Co - 60 o FWHM é de 1,63 KeV para a energia de 1332 KeV.

O detector tem capacidade de detecção de energias do gama de 50 Kev a 2 Mev e está associado a uma cadeia de contagens composta de uma fonte de alta tensão de 3.000 V, a um pré-amplificador de ganho de 45 mV por milhão de par de íons criados e a um amplificador de ganho variável entre 3 e 68 vezes, segundo o espectro a ser detectado . A estocagem dos pulsos é feita através de um sistema multicanal composto de 4.096 canais.

A análise por Ativação Neutrônica Instrumental pode ser aplicada para elementos cujo número de massa seja superior a 8, em que se fará uso de reações nucleares do tipo(n, γ). A química analítica clássica tende, mais e mais a se basear em técnicas instrumentais

que se baseiam em propriedades físicas da matéria, a ativação neutrônica é uma delas, isto se deve à existência de reatores nucleares que são fontes de nêutrons intensas, que permitem induzir radioatividade muito importante para elementos de massa pequena. Os valores das concentrações foram calculados pelo método paramétrico K_0 (PICCOT; DESCHAMPS; DELMAS; REVEL, 1997), que apresenta as seguintes vantagens : aumento de capacidade analítica em relação ao número de amostras, não sendo necessária a preparação e irradiação de amostras padrões de cada elemento a ser analisado; melhoria da sensibilidade analítica para diversos elementos (PICCOT; DESCHAMPS; DELMAS; REVEL, 1997). Uma das vantagens deste método de análise é que ele é não-destrutível e multielementar.

Foram utilizados dois esquemas de irradiação e espectrometria gama, a seguir:

Determinação dos elementos de meia-vida média : Au, As, Br, Ga, K, La, W

Tempo de irradiação = 8 horas;

Tempo de decaimento = 2 dias;

Tempo de aquisição do espectro da radiação gama = 2 horas.

Determinação dos elementos de elementos de meia-vida longa:

Ag, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, Hg, Lu, Mo, Sb, Sc, Sm, Ta, Tb, Th, Yb, Zn, Rb,

Tempo de irradiação = 8 horas;

Tempo de decaimento = 10 dias;

Tempo de aquisição do espectro da radiação gama = 4 horas

AANI é um método surgido em 1936, que requer o acesso a um reator nuclear de pesquisa. O tempo tomado para análises depende da meia-vida dos radioisótopos. Devido ao efeito de radiólise não é possível irradiar amostras líquidas. Para amostras sólidas recorre-se a um método instrumental (sem separação química, após a irradiação) com o objetivo de eliminar problemas e reduzir tempo de irradiação. Os limites de detecção seriam amplamente aumentados, se uma separação radioquímica após a irradiação fosse feita para remover elementos maiores (por exemplo, Fe) ou elementos com alta radioatividade como o Na. As condições de irradiação modificadas podem aumentar a sensibilidade de alguns elementos e determinar alguns outros elementos , em particular elementos de meia vida média e meia-vida curta (Al, Mg, Mn, Ti ou V).

2.4.2 Espectrometria de Massa Acoplada a uma Fonte de Plasma (ICP-MS)

As análises por ICP-MS foram feitas no Laboratório do *Service Central d'Analyse de Lyon- CNRS*. As amostras sob forma líquida, foram nebulizadas e transportadas em forma de aerossol ao plasma indutivo com o gás Argônio, de energia de ionização elevada, capaz de ionizar a maioria dos elementos da Tabela Periódica. É dentro do canal central do plasma de Argônio, onde a temperatura é de aproximadamente 8000° K, que as moléculas de amostra são dissociadas, os átomos excitados e então ionizados. Os íons positivos são extraídos e transportados ao centro de várias lentes eletromagnéticas onde são filtrados em função da relação massa/carga (m/Z). Os íons de mesma relação m/Z são detectados e armazenados em um sistema de tratamento de dados. No sistema de aquisição e tratamento de dados os pulsos de contagem durante um tempo pré-estabelecido são estocados em um analisador multicanal (6000 canais). Cada canal corresponde a uma unidade de massa pré-fixada.

O ICP-MS possui grande sensibilidade de análise multielementar da ordem de ppb e ppt permitindo analisar todas as massas, de $Z=3$ (Li) a $Z=92$ (U), com exceção de algumas massas interditas devido a interferências. A amostra é rapidamente analisada permitindo varredura de todas as massas em alguns segundos, podendo-se analisar cerca de 100 amostras por dia. Capacidade multielementar, alta sensibilidade e homogeneidade da amostra são umas das vantagens do uso desta técnica. As dificuldades desta técnica são as possíveis interferências isobáricas e, na etapa de preparação das amostras quando da análise de traços e ultra traços o que pode implicar risco de contaminação.

O ICP-MS é um método consideravelmente mais rápido. É possível analisar ao mesmo tempo cerca de 100 amostras de água por dia. Entretanto, cuidados devem ser redobrados na análise dos resultados por causa dos riscos de erros serem significativos. Estes riscos são devidos à interferência isobárica por compostos de argônio e por outra contaminação. Consequentemente é necessário controlar o método repetidamente tanto por solução padrão e limpeza do aparelho com água ultra-pura. De fato, se conduz as determinações várias vezes ao dia, e conseqüentemente o número de análises diminui. É necessário dissolver completamente os sedimentos para obter solução diluída ($< 1\text{g/L}$). Esta solução é muito difícil de ser obtida, devido à presença de óxidos metálicos

refratários. Isto diminui a sensibilidade (reagentes trazem contaminantes) e a precisão (alguns elementos podem ser perdidos). Exceto por estas desvantagens, ICP-MS é um potente método para estudos de poluição, especialmente para amostras líquidas.

Capítulo 3 - Resultados e discussão

3.1 Material de referência

As Tabelas 3.1 e 3.2 apresentam os resultados das concentrações do material de referência certificado SL-1 (IAEA,1979) e SLR-4 (Riverine water reference material for trace metal, 1998), solução padrão distribuída pelo National Research Council of Canadá), analisadas utilizando as técnicas AANI e ICP-MS. Observa-se que as concentrações determinadas por AANI, utilizando o método paramétrico do K_0 padrão e por ICP-MS mostram boa concordância com os valores de referência certificado, pois os elementos analisados encontram-se dentro dos limites do intervalo de confiança.

Tabela 3.1 - Resultados obtidos por AANI - SL-1 (em $\mu\text{g.g}^{-1}$)

Elemento	Concentração medida por AANI \pm desvio padrão	Concentração certificada \pm desvio padrão
Na	1460 +/- 8.76	1720 +/- 120
Th	15.1 +/- 2.69	14 +/- 1
As	26.2 +/- 0.84	27.5 +/- 2.9
Cs	6.5 +/- 1.05	7.01 +/- 0.88
Fe	57709 +/- 3035	67400 +/- 1700
Br	4.45 +/- 1.02	6.82 +/- 1.73
Sc	15.11 +/- 0.07	17.3 +/- 1.1
Sb	1.51 +/- 0.24	1.31 +/- 0.12
Ce	90.2 +/- 22.64	117 +/- 17
Sm	8.27 +/- 0.12	9.25 +/- 0.51
Yb	2.95 +/- 0.76	3.42 +/- 0.64
U	4.25 +/- 1.12	4.02 +/- 0.32

Fonte: International Atomic Energy Agency - IAEA

Tabela 3.2 - Resultados obtidos por ICP-MS – SLR-4 - NRCC ($\mu\text{g.L}^{-1}$)

Elemento	Valor certificado	Intervalo de confiança	Valor medido	Intervalo de confiança
Al	54	50-58	53	52-54
Sb	0,23	0,19-0,27	0,27	0,26-0,28
As	0,68	0,62-0,78	0,74	0,73-0,76
Ba	12,2	11,6-12,8	12	11-13
Cd	0,012	0,010-0,014	0,018	0,016-0,022
Co	0,033	0,027-0,039	0,035	0,030-0,039
Fe	103	98-108	99	99-105
Ni	0,67	0,59-0,75	0,61	0,53-0,65
Cu	1,81	1,73-1,89	1,76	1,74-1,76
Zn	0,93	0,83-1,03	0,38	0,38-0,43
V	0,32	0,29-0,35	0,38	0,38-0,41
Sr	26,3	23,1-29,5	28	27-29
Mn	3,37	3,19-3,55	3,20	3,11-3,22
Pb	0,086	0,079-0,093	0,085	0,084-0,090

Neste estudo as matrizes água e chorume líquido foram analisadas apenas por ICP-MS, pois esta técnica se mostra mais adequada que a AANI, devido a baixas concentrações dos elementos nestas matrizes, menores que os limites de detecção da AANI. Para as matrizes sedimentos e chorume sólido AANI se mostrou mais adequada, pois permitiu a análise destes materiais sem abertura química.

Os métodos de análise AANI e ICP-MS são multi-elementares, seletivos e sensitivos, bem adaptados a análises de traços, mas seus princípios, implementação e aplicações são muito distintos.

3.2 Resultados

As tabelas e gráficos apresentam os resultados das concentrações nas matrizes: chorume, água superficial, sedimentos e água subterrânea. Os valores das concentrações, para cada ponto correspondem a média de três alíquotas.

A Tabela 3.3 apresenta os resultados da matriz parte sólida do chorume, que para efeito de simplificação passará a ser tratada nesta dissertação como chorume sólido. .

Tabela 3.3 - Concentração ($\mu\text{g. g}^{-1}$) da matriz chorume sólido- 1^a, 2^a, 3^a. campanhas-AANI

	Elemento	SCHO2	SCHO3	Limites
1a Campanha	Co	5,2 ± 0,4		
	Cr	81,3 ± 5,7		37,3
	Fe	15400 ± 631,4		
	Rb	37,9 ± 17,7		
	Zn	810 ± 26		123,0
2a Campanha	As		5,6 ± 1,4	5,9
	Co		3,9 ± 0,4	
	Cr		85,2 ± 5,6	37,3
	Fe		28300 ± 849	
	Na		1740 ± 230	
	Rb		61,2 ± 19,3	
	Zn		451 ± 19	123,0
3a Campanha	As	1,8 ± 0,5	10,7 ± 1,1	5,9
	Co	2,7 ± 0,3	7,4 ± 2,0	
	Cr		23,6 ± 1,4	37,3
	Fe	14316 ± 144	41893 ± 3565	
	Na	252 ± 4	1110 ± 10	
	Zn	70,8 ± 5,3	1130 ± 58	123,0

Os elementos tóxicos encontrados foram: arsênio, cobalto, cromo, ferro e zinco. O chorume, produto da biodeterioração dos resíduos, apresenta características físico-químicas e microbiológicas peculiares (compostos orgânicos, polares e apolares, metais pesados), que por sua toxicidade prejudicam o ser vivo. Seu comportamento é de um sedimento, sendo assim, na análise do potencial poluidor desta matriz foram utilizados os valores de referência apresentados na Tabela 1.4 , adotando-se os valores definidos pelo Canadian Council of Minister for the Environment (BUCKLEY,2003).

A Figura 3.1 apresenta a distribuição dos elementos As, Co, Cr, Fe e Zn nesta matriz, dando subsídios para se avaliar o potencial de contaminação da fonte poluidora.

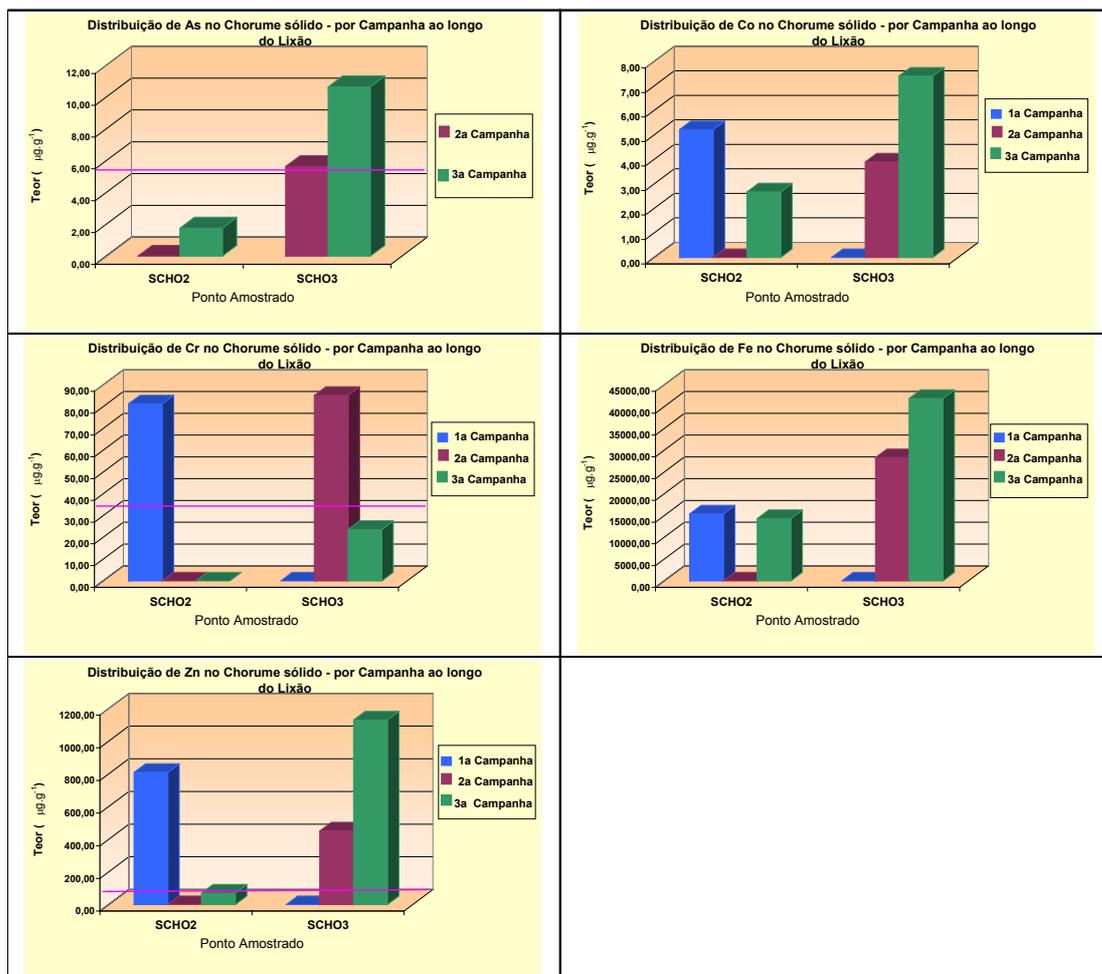


Figura 3.1 - Distribuição dos elementos tóxicos na matriz chorume sólido

Considerando os limites estabelecidos (linhas de cor magenta dos gráficos), os elementos que se encontram acima do limite são: arsênio, cromo, zinco. Os elementos ferro e cobalto não são controlados pela norma. A presença de ferro indica um favorecimento à acumulação de metais pesados, encontrado nesta matriz, e cuja provável origem é a remobilização de outras fontes, o que lhe confere a característica de alta solubilidade.

A Tabela 3.4 apresenta os resultados da matriz chorume líquido. Os elementos tóxicos encontrados que se destacam, seja pelos níveis significativos ou pelos prejuízos prováveis às águas e a biota são: alumínio, arsênio, bário, cádmio, cobalto, cobre, ferro, cromo, mercúrio, manganês, níquel, chumbo e zinco. Observou-se uniformidade de valores nos pontos amostrados.

Tabela 3.4 -Concentração da matriz chorume líquido ($\mu\text{g.L}^{-1}$) 1ª e 2ª campanhas analisadas por ICP-MS

	Elemento	SCHO2(l)		SCHO3(l)		Limites
1a Campanha	Al	68551 ±	1371	28300 ±	566	
	As	3,0 ±	0,1	3,7 ±	0,1	500,0
	Ba	1602 ±	32	1278 ±	26	5000,0
	Cd	5,3 ±	0,2	4,3 ±	0,1	200,0
	Cr	259 ±	6	165 ±	4	2500,0
	Cu	25,6 ±	0,8	22,5 ±	0,8	1000,0
	Hg	3,4 ±	0,1	0,44 ±	0,01	10,00
	Mn	2675 ±	54	1809 ±	36	1000,0
	Ni	79,6 ±	2,1	39,2 ±	1,2	2000,0
	Pb	420 ±	8	321 ±	6	500,0
	Rb	37,3 ±	0,7	28,0 ±	0,6	
	Zn	12128 ±	388	8633 ±	330	5000,0
2a Campanha	Al	98848 ±	1977	18529 ±	371	
	As	5,7 ±	0,2	3,7 ±	0,1	500,0
	Ba	1333 ±	32	2186 ±	79	5000,0
	Cd	7,7 ±	0,3	1,2 ±	0,1	200,0
	Co	24,7 ±	0,7	54,8 ±	1,1	
	Cr	197 ±	5	12,7 ±	1,2	2500,0
	Cu	171 ±	9	1,6 ±	0,6	1000,0
	Fe	15304 ±	1432	78662 ±	10490	15000,0
	Hg	7,5 ±	0,3			10,00
	Mn	2987 ±	60	6475 ±	601	1000,0
	Na	3417 ±	638	12479 ±	1819	
	Ni	205 ±	4	37,3 ±	2,2	2000,0
	Pb	1358 ±	52	4,9 ±	0,3	500,0
	Rb	19,5 ±	0,6	32,5 ±	1,0	
Zn	19285 ±	807	6297 ±	291	5000,0	

As Figuras 3.2.a e 3.2.b apresentam a distribuição elementar nesta matriz, dando subsídios para se avaliar o potencial de contaminação da fonte poluidora.

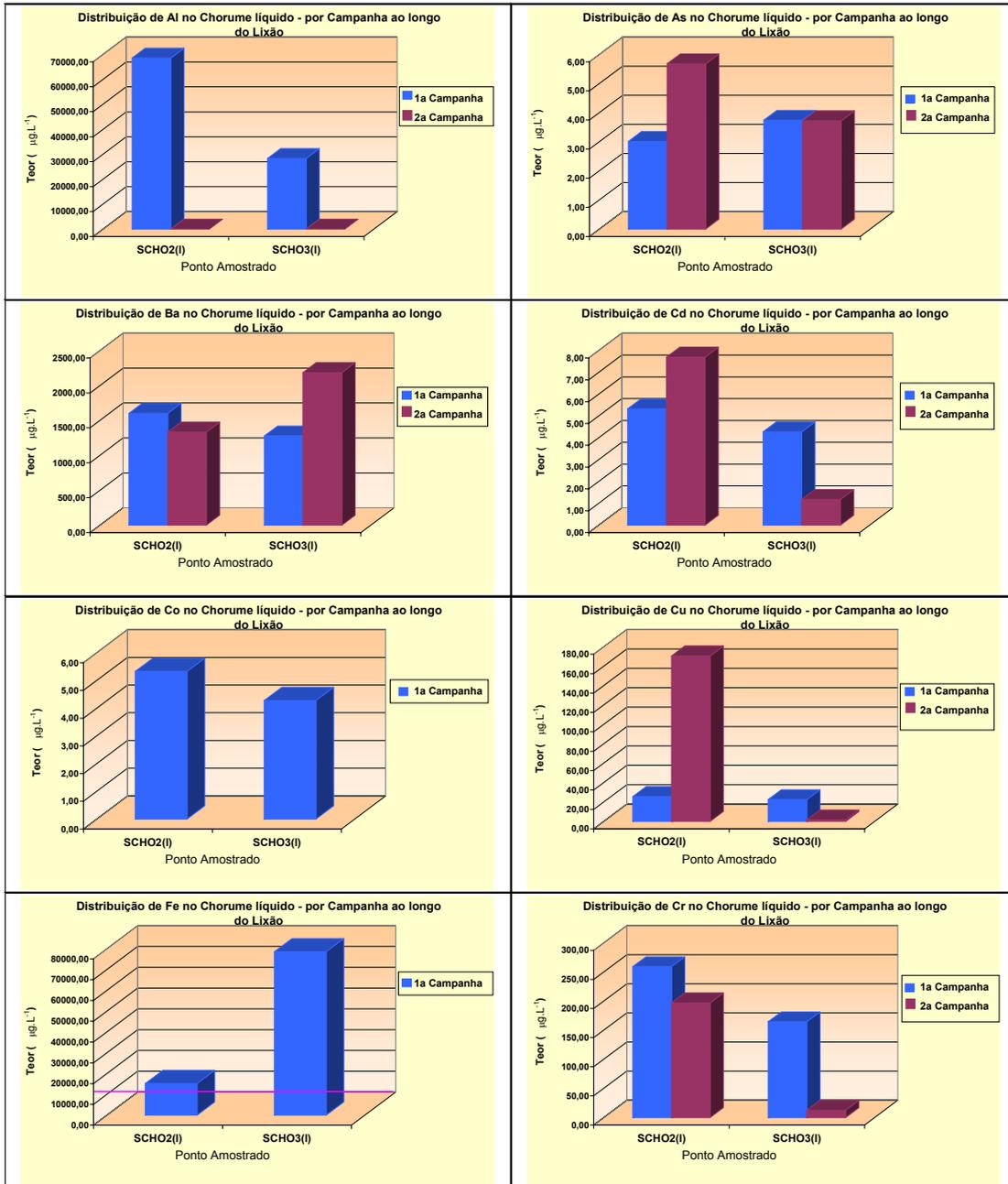


Figura 3.2.a - Distribuição dos elementos tóxicos na matriz chorume líquido

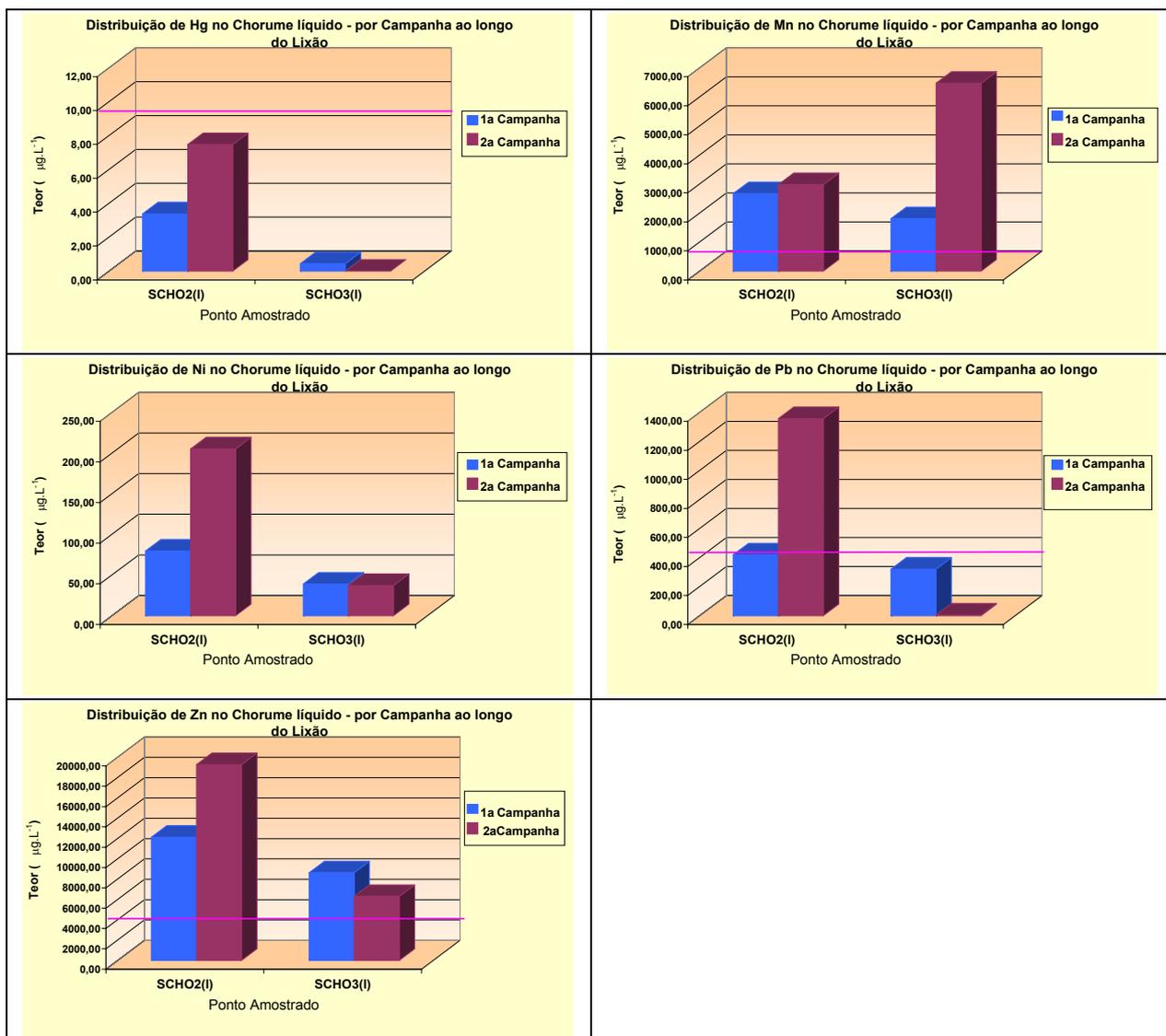


Figura 3.2.b - Distribuição dos elementos tóxicos na matriz chorume líquido

O chorume líquido é efluente que flui para o solo e águas, a análise do seu potencial poluidor considera os valores de referência estabelecidos pelo CONAMA No. 357, 2005, (Tabela 1.3). Os elementos encontrados nesta matriz que estão acima do limite são: ferro, manganês, chumbo, e zinco. O mercúrio apresentou valor muito perto do limite. O alumínio não é controlado pela norma, e os elementos arsênio, bário, cádmio, cobre, cromo e níquel estão abaixo dos limites estabelecidos pela norma.

A Tabela 3.5 apresenta os resultados da matriz água superficial.

Tabela 3.5 - Concentração ($\mu\text{g.L}^{-1}$) da matriz água superficial analisada por ICP-MS – 1ª e 2ª campanhas

	Elemento	SAG1		SAG3		SAG4		SAG5		Limites
1a Campanha	Al			286 ±	6	10799 ±	1081	359 ±	7	0,1
	As			0,7 ±	0,1	3,9 ±	0,4	2,22 ±	0,07	0,01
	Ba			82,3 ±	8,9	333 ±	32	9,33 ±	0,28	0,7
	Cd			0,55 ±	0,02	8,7 ±	0,3	0,14 ±	0,00	0,001
	Cr			2,0 ±	0,7	3758 ±	239	13,03 ±	0,68	0,05
	Cu			8,8 ±	1,4	240 ±	18	6,77 ±	0,63	0,009
	Hg			2,1 ±	0,1	1,11 ±	0,03	0,41 ±	0,01	0,0002
	Mn			231 ±	12	3606 ±	224	256 ±	5	0,1
	Ni					263 ±	21	109 ±	4	0,025
	Pb					28,1 ±	2,9			0,01
	Rb			15,3 ±	1,4	20,2 ±	1,4	21,4 ±	0,4	
Zn			814 ±	33	50756 ±	5316	434 ±	0	0,18	
2a campanha	Al	155 ±	3	234 ±	5			1857 ±	37	0,1
	As	6,1 ±	0,2	0,96 ±	0,03	4,0 ±	0,1	3,6 ±	0,1	0,01
	Ba			108 ±	3	118 ±	3	238 ±	7	0,7
	Cd			0,42 ±	0,31			27,9 ±	5,7	0,001
	Co	4,0 ±	0,3	10,8 ±	0,3	27,2 ±	0,8	18,0 ±	2,1	0,05
	Cr	8,5 ±	0,3	1,8 ±	0,9	3179 ±	105	709 ±	50	0,05
	Cu	12,1 ±	0,9	10,3 ±	1,4	42,1 ±	2,5	20,5 ±	1,5	0,009
	Fe	1112 ±	220	1791 ±	253	24283 ±	6401	6327 ±	1100	0,3
	Mn	67,1 ±	6,7	248 ±	36	1081 ±	45	479 ±	58	0,1
	Na	4034 ±	1417	7603 ±	1245			43920 ±	5311	
	Ni	56 ±	1	1,10 ±	0,03			24,9 ±	0,7	0,025
	Pb	7,3 ±	0,8	1,17 ±	0,27	35,6 ±	1,1	16,2 ±	2,8	0,01
	Rb	20,4 ±	1,3	9,8 ±	0,9	18,1 ±	1,4	20,1 ±	1,7	
Zn	859 ±	29			49285 ±	3098			0,18	

Os elementos tóxicos encontrados nesta matriz são: alumínio, arsênio, bário, cádmio, cobalto, cromo, cobre, ferro, mercúrio, manganês, níquel, chumbo e zinco.

As Figuras 3.3.a e 3.3.b evidenciam a distribuição elementar nesta matriz, por campanha.

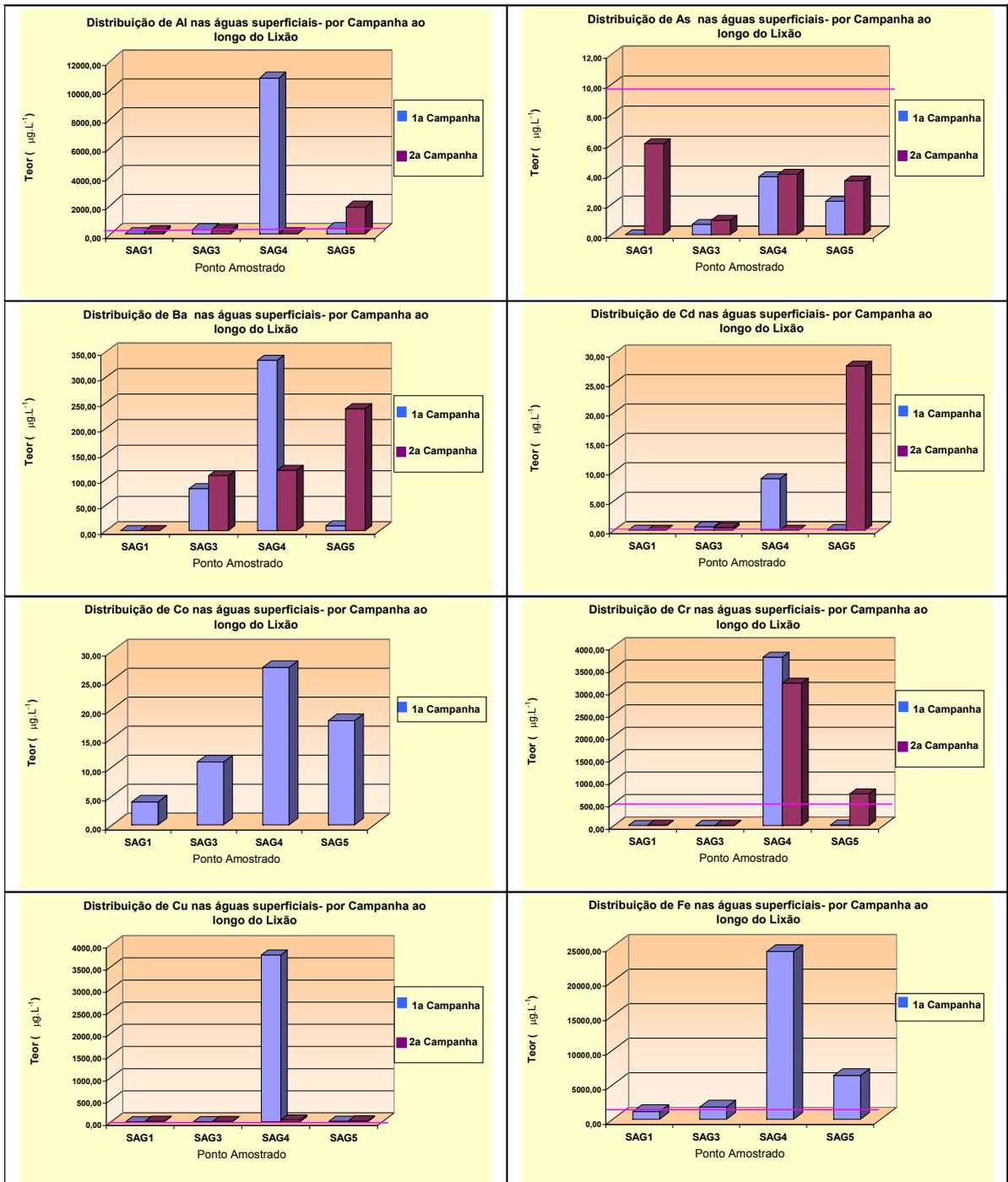


Figura 3.3.a - Distribuição dos elementos tóxicos nas águas superficiais

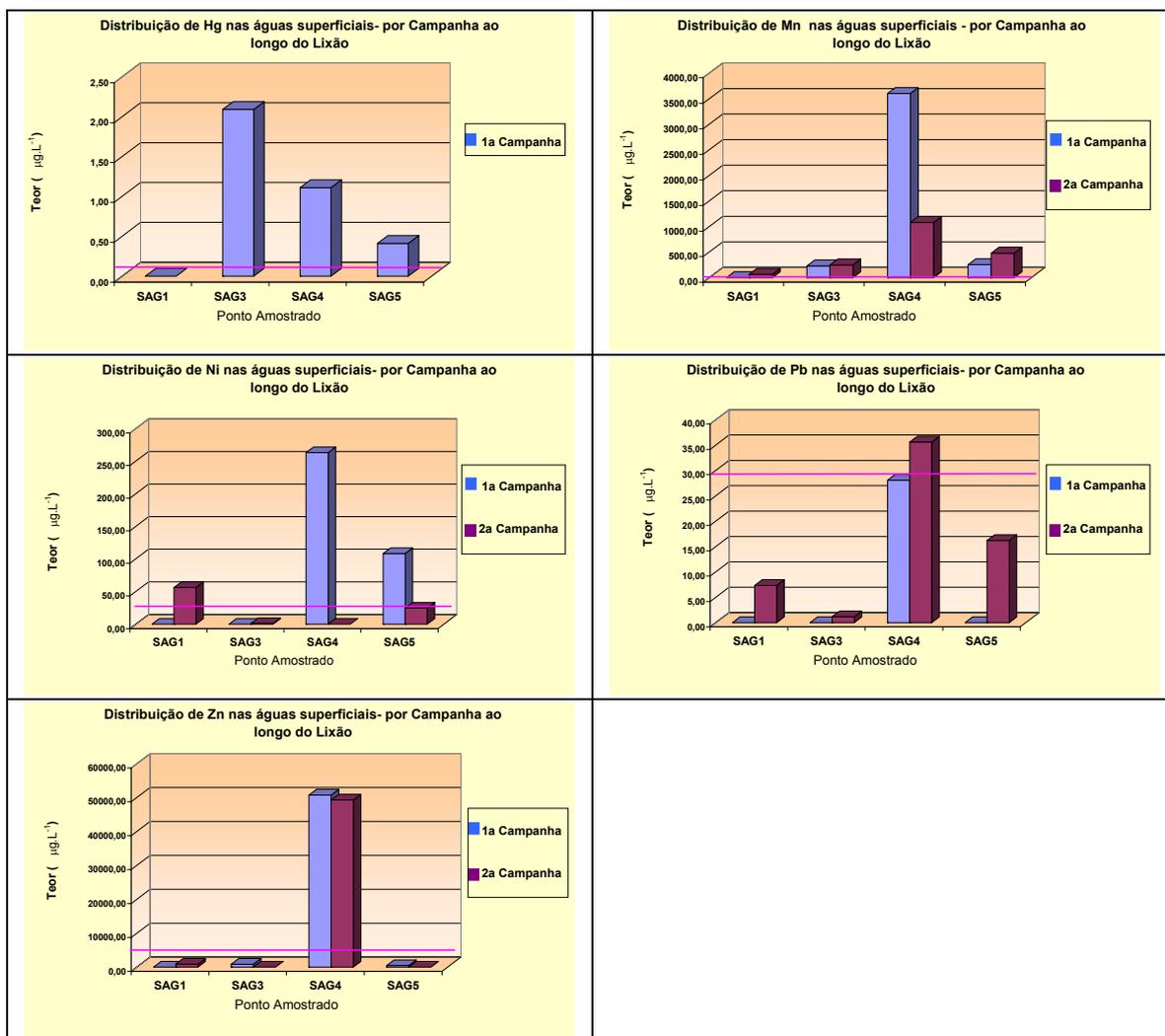


Figura 3.3.b - Distribuição dos elementos tóxicos nas águas superficiais.

Considerando os limites estabelecidos pelo CONAMA N° 357 de 2005 (Tabela 1.2), os elementos encontrados nas águas superficiais que estão acima do limite, conforme destacado no gráfico pela linha magenta, são: alumínio, cádmio, cromo, cobre, ferro, manganês, mercúrio, níquel, chumbo, e zinco. Os elementos arsênio, bário e cobalto encontram-se abaixo dos limites estabelecidos pela norma.

Os resultados analíticos indicaram crescimento destes elementos ao longo do Lixão, exceto para os elementos mercúrio e ferro, que apresentaram decréscimo. Observou-se, que o ponto 4 apresenta sistematicamente valores muito mais elevados, que pode ser justificado por está localizado no ponto mais a jusante dentro do Lixão.

Atenta-se para o fato de que, os valores anômalos apresentados pelo mercúrio, a partir do ponto 3, podem estar ligados a presença do viveiro municipal de mudas, que aparentemente utiliza-se de agro-tóxicos em suas atividades.

Os elementos que merecem destaque pela toxicidade e pelos teores elevados são: alumínio, cromo, manganês, mercúrio, níquel, e zinco.

A Tabela 3.6 apresenta os resultados da matriz sedimento de borda.

Tabela 3.6 - Concentração ($\mu\text{g. g}^{-1}$) da matriz sedimento de borda 1ª e 2ª. campanhas - AANI

	Elemento	SSB1		SSB3		SSB4		SSB5		Limites
1a Campanha	As	5,9 ±	0,6	2,2 ±	0,4	3,4 ±	1,9			5,90
	Ba	270 ±	161	366 ±	48	245 ±	79	238 ±	139	
	Co	4,7 ±	0,3	2,1 ±	0,1	2,6 ±	0,1	4,2 ±	0,2	
	Cr	68,3 ±	4,0	112 ±	2	388 ±	3	559 ±	6	37,3
	Fe	65900 ±	791	16700 ±	284	30400 ±	365	31400 ±	565	
	Na	839 ±	35	1500 ±	29	857 ±	318	2230 ±	421	
	Rb	29,4 ±	14,8	30,2 ±	5,5	26,0 ±	7,4	41,3 ±	12,1	
	Zn	132 ±	9	172 ±	6	431 ±	8	344 ±	13	123,0
2a Campanha	As	4,6 ±	0,6			1,9 ±	0,2	3,7 ±	0,5	5,9
	Ba	128 ±	102	519 ±	133	432 ±	125	122 ±	159	
	Co	1,9 ±	0,3	1,1 ±	0,2	3,4 ±	0,3	7,3 ±	0,5	
	Cr	66,4 ±	4,8	86 ±	3,2	1100 ±	9,9	3630 ±	18,2	37,3
	Fe	141000 ±	1410	7140 ±	336	14900 ±	536	83200 ±	1248	
	Na	569 ±	28	1400 ±	371	2920 ±	20	516 ±	24	
	Rb			35,6 ±	8,2	34,9 ±	11,1	29,7 ±	1,6	
	Zn	154 ±	15	78 ±	7	152 ±	12	157 ±	16	123,0
3a Campanha	As	6,6 ±	0,5	2,1 ±	0,2					5,9
	Ba	337 ±	19							
	Co	3,9 ±	0,1	3,7 ±	0,1					
	Cr	138 ±	10	4,2 ±	0,3					37,3
	Fe	27854 ±	2356	35938 ±	2425					
	Na	12250 ±	513	1370 ±	8					
	Zn	272 ±	16	386 ±	28					123

Os elementos tóxicos encontrados nesta matriz foram: arsênio, bário, cobalto, cromo, ferro e zinco. Considerando que os elementos retidos nos sedimentos provocam efeito negativo nas águas naturais pela exportação de micro elementos, seja para água ou para comunidade bentônica, esta matriz torna-se importante na avaliação do potencial da fonte de contaminação das águas. Os compostos tóxicos nos sedimentos são formas intercambiáveis de metais pesados, os quais estão ligados diretamente à matéria orgânica e à presença de hidróxidos de ferro e manganês.

A Figura 3.4 apresenta a distribuição elementar nesta matriz.

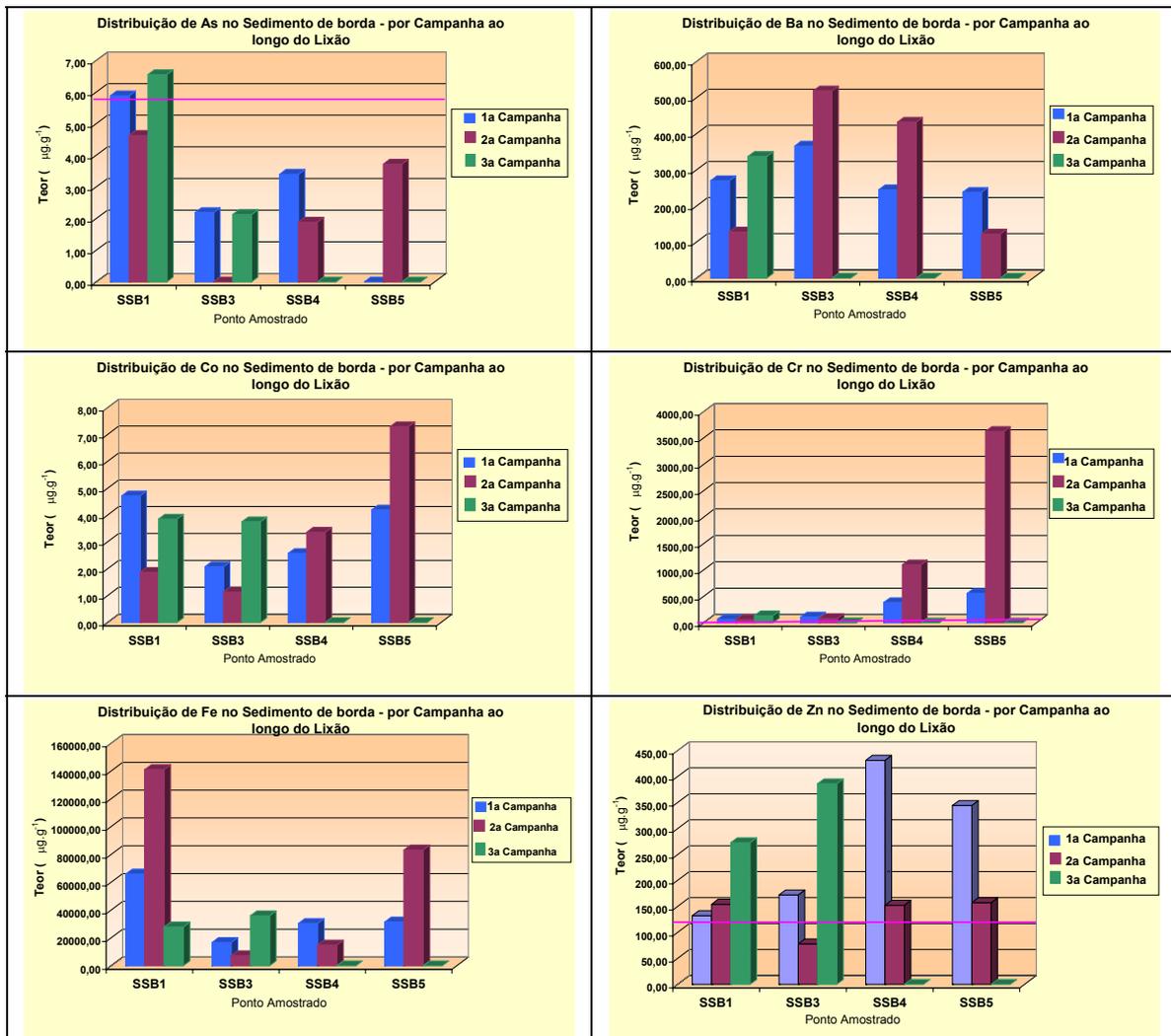


Figura 3.4 - Distribuição dos elementos tóxicos nos sedimentos de borda

Na análise do potencial poluidor desta matriz foram utilizados os valores de referência apresentados na Tabela 1.4, adotando-se os valores definidos pelo Canadian Council of Minister for the Environment (BUCKLEY,2003). Cabe registrar que o cromo apresentou níveis muito elevados, cerca de 100 vezes maior quando comparado ao valor de referência.

Considerando os limites estabelecidos (linhas de cor magenta dos gráficos), os elementos que se encontram acima do limite são: arsênio, cromo, zinco. Os elementos ferro, cobalto e bário não têm limites estipulados pela norma. A presença de ferro indica um favorecimento à acumulação de metais pesados, encontrado nesta matriz, e cuja provável origem é a remobilização de outras fontes, o que lhe confere a característica de alta solubilidade.

Os resultados referentes ao ponto 1 , início do Lixão, registraram níveis de arsênio acima do limite, por sua localização, sugerindo que parcela deste poluente tem origem externa ao Lixão. A distribuição do arsênio nas águas superficiais ao longo do Lixão, reforça esta hipótese, apesar dos níveis deste elemento encontrarem-se dentro do limite estabelecido para as águas superficiais.

A Tabela 3.7 apresenta os resultados da matriz sedimento de fundo.

Tabela 3.7 - Concentração ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) da matriz Sedimento de fundo- 1^a, 2^a e 3^a. campanhas - AA NI

	Elemento	SSF1		SSF3		SSF4		SSF5		Limites
1a Campanha	As	3,2 ±	1,8	3,2 ±	0,4	2,4 ±	0,6	2,8 ±	0,6	5,90
	Ba			329 ±	78,3	227 ±	121,4	395 ±	161,6	
	Co	3,4 ±	0,2	2,3 ±	0,2	2,0 ±	0,2	8,2 ±	0,5	
	Cr	272 ±	4,1	127 ±	3,7	517 ±	5,7	2300 ±	13,8	37,3
	Fe	47500 ±	665	31200 ±	624	69200 ±	900	51600 ±	980	
	Na	4800 ±	374	1690 ±	30	552 ±	43	2280 ±	57	
	Zn	102 ±	7	154 ±	10	288 ±	13	1300 ±	29	123,0
2a Campanha	As	13,6 ±	1,7			2,4 ±	0,4			5,9
	Ba	76,1 ±	127,1	311 ±	99,8					
	Co	3,3 ±	0,4	1 ±	0,1	6,1 ±	0,2	6,6 ±	0,3	
	Cr	202 ±	6,9	228 ±	4,1	3880 ±	7,8	1390 ±	11,1	37,3
	Fe	229000 ±	1832	7360 ±	301,8	45100 ±	496,1	64600 ±	1033,6	
	Na	575 ±	32	654 ±	214	714 ±	29	2430 ±	799	
	Zn	227 ±	18	26,9 ±	5,2	165 ±	7	180 ±	13	123,0
3a Campanha	As	14,6 ±	0,5	1 ±	0,1					5,9
	Co	3,4 ±	0,0							
	Cr	181 ±	14	97 ±	6					37,3
	Fe	170948 ±	7528	15421 ±	894					
	Zn	495 ±	31							123

Os elementos tóxicos encontrados nesta matriz foram: arsênio, bário, cobalto, cromo, ferro e zinco. Os elementos retidos nos sedimentos provocam efeito negativo nas águas naturais, conforme já destacado na análise do sedimento de borda. Dessa forma, esta matriz também é importante na avaliação do potencial da fonte de contaminação das águas, acrescida por suas características físicas. Na análise do potencial poluidor desta matriz foram utilizados os valores de referência apresentados na Tabela 1.4, adotando-se os valores definidos pelo Canadian Council of Minister for the Environment (BUCKLEY, 2003).

A Figura 3.5 apresenta a distribuição elementar nesta matriz.

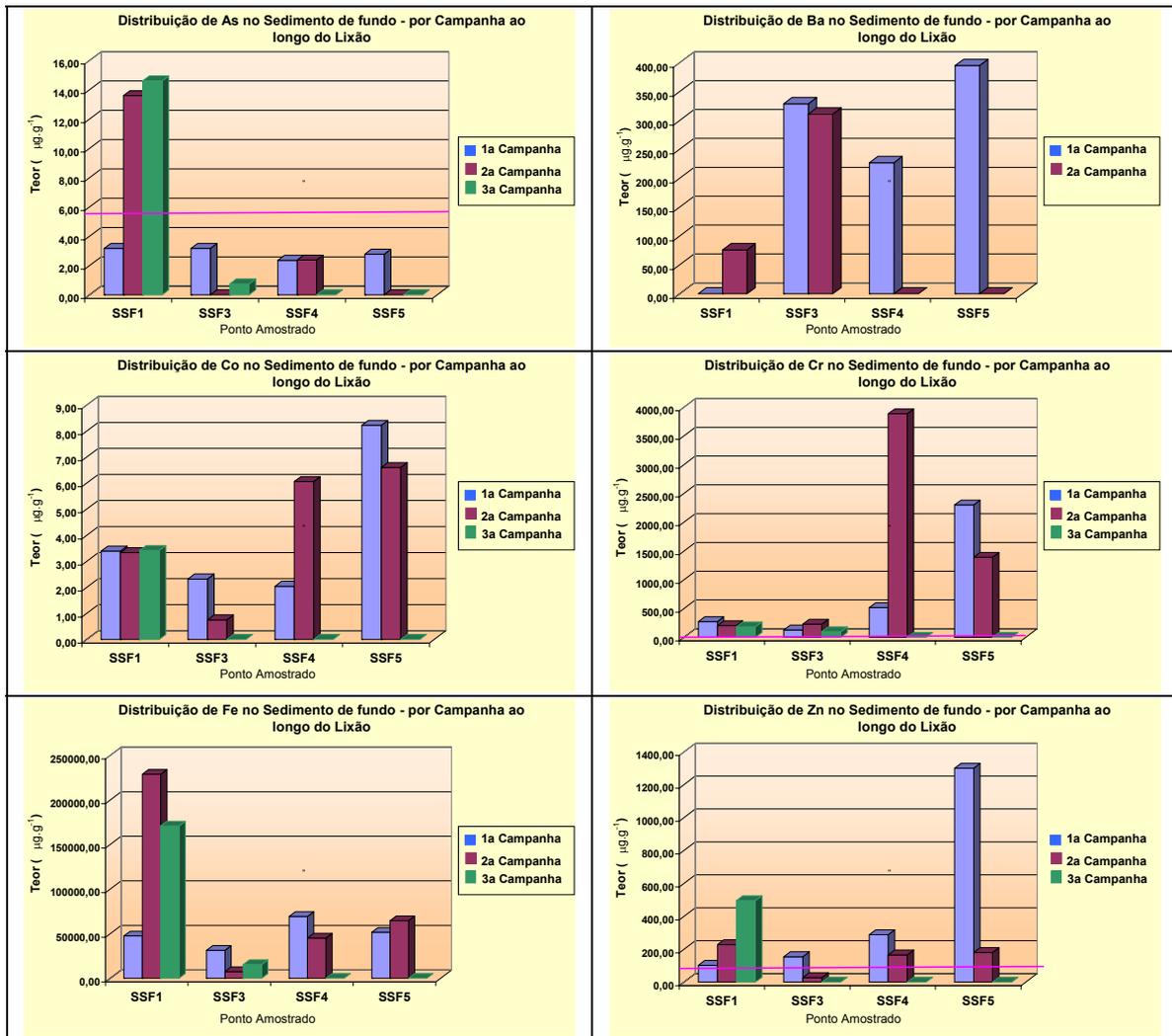


Figura 3.5 - Distribuição dos elementos tóxicos no sedimento de fundo

De forma geral, observa-se um crescimento dos teores de montante à jusante, como era esperado. Os elementos que se encontram acima do limite são: arsênio, cromo, ferro e zinco. Destes elementos, cabe destacar o cromo, que apresentou níveis muito elevados, cerca de 100 vezes maior quando comparado ao valor de referência, e o arsênio que, no ponto 1, apresentou teor acima ao limite de referência, reforçando a suposição de fonte externa de contaminação. Os elementos bário, cobalto e ferro não têm valores estabelecidos pela norma.

A Tabela 3.8 apresenta os resultados da matriz água subterrânea.

Tabela 3.8 - Concentração ($\mu\text{g.L}^{-1}$) da matriz água subterrânea, 2ª. Campanha-ICP-MS

Elemento	P1	P2	P3	P4	P5	Limites	
2ª Campanha	Al	20199 ± 404	105 ± 2	331271 ± 6625	92625 ± 1853	200	
	As	2,7 ± 0,1	0,68 ± 0,02	0,49 ± 0,01	1,18 ± 0,04	10	
	Ba	169 ± 5	93 ± 4	74 ± 8	305 ± 9	21	
	Cd	0,70 ± 0,38	0,33 ± 0,05	0,03 ± 0,00	0,97 ± 0,25	0,33 ± 0,19	5
	Co	2,1 ± 0,1	0,54 ± 0,02	9,7 ± 0,3	1,84 ± 0,06	0,90 ± 0,03	30
	Cr	4,1 ± 0,4	2,9 ± 0,6	0,9 ± 2,0	4,9 ± 2,6	7,0 ± 0,8	50
	Cu	20,9 ± 2,3	7,6 ± 3,4	2,7 ± 0,7	49,0 ± 7,7	31,6 ± 1,2	2000
	Fe	2612 ± 211	1761 ± 530	942 ± 241	1875 ± 328	1872 ± 221	300
	Hg		0,1 ± 0,0		17,8 ± 0,5	3,6 ± 0,1	1
	Mn	410 ± 8,2	352 ± 7,0	4 ± 0,1	161 ± 7,8	166 ± 3,3	100
	Na	7322 ± 1158	3747 ± 538	2497 ± 672	15808 ± 1996	2288 ± 408	
	Ni	5,0 ± 0,2	11,9 ± 0,4		127 ± 3	393 ± 8	50
	Pb	2,5 ± 0,1	0,67 ± 0,23	0,69 ± 0,17	23,7 ± 1,9	9,9 ± 0,6	10
	Rb	2,9 ± 0,1	6,9 ± 0,2	1,1 ± 0,0	5,2 ± 0,3	2,2 ± 0,1	
	Zn		424 ± 24			3395 ± 160	5000

As Figuras 3.6.a e 3.6.b evidenciam a distribuição elementar nesta matriz.

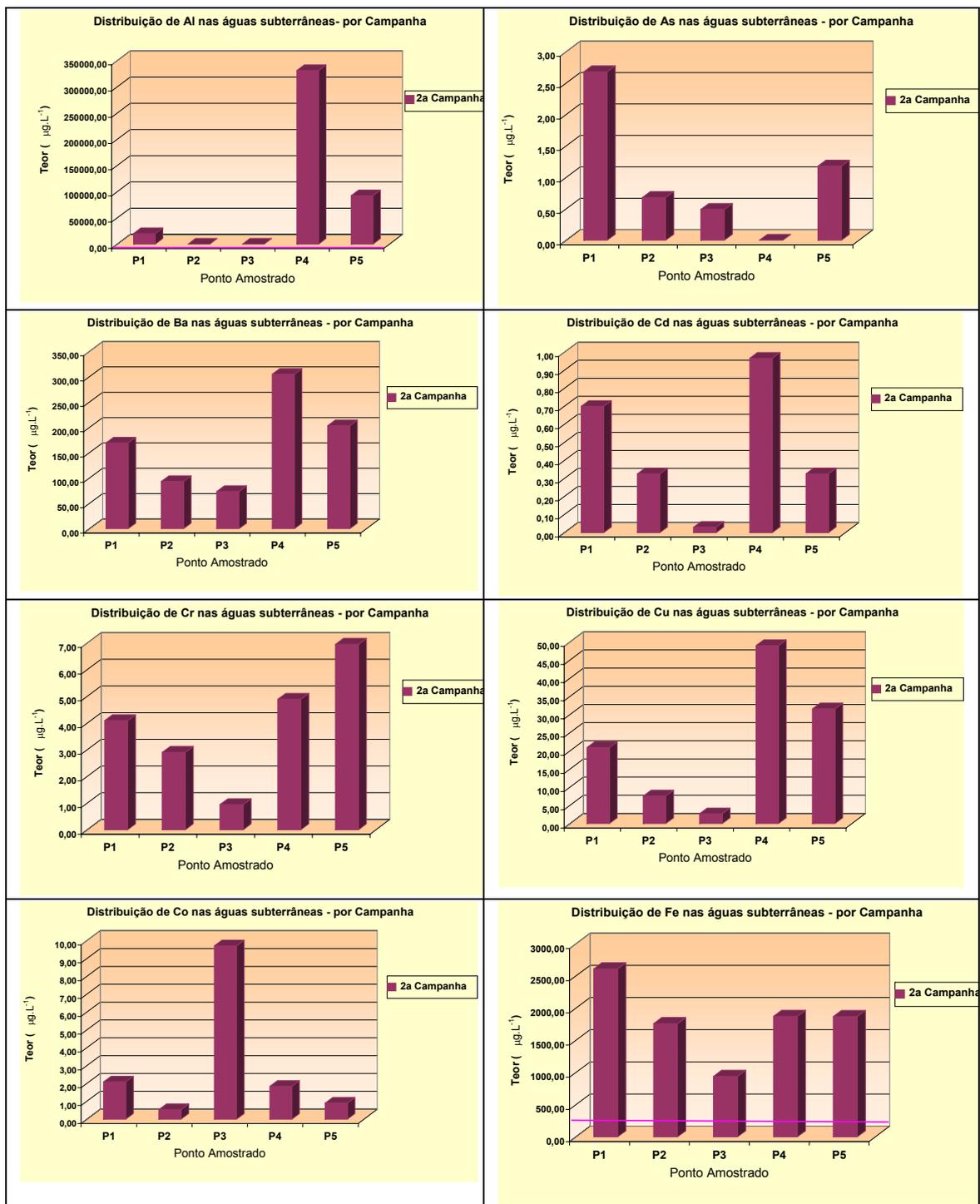


Figura 3. 6.a - Distribuição dos elementos tóxicos nas águas subterrâneas

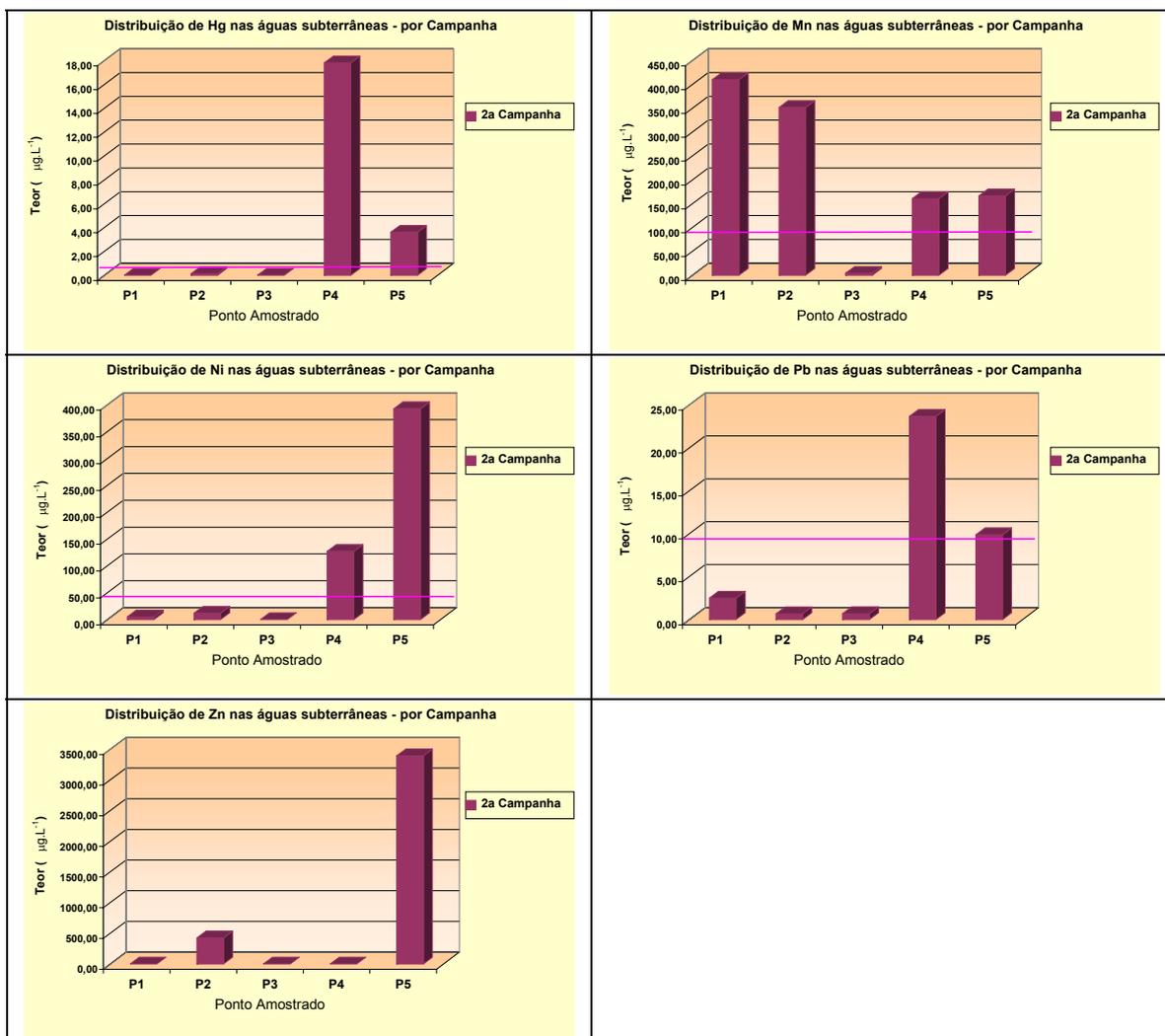


Figura 3.6.b - Distribuição dos elementos tóxicos nas águas subterrâneas

Os elementos presentes nesta matriz são: alumínio, arsênio, bário, cádmio, cobalto, cromo, cobre, ferro, mercúrio, manganês, níquel, chumbo e zinco.

Considerando os limites estabelecidos para águas subterrâneas, pela CETESB, Tabela 1.5, os elementos que apresentam valores acima do limite são: alumínio, chumbo, mercúrio, ferro, manganês, níquel. Os elementos arsênio, bário, cádmio, cobalto, cromo, cobre, e zinco apresentaram valores abaixo dos limites de referência.

Os poços P4 e P5 apresentaram sistematicamente teores mais elevados que os demais poços, o que poderia ser explicado pela posição a jusante do Lixão, aliado à sua proximidade ao Lixão. Cabe destacar a presença de mercúrio, cujos níveis são da ordem de 20 vezes maior que o limite estabelecido.

Estes poços estão à 200 metros de profundidade e o fato da contaminação ter sido detectada, demonstra que as condições são favoráveis ao transporte destes

contaminantes. Considera-se que parcela destes altos teores podem ter sua origem do Lixão, contudo, há que se considerar a provável contribuição de outras fontes de poluição, que não foram consideradas neste estudo.

Cabe ainda ressaltar, a presença dos elementos arsênio, cádmio, chumbo, cromo, cobre, cobalto, ferro e manganês (estes últimos com valores superiores ao limite estabelecido pela norma) no Poço P1, localizado à montante do Lixão, indicando a existência de outro termo fonte que não o Lixão.

3.3 Considerações:

3.3.1 Considerações sobre a variabilidade na amostragem

Na década de 60, o matemático probabilista francês, Georges Matheron, desenvolveu a teoria das Variáveis Regionalizadas, ou simplesmente VR's, como sendo aquelas que podem ser distribuídas no tempo e no espaço, e estão ligadas às ciências da Terra.

Essas Variáveis Aleatórias, segundo demonstrado por Matheron, portam consigo um duplo sentido, contraditório. Por um lado elas possuem uma característica “aleatória”, que se manifesta na irregularidade e variação imprevisível de teores de ponto para outro, e por outro apresentam características “estruturantes”, que se refletem nas ligações existentes entre os pontos no espaço, ou no tempo, onde são tomadas as amostragens.

Em outras palavras, é sempre provável que o alto teor do elemento contaminante, detetado em uma campanha de amostragem se repita na campanha seguinte, por sua característica estruturante, porém ao mesmo tempo é pouco provável saber, com precisão, qual será esse valor, devido ao aspecto aleatório.

O conjunto de teores sob análise nessa dissertação são efetivamente VR's e se comportam pois como tal, seja no aspecto espacial seja no aspecto temporal.

O procedimento de amostragem destas VR's previa a coleta, sempre que possível, de mais de uma amostra em cada ponto, e a composição do erro de determinação foi elaborada considerando o erro analítico, e o erro amostral, esse último representando o caráter aleatório da VR.

Por vezes o erro de determinação se apresenta alto devido a esse fator aleatório, que como já demonstrado (VALENTE, 1982), está ligado à própria natureza do material amostrado.

É de se esperar que as matrizes líquidas (águas de superfície, chorume líquido e águas subterrâneas) apresentem menores variabilidades, uma vez que podem de maneira geral, homogeneizar mais seus constituintes, porém as matrizes sólidas (sedimentos de borda e fundo, e chorume sólido), terão sempre de conviver com a possibilidade de se deparar com altos efeitos aleatórios, causados principalmente pelo denominado “efeito pepita”, que são aqueles associados à amostragem de metais, que pode ser representado pelo efeito que se obtém quando se analisam duas alíquotas de um mesmo material portador de substância metálica, coletadas praticamente no mesmo ponto. Apenas uma alíquota conterá a pepita com alto teor metálico. O teor do metal esperado para o ponto será a média das determinações em cada alíquota, porém o erro de determinação, além do inevitável erro analítico será acrescido do desvio padrão das duas medidas díspares.

3.3.2 Considerações sobre os valores de referência

A saúde do sistema aquático é um complexo fenômeno com grande número de variáveis interferentes em três meios, que refletem o estado físico-químico do corpo d'água: a água propriamente dita, sedimentos (suspensos ou depositados no fundo) e a biota. É evidente que não é adequado estudar separadamente os componentes do ecossistema, por sua dinâmica (variância temporal e espacial dos sistemas químicos, físicos e biológicos), que devem obrigatoriamente ser considerados no entendimento dos efeitos adversos ao meio.

O desenvolvimento de valores de referência para o monitoramento da qualidade das águas, solos e sedimentos tem sido uma prática comum nos países desenvolvidos. A importância destes valores está nos subsídios às decisões, quanto à proteção dos solos, águas superficiais e subterrâneas, e também de áreas contaminadas.

O Brasil tem legislação específica para controle de poluição hídrica, a nível federal e estadual, a qual classifica as águas, estabelece padrões de qualidade de águas e lançamento de efluentes, entretanto a legislação não faz referência para as águas subterrâneas, solos e sedimentos. A CETESB, cumprindo sua atribuição de prevenção e controle de poluição no Estado de São Paulo, desenvolveu estudo para definição destes valores para solos e águas subterrâneas, que foram considerados na presente dissertação.

A não existência de uma abordagem internacional padronizada para solos e sedimentos se explica pela natureza complexa e variável destas matrizes, em que inúmeros fatores físico-químicos que afetam a biodisponibilidade e toxicidade dos contaminantes nos

sedimentos, fatores que podem variar espacialmente e temporalmente dentro e entre os sedimentos. Mudanças nas condições físico-químicas resultantes de processos naturais ou antropogênicos conduzem a diferenças na biodisponibilidade dos sedimentos contaminantes. A ausência destes valores orientadores no Brasil implica na necessidade de se recorrer a valores definidos em protocolos internacionais.

A tendência mundial é o estabelecimento de uma relação geral de valores de referência de qualidade, com base em análise de solos, águas subterrâneas, águas superficiais e sedimentos, de valores de alerta, com caráter preventivo e de valores de intervenção, derivados de modelos matemáticos de avaliação de risco, utilizando-se diferentes cenários de uso e ocupação de solo, considerando vias de exposição e quantificando-se as variáveis toxicológicas. No Brasil, esta tendência vem se concretizando, ainda que de forma lenta.

O Projeto QualiSed, é uma evidência disso. Constituído por três instituições paulistas UFSCar, UNICAMP, CETESB, teve como intuito levantar dados para a futura derivação Valores – Guias de Qualidade de Sedimentos (VGQS) para metais e compostos orgânicos xenobióticos. O objetivo específico deste trabalho é o de gerar dados para a derivação de VGQS para metais (Cd, Cu, Pb, Ni e Zn) em cinco represas do Rio Tietê, represas Billings, Rasgão, Barra Bonita, Bariri e Promissão. Os estudos foram direcionados à caracterização biogeoquímica dos sedimentos desses ambientes através das determinações das concentrações dos nutrientes totais e sulfetos volatilizáveis por acidificação (SVA), do estudo da partição de metais entre os sedimentos totais as águas intersticiais, e da determinação da fração de metais associada aos SVA nos sedimentos totais, denominada metais extraídos simultaneamente ou MES. Os dados levantados foram interpretados em associação aos resultados da estrutura da comunidade bentônica e testes de toxicidade. Foi realizada também, uma Avaliação e Identificação da Toxicidade (AIT) (do inglês, TIE: Toxicity Identification Evaluation) com sedimentos da Represa de Rasgão. Este procedimento se baseia na toxicidade causada após um esquema de fracionamento e manipulações químicas da matriz para caracterizar (Fase I), identificar (Fase II) e confirmar (Fase III) os compostos específicos ou classes destes, responsáveis pela toxicidade da amostra (SILVÉRIO, 2003).

Conclusões

1. A partir dos resultados deste estudo é possível afirmar que a fonte de contaminação, Lixão, é significativa, podendo causar prejuízos em cadeia, isto é, desde as águas até a biota, podendo atingir o homem.
2. Elementos tóxicos encontrados no chorume sólido foram: arsênio, cromo, cobalto, ferro e zinco.
3. Elementos tóxicos encontrados no chorume líquido foram: alumínio, bário, cobre cromo, manganês, mercúrio, níquel, chumbo, zinco.
4. As águas do Córrego Bitácula, no trecho analisado, apresentam valores acima do estabelecido pela Resolução CONAMA no. 357 de 2005 para os seguintes elementos: alumínio, cromo, cádmio, ferro, mercúrio, manganês, níquel, chumbo e zinco.
5. Os valores anômalos do mercúrio encontrados nas águas superficiais, a partir do ponto 3 do Lixão, podem estar ligados a presença do viveiro municipal de mudas, que provavelmente faz uso de agro-tóxicos em suas atividades.
6. Confirmou-se a acumulação de elementos tóxicos na matriz sedimento de borda e de fundo: arsênio, ferro, cromo e zinco.
7. A presença de arsênio nos sedimentos das amostras coletadas no início do Lixão, em níveis acima dos limites de referência, indica a existência de outra fonte de poluição que não o Lixão, o que é reforçado pela distribuição deste elemento na matriz água superficial no mesmo ponto.
8. As águas subterrâneas apresentaram-se contaminadas, considerando os limites definidos na norma, pelos elementos alumínio, chumbo, mercúrio, ferro, manganês, níquel.
9. A presença dos elementos tóxicos, arsênio, cádmio, cromo, cobre, cobalto, ferro e manganês, em poço da água subterrânea, a montante do Lixão, indica a existência de outra fonte de contaminação.

- 10.** Os elementos encontrados nas matrizes estudadas confirmam o tipo do resíduo disposto no Lixão, gerado ,em grande parte, pela indústria metalúrgica.

- 11.** Os métodos de análise ICP-MS e AANI, devido a alta sensibilidade, baixos limites de detecção e alta eficiência, são métodos adequados no desenvolvimento de estudos relacionados a problemas ambientais, visto que o conhecimento de concentrações em nível de traços e ultra traços, para certos elementos, torna-se necessário

Referências bibliográficas

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT: NBR 10004 - Resíduos Sólidos. Classificação, Rio de Janeiro, 1987.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT: NBR 10005 – Lixiviação de Resíduos, Rio de Janeiro, 1987.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT: NBR 10007 - Amostragem de Resíduos- Procedimento, Rio de Janeiro, 1987
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. NBR 1183 – NBR 12235 - Armazenamento de Resíduos Sólidos Perigosos - Procedimento, Rio de Janeiro, 1992.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT. NB 1264 – NBR 11174 - Armazenamento de Resíduos Sólidos Classe II e III, Rio de Janeiro, 1990.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT ; NB 98 - Armazenamento e Manuseio de Líquidos Inflamáveis e Combustíveis, Rio de Janeiro, 1966.
7. BATLEY, G. E. Trace element speciation: Analytical methods and problems, Florida, 1989.
8. BAIRD, C., Química Ambiental .2 ed., Porto Alegre: Bookman, 2002
9. BANDEIRA, J.V., Desenvolvimento de Técnicas Nucleares Para Estudos de Hidrologia Urbana Aplicadas na Bacia Hidrográfica da Pampulha e no Rio das Velhas, Belo Horizonte, 2004. 276f. Tese de Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais.
10. BEAUCHEMIN, D. Inductively coupled plasma mass spectrometry. Analytical Chemistry, Columbus OH, USA, v.74, nº 12, p.2873 -2894, 2002.
11. BREKHOVSKIKH ,V.F. - Heavy Metals in Bottom Sediments in the Upper and Lower Volga. Water Resources, Russia, v. 29, nº. 5, 2002, p. 539–47. Translated from Vodnye Resursy, v. 29, nº. 5, 2002, p. 587–95.
12. BREKHOVSKIKH ,V.F. Heavy Metals in the Ivan Kovo Reservoir bottom sediments. Water Resources, Russia, v. 28, nº. 3, 2001, p. 278–87. Translated from Vodnye Resursy, v. 28, nº. 3, 2001, p. 310–19.
13. BUCKLEY, D., Sediment Quality Guidelines for Australian Waters : A Framework For Development And Use, 2003,180f.- Thesis of master of applied Science- University of Camberra- Australia
14. CARVALHO, A.L., Contaminação das águas subsuperficiais em área de disposição de resíduos sólidos urbanos- o caso do antigo lixão de Viçosa (MG),

2001. 149p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil Universidade Federal de Viçosa. Viçosa.
15. CASTILHOS JÚNIOR, A.B. Produção e Biogás e líquidos percolados em aterros sanitários. Revista Saneamento Ambiental, v.12, p.56-59, São Paulo, Fev/Mar, 1991.
 16. CHAPPUIS, P. Les oligoéléments en médecine et biologie. Paris: Lavoisier, 1991.
 17. CHIAN, E.S.K.; DEWALLE, F.B. Sanitary landfill leachates and their treatment. Journal of the Environmental Engineering Division, Virginia, v.102, p.411-31, agosto, 1976.
 18. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo: CETESB (SP), 2001
 19. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). Resíduos Sólidos Industriais. São Paulo: CETESB (SP), 1992.
 20. COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS - Serviço Geológico do Brasil. Estudo Hidrogeológico da Bacia da Lagoa da Pampulha, Belo Horizonte: CPRM, 2001.
 21. COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS - Serviço Geológico do Brasil. Hidrogeologia - Conceitos e Aplicações, Belo Horizonte: CPRM, 1997.
 22. CONSÓRCIO MONTGOMERY WATSON LTDA. / ESSE ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA. Estudo sobre o Controle da Poluição Industrial nas Bacias dos Ribeirões Arrudas e Onça nos Municípios de Belo Horizonte e Contagem. Governo do Estado de Minas Gerais / FEAM, 1999.
 23. DALMÁZIO, I. Avaliação do Potencial de contaminação do Lixão de Cururupe utilizando Análise por Ativação Neutrônica Instrumental (AANI) e Espectrometria de Massas com fonte de plasma induzido (ICP-MS), Belo Horizonte, 2003. 76 f. Dissertação de Mestrado- Departamento de Engenharia Nuclear- Universidade Federal de Minas Gerais.
 24. FÖRSTNER U., WITTMANN G. T. W. Metal Pollution in the Aquatic Environment. Berlin: Springer-Verlag, 1981.
 25. FREEZE, A., CHERRY, J.A. Groundwater. New Jersey: Prentice-Hall, 604 p. 1979.
 26. FUNDAÇÃO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE - FEAM. Diagnóstico do Rio das Velhas. Belo Horizonte: FEAM, 1996.
 27. GADOTTI, R.F. Avaliação da contaminação das águas superficiais e subterrâneas adjacentes ao Lixão da cidade de São Carlos. São Carlos, 1997. 150 f. Dissertação de Mestrado- EESC- Universidade de São Carlos.

28. GOMES, L. Estudo da caracterização física e da biodegradabilidade dos resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários. São Carlos: 1989. 167 f.. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo.
29. GUARDIA, M., GARRIGUES, S. Strategies for the rapid characterization of metals and organic pollutants in solid wastes and contaminated soils by using mass spectrometry. TrAC Trends in Analytical Chemistry, v.7, no.5, p.263-72, 1998.
30. IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo 1991. Rio de Janeiro. 1991. 80p.
31. IAEA-INTERNATIONAL ATOMIC NUCLEAR ENERGY- Certificate of Certified Reference Material IAEA/ SL-1, 1979
32. KOSOV, V.I . Concentrations of Heavy Metals in the Upper Volga Bottom Deposits. Water Resources, Russia, v. 28, nº. 4, 2001, p. 407–12. Translated from Vodnye Resursy, v. 28, nº. 4, 2001, p. 448–53.
33. LEYGONIE, R. Les métaux lourds dans l’air: sources, émissions, mesure, effets. Pollution Atmosphérique. Ago/set, p.63-74, 1993.
34. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE-CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE- Resolução no.357 de 17 de março, 2005, disponível em www.feam.br/Normas ambientais, acesso em 05/01/2006
35. MINEAR, R. A., KEITH, L. H. Water Analysis, Inorganic Species, Part 1. 2.ed. New York: Academic Press,. 1982. 287p.
36. NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF CANADÁ - SLRS-4 River Water Reference Material for Trace Metals- Certified Reference Material, 1998, Ottawa, Canadá, 2p.
37. ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT.1989. Water resources management – integrated polices. Paris. 199p.
38. PORTARIA MINTER Nº 124 . Água - Licença Ambiental e EIA RIMA - Padrões de Emissão - Lançamento Substâncias Perigosas Zoneamento. Brasília,1980
39. PICCOT, D.; DESCHAMPS, C.; DELMAS, R.; REVEL, G. K0 - Labsue: A quasi non-dependent data format package for K₀ – quantification. Journal Radioanalytical Nuclear Chemistry. New York. v. 214. p. 263-69. 1997.
40. PINTO COELHO et al. Biomonitoramento plurianual do reservatório da Pampulha. In: Tôrres, Isabela Claret. Determinação da influência dos tributários na qualidade da água da represa da Pampulha,1999, 66f. Dissertação de Mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre - Instituto de Ciências Biológicas, UFMG.

41. PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. PROPAM – Programa de recuperação e desenvolvimento ambiental da bacia da Pampulha. Belo Horizonte: PBH 1998.
42. REVEL G., AYRAULT S. Comparative use of INAA and ICP-MS methods. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, New York, v 244 n°1, p 73-80, 2000.
43. SILVÉRIO, P.F Bases Técnico - Científicas Para a Derivação de Valores-Guias de Qualidade de Sedimentos Para Metais : Experimentos de Campo e Laboratório São Carlos. São Carlos, 2003,132 f. Tese Doutorado.Escola de Engenharia de São Carlos.
44. SOUSA, H.A Estudo da contaminação ambiental na área do aterro sanitário da BR-040 , da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte- MG. Ouro Preto, 1998,145 f. Dissertação de Mestrado - Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto
45. UNESCO.1992 Groundwater. Paris
46. USEPA- United States Environmental Protection Agency. Procedures for the Derivation of Equilibrium Partitioning Sediment Benchmarks(ESBs) for the Protection of Benthic Organisms: Metal Mixtures (Cadmium, Copper, Lead, Nickel, Silver and Zinc). EPA-600-R-02-011. Office of Research and Development. Washington, DC 20460,121p. 2005.
47. VEADO, M. A. R. V. Application de l'Analyse par Activation Neutronique et de la Spectrométrie de Masse Associée à un Plasma d'argon pour l'identification et le dosage des éléments métalliques apportés par les rejets miniers dans la rivière das Velhas- Brésil. Paris, 1997, 154 f. Ph.D. Thesis, Université de Paris XI – Orsay
48. VALENTE, J.M.G.P. Geomatématica, Lições de Geoestatística,.8 volumes, 1ª.ed. Ouro Preto :Fundação Gorceix, 1982. 2171p.

ANEXO



Imagem QuickBird – 2003 – Lixão de Contagem



Início do Lixão – Ponto 1



1

Ponto 1 – Entrada no Lixão



Procedimento de amostragem no Ponto 1



Amostragem de Chorume – Ponto 2



Horto Municipal – Entrada para o Ponto 3



Vista do Lixão a partir do Horto Municipal



Ponto 3 - Horto Municipal



Ponto 4 – Fim do Lixão



Ponto 5 - Após o Lixão

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)