

ELEMENTOS-TRAÇO EM ÁGUAS, SEDIMENTOS
E SOLOS DA BACIA DO RIO DAS MORTES,
MINAS GERAIS

DANIELA QUEIROZ ZULIANI

2006

DANIELA QUEIROZ ZULIANI

**ELEMENTOS-TRAÇO EM ÁGUAS, SEDIMENTOS E SOLOS
DA BACIA DO RIO DAS MORTES, MINAS GERAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de “Doutor”.

PROF. JOÃO JOSÉ G.S.M. MARQUES
ORIENTADOR

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2006

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Zuliani, Daniela Queiroz.

Elementos-traço em águas, sedimentos e solos da Bacia do Rio da
Mortes, Minas Gerais / Daniela Queiroz Zuliani. -- Lavras : UFLA,
2006.

168 p. : il.

Orientador: João José G. S. M. Marques.

Tese (Doutorado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Bacia hidrográfica. 2. Legislação ambiental. 3. Sedimentos. 4.
Contaminação. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-551.48

DANIELA QUEIROZ ZULIANI

**ELEMENTOS-TRAÇO EM ÁGUAS, SEDIMENTOS E SOLOS
DA BACIA DO RIO DAS MORTES, MINAS GERAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de “Doutor”.

Aprovada em 18 de dezembro de 2006

| | |
|------------------------------------|------------------------------|
| Prof. Nilton Curi | DCS-UFLA |
| Prof. Carlos Alberto Silva | DCS-UFLA |
| Prof. Mario César Guerreiro | DQI-UFLA |
| Prof. Pablo Vidal-Torrado | ESALQ-USP |
| Prof. Eduardo García-Rodeja Gayoso | Univ. Santiago de Compostela |

PROF. JOÃO JOSÉ G. S. M. MARQUES
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS-BRASIL

Do livro de Jó

Há lugares de onde se tira a prata,
lugares onde o ouro é apurado;
O ferro é extraído do solo,
O cobre é extraído de uma pedra
fundida.
Foi posto um fim às trevas,
Escavaram-se as últimas profundidades
da rocha obscura e sombria.
Longe dos lugares habitados o mineiro
abre galerias
Que são ignoradas pelos pés dos
transeuntes;
Suspenso, vacila longe dos humanos.
A terra, que produz o pão,
É sacudida em suas entranhas como se
fosse pelo fogo.
As rochas encerram a safira,
assim como o pó do ouro.
A águia não conhece a vereda,
O olho do abutre não a viu;
os altivos animais não a pisaram,
o leão não passou por ela.
O homem põe a mão no sílex,
Derruba as montanhas pela base;
Fura galeria nos rochedos,
O olho pode ver nelas todos os tesouros.
Explora as nascentes dos rios,
E põe a descoberto o que estava
escondido.
Mas a sabedoria, de onde sai ela?
Onde está o jazigo da inteligência?
O homem ignora o caminho dela,
Ninguém a encontra na terra dos vivos.
O abismo diz: “Ela não está em mim.”
“Não está comigo”, diz o mar.
Não pode ser adquirida com ouro
maciço,
não pode ser comprada a peso de
prata.

Não pode ser posta em balança com o
ouro de Ofir,
Com ônix precioso ou a safira.
Não pode ser comparada nem ao
ouro nem ao vidro,
Ninguém a troca por vaso de ouro
fino.
Quanto ao coral e ao cristal, nem se
fala,
A sabedoria vale mais do que as
pérolas.
Não pode ser igualada ao topázio da
Etiópia,
Não pode ser equiparada ao mais
puro ouro.
De onde vem, pois, a sabedoria?
Onde está o jazigo da inteligência?
Um véu a oculta de todos os vivos,
Até das aves do céu ela se esconde.
Dizem o inferno e a morte:
“Apenas ouvimos falar dela.”
Deus conhece o caminho para
encontrá-la,
É ele quem sabe o seu lugar,
Porque ele vê até os confins da terra,
E enxerga tudo o que há debaixo do
céu.
Quando ele se ocupava em pesar os
ventos,
E em regular a medida das águas,
Quando fixava as leis da chuva,
E traçava uma rota aos relâmpagos,
Então a viu e a descreveu,
Penetrou-a e escrutou-a.
Depois disse ao homem: O temor ao
Senhor, eis a sabedoria;
Fugir do mal, eis a inteligência.”

Jó, 28

*Dedico todo este trabalho aos meus pais, Eliete e Mário, exemplos de vida e
comunhão em todos os momentos.*

Agradeço por tudo que me proporcionaram, por toda minha formação.

Obrigada por tudo!

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida e pelas grandes oportunidades.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciência do Solo pela oportunidade de realização do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela concessão da bolsa de estudo.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG, pelo financiamento do projeto.

Ao Professor João José Marques por todo apoio, ensinamentos, orientação e auxílio durante todos esses anos de trabalho, em especial nos trabalhos de campo.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Nilton Curi, Prof. Carlos Alberto Silva, Prof. Mario César Guerreiro, Prof. Pablo Vidal-Torrado e Prof. Eduardo García-Rodeja Gayoso, pela pronta disponibilidade na participação da banca e pelas valiosas contribuições apresentadas.

A todos os professores do Departamento de Ciência do Solo, em particular ao Prof. Nilton Curi, por toda amizade, atenção, apoio e ensinamentos.

Aos colegas de laboratório, Regilene, Geila, Amaury, Regla, Alexandre Romeiro, Adriana, Michele, por toda ajuda, amizade e alegre convívio.

A Adriana e Michele pela confecção dos mapas. A Geila, Regla e Regilene por trabalharmos em equipe nos problemas que enfrentamos nas práticas de laboratório. E em especial, por todas amostragens em campo que vocês acompanharam.

A todos os colegas pela amizade, em especial Adriana Lima, Mari, Edilene, Giuliano, Arystides, Antonio Claret, Rafaela, José Roberto, Josinaldo, Bruno, Alexandre Barberi, Fernanda, Nildo e Sandra.

Às amigas de república, Maráisa, Fernanda e Jussara, pela preciosa amizade, convívio, apoio e compreensão.

Aos funcionários do Departamento, Roberto, José Roberto (Pezão), Leninha, Maria Alice, Cristina, Carlinhos, Joyce, Emerson e Daniela, pelo convívio, paciência, atenção e apoio. Em especial ao João Gualberto por toda boa vontade, tempo dedicado e colaboração para a finalização deste trabalho.

Aos alunos de iniciação científica, Ana Carolina, Suzana, Valquíria, Cleide, Fernando, Simone, Paulo Fabrício, Frederico, Emanuella, Livia e Alan por toda colaboração nas amostragens e no laboratório, além da ótima convivência.

A todos que participaram das amostragens de campo, e a todas as pessoas que nos deram informações nos locais das amostragens. Vocês contribuíram muito para este trabalho.

Aos meus irmãos Alessandro, Rachel, João Batista e Mercedes, aos meus cunhados Anna Maria, Andrea, Juliana e André, e meus sobrinhos Eliana e Lucas, por todo apoio e porque, mesmo de longe, sempre estiveram muito próximos de mim.

A Sirlei, por todo amor, carinho, incentivo, companheirismo e muita paciência. Por toda ajuda para que eu conseguisse finalizar este trabalho.

A Maria Sebastiana e toda a família pela atenção, carinho, apoio e convivência.

Aos meus amigos da Oficina de Oração pela amizade e atenção. A convivência com vocês me fez crescer muito.

A toda minha família pelo apoio.

MUITO OBRIGADA!

SUMÁRIO

| | |
|--|------|
| Lista de figuras..... | iv |
| Lista de tabelas..... | vi |
| Lista de abreviaturas..... | viii |
| Resumo | x |
| Abstract | xii |
| 1 Introdução | 1 |
| 2 Revisão de Literatura | 3 |
| 2.1 Bacia Hidrográfica | 3 |
| 2.1.1 A Bacia do Rio das Mortes..... | 6 |
| 2.2 Os compartimentos..... | 9 |
| 2.2.1 Água..... | 9 |
| 2.2.2 Sedimento..... | 11 |
| 2.2.3 Solo..... | 13 |
| 2.2.3.1 Classes de solo..... | 14 |
| 2.2.3.1.1 Neossolos Flúvicos..... | 14 |
| 2.2.3.1.2 Gleissolos..... | 15 |
| 2.2.3.1.3 Cambissolos..... | 15 |
| 2.3 Elementos-traço..... | 16 |
| 2.3.1 Fósforo..... | 19 |
| 2.3.2 Nitrogênio | 20 |
| 2.3.3 Cádmio | 20 |
| 2.3.4 Chumbo..... | 22 |
| 2.3.5 Cromo..... | 23 |
| 2.3.6 Cobre..... | 24 |
| 2.3.7 Manganês..... | 26 |
| 2.3.8 Níquel..... | 28 |
| 2.3.9 Zinco..... | 29 |
| 2.4 Estudos com elementos-traço..... | 30 |
| 2.5 Legislação e valores guias de qualidade ambiental..... | 35 |
| 3 Hipóteses | 40 |
| 4 Objetivos | 41 |
| 5 Material e Métodos | 42 |
| 5.1 Levantamento dos dados..... | 42 |

| | |
|---|-----------|
| 5.1.1 Empreendimentos registrados na Bacia do Rio das Mortes..... | 42 |
| 5.2.1 Trabalho de campo..... | 48 |
| 5.2.1.1 Amostragem | 48 |
| 5.2.1.2 Pontos de amostragem..... | 49 |
| 5.3 Coleta e preservação das amostras de água e sedimento..... | 52 |
| 5.3.1 Água..... | 52 |
| 5.3.2 Sedimento e solo..... | 52 |
| 5.4 Variáveis medidas | 52 |
| 5.4.1 Variáveis medidas <i>in loco</i> | 52 |
| 5.4.2 Variáveis medidas no laboratório..... | 53 |
| 5.4.2.1 Análise de elementos-traço no sedimento e solo..... | 53 |
| 5.4.2.1.1 Método de extração..... | 53 |
| 5.4.2.1.2 Método analítico usado para determinação dos elementos-traço..... | 54 |
| 5.4.3 Controle de qualidade do método de digestão e determinação..... | 54 |
| 5.4.3.1 Branco do método..... | 55 |
| 5.4.3.2 Avaliação dos dados analíticos..... | 56 |
| 6 Resultados e Discussão..... | 57 |
| 6.1 Valores referência das características físico-químicas da água, sedimento e solo..... | 57 |
| 6.2 Características físico-químicas da água, sedimento e solo..... | 59 |
| 6.2.1 pH, turbidez e condutividade eletrolítica..... | 59 |
| 6.2.2 Nitrogênio e fósforo na água..... | 62 |
| 6.2.3 Análises granulométricas..... | 65 |
| 6.2.4 Elementos-traço em águas, sedimentos e solos | 67 |
| 6.2.4.1 Cádmio | 67 |
| 6.2.4.2 Chumbo | 72 |
| 6.2.4.3 Cobre | 77 |
| 6.2.4.4 Cromo | 81 |
| 6.2.4.5 Níquel | 85 |
| 6.2.4.6 Manganês..... | 88 |
| 6.2.4.7 Zinco..... | 91 |
| 6.3 Comparação dos locais suspeitos de contaminação com os locais naturais..... | 94 |

| | |
|---|------------|
| 6.4 Correlação..... | 100 |
| 6.5 Teores naturais de elementos-traço da Bacia do Rio das Mortes..... | 104 |
| 6.5.1 Solos..... | 104 |
| 6.5.2 Sedimentos..... | 106 |
| 6.5.3 Proposição de valores de referência de teores naturais de elementos-traço em sedimentos de rios e solos da Bacia do Rio das Mortes..... | 107 |
| 7 Conclusões e Considerações Finais..... | 109 |
| 8 Referências Bibliográficas..... | 111 |
| 9 Anexos..... | 123 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 1 Mapa das bacias hidrográficas do Estado de Minas Gerais..... | 5 |
| FIGURA 2 Mapa de Minas Gerais com a localização da capital estadual e da Bacia do Alto Rio Grande (Fonte: ANA)..... | 6 |
| FIGURA 3 Mapas da Bacia do Alto Rio Grande mostrando: A) três principais sub-bacias (Fonte: ANA) e B) principais rios e cidades (Fonte: CETEC)..... | 7 |
| FIGURA 4 Mapa da Bacia do Rio das Mortes-MG, destacando os municípios com locais suspeitos de contaminação (limites municipais)..... | 47 |
| FIGURA 5 Mapa da Bacia do Rio das Mortes-MG, com a distribuição dos pontos de amostragem em locais suspeitos de contaminação e locais naturais..... | 50 |
| FIGURA 6 pH das águas amostradas em locais suspeitos de contaminação e locais naturais na Bacia do Rio das Mortes-MG..... | 60 |
| FIGURA 7 Turbidez das águas amostradas nos locais suspeitos de contaminação e nos locais naturais na Bacia do Rio das Mortes-MG..... | 61 |
| FIGURA 8 Condutividade eletrolítica das águas amostradas em locais suspeitos de contaminação e nos locais naturais na Bacia do Rio das Mortes-MG..... | 62 |
| FIGURA 9 Nitrogênio total das águas amostradas em locais suspeitos de contaminação e em locais naturais na Bacia do Rio das Mortes-MG..... | 63 |
| FIGURA 10 Fósforo das águas amostradas em locais suspeitos de contaminação e em locais naturais na Bacia do Rio das Mortes-MG..... | 65 |
| FIGURA 11 Granulometria (g kg^{-1}) das amostras de sedimentos (A) e de solos (B) dos pontos amostrados na Bacia do Rio das Mortes-MG..... | 66 |
| FIGURA 12 Mapas com faixas de concentração de Cd, detectadas em águas (mg L^{-1}) (A), sedimentos (mg kg^{-1}) (B) e solos (C) (mg kg^{-1}), na Bacia do Rio das Mortes-MG..... | 71 |
| FIGURA 13 Mapas com faixas de concentração de Pb, detectadas em águas (mg L^{-1}) (A), sedimentos (mg kg^{-1}) (B) e solos (C) (mg kg^{-1}), na Bacia do Rio das Mortes-MG..... | 76 |
| FIGURA 14 Mapas com faixas de concentração de Cu, detectadas em águas (mg L^{-1}) (A), sedimentos (mg kg^{-1}) (B) e solos (C) (mg kg^{-1}), na Bacia do Rio das Mortes-MG..... | 80 |
| FIGURA 15 Mapas com faixas de concentração de Cr, detectadas em águas (mg L^{-1}) (A), sedimentos (mg kg^{-1}) (B) e solos (C) (mg kg^{-1}), na Bacia do Rio das Mortes-MG..... | 84 |

| | |
|---|----|
| FIGURA 16 Mapas com faixas de concentração de Ni, detectadas em águas (mg L^{-1}) (A), sedimentos (mg kg^{-1}) (B) e solos (C) (mg kg^{-1}), na Bacia do Rio das Mortes-MG..... | 87 |
| FIGURA 17 Mapas com faixas de concentração de Mn, detectadas em águas (mg L^{-1}) (A), sedimentos (mg kg^{-1}) (B) e solos (C) (mg kg^{-1}), na Bacia do Rio das Mortes-MG..... | 90 |
| FIGURA 18 Mapas com faixas de concentração de Mn, detectadas em águas (mg L^{-1}) (A), sedimentos (mg kg^{-1}) (B) e solos (C) (mg kg^{-1}), na Bacia do Rio das Mortes-MG..... | 93 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| TABELA 1 Indicadores de qualidade e de vulnerabilidade de uma bacia hidrográfica..... | 4 |
| TABELA 2 Formas de fosfato solúveis e insolúveis presentes nas águas..... | 20 |
| TABELA 3 Concentração máxima permitida (CMP), concentração <i>background</i> (CB) e concentração negligível (CN) de elementos-traço em sedimentos, nos Países Baixos, de acordo com Crommentuijn et al. (2000), determinadas considerando sedimentos com 10% de matéria orgânica e 25% de argila..... | 38 |
| TABELA 4 Valores orientadores para elementos-traço em solos no estado de São Paulo, de acordo com CETESB (2005), determinados de acordo com o método EPA 3050b ou 3052, ou procedimento equivalente..... | 39 |
| TABELA 5 Área territorial, residentes e indústrias dos Municípios pertencentes à Bacia do Rio das Mortes –MG..... | 43 |
| TABELA 6 Classes de empreendimentos registrados na FEAM nos municípios pertencentes à Bacia do Rio das Mortes-MG e nota atribuída aos grupos de empreendimentos quanto ao potencial risco de contaminação por elementos-traço..... | 45 |
| TABELA 7 Pontuação final dos municípios pertencentes à Bacia do Rio das Mortes-MG, quanto ao potencial de contaminação..... | 46 |
| TABELA 8 Pontos de amostragem de água, sedimento e solo em locais suspeitos de contaminação (1 a 40) e locais naturais (41 a 80) na Bacia do Rio das Mortes-MG..... | 51 |
| TABELA 9 Concentração de elementos-traço das amostras referência, valores determinados e esperados (média de n= 47 ±desvio padrão)..... | 55 |
| TABELA 10 Limites de detecção dos métodos utilizados na determinação de elementos-traço em água, sedimento e solo, na Bacia do Rio das Mortes-MG..... | 56 |
| TABELA 11 Valores referência para parâmetros físico-químicos e elementos-traço em águas de classe 2 de acordo com a resolução CONAMA 357/05..... | 57 |
| TABELA 12 Valores referência para elementos-traço em sedimentos de acordo com Crommentuijn et al. (2000), Sparks (1995) e EPA (2003), determinados de acordo com o método EPA 3050b ou EPA 3052, ou procedimento equivalente..... | 58 |

| | |
|--|-----|
| TABELA 13 Valores referência para elementos-traço em solos de acordo com CETESB (2005), Crommentuijn et al. (2000) e Sparks (1995) determinados de acordo com o método EPA 3050b ou EPA 3052, ou procedimento equivalente..... | 59 |
| TABELA 14 Pontos amostrados em grupos de locais suspeitos de contaminação e seu respectivo grupo natural..... | 95 |
| TABELA 15 Municípios pertencentes aos diferentes grupos suspeitos de contaminação e potenciais fatores de impactos do respectivo grupo, na Bacia do Rio das Mortes-MG..... | 96 |
| TABELA 16 Resultado das concentrações dos elementos-traço (média \pm desvio padrão, $5 < n < 10$) nos sedimentos e solos (com normalização de 30% de argila), nos grupos A, B e C, com os locais suspeitos de contaminação (LSC) e seus respectivos locais naturais (LN), na Bacia do Rio das Mortes-MG..... | 97 |
| TABELA 17 Resultado das concentrações dos elementos-traço (média \pm desvio padrão, $5 < n < 10$) nos sedimentos e solos (com normalização de 30% de argila), nos grupos D, E e F, com os locais suspeitos de contaminação (LSC) e seus respectivos locais naturais (LN), na Bacia do Rio das Mortes-MG..... | 98 |
| TABELA 18 Matriz de correlação de Pearson entre elementos-traço e parâmetros físicos e químicos dos solos de locais suspeitos de contaminação da Bacia do Rio das Mortes-MG. Apenas as correlações com significância $p < 0,05$ são apresentadas..... | 102 |
| TABELA 19 Matriz de correlação de Pearson entre elementos-traço e parâmetros físicos e químicos dos solos de locais naturais da Bacia do Rio das Mortes-MG. Apenas as correlações com significância $p < 0,05$ são apresentadas..... | 103 |
| TABELA 20 Teores de elementos-traço em diversos solos brasileiros..... | 105 |
| TABELA 21 Teores de elementos-traço em sedimentos..... | 107 |
| TABELA 22 Teores de elementos-traço naturais propostos em sedimentos e solos de planície de inundação na Bacia do Rio das Mortes – MG..... | 108 |

LISTA DE ABREVIATURAS

ANA - Agência Nacional das Águas
CB - Concentração Background
CETESB - Companhia Estadual de Tecnologia e Saneamento Básico do Estado de São Paulo
CMP - Concentração Máxima Permitida
CN - Concentração Negligível
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
CQS - Critérios de Qualidade de Sedimentos
FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGAM - Instituto Mineiro de Gestão da Águas
LN- Locais Naturais
LSC - Locais Suspeitos de Contaminação
MDL - Limite de Detecção Qualitativo do Método Analítico
PEL - Probable Effect Level
PETAR- Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira –SP
PST - Fósforo Solúvel Total
SAV - Sulfetos Ácidos Voláteis
TEL - Threshold Effect Level
UFSCAR - Universidade Federal de São Carlos
UNICAMP - Universidade de Campinas
UNT - Unidade Nefelométrica de Turbidez
VGQS - Valores-guia de Qualidade de Sedimento
VIA- Valor de Intervenção Agrícola
VII - Valor de Intervenção Industrial
VIR - Valor de Intervenção Residencial

VRQ - Valor de Referência de Qualidade

RESUMO

ZULIANI, Daniela Queiroz. **Elementos-traço em águas, sedimentos e solos da Bacia do Rio da Morte, Minas Gerais**. 2007. 168 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.¹

A Bacia do Rio das Mortes é uma região do Estado de Minas Gerais caracterizada por vários empreendimentos de mineração, atividades metalúrgicas, industrialização e curtimento de couro. Os objetivos do estudo foram estabelecer teores naturais de elementos-traço para solos de planícies de inundação e sedimentos de fundo dos rios, identificar locais contaminados por elementos-traço e verificar quais são estes elementos e avaliar o grau de contaminação por elementos-traço em sedimentos e solos pela comparação entre os teores obtidos em locais com e sem interferência antrópica. Para poder detectar locais suspeitos de contaminação foi realizado um levantamento de empreendimentos, registrados no IBGE e FEAM nos municípios pertencentes à Bacia do Rio das Mortes. Posteriormente foram amostradas águas, sedimentos e solos em 80 pontos, nesta bacia, no período de 2005 a 2006 para a determinação de pH, turbidez, condutividade eletrolítica, P, N (somente nas águas), Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, Mn e Zn também nos sedimentos e solos. Das 80 amostras, 40 localizavam-se em locais suspeitos de contaminação e as outras 40, em locais controle, denominados locais naturais. Os resultados obtidos mostraram que: a) na Bacia do Rio das Mortes, a agricultura não constitui um fator de aumento dos elementos-traço estudados nas três matrizes analisadas. Verifica-se a grande influência de centros urbanos industrializados ou não, e com alta densidade demográfica na dispersão de elementos-traço para o ambiente, podendo este chegar a níveis considerados contaminantes, sendo que o maior fator de impacto é a mineração, seguido do curtimento e industrialização de couros; b) quanto aos elementos-traço nos sedimentos, não houve diferença estatística para os locais suspeitos de contaminação comparados com os locais naturais. Porém, foi verificada a contaminação no solo por Pb nos municípios de Dores de Campos e Prados, Cu, Cr, Ni, Pb e Mn em Nazareno e São Tiago, Cr e Ni em São João del Rei e Cu em Barbacena; c) os sedimentos não foram tão adequados quanto os solos para detectar contaminação por serem, em geral, muito arenosos. É preferível trabalhar com comparações de concentrações de elementos-traço em locais naturais regionais, com o mínimo de intervenção antrópica. Na bacia estudada, há a necessidade de estudos específicos quanto aos tipos de mineração,

¹ Orientador: Prof. João José G.S.M. Marques – UFLA Co-orientador: Prof. Nilton Curi

à área ocupada por esta atividade e, principalmente, à prática de recuperação das áreas após este tipo de exploração. Sugerem-se estudos futuros enfocando os seguintes elementos-traço e grupos de locais suspeitos de contaminação: Pb em Dores de Campos e Prados; Cu, Cr, Ni, Pb e Mn em Nazareno e São Tiago; Cr e Ni em São João del Rei; e Cu em Barbacena.

ABSTRACT

ZULIANI, Daniela Queiroz. **Trace elements in waters, sediments, and soils of Rio das Mortes Basin, Minas Gerais.** 168p. Lavras: UFLA, 2006. (Doctorate Thesis in Soil Science and Plant Nutrition)²

The watershed of the Rio das Mortes is a region in the State of Minas Gerais characterized by several mining, iron works, industries, and tanneries. The aims of this study were: to establish natural background contents of trace elements for soils and sediments; and to identify sites contaminated by trace elements. In order to detect contamination spots, it was made an office survey at the environmental agencies searching for potential contamination sources recorded at such agencies. That survey oriented the field work. Waters, sediments, and soils were sampled at 80 different spots from 2005 to 2006. Turbidity, pH, electrolyte conductivity, P, N, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, Mn, and Zn were determined. The results showed that: a) in the Rio das Mortes Basin, the agriculture does not constitute an increasing factor of trace elements contamination; b) a major influence of urban centers is verified, regarding trace elements contamination; c) there was no statistical difference for trace elements content in sediments collected in sites under anthropogenic influence and in pristine sites. That probably happened due to the very sandy composition of the sediments; d) it was verified contamination in soils at certain sites by Cu, Cr, Ni, Pb, and Mn. Future studies are suggested focusing on the following trace elements in the soils of these sites: Pb (Dores de Campos e Prados), Cu, Cr, Ni, Pb and Mn (Nazareno e São Tiago), Cr and Ni (São João del Rei) and Cu (Barbacena).

² Adviser: Prof. João José G.S.M. Marques – UFLA Co-adviser: Prof. Nilton Curi

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com a qualidade ambiental tem se tornado crescente em todas as sociedades, fazendo com que órgãos ambientais sejam criados tanto em esferas municipais, estaduais e federais quanto internacionais. Estes órgãos, governamentais ou não, têm estudado e determinado, para cada compartimento ou situação, padrões de qualidade. Estes padrões de qualidade visam identificar valores a partir dos quais determinada substância passa a ser prejudicial não só à saúde e à vida humana, mas a todos os organismos existentes.

Muitos elementos químicos são tóxicos; porém, em condições naturais não chegariam à água ou mesmo ao solo. Todavia, a demanda crescente de materiais para o consumo humano aumenta a sua exploração e industrialização. Os elementos metálicos, principalmente, são os mais utilizados, desde a antiguidade, para a fabricação de vários utensílios domésticos, oriundos do elemento purificado ou de uma mistura (liga) de vários elementos diferentes. Isto faz com que cada vez mais estas substâncias sejam dispersas no ambiente, através dos rejeitos de minerações, pelos processos de beneficiamento que geram resíduos sólidos e líquidos e pelo descarte inadequado depois de utilizados. Desta forma, muitos ambientes se mostram enriquecidos artificialmente por diversos elementos-traço.

O Estado de Minas Gerais é conhecido desde a época colonial por suas reservas minerais e a Bacia do Rio das Mortes foi um grande centro de mineração aurífera nos séculos passados. Atualmente, esta região é conhecida, ainda, por diversas atividades de mineração, indústrias químicas, metalúrgicas e têxteis, curtimento e fabricação de artigos em couro, cimenteiras, além de artesanato com diversos materiais, entre eles o latão. Além destes empreendimentos, a maior parte dos municípios não tem tratamento de esgotos, o mesmo acontecendo com algumas indústrias que não fazem o tratamento adequado de seus resíduos.

O monitoramento realizado pelo IGAM, em todo o Estado de Minas Gerais, classifica o Rio das Mortes, em alguns dos seus trechos, como contaminado ou com o índice de qualidade de água ruim. Se há contaminantes sendo despejados nas águas dos rios, estes estão, conseqüentemente, sendo dispersos no ambiente e depositados em algum outro compartimento, como sedimentos, solos e seres vivos. Não há muitas informações sobre o nível de contaminação existente nesta bacia; portanto, é importante determinar a concentração dos elementos-traço em áreas sob interferência antrópica e compará-la com os níveis naturais, em áreas não sujeitas a esta interferência.

Com técnicas analíticas atuais é possível determinar quantidades muito baixas de elementos em várias matrizes, como água, sedimento, solo, tecidos animais e vegetais. Este trabalho, portanto, é uma contribuição para aumentar as informações sobre os níveis naturais de elementos-traço nos diversos compartimentos, bem como nos que podem ser considerados contaminados.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Bacia Hidrográfica

Uma bacia hidrográfica tem certas características essenciais que a tornam uma unidade muito bem caracterizada e permitem a integração multidisciplinar entre diferentes sistemas de gerenciamento, estudo e atividade ambiental. A abordagem tradicional para a gestão de recursos hídricos sempre foi realizada de forma compartimentada e não integrada. Nos últimos dez anos, a concepção de que a bacia hidrográfica é a unidade mais apropriada para o gerenciamento, a otimização de usos múltiplos e o desenvolvimento sustentável consolidou-se de forma a ser adotada em muitos países e regiões.

Para Tundisi (2003), os avanços no sistema de planejamento e gerenciamento das águas devem considerar os *processos conceituais* (a adoção de bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gerenciamento e a integração econômica e social), *processos tecnológicos* (o uso adequado de tecnologias de proteção, conservação, recuperação e tratamento) e *processos institucionais* (para que haja integração institucional em uma unidade fisiográfica, a bacia hidrográfica é fundamental).

A delimitação de grandes áreas em bacias ou microbacias hidrográficas auxilia o conhecimento das condições locais e a identificação dos problemas que afetam tanto a produtividade quanto o equilíbrio natural, indicando maneiras de minimizar e solucionar os problemas que são encontrados para cada situação específica, tais como degradação do solo e da água. As microbacias, portanto, tornam-se unidades territoriais que possibilitam a implantação de práticas a serem adotadas para que se obtenha uma produção sustentável. No Brasil, a adoção dessas unidades de planejamento tem sido incentivada pelo poder público por meio da Agência Nacional das Águas (ANA), sendo também

realizada por empresas que pesquisam para obter conhecimentos e decidir sobre as melhores atividades de manejo (Zuliani, 2003).

Na tabela 1 é apresentado um resumo dos indicadores das condições que fornecem o índice de qualidade da bacia hidrográfica e que devem ser considerados em conjunto com os indicadores de vulnerabilidade propostos por Tundisi (2003).

TABELA 1 Indicadores de qualidade e de vulnerabilidade de uma bacia hidrográfica.

| Indicadores do índice de qualidade | Indicadores de vulnerabilidade |
|---|--|
| Qualidade da água de rios e riachos | Poluentes tóxicos |
| Espécies de peixes e vida selvagem presentes | Carga de poluentes |
| Taxa de preservação ou de perda de áreas alagadas | Descarga urbana |
| Taxa de preservação ou de perda das florestas nativas | Descarga agrícola |
| Taxa de contaminação de sedimentos de rios, lagos e represas | Alterações na população: taxa de crescimento ou migração/imigração |
| Taxa de preservação ou contaminação das fontes de abastecimento de água | Efeitos gerais das atividades humanas |
| Taxa de urbanização | Potencial de eutrofização |

O Estado de Minas Gerais conta, hoje, com uma rede de monitoramento das águas que teve seu início em 1977 e que visava as bacias do Rio das Velhas, Rio Paraopeba e Rio Paraíba do Sul. A Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) monitorou a bacia hidrográfica do Rio Verde de 1987 a 1995 e, posteriormente, de 1993 a 1997, monitorou as bacias hidrográficas do Rio das Velhas e do Rio Paraopeba. O trabalho de monitoramento foi reforçado em 1997, desta vez com um monitoramento mais amplo e completo, estendido às

oito principais bacias hidrográficas mineiras por meio de convênio com o Ministério do Meio Ambiente.

A rede de monitoramento conta com 244 pontos de amostragem e são realizadas análises de parâmetros físico-químicos, microbiológicos e ensaios de toxicidade. Este projeto vem permitindo identificar alterações na qualidade das águas do estado, refletidas em tendências observadas (IGAM, 2005). Com os dados obtidos nas campanhas para cada ano do projeto, tem-se o mapa da qualidade de águas destas bacias, o qual é divulgado nos meios de comunicação e está disponível com relatório completo na Internet (www.igam.mg.gov.br).

A figura 1 mostra as principais bacias hidrográficas do Estado de Minas Gerais.

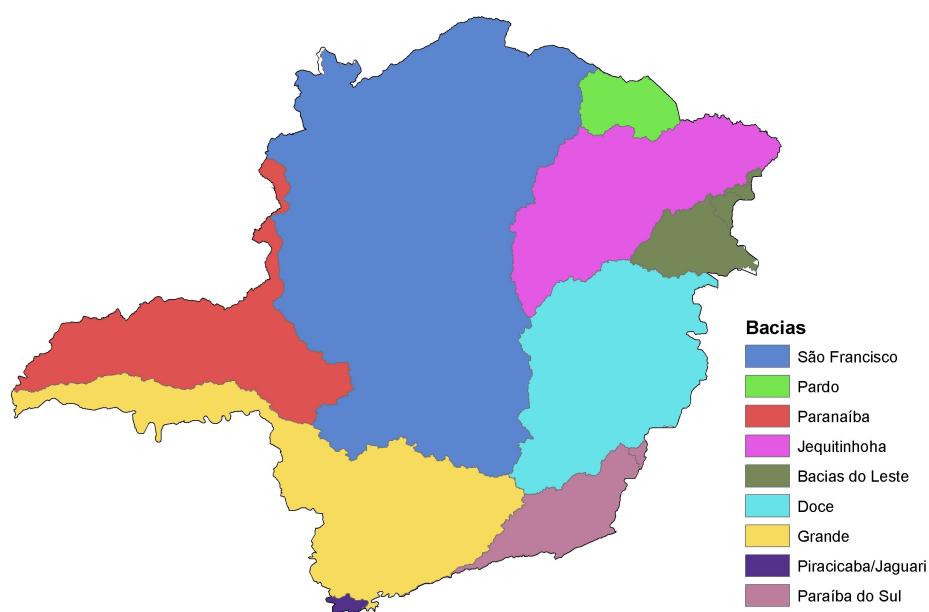


FIGURA 1. Mapa das bacias hidrográficas do Estado de Minas Gerais.

2.1.1 A Bacia do Rio das Mortes

A Bacia do Rio Grande pertence à bacia do Rio Paraná, a qual é considerada uma das mais importantes bacias hidrográficas da América do Sul. Tem uma área de 143.000 km², dos quais 86.500 km² se localizam em território mineiro (equivalente a 18% da área do estado). A área desse estudo é limitada a parte da Bacia do Rio Grande, conhecida por Alto Rio Grande. A Bacia do Alto Rio Grande situa-se no sul do Estado de Minas Gerais, abrange total ou parcialmente 64 municípios mineiros e ocupa uma área de 15 mil km² (Figura 2).



FIGURA 2. Mapa de Minas Gerais com a localização da capital estadual e da Bacia do Alto Rio Grande. Fonte: ANA.

A Bacia do Alto Rio Grande vai desde a sua nascente, a 1980 m de altitude, próximo ao parque Nacional do Itatiaia, até a foz do Rio das Mortes, a 800 m de altitude, no Município de Ijaci-MG. Esses limites foram escolhidos por já terem sido usados em estudos científicos (Santos, 1998) e pela Agência Nacional das Águas (<http://www.ana.gov.br>) na subdivisão da Bacia do Rio

Paraná. Eles correspondem, de modo geral, às bacias GD-1 e GD-2 no ordenamento de comitês de bacias hidrográficas adotado pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM).

A Bacia do Alto Rio Grande é constituída por três sub-bacias principais (Figura 3A e Figura 3B), correspondendo aos principais braços do Rio Grande: as sub-bacias do Rio das Mortes (6 mil km²), do Rio Capivari (2 mil km²) e do Rio Grande (7 mil km²).

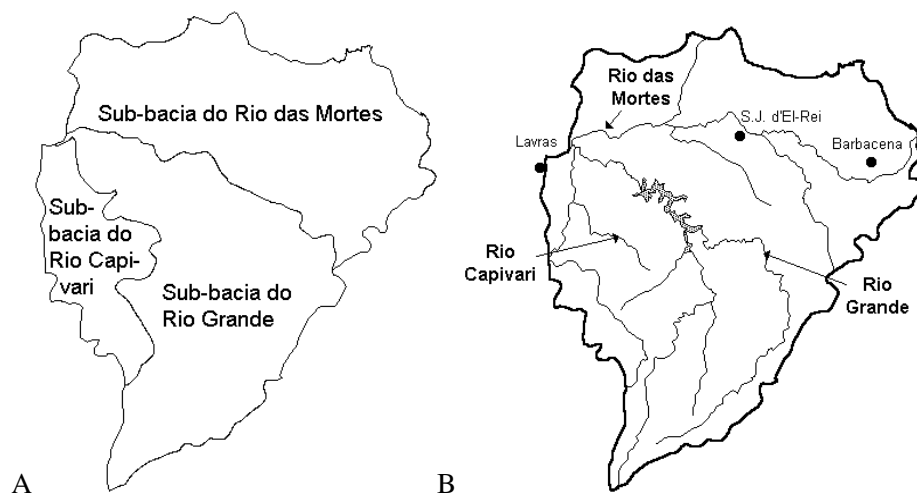


FIGURA 3. Mapas da Bacia do Alto Rio Grande mostrando: A) três principais sub-bacias (Fonte: ANA) e B) principais rios e cidades (Fonte: CETEC).

A sub-bacia do Rio das Mortes possui aproximadamente 230 km de extensão. O Rio das Mortes tem, em média, 68 m de largura, com vazão média de 113 m³ s⁻¹, próximo à confluência com o Rio Grande (Santos, 1998;

<http://www.ana.gov.br>). A sub-bacia do Rio das Mortes³ é também aquela que apresenta as maiores densidades populacionais e industriais no Alto Rio Grande.

O clima predominante na Bacia do Rio das Mortes é o tropical de altitude com invernos frios e secos e verões quentes e úmidos, Cwa e Cwb, de acordo com a classificação de Köppen (Antunes et al., 1982). A temperatura média anual é 19°C, com pequena variação entre as médias do mês mais quente (Janeiro, 21°C) e do mais frio (Julho, 15°C). A precipitação média anual é de 1450 mm, com deficiência hídrica moderada entre Maio e Setembro (Antunes et al., 1982).

Na região ocorrem rochas dos Grupos São João Del Rei (xistos, filitos, metassiltitos e metacalcários), Andrelândia (quartzitos, micaxistos com granada e cianita), Carrancas (quartzitos, filitos e xistos) e Barbacena (gnaisses, granitos, migmatitos e gabros) (Giarola et al., 1997; Marques et al., 2002a). O Grupo São João Del Rei é particularmente abundante na Bacia do Rio das Mortes. Suas rochas são formadas por sedimentos levemente metamorfizados predominantemente de textura fina (metapelitos).

A vegetação nativa da Bacia do Rio das Mortes encontra-se bastante afetada pela ação antrópica, sendo provável uma expansão do cerrado, com conseqüente retração das formas florestais nos últimos três séculos de ocupação humana. Conforme CETEC (1983), a vegetação nativa seria o cerrado, ocupando mais de 60% da área. O restante seria ocupado por florestas de galeria, Floresta Atlântica e campos rupestres.

De acordo com Curi (1994), a região Campos das Vertentes, a qual engloba a Bacia do Rio das Mortes, é uma vasta área dominada por Cambissolos e Latossolos. O relevo apresenta-se ondulado e com significativas extensões já comprometidas, em termos agrícolas, pela atividade mineradora e pela presença

³ Neste trabalho, a sub-bacia do Rio das Mortes passa a ser referida como Bacia do Rio das Mortes.

de voçorocas e sulcos. As microbacias hidrográficas dessa bacia, estudadas por Pereira (1995), apresentam altos índices de degradação física e ambiental.

A Bacia do Rio das Mortes drena uma área com processo de ravinamento acelerado, com elevado potencial de produção de sedimentos (Santos, 1998). Esses sedimentos são responsáveis pela elevada turbidez das águas. Marques et al. (2002a) consideram a erosão e a contaminação das águas como os principais problemas ambientais da Bacia do Alto Rio Grande. Ressalta-se, ainda, que os sedimentos provenientes da erosão podem conter, em condições locais específicas, concentrações substanciais de insumos agrícolas e outros elementos de origem industrial, depositados no solo e arrastados durante o estabelecimento do processo erosivo, desencadeando processos de poluição em cursos d'água (Guilherme et al., 2000).

2.2 Os compartimentos

2.2.1 Água

No século XXI, a crise da água é uma ameaça permanente à humanidade e à sobrevivência da biosfera como um todo. Esta crise tem grande importância e interesse geral. Além de colocar em perigo a sobrevivência dos componentes biológicos, incluindo o *Homo sapiens*, impõe dificuldades ao desenvolvimento, aumenta a tendência de doenças de veiculação hídrica, produz estresses sócio-econômicos e aumenta a desigualdade entre regiões e países. O crescimento populacional e as demandas sobre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos são algumas das causas fundamentais da crise (Tundisi, 2003).

Moraes & Jordão (2002) analisaram dados sobre a real disponibilidade dos recursos hídricos e o reflexo de sua degradação na saúde humana e concluíram que são alarmantes os valores estatísticos relacionados aos efeitos da água contaminada sobre a saúde humana e ao aumento na demanda de recursos hídricos.

Embora dependam da água para a sobrevivência e para o desenvolvimento econômico, as sociedades humanas poluem e degradam este recurso, tanto as águas superficiais quanto as subterrâneas. A diversificação dos usos múltiplos, o despejo de resíduos líquidos e sólidos em rios, lagos e represas e a destruição das áreas alagadas e das matas galeria têm produzido contínua e sistemática deterioração e perdas extremamente elevadas em quantidade e qualidade da água. Como a água escoar se não houver mecanismos de retenção na superfície – naturais e artificiais como, lagos, represas e florestas – perdem-se quantidades enormes da mesma e diminuem-se as reservas. Isso também ocorre nos aquíferos subterrâneos cujas reservas são recarregadas pela cobertura vegetal natural (Tundisi, 2003).

O volume de material em suspensão transportado depende do uso das bacias hidrográficas, do grau de desmatamento ou da cobertura vegetal. O material em suspensão é depositado nos deltas e estuários ou é transportado pelas correntes marítimas, acumulando-se em golfos ou baías. Represas construídas para diversos fins alteram os fluxos e o transporte de sedimentos dos rios, causando impactos principalmente nas regiões costeiras e nos deltas (Tundisi, 2003).

A contaminação de sistemas aquáticos por elementos-traço é facilitada pela dispersão de materiais particulados no ambiente. Esses elementos, uma vez no ar ou no solo, são facilmente carregados para os sistemas aquáticos, podendo ficar disponíveis ou retidos nos sedimentos. A afinidade dos elementos-traço pelas partículas sólidas, as quais tendem a se sedimentar através da coluna d'água, controla o tempo de residência e a concentração dos elementos-traço na água (Stumm & Morgan, 1996).

Elementos-traço em águas podem interagir com outros solutos, formando complexos e permanecendo na forma dissolvida. Podem, também, se unir a partículas inorgânicas ou orgânicas através de sorção e assimilação por

microrganismos, ficando, neste caso, na forma particulada. Uma vez particulado, o elemento-traço pode precipitar-se ou sedimentar-se no fundo do corpo d'água. Ele retornará à forma dissolvida através da mineralização da biota, dessorção ou ressolubilização (Guilherme et al., 2005).

A concentração de elementos-traço em águas superficiais é conseqüência de: i) geoquímica das rochas e solos de origem da bacia (metais liberados pelo intemperismo); ii) poluição antropogênica (derivada de resíduos ou deposição atmosférica); e iii) reações químicas (adsorção em partículas e outras superfícies e deposição nos sedimentos) (Stumm & Morgan, 1996). Uma quantidade significativa da fração total de elementos-traço de um rio encontra-se normalmente na fração não-dissolvida, adsorvida à superfície de partículas sólidas em suspensão. Dessa forma, as argilas e as partículas orgânicas que têm alta capacidade de sorção de muitos compostos químicos agem como meio de transporte de contaminantes nos sistemas aquáticos (Guilherme et al., 2005).

2.2.2 Sedimento

Os sedimentos são as camadas de partículas minerais e orgânicas, com freqüência finamente granuladas, que se encontram em contato com a parte inferior dos corpos d'água naturais, como lagos rios e oceanos. Nos sedimentos, a proporção entre fração orgânica e inorgânica varia substancialmente em função do local. Os sedimentos são de grande importância ambiental porque são o local onde se depositam muitos produtos químicos, especialmente elementos-traço e compostos orgânicos como PAHs e pesticidas. A partir deles, os produtos tóxicos podem ser transferidos para os organismos que habitam essa região. Por isso, a proteção da qualidade dos sedimentos é um componente do gerenciamento global da água (Baird, 2002).

Os sedimentos depositados no fundo de ambientes aquáticos constituem verdadeiros arquivos de informações de natureza biogeoquímica, uma vez que

as camadas de deposição são temporais e sequencialmente acumuladas (Mozeto, 2006). O sedimento pode ser considerado como resultado da integração de todos os processos que ocorrem em um ecossistema aquático. Do ponto de vista de ciclagem de matéria e fluxo de energia, o sedimento é um dos compartimentos mais importantes dos ecossistemas aquáticos continentais. O sedimento é de fundamental importância no estudo da evolução histórica dos ecossistemas aquáticos e dos ecossistemas terrestres adjacentes e também é importante na avaliação da intensidade e das formas de impactos a que os ecossistemas aquáticos estão ou estiveram submetidos (Esteves, 1998).

A capacidade que o sedimento tem de acumular compostos faz deste compartimento um dos mais importantes na avaliação do nível de contaminação de ecossistemas aquáticos continentais. Os compostos indicadores de contaminação ambiental encontrados nos sedimentos podem ser orgânicos, como pesticidas, ou inorgânicos, como elementos-traço. Estes podem formar compostos muito estáveis que dificilmente são liberados para a coluna d'água. Desta maneira, acumulam-se no sedimento, onde podem alcançar concentrações elevadas (Esteves, 1998).

No Brasil pode-se destacar o Projeto Qualised, que foi um projeto de pesquisa multidisciplinar desenvolvido em cooperação entre a UFSCAR (Universidade Federal de São Carlos), a UNICAMP (Universidade de Campinas) e a CETESB (Companhia Estadual de Tecnologia e Saneamento Básico do Estado de São Paulo), no período de 1999 a 2003. A meta principal do projeto foi levantar bases técnicas e científicas para a futura derivação de critérios de qualidade de sedimentos (CQS) – atualmente, mais adequadamente denominados de valores-guia de qualidade de sedimento (VGQS) para a proteção da fauna aquática. Ele teve como objeto de estudo as represas do Rio Tietê, no Estado de São Paulo. Foi levantado um significativo banco de dados, com base composta por diversas linhas de pesquisa, que visaram a determinação

de estoque de nutrientes e contaminantes nos sedimentos totais e em suas fases e propriedades biogeoquímicas, testes de toxicidade com diversos organismos-alvo e estudo das comunidades bentônicas.

Além deste projeto, no Brasil há vários trabalhos, incluindo dissertações de mestrado e teses de doutorado (Cotta et al, 2006; Falótico, 2001; Fernandes, 1997; Lacerda et al, 1990; Lacerda, 1992; Molisani, 1999; Tomazelli, 2003), que se preocuparam em estudar, exclusivamente ou não, os sedimentos de uma bacia hidrográfica, ou mesmo de lagos ou represas. Percebe-se, também, um aumento de trabalhos que se dedicam a estudar os sedimentos como um todo, sob os aspectos químicos, físicos, biológicos e toxicológicos.

2.2.3 Solo

Para Giasson (2004), o entendimento do que é o solo depende do nível de conhecimento sobre o mesmo. Desta forma, diferentes conceitos de solo têm existido, tendo significado e abrangências diferentes conforme a atividade e o conhecimento de quem o analisa.

Dependendo do ponto de vista, o solo pode ser definido por várias áreas da ciência. Porém, existe uma definição simples para as Ciências da Terra, que consideram o solo como o produto do intemperismo, do remanejamento e da organização das camadas superiores da crosta terrestre, sob a ação da atmosfera, da hidrosfera, da biosfera e das trocas de energia envolvidas. O solo desempenha um papel fundamental por se tratar de um meio intermediário entre a fase sólida (rocha) e a líquida (água) (Toledo et al., 2003).

A definição de solo descrita no Sistema Brasileiro de Classificação de Solo é: coleção de corpos naturais, constituído por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos, que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões

continentais do nosso planeta, contêm matéria viva e podem ser vegetados onde ocorrem (Embrapa, 2006).

O entendimento do solo como um importante elemento dentro dos ecossistemas, e que exerce grande influência no controle de interações ambientais, tem gerado uma nova área de estudo na Ciência do Solo. Recentemente, tem aumentado o interesse na utilização do solo como meio alternativo para auxiliar no controle da poluição ambiental. Desta forma, o solo vem sendo utilizado como descarte de resíduos com potencial poluente, como compostos de lixo, lodos de estações de tratamento de efluentes industriais, entre outros (Giasson, 2004).

A contaminação dos solos é um problema ambiental no mundo todo, principalmente por dois aspectos: (a) solos são usados para agricultura ou recreação; e (b) contaminação das águas superficiais através da erosão e das águas subterrâneas e superficiais pela migração dos metais com a água gravitacional. Além disso, os solos possuem características únicas quando comparados aos outros componentes da biosfera (ar, água e biota), pois se apresentam não apenas como dreno para contaminantes, mas também como um tampão natural que controla o transporte de elementos químicos e outras substâncias para a atmosfera, hidrosfera e biosfera (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

2.2.3.1 Classes de solo

2.2.3.1.1 Neossolos Flúvicos

São aqueles provenientes de depósitos aluviais. Normalmente possuem um horizonte escurecido sobre camadas estratificadas. São caracteristicamente muito variáveis a pequenas distâncias, tanto na horizontal quanto na vertical, (Resende et al., 1988). Normalmente, são os solos mais ricos de uma paisagem (Resende et al., 2005).

2.2.3.1.2 Gleissolos

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (Embrapa, 2006), os solos desta classe são permanente ou periodicamente saturados por água, salvo se artificialmente drenados. São solos formados em materiais originários estratificados ou não, e sujeitos a constante ou periódico excesso d'água, o que pode ocorrer em diversas situações. Comumente, desenvolvem-se em sedimentos recentes nas proximidades dos cursos d'água e em materiais colúvio-aluviais sujeitos à condição de hidromorfia, podendo tanto se formar em áreas de relevo plano de terraços fluviais, lacustres ou marinhos, como em materiais residuais em áreas abaciadas e depressões. São eventualmente formados em áreas inclinadas sob influência do afloramento de água subterrânea (surgentes). São solos que ocorrem sob vegetação hidrófila ou higrófila herbácea, arbustiva ou arbórea.

2.2.3.1.3 Cambissolos

Os Cambissolos são um grupamento de solos pouco desenvolvidos, com horizonte B incipiente, e apresentam como base e critérios para conceituação e definição desta classe: a) Base - pedogênese pouco avançada, evidenciada pelo desenvolvimento da estrutura do solo, ausência ou quase ausência da estrutura da rocha, croma mais forte, matizes mais vermelhos ou conteúdo de argila mais elevado que os horizontes subjacentes; b) Critério – desenvolvimento de horizonte B incipiente em seqüência a horizonte superficial de qualquer natureza, inclusive o horizonte A chernozêmico, quando o B incipiente deverá apresentar argila de atividade baixa ou saturação por bases baixa (Embrapa, 2006).

Os Cambissolos constituem um grupo bastante heterogêneo em termos de ambiente, embora apresentem uma relativa uniformidade morfológica (Resende et al., 1988). No Brasil, quando desenvolvidos em ardósia ou filitos,

são cobertos tipicamente por formações vegetais tipo campo limpo ou campo sujo. Quando desenvolvido de gnaisses estão, em geral, sob floresta (Resende et al., 2002).

2.3. Elementos-traço

O termo elemento-traço tem sido usado para definir metais catiônicos e aniônicos que normalmente estão presentes em baixa concentração (usualmente $<1.000 \text{ mg kg}^{-1}$) no solo (Pierzynski et al., 1994; Sparks, 1995), muito embora Al, Fe e Ti, os quais ocorrem em maiores concentrações na litosfera (principalmente em ecossistemas tropicais), também sejam tratados como elementos-traço por alguns autores (McBride, 1994; Kabata-Pendias & Pendias, 2001). Este termo tem sido preferido em diversas publicações recentes que tratam desse assunto (DePaula et al., 2001; Hayes & Traina, 1998; Kabata-Pendias & Pendias, 2001; Marques et al., 2004; McBride, 1994; Sparks, 1995; Stumm & Morgan, 1996), em detrimento da expressão metal pesado, a qual nunca foi definida por nenhum órgão oficial na área de química (por exemplo, IUPAC), tendo adquirido, pelo uso exagerado, os mais diversos significados (Duffus, 2001).

Elementos-traço estão presentes em águas superficiais e subsuperficiais e no solo, tanto em razão de processos naturais quanto devido a atividades antropogênicas. Os processos naturais que contribuem para o aparecimento de elementos-traço em águas são o intemperismo das rochas e a lixiviação de elementos no perfil do solo, enquanto as fontes antropogênicas estão associadas, principalmente, às atividades de mineração (carvão e jazidas minerais) e industriais, além da geração de efluentes municipais (Kabata-Pendias & Pendias, 2001). Fontes antropogênicas contribuem com cerca de 11%, no caso do Mn, a 96%, no caso do Pb, do total das emissões atmosféricas, além de serem responsáveis por altíssimas adições, como, por exemplo, $1,2 \times 10^9 \text{ kg}$ de Pb por

ano a ecossistemas terrestres e aquáticos (Nriagu, 1979; Nriagu & Pacyna, 1988; Nriagu, 1989).

A maior parte dos elementos-traço não existe na forma solúvel por muito tempo nas águas. Eles estão presentes principalmente em colóides em suspensão ou fixados em partículas orgânicas ou minerais. Assim, suas concentrações nos sedimentos ou no plâncton são geralmente adequadas para indicação de águas poluídas por elementos-traço (Kabata Pendias & Pendias, 2001).

A presença de quantidades excessivas de nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio, geralmente causada por ação antrópica, na forma de lançamentos de esgotos ou de águas que drenam áreas fertilizadas, pode gerar concentrações excessivas de organismos primários, formando massas vegetais densas que não chegam a ser consumidas pela seqüência das cadeias tróficas normais. Nessas condições, o excesso de população de vegetais morre e passa a ser diretamente consumido por organismos decompositores, criando condições de desequilíbrio ecológico, com grande consumo de oxigênio e produção de altas concentrações de subprodutos que alteram a composição das águas. A esse conjunto de fenômenos costuma-se dar o nome de eutrofização acelerada (Porto et al., 1991).

A eutrofização das águas interiores é considerada um dos maiores problemas ambientais em nível mundial. Os sintomas de eutrofização incluem espuma de algas e toxinas derivadas de seu florescimento, grandes infestações de plantas aquáticas, maior incidência de doenças hidricamente transmissíveis, águas turvas, odores fétidos, água com mau paladar, depleção de oxigênio dissolvido e mortandade de peixes (UNEP/IETC, 2001). O transporte de nitrogênio e fósforo nos cursos d'água e nos rios depende da concentração e das vazões, e essa relação é variável em águas correntes para diferentes formas de nitrogênio e fósforo. Dados comparativos do mundo todo indicam que, com

maiores descargas, a concentração do fósforo total aumenta de forma consistente (UNEP/IETC, 2001).

Segundo Kabata Pendias & Pendias (2001), com base em numerosos resultados de estudos, investigações e observações, os parâmetros do solo que governam os processos de adsorção e dessorção dos elementos-traço são: valores de pH e Eh, fração granulométrica fina, matéria orgânica, óxidos e hidróxidos, geralmente de Fe, Mn e Al, e microorganismo.

As contaminações regionais de solos, como reportadas mais comumente, ocorrem geralmente em áreas industriais e com grandes centros urbanos em que fábricas, veículos automotores e águas residuárias municipais são as mais impotentes fontes de elementos-traço (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

Além dos elementos-traço, outros produtos provenientes de atividades antrópicas também são responsáveis pela contaminação de ecossistemas terrestres, entre os quais se destacam os pesticidas, os quais são largamente usados na agricultura moderna para o controle de doenças de plantas e ervas daninhas. No Brasil, entretanto, o monitoramento da qualidade dos solos e água, no que diz respeito aos pesticidas, não é uma prática muito comum.

A poluição das águas por elementos-traço é um importante fator que afeta tanto o ciclo geoquímico desses elementos quanto a qualidade ambiental (Kabata-Pendias & Pendias, 2001). Porém, nos últimos anos, especialmente na década de 90, a poluição do solo tem merecido especial atenção, sendo mundialmente reconhecida como um problema que pode representar sérios riscos à saúde humana e à qualidade do meio ambiente (Guilherme, 1999).

A poluição é geralmente classificada em função de suas fontes, que podem ser pontuais e difusas. A poluição pontual advém de fontes que podem ser identificadas, como uma indústria, uma fossa séptica ou uma estação de tratamento de água, por exemplo. As fontes difusas são aquelas advindas de

emissões que se propagam por uma extensa área e se originam de atividades agrícolas, humanas, florestais, urbanas, de construção e de mineração, além de deposição atmosférica (Pierzynski et al., 1994; Sparks, 1995).

2.3.1 Fósforo

Certos elementos, como o fósforo, são fortemente retidos pelos colóides do solo, não sendo removidos com facilidade pela água de percolação. O mecanismo de perdas de fósforo mais eficiente é a erosão (Vitousek, 1983). O fósforo presente em ecossistemas aquáticos continentais tem origem de fontes naturais e artificiais. Entre as fontes naturais, as rochas da bacia de drenagem constituem a fonte básica de PO_4^{-3} para os ecossistemas aquáticos continentais. Em outras palavras, significa dizer que a quantidade de PO_4^{-3} de fonte natural no sistema aquático depende diretamente do conteúdo de PO_4^{-3} presente nos minerais primários das rochas da bacia de drenagem. Entre estas, a mais importante é a apatita (Esteves, 1998).

Outros fatores naturais que permitem o aporte de PO_4^{-3} podem ser apontados, como o material particulado presente na atmosfera e o PO_4^{-3} , resultante da decomposição de organismos alóctones. As fontes artificiais de fosfato mais importantes são esgotos domésticos e industriais e material particulado de origem industrial contido na atmosfera (Esteves, 1998). Os fertilizantes agrícolas também representam fontes de fósforo para os sistemas aquáticos.

O fósforo se apresenta nas águas de várias formas, tais como as apresentadas por Stumm & Morgan (1981) e resumidas na tabela 2.

TABELA 2 Formas de fosfato solúveis e insolúveis presentes nas águas.

| Fosfato | Formas Solúveis | Formas Insolúveis |
|------------|---|--|
| Inorgânico | $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} , PO_4^{-3} (ortofosfato) | Complexos fosfato-argilas |
| | $FeHPO_4^+$ (monohidrogeno fosfato férrico) | Complexos metal-hidróxidos |
| | $CaH_2PO_4^+$ (dihidrogeno fosfato de cálcio) | Minerais, p.e.: apatita [$Ca_{10}(OH)_2(PO_4)_6$] |
| Orgânico | Compostos orgânicos dissolvidos: fosfatases, P complexado à matéria orgânica fosfolipídeos, inositol, fosfoproteínas, etc. | |

2.3.2 Nitrogênio

O N está presente nos ambientes aquáticos sob várias formas, como, por exemplo, NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , NO_2 , NH_3 e N_2 , N-orgânico dissolvido (peptídeos, purinas, aminas, aminoácidos, etc), N-orgânico particulado (bactéria, fitoplâncton, zooplâncton e detritos) e outros (Esteves, 1998). A fonte de contaminação mais comum de N para os ambientes são os esgotos sem tratamento lançados diretamente em rios.

Recentemente, manifestou-se certa preocupação com o aumento dos níveis de nitrato na água potável, especialmente em áreas rurais. A principal fonte deste íon é o escoamento que ocorre em solos agrícolas para rios (Baird, 2002). O NO_3^- está associado a doenças como a metahemoglobinemia (síndrome do bebê azul) e, possivelmente, a certos cânceres (Sperling, 1996).

2.3.3 Cádmi

A descoberta do cádmio como elemento aconteceu em 1817, por Friedrich Strohmeyer. É encontrado em pequena quantidade na natureza, em geral associado a minérios de zinco, como a esfarelita (ZnS); ocorre também na forma de sulfeto (CdS), formando a greenockita. É quase sempre obtido como subproduto dos minérios de zinco, cobre e chumbo (Chasin & Cardoso, 2003).

Altas concentrações de cádmio podem ser encontradas em rochas sedimentares e fosfatos marinhos que, freqüentemente, contêm em torno de 15 mg kg⁻¹ de Cd (WHO, 1992).

A faixa de cádmio na água do mar é de 0,1 µg L⁻¹ ou menos. As águas dos rios contêm cádmio dissolvido nas concentrações entre <1 e 13,5 ng L⁻¹. Em áreas não conhecidamente poluídas, a concentração média de cádmio no solo tem sido de 0,2 a 4 mg kg⁻¹. Entretanto, valores muito mais altos, acima de 160 mg kg⁻¹ de Cd, ocasionalmente são encontrados no solo.

O cádmio pode entrar em sistemas aquáticos devido a inúmeros fatores, como intemperismo, erosão do solo e da rocha, descargas atmosféricas diretas devido a operações industriais, vazamentos de aterros e locais contaminados e pelo uso de lodos de esgotos e fertilizantes na agricultura (WHO, 1992).

O cádmio apresenta significativa mobilidade na água. Em águas superficiais e subterrâneas, pode ocorrer como íon hidratado ou complexado com outras substâncias orgânicas ou inorgânicas. Enquanto as formas solúveis podem se mobilizar na água, as formas não solúveis ou adsorvidas ao sedimento são relativamente imóveis. Similarmente, o cádmio no solo pode existir na forma solúvel ou complexado com constituintes orgânicos insolúveis. O Cd no solo tende a ser mais disponível quando o pH do local é baixo (ATSDR, 1997).

As maiores fontes antropogênicas de cádmio podem ser divididas em duas categorias. A primeira é relativa às atividades envolvendo mineração, produção, consumo e disposição de produtos que utilizam cádmio (bateria de Ni-Cd, pigmentos, estabilizadores de produtos de policloreto de vinila (PVC), recobrimento de produtos ferrosos e não-ferrosos, ligas de cádmio e componentes eletrônicos). A segunda categoria consiste de fontes “inadvertidas” em que o cádmio é um constituinte natural do material que está sendo processado ou consumido: metais não-ferrosos, ligas de zinco, chumbo e cobre,

emissões de indústrias de ferro e aço, combustíveis fósseis, cimento e fertilizantes fosfatados (WHO, 1992; ATSDR, 1997).

A doença conhecida como *Itai-Itai* acometeu principalmente mulheres em Jintsu, no Japão, local onde as plantações de arroz estavam altamente contaminadas por cádmio (Baird, 2002). A enfermidade consistia de osteomalácia, severa deformidade óssea, doença renal crônica, anemia e fortes dores generalizadas.

2.3.4 Chumbo

O chumbo é conhecido desde tempos antigos e é mencionado no livro do Êxodo (Vaitsman et al., 2001). O Pb é quase sempre encontrado na crosta terrestre como sulfeto de chumbo (galena). As principais fontes naturais de chumbo são emissões vulcânicas, intemperismo geoquímico e névoas aquáticas (WHO, 1995).

Estima-se que a manufatura de baterias automotivas represente 70% do consumo mundial de chumbo. Até aproximadamente 1970, quase toda a gasolina utilizada no mundo continha Pb, em muitos casos em concentrações acima de $0,4 \text{ g L}^{-1}$ (Paoliello & Capitani, 2003). O Pb é depositado em lagos, rios e oceanos proveniente da atmosfera ou da lixiviação do solo, de fontes naturais ou antropogênicas.

O teor de Pb no solo é muito influenciado por atividades antropogênicas e pelo transporte do metal através do ar, oriundo de várias fontes. Tanto a deposição seca quanto a úmida são importantes vias de contaminação dos ambientes. Estima-se que a concentração natural do Pb nas águas superficiais é de $0,02 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ (WHO, 1995).

Os níveis naturais de Pb nos solos rurais apresentam-se, normalmente, com concentrações menores de 30 mg kg^{-1} . Entretanto, nos arredores das grandes cidades, em áreas próximas a fundições ou a rodovias com alto tráfego,

as concentrações do metal podem exceder a $10.000 \text{ mg kg}^{-1}$ (Bellinger & Schwartz, 1997). Segundo Kabata-Pendias & Pendias (2001), altos níveis de Pb, acima de 100 mg kg^{-1} , têm sido registrados principalmente na Dinamarca, Japão, Grã-Bretanha e Irlanda, e provavelmente refletem o impacto da poluição.

Os sais de Pb são cumulativos no organismo e a doença correspondente chama-se saturnismo, já aparentemente detectada na Roma antiga. Tal doença é muito comum em pessoas que manipulam baterias de carros sem proteção adequada. Observa-se um baixo QI (Quociente de Inteligência) em crianças que vivem em ambientes onde haja excessiva exposição ao chumbo (Vaitsman et al., 2001).

2.3.5 Cromo

Em 1820, o dicromato de potássio já era usado como pigmento na indústria têxtil e, desde 1879, o minério cromita era rotineiramente utilizado na fabricação de refratários de alta temperatura (Silva, 2003). O Cr endurece o aço e entra na composição do aço inoxidável e de outras ligas comerciais, aos quais confere dureza e resistência sem diminuir a elasticidade. É extensivamente usado no recobrimento de peças (cromagem), o que dá um belo aspecto e previne a corrosão. Os aços inox têm de 13 a 18% de Cr. A liga denominada nicromo, constituída de Cr e Ni, é empregada em resistências e aparelhos de aquecimento (Vaitsman, 2001).

O conteúdo de Cr em rochas ígneas e sedimentares é muito baixo e, comumente, na faixa de 5 a 120 mg kg^{-1} , sendo bem mais alto em sedimentos argilosos (Kabata-Pendias & Pendias, 2001). Ainda de acordo com estes autores, a média mundial de Cr na superfície dos solos é de 54 mg kg^{-1} .

A maior parte do Cr liberado na água deposita-se no sedimento. Uma pequena porcentagem pode estar presente na água nas formas solúvel e insolúvel. As formas solúveis encontram-se como Cr VI e complexos de Cr III.

Em fase aquosa, o Cr III ocorre como partícula sólida adsorvida a materiais argilosos, orgânicos ou a óxidos de ferro. Grandes quantidades de matéria orgânica na água podem reduzir o Cr VI a Cr III (ATSDR, 2000; WHO, 1988). Em áreas onde ocorrem depósitos significativos de Cr, as fontes de água podem apresentar concentrações superiores a $50,0 \mu\text{g L}^{-1}$, valores que ultrapassam os padrões nacionais e internacionais para água potável (WHO, 1988). Em água não contaminada os valores de Cr estão na faixa de $1 \mu\text{g L}^{-1}$. Na maioria dos solos, o Cr é encontrado em baixas concentrações ($2-60 \text{ mg kg}^{-1}$) e somente uma fração desse cromo está disponível para as plantas (WHO, 1988).

As principais fontes antropogênicas que contaminam as águas superficiais e profundas são operações de galvanoplastia, curtumes e manufaturas de tecido (ATSDR, 2000). Quase todo o Cr existente no meio ambiente provém das atividades humanas (Silva, 2003).

A toxicidade do Cr depende de seu estado de oxidação, sendo o Cr VI de maior toxicidade que o Cr III. Acredita-se que um dos fatores que contribuem para esta elevada toxicidade seja a grande habilidade do Cr VI em penetrar as células, em comparação com o Cr III (ATSDR, 2000).

2.3.6 Cobre

O Cu foi descoberto aproximadamente em 9500 a.C., no atual Iraque. Os primeiros indícios de uso de Cu vieram de um sítio na Anatólia, ocupada entre 7000 e 6000 a.C. (Pedrozo, 2003).

Seu emprego mais importante é na indústria elétrica: geradores, linhas de transmissão, cabos elétricos e rolamento de motores. É também bastante usado em ligas, sendo as mais comuns o bronze (ligas com Sn) e o latão (ligas com Zn). O sulfato de cobre pentahidratado é usado como insumo agrícola e como algicida em piscinas (Vaitsman, 2001). O uso de fertilizantes e fungicidas e a deposição de partículas provenientes de fontes industriais e urbanas, ou de

atividade de mineração, elevam consideravelmente a concentração de Cu no solo. Frequentemente, solos próximos às atividades de mineração e fundição de Cu apresentam concentrações que excedem 1000 mg kg^{-1} (WHO, 1998).

O Cu é amplamente distribuído na natureza como sulfetos, arsenitos, cloretos e carbonatos. A malaquita, a calcopirita e a calcocita são as principais fontes de Cu. O conteúdo de Cu nos depósitos minerais varia de 0,5 a 5 % de peso. As rochas ígneas contêm 0,01 % do peso. Os arenitos apresentam entre 10 a 40 mg kg^{-1} e os xistos, entre 30 a 150 mg kg^{-1} de Cu (WHO, 1998).

As concentrações de Cu na superfície dos solos variam de 3 a 250 mg kg^{-1} e a classe de solo é o fator determinante do metal encontrado. Solos orgânicos e solos argilosos apresentam as maiores concentrações e solos arenosos, as menores. De acordo com Sparks (1995), o nível médio de Cu no solo é de 25 mg kg^{-1} .

As concentrações de Cu em águas variam entre 1 e $20 \mu\text{g L}^{-1}$ (WHO, 1998). Este elemento é constituinte natural do solo atingindo as águas ribeirinhas por ação das chuvas ou movimentação do solo, principal fonte de contaminação das águas e responsável por cerca de 70% do total do Cu aí presente (ATSDR, 1990).

A maior parte do Cu liberado para cursos d'água encontra-se como material particulado, o qual é precipitado ou adsorvido à matéria orgânica, ao ferro hidratado e aos óxidos de Mn e depositado em sedimentos (Pedrozo, 2003). A biodisponibilidade é geralmente pequena para as concentrações totais de metais em água. Vários processos influenciam a biodisponibilidade do Cu no sistema aquático, incluindo a complexação a ligantes orgânicos e inorgânicos, adsorção a óxidos metálicos, argila e material particulado em suspensão, bioacumulação e troca entre o sedimento e a água (WHO, 1998).

O metal forma complexos estáveis com ligantes orgânicos como o ácido húmico, ligando-se aos grupos $-\text{NH}_2$ e $-\text{SH}$ e, em menor proporção, aos grupos

-OH. As águas naturais contêm quantidades variáveis de espécies orgânicas e inorgânicas, o que afeta a capacidade de complexação e os complexos formados (Pedrozo, 2003).

Em sedimentos, o Cu liga-se primariamente à matéria orgânica, a menos que o sedimento seja pobre neste tipo de material (Pedrozo, 2003). A biodisponibilidade do Cu em sedimentos é influenciada pela presença de sulfetos, comuns nas águas doces e salgadas. Esses sulfetos solúveis em solução ácida fraca, denominados sulfetos ácidos voláteis (SAV), são um fator chave no controle da toxicidade de vários metais, dentre eles o Cu. A toxicidade destes metais não é observada quando estes se ligam aos sedimentos e quando a concentração de SVA é maior que a soma da concentração molar ali presente (WHO, 1998).

A contaminação de solos por compostos de Cu resulta da utilização de materiais como fertilizantes, águas residuárias agrícolas e municipais, e também de emissões industriais (Kabata-Pendias & Pendias, 2001). As fontes antropogênicas de Cu incluem a emissão pelas atividades de mineração e fundição, pela queima de carvão como fonte de energia e pelos incineradores de resíduos municipais (WHO, 1998). A concentração de Cu no meio ambiente pode se elevar devido às atividades antropogênicas (Pedrozo, 2003).

O Cu é um elemento essencial tanto para as plantas quanto para os animais. A toxicidade aguda causada por este elemento não é muito frequente; porém, se ocorrer, vários sintomas se apresentam no organismo contaminado.

2.3.7 Manganês

A pirolusita (MnO_2) é o mais importante minério de manganês, e o Brasil é importante produtor mundial (Serra do Navio-AP, Quadrilátero Ferrífero – MG, Carajás - PA e Urucum – MT) (Vaitsman et al., 2001).

Grande quantidade de manganês é levada a fornos elétricos para obtenção de ferromanganês, liga amplamente utilizada na produção do aço (ATSDR, 2000). É um metal abundante, compreendendo aproximadamente 0,1% da crosta terrestre; dos metais pesados, somente o ferro é mais abundante (ATSDR, 2000). O Mn é um dos elementos-traço mais abundantes na litosfera e a faixa mais comum, nas rochas, é de 350 a 2000 mg kg⁻¹. As concentrações altas estão normalmente associadas às rochas máficas (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

No solo, as concentrações do Mn dependem das características geotérmicas, das transformações ambientais dos compostos de manganês naturalmente presentes, da atividade de microorganismos e da incorporação pelas plantas (WHO, 1981). O Mn ocorre em quase todos os tipos de solo, na forma divalente ou tetravalente; sua concentração varia de 40-900 mg kg⁻¹. Dependendo da atividade de mineração, podem ser atingidos teores em torno de 7000 mg kg⁻¹ (Barceloux, 1999). Segundo Kabata-Pendias & Pendias (2001), numa escala mundial, o conteúdo médio de Mn no solo varia de 270 (Podzol) a 525 mg kg⁻¹ (Cambissolos), sendo que a média geral mundial calculada para solos é de 437 mg kg⁻¹.

Apesar de os principais minérios serem levemente hidrossolúveis, a gradual conversão em sais solúveis contribui para sua ocorrência nos rios e mares (WHO, 1981). Na água, o Mn sofre oxidação dependendo do pH, do potencial de oxirredução e da atividade microbiana (Martins, 2003).

O conteúdo de Mn na água é derivado do solo e das rochas. O material particulado suspenso nas águas pode conter concentrações apreciáveis de Mn (WHO, 1981). Frequentemente, é transportado nos rios adsorvido a sedimentos suspensos. A maior proporção do Mn encontrada nos rios da América do Sul está ligada a partículas suspensas. A tendência de os compostos de Mn serem adsorvidos nos solos e sedimentos pode ser altamente variável, dependendo,

principalmente, do pH, da capacidade de troca iônica de cátions e da composição orgânica do solo (WHO, 1999).

As toxicidades oral e dérmica do Mn são reduzidas devida à baixa solubilidade do metal. Em trabalhadores expostos ao manganês, o manganismo é caracterizado pela deterioração da função neurológica (Martins, 2003).

2.3.8 Níquel

O Ni foi isolado pela primeira vez em 1751. É usado em pilhas e baterias Ni-Cd e em ligas importantes, como aço inoxidável, ligas resistentes à corrosão e ímãs. A liga Cu-Ni é usada nos equipamentos para a dessalinização da água do mar (Vaitsman et al., 2001). O Ni é utilizado como uma das camadas base na galvanoplastia do Cr. Serve também como catalisador em certas reações de hidrogenação, como na fabricação da margarina a partir de gorduras líquidas, e é também bastante usadas na indústria de eletrônicos (Oliveira, 2003).

A maior parte do Ni ocorre juntamente com Fe e Mg, minerais de rochas metamórficas e ígneas. O minério de Ni comercialmente importante é representado por acúmulos de minerais de sulfeto de Ni nas rochas ígneas (WHO, 1991).

O Ni é introduzido na hidrosfera por remoção a partir da atmosfera (deposição natural e antropogênica), erosão dos solos e rochas, lixo municipal e descargas industriais (Oliveira, 2003). As concentrações de Ni em mananciais são geralmente menores que $2-10 \mu\text{g L}^{-1}$ (WHO, 1991).

Existe uma similaridade entre a distribuição de Ni, Co e Fe na crosta terrestre. Assim, o conteúdo de Ni é alto nas rochas ultramáficas (1400 a 2000 mg kg^{-1}) e estas concentrações decrescem com o aumento da acidez das rochas até 5 a 15 mg kg^{-1} de Ni em granitos. Rochas sedimentares contêm de 5 a 90 mg kg^{-1} de Ni. Solos em todo o mundo contêm Ni numa faixa que vai de $0,2$ a 450 mg kg^{-1} . O conteúdo alto de Ni é geralmente encontrado em solos argilosos

(Kabata-Pendias & Pendias, 2001). Os principais efeitos nocivos do Ni são alergia, rinite, câncer, além de causar efeitos imunológicos ao organismo.

2.3.9 Zinco

Há indícios históricos de que o Zn era usado na Índia, já no século XIII, e desde os tempos antigos minérios de Zn eram usados para fazer o latão. Seu uso principal é em ligas como o latão (Zn + Cu) (Vaitsman et al., 2001). O Zn pode ser encontrado no ar, no solo, na água e está naturalmente presente nos alimentos. O Zn se distribui pelo ar pela água e pelo solo como resultado de processos naturais e atividades humanas. Grande quantidade deste elemento entra no ambiente como resultado de atividades antropogênicas, como mineração, purificação de outros minérios, produção de aço, queima de carvão e de lixo. O nível de Zn aumenta no solo principalmente pela disposição de lixo originário de indústria de produção de metais e de materiais elétricos. Grande parte do Zn nas águas, como em lagos e em rios, deposita-se no fundo. Entretanto, uma pequena quantidade pode permanecer ou dissolvido na água ou como uma fina suspensão. O nível de Zn dissolvido na água pode aumentar à medida que a acidez da água aumenta, e alguns peixes podem bioacumulá-lo. Grande parte do Zn presente no solo encontra-se ligado a este e não se dissolve na água. Entretanto, dependendo das características do solo, parte do metal pode alcançar águas subterrâneas (ATSDR, 1994).

Os níveis naturais de Zn total nas águas superficiais geralmente não excedem $40 \mu\text{g L}^{-1}$. Em amostras contaminadas por atividades antropogênicas, os níveis de zinco encontrados geralmente são maiores que 4 mg L^{-1} na água (WHO, 2001). De acordo com Sparks (1995), o valor médio encontrado no solo é de 60 mg kg^{-1} e 95 mg kg^{-1} de Zn em sedimentos. O zinco é um metal essencial e, por isso, tanto a ausência quanto a exposição excessiva podem trazer efeitos nocivos (Silva, 2003).

2.4 Estudos com elementos-traço

Guilherme et al. (2002) apresentam uma ampla revisão sobre elementos-traço em solos, sedimentos e água, considerando desde sua ocorrência natural e antropogênica até os seus efeitos deletérios e fatores que afetam a sua dinâmica no ambiente. Marques et al. (2002b) apresentam uma revisão sobre o estado-da-arte do conhecimento de elementos-traço no Cerrado brasileiro e Marques et al. (2002a) discutem os principais problemas ambientais do Alto Rio Grande, com ênfase na qualidade da água.

Em relação ao ar e à água, a preocupação com a qualidade dos solos tem sido menor ou, no mínimo, menos evidenciada pelos gestores das políticas ambientais. Por exemplo, em Minas Gerais, os índices de qualidade ambiental da Agenda Marrom (Assis et al., 2002), lançados pela FEAM, não contemplam parâmetros relacionados à qualidade dos solos.

De fundamental importância para verificação da existência de contaminação de solos por elementos-traço é a determinação destes. Em solos brasileiros esta tem sido realizada por diversos autores (Curi & Franzmeier, 1987; Ker, 1995; Marques, 2000; Pinto & Kämpf, 1997). Teores naturais de elementos-traço em solos brasileiros maiores que a média mundial foram verificados em relação a Cr, Ni, Co, Zn e Cu (Pinto & Kämpf, 1987), Cr e Cu (Marques, 2000) e Hg (Roulet et al., 1999).

Dados provenientes de trabalho recente com 19 Latossolos brasileiros, realizado por Campos et al. (2003), reportam as seguintes concentrações (média \pm desvio padrão) de elementos-traço pelo método USEPA 3051: $0,66 \pm 0,19$ mg kg^{-1} de Cd, 65 ± 74 mg kg^{-1} de Cu, 18 ± 12 mg kg^{-1} de Ni, 22 ± 9 mg kg^{-1} de Pb e 39 ± 24 mg kg^{-1} de Zn. Os valores encontrados para Pb por esses autores foram, em média, 29% maiores que aqueles reportados por Pierangeli et al. (2001), trabalhando com solos semelhantes, porém usando água régia na

digestão. Este comentário é importante, pois, eventualmente, valores discrepantes de concentração de um determinado elemento-traço podem ser encontrados para solos não muito distintos devido à variação no método analítico empregado.

Ocorrências de altos teores de Pb no sangue de crianças são relatadas em locais tão diversos quanto Uruguai, Equador, Peru e Brasil (Ambiente Global, 2002). No Brasil, a contaminação de solos por elementos-traço nas proximidades de áreas industriais ou de mineração tem sido relatada (Artaxo et al., 2000; Magalhães & Pfeiffer, 1995; Magalhães et al., 2001; Matschullat et al., 2000; Ribeiro Filho et al., 1999; Silva et al., 2000; Wilcke et al., 1999). No caso particular de uma área residencial vizinha a uma indústria química fabricante de pesticidas, no Município de Paulínia-SP, uma grande porcentagem da população analisada apresentou dosagem de elementos-traço no sangue superior aos níveis de referência encontrados em populações não expostas (Guerreiro & Vassilieff, 2001). Na região do Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais, Jordão et al. (1996; 1999) encontraram solos, sedimentos de rios, plantas, águas e peixes contaminados com Cr, Cd, Mn, Pb, Cu e Ni. Nos EUA, o controle de áreas poluídas e das fontes poluidoras é realizado desde a década de 70, sendo considerado prioridade tanto por razões econômicas quanto ambientais. No entanto, apesar dos esforços realizados para redução das fontes poluidoras, estudos recentes indicam a existência de áreas contaminadas com Pb ao redor da cidade de Indianópolis e, provavelmente, ao redor da maioria das grandes cidades (Filippelli, 2002). Nesse estudo, também ficou evidenciada a existência de correlação entre a contaminação do solo e os altos teores de Pb no sangue de crianças.

Silva (2001) realizou um trabalho na Bacia do Rio das Mortes para avaliar possíveis contaminações dos solos por elementos-traço oriundos da indústria metalúrgica instalada em São João Del Rei (MG). Baseando-se na

hipótese de que a deposição de elementos voláteis como Pb, Sn, Sb, Zn, Cr, Cu, Hg e Ni, é influenciada pela direção dos ventos, escolheu-se os sentidos dominante e contrário para a amostragem dos solos. Cada transeção foi separada em quatro segmentos e em cada um deles foram marcados cinco pontos de amostragem distanciados regularmente e com incrementos crescentes (200m, 500m, 1km e 5km). Em cada ponto de amostragem foram tomadas amostras de solo nas camadas de 0-10 e 10-30cm. O ponto zero foi amostrado nas proximidades da mais importante e antiga indústria de ligas de Sn de São João Del Rei. Nestas amostras foram quantificados os conteúdos totais de elementos-traço (Pb, Sn, Sb, Zn, Cr, Cu, Hg e Ni).

Segundo Kabata-Pendias & Pendias (2001), o conhecimento dos teores naturais de elementos-traço em diferentes solos é importante para evitar que níveis irrealistas de remediação de áreas contaminadas sejam impostos. Para Evanko & Dzombak (1997), o método mais comum para determinar a contaminação por metais é a determinação da concentração através dos métodos USEPA 3050 ou 3051. Na União Européia, por outro lado, o método adotado é a extração com água régia ($\text{HCl}:\text{HNO}_3 = 3:1 \text{ v/v}$) (Gleyzes et al., 2002; Grotti et al., 2002; Quevauviller, 2002). Ressalta-se, no entanto, que os referidos métodos não extraem os teores totais, pois não promovem a dissolução total da amostra. Segundo Hoenig (2001), para fins de avaliação e monitoramento do nível de poluição no ambiente, são perfeitamente aceitáveis métodos que resultam em teores semi-totais, tais como os citados acima.

Para fins de diagnóstico ambiental, a determinação apenas da fração biodisponível não é muito útil, principalmente devido à ocorrência de diversos organismos potencialmente afetados pelos elementos-traço nos ecossistemas. Fica difícil, na maioria das vezes, definir qual organismo (plantas, animais ou microrganismos) priorizar no estabelecimento de valores críticos. Além do mais, não há um método universalmente aceito para estimar a biodisponibilidade

desses elementos em solos (Berton, 2000; King, 1996; Marques, 2002b). Sendo assim, também por esse motivo, a determinação do teor semitotal continua sendo o método mais adequado para a caracterização de áreas contaminadas com elementos-traço.

Com relação à água, a sua contaminação por elementos-traço é facilitada pela dispersão de materiais particulados no ambiente. Esses elementos, uma vez no ar ou no solo, são facilmente carregados para corpos d'água, podendo ficar disponíveis ou retidos nos sedimentos. A afinidade dos elementos-traço pelas partículas sólidas, as quais tendem a se sedimentar através da coluna d'água, controla o tempo de residência e a concentração desses na água (Stumm & Morgan, 1996).

Estudos realizados pela FEAM (2001) indicam uma elevada ocorrência de “contaminação alta” por diversos elementos e substâncias na Bacia do Rio Grande, particularmente na do Rio das Mortes. Nesse relatório, a qualidade das águas é avaliada com relação a NH₃, nitrito, As, Ba, Cd, Cu, Cr, Cr (VI), Hg, Pb, cianeto e fenóis (Assis et al., 2002). Outros elementos especialmente citados, por aparecerem em níveis acima dos limites, são o Al, Cu, Fe, fosfatos e Mn.

Sedimentos de rios e lagos funcionam como drenos de elementos-traço de diversas origens, refletindo a composição do solo das áreas em torno deles, bem como atividades antropogênicas. Assim, a concentração de elementos-traço em sedimentos constitui um indicador mais adequado para estimativas da contaminação das águas por esses elementos. Por esse motivo, para avaliar a extensão da contaminação com metais pesados em águas é essencial que amostras dos sedimentos sejam também analisadas junto com a água.

No Brasil a poluição de lagos e reservatórios de águas por elementos-traço tem sido evidenciada através da análise de sedimentos (Silva et al., 2002; Silva & Rezende, 2002). Em amostras de sedimentos provenientes do Córrego do Engenho, localizado na Bacia do Alto Rio Grande, Zuliani et al. (2002)

encontraram teores de Pb entre 15 e 69 mg kg⁻¹; Cd de <2 a 6 mg kg⁻¹; Ni de 5 a 12 mg kg⁻¹; Cu de 5 a 24 mg kg⁻¹; Mn de 7 a 1280 mg kg⁻¹ e Fe de 11 a 30 g kg⁻¹. De acordo com esses autores, os maiores teores de Pb em sedimentos estão relacionados a um depósito de lixo a céu aberto localizado <200 m a montante do ponto que apresentou 69 mg kg⁻¹ de Pb. Os teores na água de elementos-traço, contudo, foram sempre menores que 0,1 mg kg⁻¹, evidenciando a necessidade de amostrar também os sedimentos em estudos de diagnósticos ambientais (Zuliani et al., 2002).

Cotta et al. (2006) avaliaram o teor de elementos-traço em sedimentos do Rio Betari, no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR), São Paulo, e concluíram que os sedimentos analisados mostraram-se importantes compartimentos acumuladores de chumbo, zinco e cobre. Concluiu-se, então, que o Rio Betari funciona como transportador de íons para o Rio Ribeira de Iguape e que os metais encontrados nos sedimentos do PETAR refletiram a contribuição de origem natural, bem como a contribuição industrial mineradora que havia na região, pois na região havia exploração de chumbo, e mesmo tendo sido cessada sua exploração, os efeitos ambientais da atividade continuam presentes.

Para fins de monitoramento ambiental, a CETESB (2001) adota como valores de referência de solos limpos a concentração natural de ocorrência de elementos ou substâncias de interesse ambiental em solos e água. Para o estabelecimento desses valores com relação aos elementos-traço, foram amostrados 84 solos do Estado de São Paulo, e os valores utilizados representam, estatisticamente, o quartil superior do total das amostras utilizadas.

Fadigas et al. (2002) propõem valores de referência para a concentração de diversos elementos-traço em solos brasileiros, usando dados referentes à concentração natural de 256 solos. Ressalta-se, no entanto, que os dados

utilizados no referido trabalho são provenientes de diversos estudos, os quais utilizaram metodologias diferentes para extração dos elementos-traço.

Em solos da região dos Cerrados, Marques et al. (2004) amostraram 45 perfis de solo e estabeleceram as concentrações naturais de vários elementos-traço para os 15 principais tipos de solos da região. De acordo com os resultados, os solos foram separados em seis grupos com relação ao seu conteúdo de elementos-traço. Segundo esses autores, tais informações podem ser utilizadas para estimar se os outros solos da região dos Cerrados são contaminados ou não.

2.5 Legislação e valores guias de qualidade ambiental

No Brasil, a legislação referente à qualidade das águas em todo o território nacional é a resolução nº 357, de 17 de março 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Brasil, 2005), mas a legislação sobre o limite de contaminantes na água já existe desde a década de 70. Esta resolução classifica e dá diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos d'água superficiais, além de estabelecer as condições e padrões de lançamentos de efluentes. Desta forma, as águas doces de todo o território brasileiro são classificadas de acordo com a qualidade requerida para seu uso como:

I – classe especial: águas destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;
- b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e
- c) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação

de proteção integral.

II – classe 1: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;

c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático, mergulho;

d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem rente ao solo e que sejam ingeridas cruas e sem remoção de película; e plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e

e) à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

III – classe 2: águas que podem ser destinadas:

a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;

b) à proteção das comunidades aquáticas;

c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático, mergulho;

d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer com os quais o público possa vir a ter contato direto; e

e) à aquíicultura e à atividade de pesca.

IV – classe 3: águas que podem ser destinadas:

a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;

b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;

c) à pesca amadora;

d) à recreação de contato secundário; e

e) à dessedentação de animais.

V – classe 4: águas que podem ser destinadas:

a) à navegação; e

b) à harmonia paisagística.

Quanto ao sedimento, no Brasil não há uma legislação específica para níveis de elementos-traço ou contaminantes orgânicos para a proteção da vida

aquática que seja válido em todo o território nacional. Nos últimos anos tem aumentado o número de publicações que englobam, além da água e do solo, os sedimentos, porém em sua maioria sedimentos lacustres.

No Estado de São Paulo há um trabalho pioneiro, denominado *Projeto Qualised*, que levantou um banco de dados significativo para este estado, e também para o Brasil. Também há que se destacar o trabalho de Silvério (2003), parte do *Projeto Qualised*, que teve como intuito o levantamento de bases técnico-científicas para a derivação de valores-guia de qualidade de sedimentos para metais e compostos orgânicos xenobióticos.

Alguns trabalhos brasileiros, como o de Tomazelli (2003), utilizam a legislação canadense ou a norte americana como meio de interpretação e comparação dos resultados das análises de sedimentos. A legislação norte americana indica fundamentalmente dois valores referência para contaminantes em sedimentos: os valores numéricos de concentração de espécies, abaixo dos quais efeitos biológicos adversos são estatisticamente pouco prováveis (TEL - *threshold effect level*), e também valores numéricos de concentração de contaminantes, acima dos quais os efeitos biológicos adversos na comunidade aquática são estatisticamente prováveis (PEL - *probable effect level*). A legislação canadense, utiliza apenas um.

Nos países baixos, Crommentuijn et al. (2000) trabalharam com concentrações máximas permitidas para 18 elementos-traço, levando em consideração as concentrações *background* em água, sedimento, solo e ar. Como concentração máxima permitida, são consideradas as concentrações no ambiente acima das quais o risco de efeito adverso é considerado inaceitável ao ecossistema.

Na tabela 3, são apresentadas as concentrações máximas permitidas (CMP), concentração *background* (CB) e concentração negligível (CN) de elementos-traço em sedimentos segundo Crommentuijn et al. (2000).

TABELA 3 Concentração máxima permitida (CMP), concentração *background* (CB) e concentração negligível (CN) de elementos-traço em sedimentos, nos Países Baixos, de acordo com Crommentuijn et al. (2000), determinadas considerando sedimentos com 10% de matéria orgânica e 25% de argila.

| Elemento | Concentrações no sedimento | | |
|----------|----------------------------|-----|-----|
| | CMP | CB | CN |
| | mg kg ⁻¹ | | |
| Cádmio | 30 | 0,8 | 1,1 |
| Chumbo | 4800 | 85 | 132 |
| Cobre | 73 | 36 | 36 |
| Cromo | 1720 | 100 | 116 |
| Níquel | 44 | 35 | 35 |
| Zinco | 620 | 140 | 145 |

A contaminação do solo por elementos-traço é hoje um tema bastante discutido devido à presença desses elementos em diversos materiais adicionados ao solo (Abreu et al., 1995). Ainda segundo esses autores, a análise de solo e o histórico da área constituem os principais critérios para diagnóstico da disponibilidade de elementos-traço.

Há uma dificuldade de estabelecer valores-guia de elementos-traço para solos de todo o território nacional devido à grande extensão territorial, à diversificação dos ambientes e às diferenças geológicas que fazem com que certas regiões tenham teores naturalmente altos de elementos-traço. A CETESB estabeleceu, por meio de testes laboratoriais e pesquisas de campo, valores orientadores de elementos-traço e compostos orgânicos em solos e águas subterrâneas para o Estado de São Paulo. Segundo Lourenço & Landim (2005), essa lista é usada como referência para identificação de áreas consideradas já contaminadas ou suspeitas de contaminação, as quais venham oferecer risco à saúde pública. Resumidamente, os valores são divididos em valores de referência de qualidade, valores de alerta e valores de intervenção. Os *Valores de Referência de Qualidade* indicam o limite de qualidade para um solo

considerado adequado e devem ser utilizados em ações de prevenção da poluição no controle de áreas contaminadas. Os *Valores de Prevenção* indicam uma possível alteração da qualidade natural dos solos e são utilizados em caráter preventivo, quando excedidos. Os *Valores de Intervenção* indicam o limite de contaminação do solo acima do qual existe risco à saúde humana e são utilizados em caráter corretivo no gerenciamento de áreas contaminadas. Quando excedido o valor de intervenção, requer-se alguma forma de intervenção na área avaliada, de forma a interceptar as vias de exposição, devendo ser efetuada a avaliação de risco caso a caso. O Valor de Intervenção foi subdividido em: *Agrícola* (VIA), *Residencial* (VIR) e *Industrial* (VII).

Na tabela 4 são apresentados os valores orientadores para alguns elementos-traço, de acordo com CETESB (2005).

TABELA 4. Valores orientadores para elementos-traço em solos no estado de São Paulo, de acordo com CETESB (2005), determinadas de acordo com o método EPA 3050b ou 3052, ou procedimento equivalente.

| Elemento | Teor no solo mg kg ⁻¹ | | | | |
|----------|----------------------------------|-----------|----------------------|-------------|------------|
| | Referência de Qualidade | Prevenção | Valor de Intervenção | | |
| | | | Agrícola | Residencial | Industrial |
| | | | mg kg ⁻¹ | | |
| Cádmio | 0,5 | 1,3 | 3 | 8 | 20 |
| Chumbo | 17 | 72 | 180 | 300 | 900 |
| Cobre | 35 | 60 | 200 | 400 | 600 |
| Cromo | 40 | 75 | 150 | 300 | 400 |
| Níquel | 13 | 30 | 70 | 100 | 130 |
| Zinco | 60 | 300 | 450 | 1000 | 2000 |

3 HIPÓTESES

As hipóteses testadas neste trabalho são listadas a seguir:

- 1) Em locais da Bacia do Rio das Mortes, com o mínimo de interferência antrópica, os teores naturais de elementos-traço em águas, sedimentos e solos se encontram dentro de faixas de teores médios relatados na literatura para locais não contaminados.
- 2) Na Bacia do Rio das Mortes, em locais sob interferência antrópica, próximos a centros urbanos, zonas industriais e outros, existem águas, sedimentos e solos contaminados com elementos-traço potencialmente tóxicos que colocam em risco a qualidade dos recursos hídricos e demais ecossistemas desta bacia hidrográfica.

4 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho foram:

- (1) Estabelecer teores naturais de elementos-traço para solos de planícies de inundação e sedimentos de fundo de rios da Bacia do Rio das Mortes;
- (2) Identificar locais contaminados por elementos-traço na Bacia do Rio das Mortes e verificar quais são estes elementos;
- (3) Avaliar o grau de contaminação por elementos-traço em sedimentos e solos de planícies de inundação pela comparação entre os teores obtidos em locais com e sem interferência antrópica.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Levantamento dos dados

5.1.1 Empreendimentos registrados na Bacia do Rio das Mortes

Para o levantamento dos empreendimentos que podem ser considerados como fontes de elementos-traço para o ambiente, foram consultadas as bases de dados do IBGE (<http://www.ibge.org.br>), das quais foram registradas a área de cada município, a população urbana e a população rural (dados de 2000-2001) e os empreendimentos econômicos (dados de 2001).

O IBGE classifica os empreendimentos econômicos em 16 grupos:

1) Agricultura, pecuária, silvicultura e exploração florestal; 2) Pesca; 3) Indústrias Extrativas; 4) Indústrias de Transformação; 5) Produção e distribuição de eletricidade, gás e água; 6) Construção; 7) Comércio: reparação de veículos automotores, objetos pessoais e domésticos; 8) Alojamento e alimentação; 9) Transporte, armazenagem e comunicações; 10) Intermediação financeira; 11) Atividades imobiliárias; 12) Administração pública, defesa e seguridade social; 13) Educação; 14) Saúde e serviços sociais; 15) Outros serviços coletivos, sociais e pessoais; e 16) Organismos internacionais e outras instituições extraterritoriais.

Assim, para cada classe de atividade econômica obteve-se o número de empresas existentes. O resumo dos dados de interesse referentes a cada município, obtidos dos arquivos do IBGE, está descrito na tabela 5.

TABELA 5 Área territorial, residentes e indústrias dos Municípios pertencentes à Bacia do Rio das Mortes –MG (fonte: IBGE 2001).

| Município | Área km ² | Total de residentes | Residentes em área urbana | Indústrias extrativas | Indústrias de transformação |
|-----------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| Alfredo Vasconcelos | 127 | 5.101 | 3.148 | 2 | 8 |
| Antônio Carlos | 525 | 10.870 | 5.931 | * | 22 |
| Barbacena | 788 | 114.126 | 103.669 | 19 | 289 |
| Barroso | 82 | 18.359 | 17.731 | 26 | 54 |
| Bom Sucesso | 706 | 17.064 | 13.659 | 4 | 36 |
| Caranaíba | 160 | 3.549 | 1.176 | * | 3 |
| Carandaí | 486 | 21.057 | 15.781 | 5 | 37 |
| Conceição da Barra de Minas | 273 | 4.021 | 2.674 | 3 | 2 |
| Coronel Xavier Chaves | 141 | 3.185 | 1.600 | 3 | 9 |
| Dores de Campos | 127 | 8.349 | 7.170 | 1 | 115 |
| Ibertioga | 354 | 5.140 | 3.175 | * | 9 |
| Ibituruna | 159 | 2.755 | 1.987 | * | 8 |
| Lagoa Dourada | 480 | 11.486 | 6.054 | 1 | 18 |
| Nazareno | 324 | 7.240 | 5.720 | 3 | 11 |
| Oliveira | 896 | 37.250 | 32.213 | 10 | 154 |
| Piedade do Rio Grande | 323 | 5.063 | 2.839 | 1 | 7 |
| Prados | 261 | 7.703 | 4.988 | 4 | 33 |
| Ressaquinha | 189 | 4.557 | 2.503 | 7 | 13 |
| Resende Costa | | 10.336 | 7.629 | 2 | 76 |
| Ritópolis | 392 | 5.423 | 3.502 | 2 | 16 |
| Santa Cruz de Minas | 3 | 7.042 | 7.041 | 1 | 31 |
| Santa Rita de Ibitipoca | 324 | 3.847 | 2.149 | * | 7 |
| Santo Antônio do Amparo | 492 | 16.109 | 14.052 | 2 | 26 |
| São João del Rei | 1.464 | 78.616 | 73.785 | 16 | 306 |
| São Tiago | 574 | 10.245 | 7.463 | 5 | 69 |
| Tiradentes | 83 | 5.759 | 4.167 | 7 | 44 |

Para poder contar com a contribuição populacional para a dispersão de elementos-traço foi atribuída uma nota (10 pontos) para cada 10.000 habitantes de cada município, levando em consideração que:

- a) grandes aglomerados urbanos são fontes antropogênicas de elementos-traço para o ambiente, principalmente em municípios onde não existe sistema de tratamento de efluentes municipais e deposição adequada do lixo;
- b) o aumento do consumo de produtos, verificado na atual sociedade, que contém elementos-traço (como exemplo: embalagens, baterias de vários tipos) proporciona um aumento na dispersão deste no ambiente; e
- c) nos 26 municípios pertencentes à Bacia do Rio das Mortes, a proporção de habitantes na zona urbana é de 71%, destacando-se que os municípios de maior população, como Barbacena e São João Del Rei, possuem mais de 90% de sua população na zona urbana do município.

De acordo como número de indústrias (tanto extrativas quanto de transformação) registradas no IBGE, cada município recebeu 1 ponto para cada grupo de 10 indústrias. Empreendimentos de menores riscos, como pesca, construção, comunicação e educação, entre outros, não foram considerados. Para isso foi utilizado o critério de que, em se tratando de indústrias extrativistas ou de transformação, as mesmas, em alguma parte do seu processo de produção, utilizam matérias primas, maquinários, transporte, embalagens e objetos, ou mesmo produção de lixo enriquecido por elementos-traço. Essa pontuação das indústrias registradas no IBGE foi necessária porque os registros neste órgão foram sempre superiores aos registros encontrados pela na Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), conforme detalhado abaixo.

Também foi consultada uma tabela fornecida pela FEAM, na qual constava o número de empreendimentos industriais, comerciais e minerários de cada município. De posse desses dados, estabeleceram-se notas para grupos específicos de empreendimentos que refletem um potencial risco de poluição por elementos-traço (tabela 6).

TABELA 6 Classes de empreendimentos registrados na FEAM nos municípios pertencentes à Bacia do Rio das Mortes-MG e nota atribuída aos grupos de empreendimentos quanto ao potencial risco de contaminação por elementos-traço.

| Classes do empreendimento | Notas |
|---|-------|
| Cerâmica/ Cooperativas/Laticínios/outros | 1 |
| Extração de calcário/Cimento | 2 |
| Petróleo e derivados/Estação de Tratamento de Esgoto | 3 |
| Aterro/Jazidas minerais/Calçados/Indústria de papel e têxtil/saneamento | 5 |
| Curtume/Mineração/Indústrias químicas e metalúrgicas | 10 |

Cada nota atribuída às classes de empreendimentos levou em consideração os processos de produção, as matérias-primas utilizadas para a produção, o transporte e armazenamento de materiais, a produção de efluentes e resíduos próprios para cada classe de empreendimento e o produto final. A nota mais alta, portanto, foi atribuída aos empreendimentos que utilizam elementos-traço em seu processo de produção, como curtume, indústrias químicas e metalúrgicas e atividades de mineração.

Desta forma, para a identificação de locais suspeitos de contaminação (LSC), de acordo com os registros de empreendimentos em cada município no IBGE e na FEAM, foram levadas em consideração a população total, as indústrias extrativas e de transformação e os grupos de empreendimentos de acordo com maior ou menor risco suposto de contaminação por elementos-traço que sua atividade oferece.

Foram atribuídas notas às diferentes atividades e características dos municípios, para poder separar os municípios de acordo com a probabilidade de apresentarem ou não locais contaminados. Desta forma foram selecionados os municípios com diferentes áreas de interesse. Os municípios que apresentaram maior probabilidade de se encontrar contaminação (locais suspeitos de

contaminação) e os municípios com menor probabilidade de se encontrar contaminação (locais naturais).

Com a atribuição de notas por município, fez-se a soma das notas e pôde-se chegar ao resultado final para cada município (Tabela 7).

TABELA 7 Pontuação final dos municípios pertencentes à Bacia do Rio das Mortes-MG, quanto ao potencial de contaminação.

| Município | Nota final |
|-----------------------------|------------|
| Alfredo Vasconcelos | 28 |
| Antônio Carlos | 37 |
| Barbacena | 306 |
| Barroso | 83 |
| Bom Sucesso | 31 |
| Carandaí | 55 |
| Casa Grande | 7 |
| Conceição da Barra de Minas | 35 |
| Coronel Xavier Chaves | 10 |
| Dores de Campos | 174 |
| Ibertioga | 11 |
| Ibituruna | 23 |
| Lagoa Dourada | 24 |
| Nazareno | 100 |
| Oliveira | 205 |
| Prados | 101 |
| Resende Costa | 96 |
| Ritópolis | 70 |
| Santa Cruz de Minas | 12 |
| Santa Rita de Ibitipoca | 13 |
| Santo Antônio do Amparo | 55 |
| São João del Rei | 369 |
| São Tiago | 83 |
| Tiradentes | 54 |

Com base nas notas finais, os municípios foram divididos em:

- a) Municípios com baixo potencial de contaminação por elementos-traço (menor que 92 pontos, 25% do máximo dos pontos);
- b) Municípios com potencial presença de contaminação por elementos-traço (maior ou igual a 92 pontos).

Com esses dados foram selecionados os municípios que possuem locais potencialmente suspeitos de contaminação, obtendo-se o mapa que pode ser visualizado na figura 4.

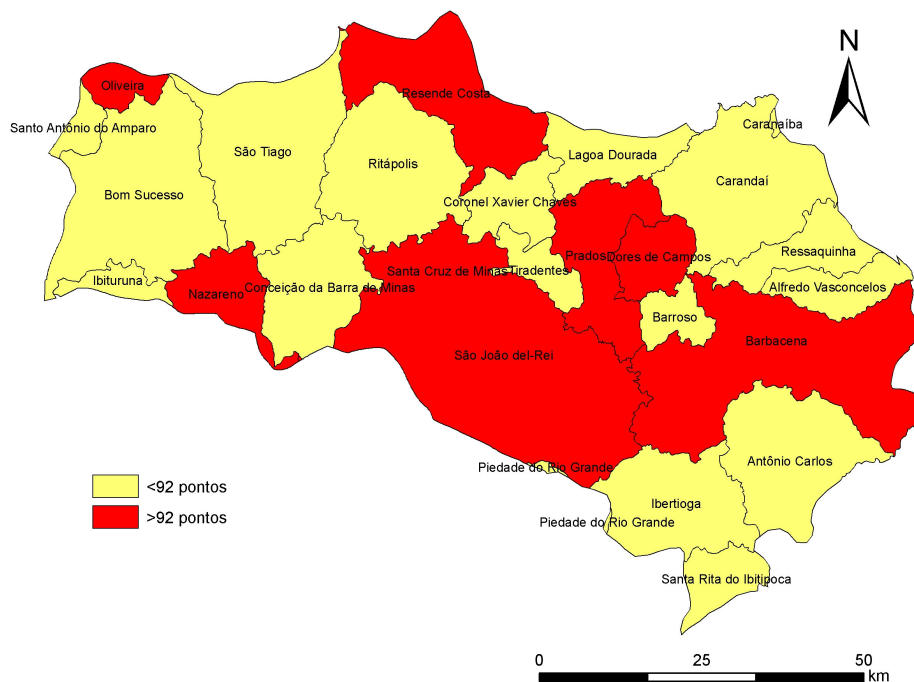


FIGURA 4. Mapa da Bacia do Rio das Mortes-MG, destacando os municípios com locais suspeitos de contaminação (limites municipais).

5.2.1 Trabalho de campo

5.2.1.1 Amostragem

Dores de Campos, Nazareno, Prados, Resende Costa, Oliveira, Barbacena e São João del Rei foram selecionados como municípios que poderiam abrigar locais com potencial contaminação por elementos-traço. Nos demais municípios, foram selecionados locais sob vegetação natural cujos solos, águas e sedimentos apresentassem o mínimo possível de interferência antrópica. O Município de Oliveira foi excluído da amostragem porque a sede do município não pertence à Bacia do Rio das Mortes e praticamente todos os empreendimentos com potencial risco estão localizados na sede ou próximos a ela.

Primeiramente foram amostrados pontos em locais suspeitos de contaminação nos municípios selecionados. Posteriormente, foram amostrados os locais naturais nos municípios considerados com pequena probabilidade de abrigar locais contaminados.

Cada município foi intensamente percorrido, procurando localizar os pontos de maior intervenção antrópica e maior chance de contaminação, e então se decidiu o local de cada ponto de amostragem. Para a amostragem, foram priorizados rios de pequeno porte para verificar a contribuição dos pequenos corpos d'água para a contaminação de rios maiores que drenam, geralmente as sedes municipais que, conhecidamente, já apresentam águas contaminadas. Além disso, rios de pequeno porte provavelmente refletem melhor as condições de uso do solo no seu entorno que rios maiores. Os rios amostrados apresentaram, em média, $3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ de vazão, 0,4 m de profundidade e 5,8 m de largura.

No mesmo curso d'água foram amostrados água e sedimento de fundo do rio, e em local muito próximo, o solo. Houve o cuidado de escolher solos que

refletissem qualquer contaminação existente nas águas, procurando coletar amostras sempre em locais que recebem as águas do rio em períodos de cheias.

5.2.1.2 Pontos de amostragem

Foram coletados 40 pontos em locais suspeitos de contaminação e 40 pontos em locais naturais; em cada ponto foram amostrados água, solo e sedimento. Os 80 pontos de amostragem foram georeferenciados. Em cada ponto fez-se uma breve descrição da vegetação atual e do uso e ocupação do solo (Anexo 1). As amostragens foram realizadas no período de 19 de maio de 2005 a 13 de julho de 2006.

Os 80 pontos de coleta e as sedes de cada município da Bacia do Rio das Mortes encontram-se indicados na figura 5. Na tabela 8 são apresentadas as coordenadas geográficas de todos os pontos amostrados na Bacia do Rio das Mortes.

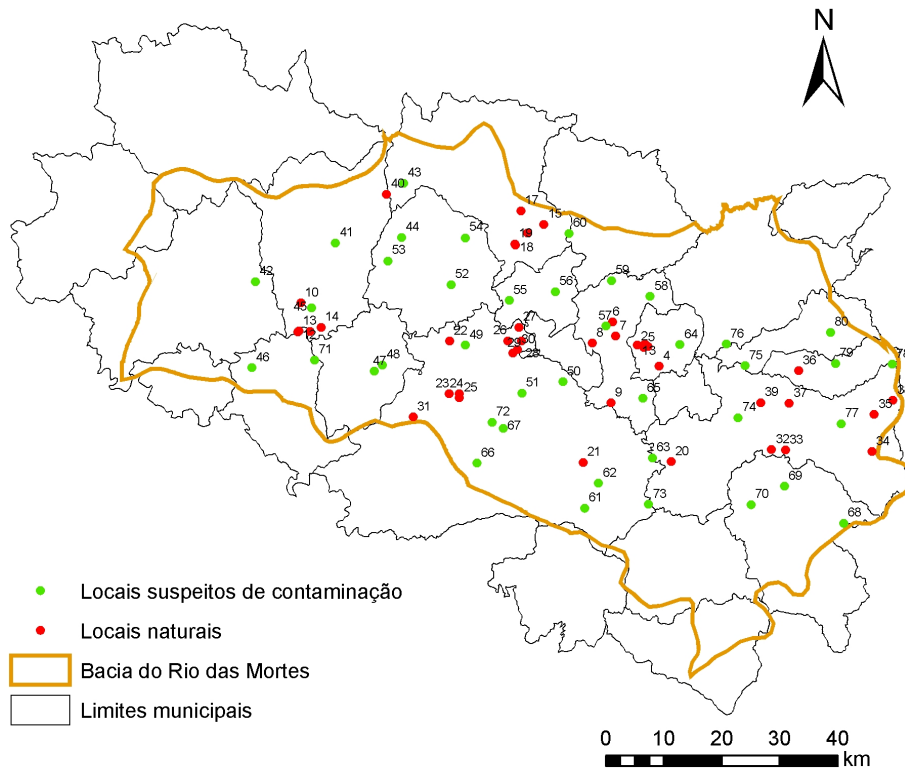


FIGURA 5. Mapa da Bacia do Rio das Mortes-MG, com a distribuição dos pontos de amostragem em locais suspeitos de contaminação e locais naturais.

TABELA 8 Pontos de amostragem de água, sedimento e solo em locais suspeitos de contaminação (1 a 40) e locais naturais (41 a 80) na Bacia do Rio das Mortes-MG.

| Ponto | Coordenadas (UTM 23K SAD 69) | Ponto | Coordenadas (UTM 23K SAD 69) |
|-------|------------------------------|-------|------------------------------|
| 1 | 600088/7665779 | 41 | 548041/7683426 |
| 2 | 601885/7665495 | 42 | 556840/7691912 |
| 3 | 601317/7665987 | 43 | 559789/7693818 |
| 4 | 603793/7662079 | 44 | 559389/7684423 |
| 5 | 601149/7665352 | 45 | 543928/7672200 |
| 6 | 595812/7669751 | 46 | 533587/7661861 |
| 7 | 596263/7667351 | 47 | 554681/7661226 |
| 8 | 592279/7666118 | 48 | 556128/7662320 |
| 9 | 595528/7655725 | 49 | 570370/7665782 |
| 10 | 542100/7673080 | 50 | 587226/7659407 |
| 11 | 543625/7668148 | 51 | 580138/7657428 |
| 12 | 541601/7668064 | 52 | 567958/7676220 |
| 13 | 541716/7668210 | 53 | 557089/7680374 |
| 14 | 545558/7668854 | 54 | 570393/7684377 |
| 15 | 583950/7686683 | 55 | 577971/7673544 |
| 16 | 581114/7685184 | 56 | 585940/7674988 |
| 17 | 579962/7689025 | 57 | 594644/7669057 |
| 18 | 579070/7683117 | 58 | 602259/7674238 |
| 19 | 578920/7683294 | 59 | 595595/7676907 |
| 20 | 605870/7645542 | 60 | 588257/7685104 |
| 21 | 590729/7645406 | 61 | 590947/7637474 |
| 22 | 567727/7666440 | 62 | 593366/7641762 |
| 23 | 567616/7657317 | 63 | 602625/7646204 |
| 24 | 569382/7657326 | 64 | 607403/7665868 |
| 25 | 569397/7656579 | 65 | 600963/7656545 |
| 26 | 577725/7666504 | 66 | 572409/7645303 |
| 27 | 579616/7668854 | 67 | 576912/7651287 |
| 28 | 580051/7666441 | 68 | 637095/7633443 |
| 29 | 578625/7664388 | 69 | 625403/7641254 |
| 30 | 579372/7664997 | 70 | 619664/7638084 |
| 31 | 561416/7653284 | 71 | 544409/7663178 |
| 32 | 623181/7647604 | 72 | 574992/7652377 |
| 33 | 625607/7647518 | 73 | 602001/7638117 |
| 34 | 640482/7647298 | 74 | 617428/7653178 |
| 35 | 640863/7653722 | 75 | 618609/7662165 |
| 36 | 627848/7661335 | 76 | 615355/7665943 |
| 37 | 626238/7655647 | 77 | 635149/7652113 |
| 38 | 644099/7656187 | 78 | 643975/7662465 |
| 39 | 621284/7655776 | 79 | 634214/7662568 |
| 40 | 534208/7676760 | 80 | 633309/7667981 |

5.3 Coleta e preservação das amostras de água e sedimento

5.3.1 Água

As amostras de água foram coletadas em frascos de polietileno de 1 L devidamente identificados e previamente descontaminados. Para a determinação de PO_4^{-3} e elementos-traço, as amostras foram filtradas em membrana de 0,45 μm para considerar, portanto, somente a fração solúvel das variáveis determinadas. Todas as amostras foram refrigeradas a aproximadamente 4°C. As amostras para a determinação dos elementos-traço foram acidificadas a $\text{pH} < 2$ com HNO_3 concentrado.

5.3.2 Sedimento e solo

As amostras de sedimento foram coletadas com pá de polietileno quando a profundidade do curso d'água permitia e com uma draga, quando necessário. As amostras de solo foram coletadas em planícies de inundação, com trado. A profundidade de amostragem foi 0–0,2 m. Em cada ponto de amostragem, cinco sub-amostras foram colocadas no mesmo recipiente de polietileno e misturadas, formando, então, uma única amostra, depois transferida para sacos devidamente etiquetados. Tal procedimento foi adotado tanto para solos quanto para sedimentos. As amostras foram, então, secas ao ar e, posteriormente, destorroadas e passadas em peneira de nylon de 2 mm de malha.

5.4 Variáveis medidas

5.4.1 Variáveis medidas *in loco*

A largura e profundidade do rio, a velocidade da corrente, o pH, a condutividade eletrolítica e a turbidez da água foram determinados *in loco*, em cada amostragem, com medidores portáteis.

5.4.2 Variáveis medidas no laboratório

O nitrogênio total foi determinado pelo método Kjeldahl, que consiste inicialmente em digestão com H_2SO_4 com catalisadores (Cu e Se). O método transforma o nitrogênio em um sal de amônio, o qual é fixado pelo ácido bórico e, posteriormente, titulado com ácido clorídrico, com normalidade conhecida até nova formação de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ na presença de um indicador ácido/base.

A quantificação de PO_4^{-3} solúvel total (filtrado em membrana de 0,45 μm) foi realizada pelo método da digestão e, posteriormente, determinada por colorimetria pelo método do ácido ascórbico. A digestão (Maher & Woo, 1998) consistiu em adicionar a 1 mL de H_2SO_4 e 0,5 g de $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ a uma alíquota de 50 mL de água previamente filtrada e aquecê-la em forno de microondas até a pressão de 140 kPa. A rampa de aquecimento foi de 10 minutos e a amostra permaneceu mais 25 minutos sob pressão de 140 kPa.

5.4.2.1 Análise de elementos-traço no sedimento e solo

5.4.2.1.1 Método de extração

Depois que as amostras foram secas ao ar e passadas através de peneira plástica de 2 mm, separou-se uma porção da amostra, que foi triturada em gral de ágata até todo o sedimento ou solo passar por uma peneira de nylon de 0,15 mm. Esta peneira foi descartada a cada amostra para que não houvesse contaminação.

Para determinação das concentrações dos elementos-traço poluentes (Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn), cerca de 1 g de sedimento ou solo foi digerido em 10 mL de HNO_3 concentrado em frascos de PTFE hermeticamente fechados, aquecidos em um forno de microondas durante 10 minutos à pressão de 0,76 MPa; nesta pressão a temperatura chegava a aproximadamente 175 °C. Após esta etapa, o material digerido foi filtrado em filtro de papel e lavado com 10 mL

de água tridestilada. Esse procedimento segue o método 3051A da Agência de Proteção Ambiental dos EUA (USEPA, 1998), que é o procedimento oficial nos EUA para determinação de elementos-traço poluentes em solos e sedimentos, e é uma medida semi-total do teor de elementos-traço, visto que nem todo o material é dissolvido. Esse método é considerado como o máximo potencialmente biodisponível em uma condição extrema (Link et al., 1998).

5.4.2.1.2 Método analítico usado para a determinação dos elementos-traço

A determinação de Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn foi feita através de espectrômetro de absorção atômica com chama de ar-acetileno, para os elementos cujas concentrações assim o permitiam, e com o espectrômetro de absorção atômica com atomização eletrotérmica em forno de grafite para a detecção dos elementos-traço em concentrações na faixa de partes por bilhão, ajustando-se as condições de leitura para cada elemento. O equipamento utilizado foi o AAnalyst 800, da Perkin Elmer.

5.4.3 Controle de qualidade do método de digestão e determinação

A determinação do fósforo e nitrogênio nas amostras de água foi realizada utilizando três repetições para cada ponto amostrado. Todas as amostras de sedimento e solo coletadas foram digeridas e determinados em três repetições (Anexos). Desta forma, para cada elemento determinado, há 240 resultados que serão, posteriormente, apresentados e discutidos.

Como controle de qualidade do método de extração e determinação de elementos-traço foram acrescentadas, para cada grupo de dez amostras de sedimento e solo, uma amostra em “branco” e duas amostras referência de solos, UFLA e Orangeburg, cujo teor de elementos-traço já é conhecido. Para evitar a contaminação das amostras por elementos-traço, para cada bateria de solo digerida foi utilizado um procedimento de limpeza dos tubos das microondas.

Esta limpeza consistiu em uma digestão somente com ácido nítrico e, posteriormente, os tubos foram lavados com água tridestilada e secos antes de serem novamente utilizados.

Na tabela 9, estão apresentados os valores esperados e obtidos para as amostras referências. Como ao todo foram realizadas 47 baterias de digestão, os resultados abaixo são relativos à média de 47 amostras.

TABELA 9 Concentração de elementos-traço das amostras referência, valores determinados e esperados (média de $n=47 \pm$ desvio padrão).

| Elemento determinado | | Solo referência | |
|----------------------|----------|---------------------|------------|
| | | UFLA | Orangeburg |
| | | mg kg ⁻¹ | |
| Cd | esperado | 5±1 | 0,15±0,10 |
| | obtido | 12±7 | 0,03±0,01 |
| Cu | esperado | - | 5±1 |
| | obtido | 25±3 | 7±2 |
| Cr | esperado | 181±12 | 10±3 |
| | obtido | 345±131 | 10±3 |
| Ni | esperado | - | 6±3 |
| | obtido | 35±7 | 6±2 |
| Mn | esperado | 50±5 | 223±17 |
| | obtido | 163±41 | 264±56 |
| Pb | esperado | 18±4 | 6±5 |
| | obtido | 17±5 | 10±4 |
| Zn | esperado | 12±3 | 17±5 |
| | obtido | 16±3 | 14±2 |

5.4.3.1 Branco do Método

Para o “branco” do método de extração e determinação de elementos-traço, foi utilizado o mesmo procedimento de digestão, porém contendo apenas o ácido nítrico, sem amostra alguma. Depois o digerido foi filtrado em filtro de papel e o filtro lavado com água tridestilada. O resultado obtido dessa forma foi chamado de branco do método e usado para calcular o limite de detecção.

5.4.3.2 Avaliação dos dados analíticos

O limite de detecção qualitativo de cada método analítico (MDL) foi calculado lendo-se a concentração da substância de interesse em sete amostras em branco e aplicando-se a fórmula abaixo (APHA, 1989):

$$MDL = (\bar{x} + t \times s) \times d \quad (1)$$

Em que: \bar{x} é o teor médio da substância de interesse em sete amostras em branco, t é o valor de Student a 0,01 de probabilidade e $n - 1$ graus de liberdade (para $n = 7$ e $\alpha = 0,01$, $t = 3,14$), s é o desvio padrão das sete amostras em branco, e d é a diluição eventualmente empregada em cada método.

Na tabela 10 estão resumidos os limites de detecção obtidos nos métodos de determinação dos elementos-traço em água, sedimento e solo.

TABELA 10. Limites de detecção dos métodos utilizados na determinação de elementos-traço em água, sedimento e solo, na Bacia do Rio das Mortes-MG.

| Elemento-traço determinado | Matriz | |
|----------------------------|------------------------------|---------------------|
| | Água | Sedimento e Solo |
| | Limite de detecção do método | |
| | mg L ⁻¹ | mg kg ⁻¹ |
| Nitrogênio total | 1,0 | - |
| Fósforo | 0,005 | - |
| | µg L ⁻¹ | |
| Cádmio | 0,1 | 0,008 |
| Cobre | 0,7 | 2,4 |
| Chumbo | 0,8 | 0,7 |
| Cromo | 1,0 | 0,5 |
| Níquel | 16,2 | 1,4 |
| Manganês | 1,2 | 11,6 |
| Zinco | 0,1 | 2,9 |

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Valores referência das características físico-químicas da água, sedimento e solo.

Para verificação das condições de contaminação nas águas analisadas, foi utilizada a legislação brasileira (Brasil, 2005), que prevê os padrões de qualidade para cada parâmetro de acordo com a classe em que o corpo d'água é classificado (tabela 11). Todos os rios e riachos amostrados foram considerados como águas classe 2, já que no monitoramento realizado pelo IGAM os rios desta bacia são assim classificados. Nesta classe, as águas são destinadas ao consumo humano, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário; à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas; a parques, jardins, campos de esporte e lazer com os quais o público possa ter contato direto, e à aquicultura (Brasil, 2005).

TABELA 11. Valores referência para parâmetros físico-químicos e elementos-traço em águas de classe 2 de acordo com a resolução CONAMA (Brasil, 2005).

| Parâmetro | Valor limite |
|----------------|--------------------|
| pH | 6—9 |
| Turbidez (UNT) | 100 |
| | mg L ⁻¹ |
| Fósforo | 0,005 |
| Cd | 0,001 |
| Cu | 0,009 |
| Cr | 0,05 |
| Mn | 0,1 |
| Ni | 0,025 |
| Pb | 0,01 |
| Zn | 0,18 |

Não há no Estado de Minas Gerais, valores orientadores para estudos ambientais no que diz respeito a sedimentos e solos. Serão utilizados para sedimentos os valores referência preconizados por Crommentuijn et al. (2000) e Sparks (1995) e valores da legislação norte-americana, que indica a concentração abaixo da qual efeitos biológicos adversos são estatisticamente pouco prováveis (TEL - *threshold effect level*) e também a concentração acima da qual os efeitos biológicos adversos na comunidade aquática são estatisticamente prováveis (PEL - *probable effect level*). Para solos, serão utilizados os valores orientadores da CETESB, Crommentuijn et al. (2000) e Sparks (1995). Na tabela 12 e 13 são apresentados os valores orientadores para alguns elementos-traço.

TABELA 12 Valores referência para elementos-traço em sedimentos de acordo com Crommentuijn et al. (2000), Sparks (1995) e EPA (2003) , determinados de acordo com o método EPA 3050b ou EPA 3052, ou procedimento equivalente.

| Referência | Cd | Cu | Cr | Mn | Ni | Pb | Zn |
|--|--------------------------------|------|------|-----|------|------|-----|
| | —————mg kg ⁻¹ ————— | | | | | | |
| Crommentuijn et al. (2000) | | | | | | | |
| Concentração Negligível (CN) | 1,1 | 36 | 116 | - | 35 | 132 | 145 |
| Concentração Máxima Permitida (CMP) | 30 | 73 | 1720 | - | 44 | 4800 | 620 |
| Concentração Background | 0,8 | 36 | 100 | - | 35 | 85 | 140 |
| | —————mg kg ⁻¹ ————— | | | | | | |
| Sparks (1995) | 0,17 | 33 | 72 | 770 | 52 | 19 | 95 |
| | —————mg kg ⁻¹ ————— | | | | | | |
| Legislação Norte Americana (EPA, 2003) | | | | | | | |
| TEL - <i>threshold effect level</i> | 0,67 | 18,7 | 52,3 | - | 15,9 | 30,2 | 124 |
| PEL - <i>probable effect level</i> | 4,21 | 108 | 160 | - | 42,8 | 112 | 271 |

TABELA 13 Valores referência para elementos-traço em solos de acordo com CETESB (2005), Crommentuijn et al. (2000) e Sparks (1995) determinados de acordo com o método EPA 3050b ou EPA 3052, ou procedimento equivalente.

| Referência | Cd | Cu | Cr | Mn | Ni | Pb | Zn |
|--|--------------------------------|-----|-----|------|-----|-----|------|
| | —————mg kg ⁻¹ ————— | | | | | | |
| CETESB (2005) | | | | | | | |
| Valor Referência de qualidade (VRQ) | <0,5 | 35 | 40 | - | 13 | 17 | 60 |
| Valor de Prevenção (VP) | 1,3 | 60 | 75 | - | 30 | 72 | 300 |
| Valor de Intervenção Agrícola (VIA) | 3 | 200 | 150 | - | 70 | 180 | 450 |
| Valor de Intervenção Residencial (VIR) | 8 | 400 | 300 | - | 100 | 300 | 1000 |
| Valor de Intervenção Industrial (VII) | 20 | 600 | 400 | - | 130 | 900 | 2000 |
| | —————mg kg ⁻¹ ————— | | | | | | |
| Crommentuijn et al. (2000) | | | | | | | |
| Concentração negligível (CN) | 0,8 | 36 | 100 | - | 35 | 86 | 140 |
| Concentração máxima permitida (CMP) | 1,6 | 40 | 100 | - | 38 | 140 | 160 |
| Concentração background (CB) | 0,81 | 36 | 100 | - | 35 | 85 | 140 |
| | —————mg kg ⁻¹ ————— | | | | | | |
| Sparks (1995) | | | | | | | |
| Média geral | 0,35 | 30 | 70 | 1000 | 50 | 35 | 90 |

6.2 Características físico-químicas da água, sedimento e solo.

6.2.1 pH, turbidez e condutividade eletrolítica

As amostras de água coletadas nos pontos, em locais suspeitos de contaminação (pontos 1 a 40), apresentaram valores de pH sempre dentro do limite estabelecido para águas de classe 2 na Resolução CONAMA 357/05, (valores entre 6 a 9), exceto o ponto 3, que apresentou valor superior (9,2), e os pontos 17 (5,7) e 37 (5,6), com valores inferiores a 6 (Figura 6). O pH das águas amostradas em locais naturais também apresentou valores dentro da faixa estabelecida para águas de classe 2.

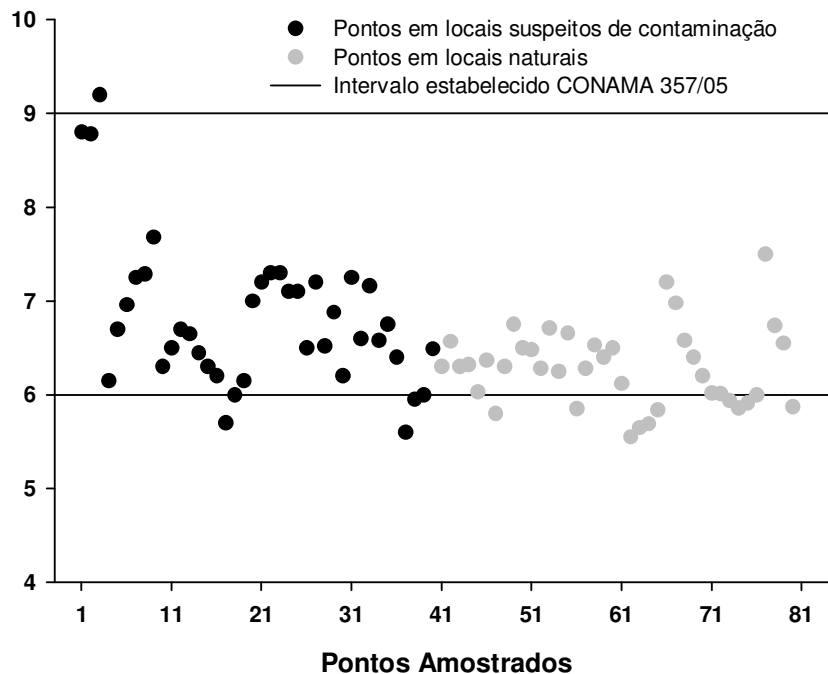


FIGURA 6. pH das águas amostradas em locais suspeitos de contaminação e locais naturais na Bacia do Rio das Mortes-MG.

Os valores médios de pH das águas amostradas em locais suspeitos de contaminação ($6,8 \pm 0,8$) foram superiores aos das águas amostradas em locais naturais ($6,3 \pm 0,4$). Esta diferença foi comprovada estatisticamente ($p < 0,05$).

A turbidez é o grau de espalhamento da luz, provocada pelos sólidos em suspensão (silte, argila e matéria orgânica) que turvam a água (Santos, 2000). Através dos resultados de turbidez, constatou-se uma pequena variação entre os pontos amostrados, porém os mesmos apresentam valores sempre abaixo do permitido pela resolução do CONAMA 357/05 (até 100 UNT-Unidade Nefelométrica de Turbidez) para águas de classe 2 (Figura 7).

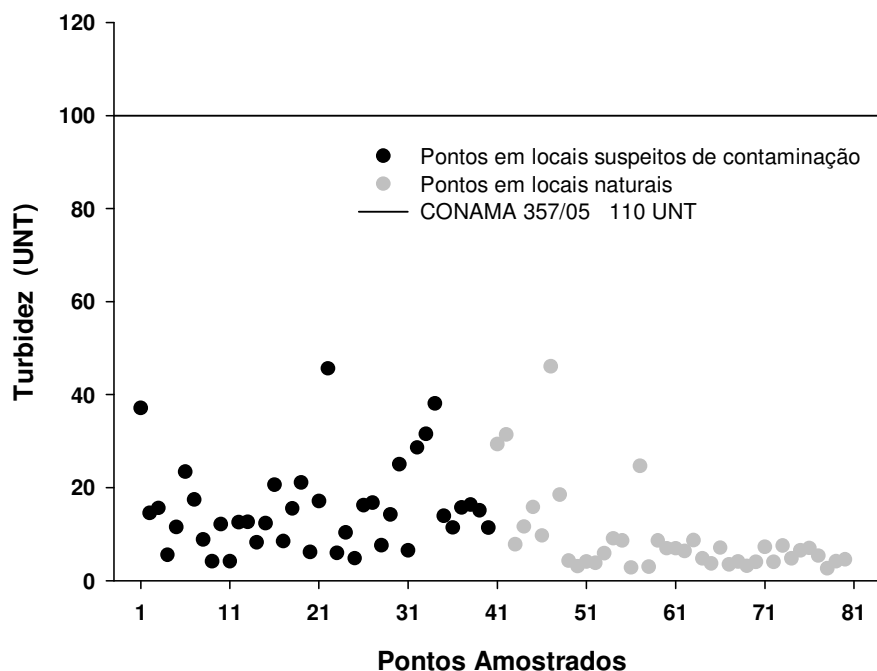


FIGURA 7 Turbidez das águas amostradas nos locais suspeitos de contaminação e nos locais naturais na Bacia do Rio das Mortes-MG.

Nos pontos amostrados em locais suspeitos de contaminação, as águas apresentaram maiores médias de turbidez (16 ± 10 UNT), o que foi comprovado estatisticamente pelo teste t ($p < 0,05$). Observou-se que em muitos pontos em que havia a descarga de esgotos diretamente nas águas, como se esperava esse valor foi bastante alto. Nos locais naturais, apenas os pontos 41, 42, 45, 47, 48 e 57 ficaram acima de 15 UNT, indicando águas bastante límpidas, sem muita influência de erosão de solos adjacentes nem descarga de efluentes. A média encontrada nos locais naturais foi 9 ± 9 UNT.

Os pontos amostrados em locais suspeitos de contaminação, 42% apresentaram valores acima de $50 \mu\text{S cm}^{-1}$, enquanto, nos locais naturais, 83%

dos pontos não superaram $30 \mu\text{S cm}^{-1}$. Utilizando o teste t ($p < 0,05$), verificaram-se valores de condutividade eletrolítica maiores ($81 \pm 88 \mu\text{S cm}^{-1}$) nos pontos amostrados em locais suspeitos de contaminação que os amostrados em locais naturais ($25 \pm 18 \mu\text{S cm}^{-1}$). Os maiores valores encontrados foram nos pontos 2, 3, 6 e 14 (na faixa de $300 \mu\text{S cm}^{-1}$). O resultado da condutividade eletrolítica dos 80 pontos amostrados na Bacia do Rio das Mortes encontra-se na figura 8.

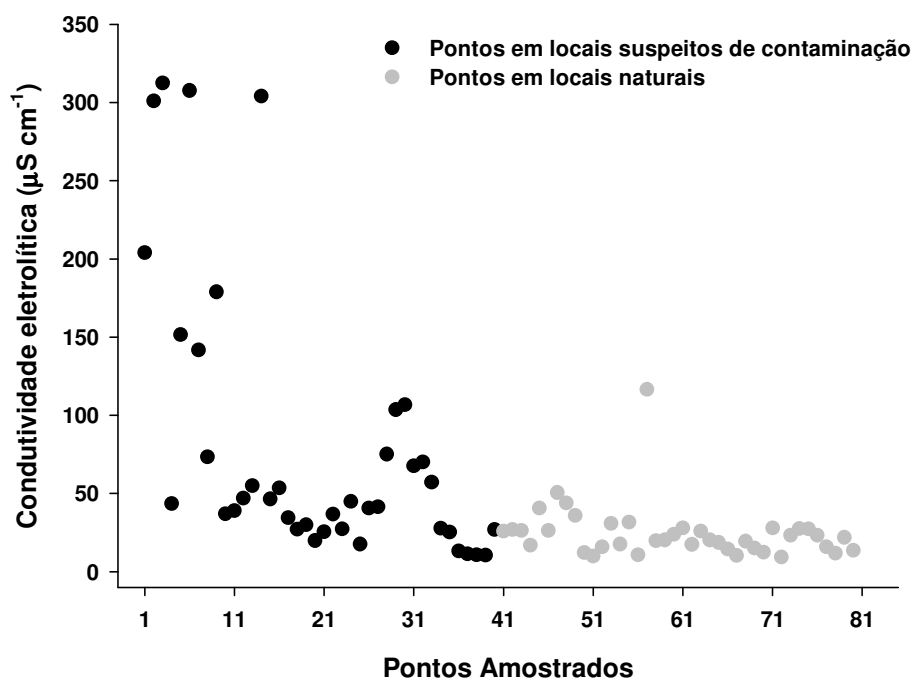


FIGURA 8 Condutividade eletrolítica das águas amostradas em locais suspeitos de contaminação e locais naturais na Bacia do Rio das Mortes-MG

6.2.2 Nitrogênio e fósforo na água

Quanto ao N, a Resolução CONAMA 357/05 não estabelece valores de N total. Nos locais suspeitos de contaminação, os pontos 2, 3, 8, 14 e 38 apresentaram águas com valores mais altos (39 ; 98 ; 40 ; 57 e 35 mg L^{-1} de N total, respectivamente) (Figura 9). Os três primeiros pontos coletados estão localizados no Município de Dolores de Campos, região onde há muitos curtumes,

selarias e produção de artigos de couro em geral. Nestes pontos, foi observada uma grande quantidade de raspas de couro lançadas diretamente nos córregos em todas as águas coletadas próximo à sede do município o que pode explicar a alta concentração de N. No ponto 3 foi registrado o maior valor de pH (9,2) entre as águas coletadas (Figura 6), a maior concentração de N (98 mg L⁻¹) (figura 9) e também a maior condutividade eletrolítica (313 μS cm⁻¹), provavelmente devido à concentração de amônia dissolvida nesta água ser alta.

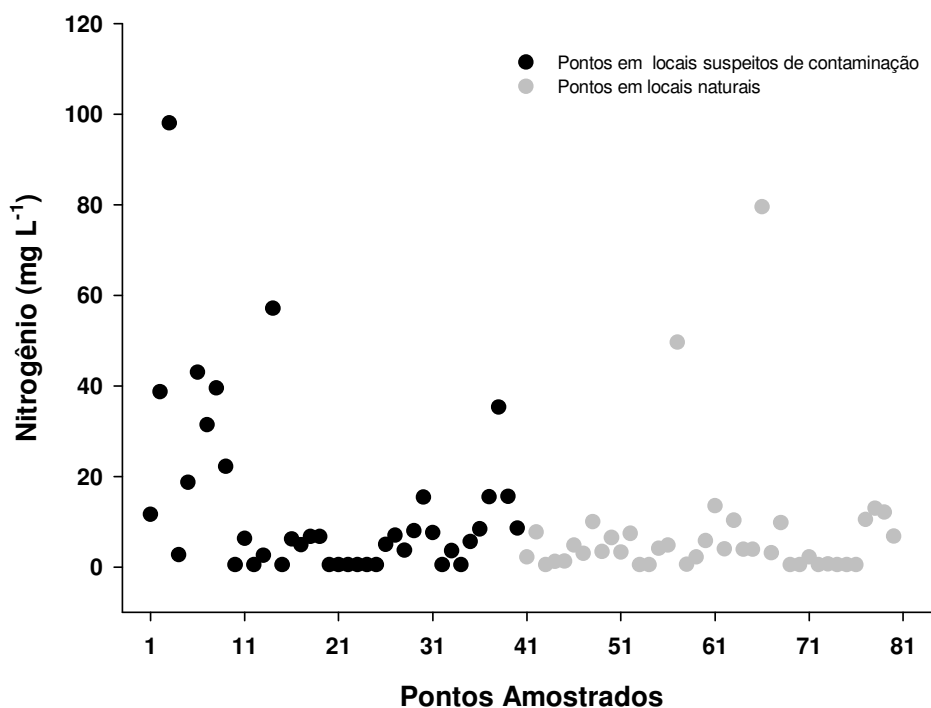


FIGURA 9 Nitrogênio total das águas amostradas em locais suspeitos de contaminação e em locais naturais na Bacia do Rio das Mortes-MG.

Nos locais naturais, dois pontos (57 e 66) apresentaram concentração de N altas (50 e 80 mg L⁻¹ de N), e no restante dos pontos as águas apresentaram baixas concentrações de N (7,4 mg L⁻¹ de N em média). Nos pontos 57 e 66, as águas não apresentavam indícios de contaminação por esgotos ou outro tipo de

interferência antrópica direta. Das águas amostradas em locais naturais, 73% apresentaram concentrações baixas de N (de 1 a 13,5 mg N L⁻¹). O valor médio de N encontrado em locais suspeitos de contaminação foi de 14 ± 20 mg L⁻¹, e em locais naturais a média foi de 7 ± 14 mg L⁻¹ de N. Quando comparam-se as águas amostradas em locais suspeitos de contaminação com as amostradas em locais naturais, não houve diferença estatística (p<0,05).

O P medido na água refere-se ao fósforo solúvel total (PST), que corresponde a todas as formas de P solúvel. Segundo Esteves (1998), este é constituído por formas inorgânicas de P mais os colóides orgânicos e polifosfatos. A fração solúvel é mais imediatamente biodisponível e é a que apresenta melhor correlação com os processos comumente associados à eutrofização (Maher & Woo, 1998). As águas coletadas na Bacia do Rio das Mortes apresentaram concentrações de PST que variaram de 0,01 a 0,32 mg L⁻¹ de P nos pontos dos locais suspeitos de contaminação. Nos locais naturais a variação foi de 0,1 a 0,23 mg L⁻¹.

Em alguns pontos de coleta em locais suspeitos de contaminação, as águas se apresentavam escuras, indicativo de lançamento de esgoto doméstico ou mesmo industrial sem tratamento. Mesmo assim, somente os pontos 3, 29, 37, 38 e 39 apresentaram valores superiores ao limite para águas da classe 2 da Resolução CONAMA 357/05 (0,11; 0,15; 0,12; 0,32 e 0,20 mg L⁻¹ de P respectivamente). Para águas desta classe, a Resolução CONAMA 357/05 estabelece o máximo de 0,10 mg L⁻¹ de P em ambientes lóticos (Figura 10). Nas amostras que representam os locais naturais, nos pontos 41, 44 e 57 a concentração encontrada foi de 0,12; 0,23 e 0,17 mg L⁻¹ de P, respectivamente. Quando comparam-se as concentrações de P das águas amostradas em locais suspeitos de contaminação com as amostradas em locais naturais, não houve diferença estatística (p<0,05).

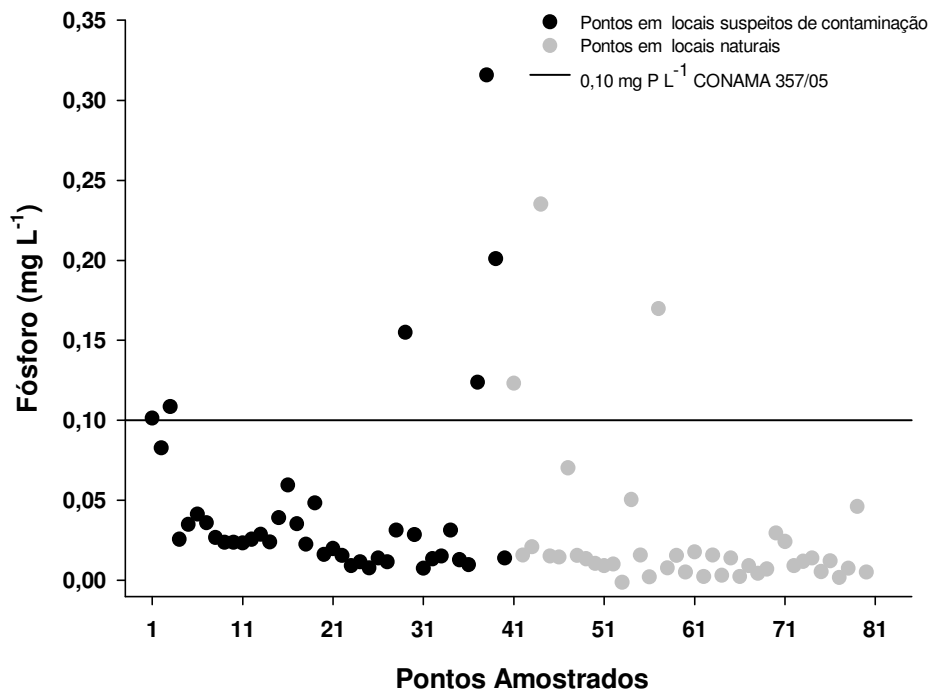


FIGURA 10. Fósforo das águas amostradas em locais suspeitos de contaminação e em locais naturais na Bacia do Rio das Mortes-MG.

6.2.3 Análises granulométricas

A análise granulométrica revelou que 85% dos sedimentos são arenosos (68 amostras), 14% são de textura média (11 amostras) e apenas um ponto apresentou textura argilosa. Os dados granulométricos para todas as amostras são apresentados na figura 11 A. Quanto aos solos, 56% (45 amostras) têm textura média, 24% (19 amostras) enquadram-se como argilosos e 20% (16 amostras) são arenosos (figura 11 B).

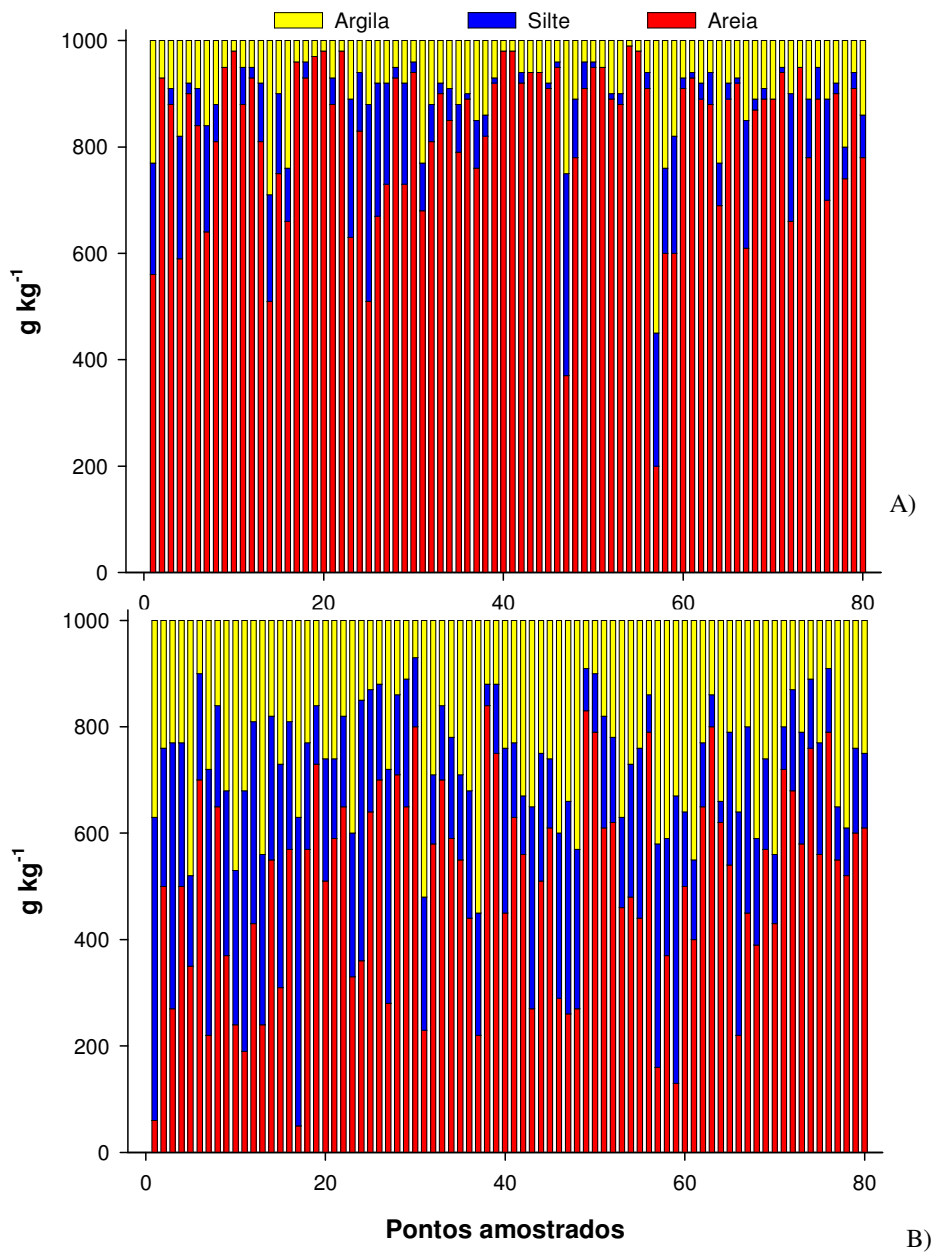


FIGURA 11. Granulometria (g kg⁻¹) das amostras de sedimentos (A) e de solos (B) dos pontos amostrados na Bacia do Rio das Mortes-MG.

As frações de grande importância para a retenção (adsorção e dessorção) dos elementos-traço são a argila e, em segundo lugar, a fração silte. A fração areia é praticamente inerte no que diz respeito à retenção de íons. Portanto, como os sedimentos apresentaram, em quase todos os pontos, uma alta porcentagem de areia, o poder de retenção dos elementos contaminantes deve ser muito pequeno. Este fato leva à recomendação que em estudos em rios com sedimentos arenosos, o procedimento de amostragem deve priorizar coletas de solos alagados frequentemente pelas águas dos rios adjacentes ou a escolhas de locais, nos rios, onde são depositados sedimentos mais argilosos. Também se pode fazer a determinação dos elementos-traço apenas na fração argila, para facilitar a detecção dos mesmos.

Assim como no estudo da Bacia do Rio das Mortes, no estudo realizado por Tomazelli (2003) em seis bacias hidrográficas do Estado de São Paulo, para verificar as concentrações de Cd, Pb e Hg, em sedimentos de fundo a fração areia também foi predominante em 15 amostras do total de 17. O máximo de argila observado foi 31%, em apenas uma bacia. Nas outras cinco bacias hidrográficas, a porcentagem de argila variou de 1 a 17 %.

6.2.4 Elementos-traço em águas, sedimentos e solos

6.2.4.1 Cádmio

As amostras que apresentaram concentrações maiores ou iguais ao limite de detecção do método (LDM) para o Cd na água ($0,1 \mu\text{g L}^{-1}$ de Cd) foram: ponto 22 ($1,6 \mu\text{g L}^{-1}$) em local suspeito de contaminação; e dos pontos 41 ($0,7 \mu\text{g L}^{-1}$), 64, 65, 73 (todos $0,1 \mu\text{g L}^{-1}$) 77 ($1,5 \mu\text{g L}^{-1}$), 78 ($1,1 \mu\text{g L}^{-1}$), 79 ($0,9 \mu\text{g L}^{-1}$) e 80 ($1,2 \mu\text{g L}^{-1}$) nos locais naturais. Destes, apenas nos pontos 22, 77, 78 e 80, a concentração de Cd ultrapassou o limite para águas de classe 2 da resolução do CONAMA 357/05 ($1 \mu\text{g L}^{-1}$ de Cd).

Na área do ponto 22, à jusante do povoado de Caburu, não há indícios de interferência antrópica intensa, como mineração ou indústrias nas proximidades, o mesmo acontecendo para os pontos 77, 78 e 80, que foram coletados em locais naturais e representam as águas próximas às nascentes que formam o Rio das Mortes. Além disso, não foram verificados, nestes pontos, teores de Cd no sedimento e no solo que pudessem explicar estes níveis na água. Falótico (2001), em estudo semelhante a este, encontrou, em águas da Bacia do Rio Piracicaba, região com alta intervenção antrópica, principalmente indústrias, alta densidade populacional e cultivo de cana-de-açúcar, $2,5 \mu\text{g L}^{-1}$ de Cd.

De acordo com o relatório de monitoramento de águas superficiais na Bacia do Rio Grande, que engloba a Bacia do Rio das Mortes, em 2004 (IGAM, 2005), nas duas coletas anuais os seis pontos amostrados na Bacia do Rio das Mortes apresentaram sempre concentrações menores que $0,5 \mu\text{g L}^{-1}$ de Cd. Em alguns estudos realizados no Brasil, como o de Carmo et al. (2005), geralmente percebe-se que quando a água não possui certo grau de contaminação, não é possível sequer a quantificação do Cd, pois os níveis naturais são muito baixos e não atingem os limites de detecção.

Os teores de cádmio nos sedimentos analisados só excederam a CB ($0,8 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cd) no ponto 14 (1 mg kg^{-1}), local suspeito de contaminação, a jusante de mineradoras já desativadas. Em nenhum ponto foi ultrapassada a CMP ($1,6 \text{ mg kg}^{-1}$) (figura 12). Destacam-se apenas os pontos 11 ($0,7 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cd) e 36 ($0,4 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cd) nos pontos amostrados em locais suspeitos de contaminação. Nos locais naturais, os pontos 53, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 75, 76, 77, 78 e 80 apresentaram concentrações que variaram entre 0,2 e $0,3 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cd.

Falótico (2001) estudou sedimentos da Bacia do Rio Piracicaba com 18% de argila, granulometria bem próxima aos sedimentos deste estudo, e encontrou $0,4 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cd. Cotta et al. (2006) analisaram sedimentos do Rio

Betari, no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira, uma região afetada por rejeitos de mineração e alta densidade populacional, e nos seis pontos amostrados foram encontrados sedimentos com baixas porcentagens de argila (< 6 %) e teores de 0,002 a 0,010 mg kg⁻¹ de Cd em dois pontos afetados por rejeitos de mineradora. Portanto, o ponto 14 amostrado na Bacia do Rio das Mortes apresentou 100 vezes mais a concentração encontrada no estudo realizado por Cotta et al. (2006). A legislação canadense indica como limite o valor a partir do qual geralmente ocorrem efeitos biológicos adversos na comunidade aquática (PEL - *probable effect level*), 3,5 mg kg⁻¹ de Cd (CCEG, 2002), e nos Estados Unidos o limite é de 4,21 mg kg⁻¹ de Cd (EPA, 2003). Portanto, quanto ao Cd, os sedimentos analisados neste estudo, exceto o ponto 14, apresentaram concentrações inferiores aos níveis considerados contaminados por atividade antrópica.

Em todos os solos amostrados, somente o ponto 39 (0,64 mg kg⁻¹ de Cd) apresentou concentração maior que a VRQ (0,5 mg kg⁻¹) determinada pela CETESB e o ponto 14 (3,85 mg kg⁻¹) superou o VIA (3,0 mg kg⁻¹) (figura 12B). O ponto 14 refere-se a um local onde havia um empreendimento de processamento de minério, já desativado na época da amostragem, e neste mesmo ponto, outros elementos como o Cu, Mn, Zn e Ni, no sedimento, e Cu, Cr, Ni, Pb e Mn, no solo, também foram mais altos. Já o ponto 39, refere-se a um local a jusante de uma fábrica de fertilizantes e de uma indústria metálica.

Em vários solos amostrados neste estudo em centros urbanos, os teores de cádmio ficaram abaixo do VRQ, concordando com o estudo realizado em 19 solos da zona urbana de Teresina-PI por Moura et al. (2006), que em todos os pontos verificaram concentrações de Cd < 0,011 mg kg⁻¹.

Os solos amostrados neste estudo apresentaram concentrações aceitáveis de Cd, destacando-se o ponto 39, pois a provável fonte de cádmio para este ambiente são as indústrias das proximidades, já que este elemento pode se

acumular no solo e, depois de algum tempo, atingir níveis críticos. O solo do ponto 14, que superou o VIA, pode ser considerado contaminado, pois nenhum outro solo da bacia apresentou valores próximos ao encontrado neste ponto. A concentração determinada neste solo é duas vezes superior ao aceito para solos agrícolas na legislação canadense ($1,4 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cd).

Para uma melhor visualização dos pontos de amostragem em que foram detectados valores acima dos limites da classe (água) ou valores de orientação de qualidade (sedimento e solo), foram elaborados os mapas de cada matriz estudada. Na figura 12, portanto, pode-se visualizar as faixas de concentração de Cd encontradas nas águas, nos sedimentos e nos solos.

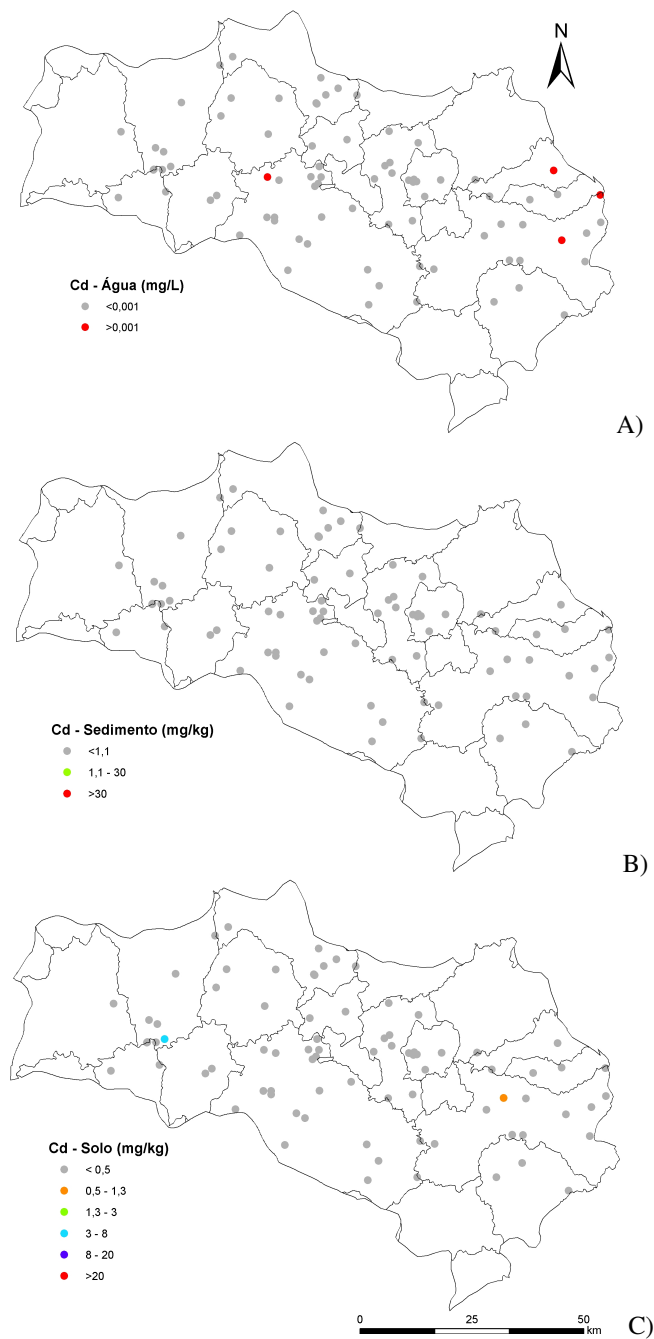


FIGURA 12. Mapas com faixas de concentração de Cd, detectadas em águas (mg L^{-1}) (A), sedimentos (mg kg^{-1}) (B) e solos (C) (mg kg^{-1}), na Bacia do Rio das Mortes-MG.

6.2.4.2 Chumbo

Nas águas amostradas em locais suspeitos de contaminação, nos pontos 26, 27, 28, 29, 30, 37 e 39, o limite da classe 2 ($10 \mu\text{g L}^{-1}$ de Pb) foi superado, destacando-se o ponto 30, que apresentou concentração de chumbo cinco vezes maior que o permitido. Nas amostras de água das locais naturais, 50% apresentaram valor abaixo do LDM ($0,8 \mu\text{g L}^{-1}$ de Pb), sendo que apenas no ponto 41 ($12 \mu\text{g L}^{-1}$ de Pb) foi ultrapassado o limite da classe 2. Neste ponto, não foi encontrada alta concentração de Pb no sedimento e no solo que pudesse explicar o valor encontrado na água.

Os pontos 26 a 30 foram coletados na área urbana de São João del Rei e os pontos 37 e 39, em Barbacena. No monitoramento do IGAM, nos pontos amostrados no Rio das Mortes, um a jusante da cidade de São João Del Rei, e o outro próximo à sua foz, no Rio Grande, as concentrações encontradas nas duas medições anuais foram 12-18 e 6-10 $\mu\text{g L}^{-1}$ de Pb para os dois pontos, respectivamente. No ponto a jusante da cidade de Barroso foram encontrados 13 $\mu\text{g L}^{-1}$ de Pb. A concentração de Pb encontrada por Falótico (2001) nas águas do Rio Piracicaba ($15 \mu\text{g L}^{-1}$ de Pb), região de grande intervenção antrópica, foi igual a média encontrada neste estudo nos pontos que superaram o limite para águas de classe 2. Portanto, percebe-se que a jusante das cidades mais industrializadas da bacia, as águas apresentam-se, em alguns pontos, com concentrações acima do que é normalmente encontrado em águas superficiais sem interferência antrópica. Isto pode ser confirmado quando se observam as concentrações de Pb nas águas amostradas em locais naturais, cujos valores encontrados foram na faixa de $<0,79$ a $3,8 \mu\text{g L}^{-1}$ de Pb (como descrito acima, 50% ficaram abaixo do LDM) e esses valores são comparados com os dos locais suspeitos de contaminação.

A concentração de Pb no sedimento não ultrapassou a concentração negligível (132 mg kg^{-1}) em nenhum ponto (figura 13B). O máximo encontrado

foi 37 mg kg^{-1} no ponto 14 (local suspeito de contaminação), e no ponto 18, a concentração encontrada foi de 33 mg kg^{-1} de Pb. O ponto 14 localiza-se a jusante de um empreendimento de processamento de minério, já desativado na época da amostragem, e neste mesmo ponto, outros elementos como o Cu, Mn, Zn, Ni, no sedimento, e o Pb, no solo, também foram mais altos, com já comentado anteriormente. Segundo Sparks (1995), a concentração média mundial de Pb encontrada em sedimentos é de 19 mg kg^{-1} ; este valor foi ultrapassado em 16 % dos 80 pontos amostrados em toda a bacia.

Tomazelli (2003) comparou teores de Pb em sedimento de seis bacias do Estado de São Paulo, determinando apenas na fração menor que $63 \mu\text{m}$, e encontrou concentrações, para o Rio Piracicaba, de 26 a 33 mg kg^{-1} de Pb, e para o Rio Mogi-Guaçu, de 33 a 37 mg kg^{-1} de Pb. As bacias destes dois rios são conhecidas por alta densidade demográfica e industrialização. Cotta et al. (2006) encontraram, nos sedimentos do Rio Betari-SP, concentrações de Pb que variaram de 116 a 7570 mg kg^{-1} , sendo que os valores mais altos foram encontrados no Rio Mogi-Guaçu. Nos sedimentos do Rio Piracicaba estudados por Falótico (2001), a concentração encontrada foi de 60 mg kg^{-1} de Pb. Os estudos acima se referem a áreas sob intensa atividade antrópica; portanto, os sedimentos apresentaram-se muito mais enriquecidos por Pb que os da bacia do Rio das Mortes. É importante ressaltar que os pontos que apresentaram concentrações maiores que 20 mg kg^{-1} de Pb no sedimento dos locais suspeitos de contaminação foram 4, 14, 15, 17, 18, 23, 25, 29, os quais representam região de curtumes, mineração, industrialização e proximidade de rodovias, e que a porcentagem de argila nos sedimentos foi bastante baixa, em média 10%, tratando-se, portanto, de sedimentos com baixa capacidade de retenção de elementos-traço. As concentrações de Pb encontradas, mesmo nos locais suspeitos de contaminação da Bacia do Rio das Mortes, foram sempre muito mais baixas que os valores encontrados em ambientes contaminados, tanto por

atividades mineradoras e industriais quanto por urbanização acentuada, como descritos nos trabalhos de Cotta et al. (2006) e Falótico (2001).

De quarenta solos amostrados em locais suspeitos de contaminação, os valores de Pb ultrapassaram o VRQ (17 mg kg^{-1} de Pb) em 29 dos pontos (2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 32, 33, 34, 36, 37, 39 e 40) e o ponto 14 (156 mg kg^{-1} de Pb) ultrapassou o VP (72 mg kg^{-1} de Pb). Nos solos dos locais naturais, 38% pontos (41, 43, 44, 47, 49, 52, 53, 55, 58, 59, 62, 66, 68, 69 e 73) excederam o VRQ (figura 13C).

No estudo realizado por Cotta (2003) nos solos sob influência de rejeitos de mineração, os valores encontrados foram de 33 a 304 mg kg^{-1} de Pb. A jusante de um bairro residencial, variaram de 28 a 209 mg kg^{-1} de Pb. Nesse estudo, as camadas de 0 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 30 cm foram coletadas separadamente e verificou-se que as camadas mais profundas apresentavam maiores concentrações de Pb. Em solos urbanos estudados por Moura (2006), a média encontrada foi de 9 mg kg^{-1} de Pb e o máximo encontrado foi de 36 mg kg^{-1} .

O maior valor encontrado para o Pb nos solos amostrados na Bacia do Rio das Mortes foi no ponto 14 (à jusante de mineradoras já desativadas), comparável aos solos sob influência de rejeitos de mineração estudados por Cotta (2003). A média geral para os solos dos pontos em locais suspeitos de contaminação foi de 22 mg kg^{-1} de Pb e, em locais naturais, foi de 15 mg kg^{-1} de Pb. Como o Pb é um elemento cumulativo no solo, percebe-se que a coleta em áreas urbanas, zonas de mineração e curtumes apresentou maiores concentrações deste elemento; a mesma tendência foi observada neste estudo para águas e sedimentos. Observando os dados da concentração de Pb nos 80 pontos amostrados em toda a bacia do Rio das Mortes, verifica-se que o valor de referência de qualidade (17 mg kg^{-1} de Pb) para os solos do Estado de São Paulo, preconizados pela CETESB (2005), não são adequados para os solos amostrados

na Bacia do Rio das Mortes. Muitos pontos amostrados excederam o VRQ, como comentado anteriormente, e esses valores parecem ser naturais da região. Na figura 13, pode-se visualizar as faixas de concentração de Pb encontrada nas águas, nos solos e sedimentos.

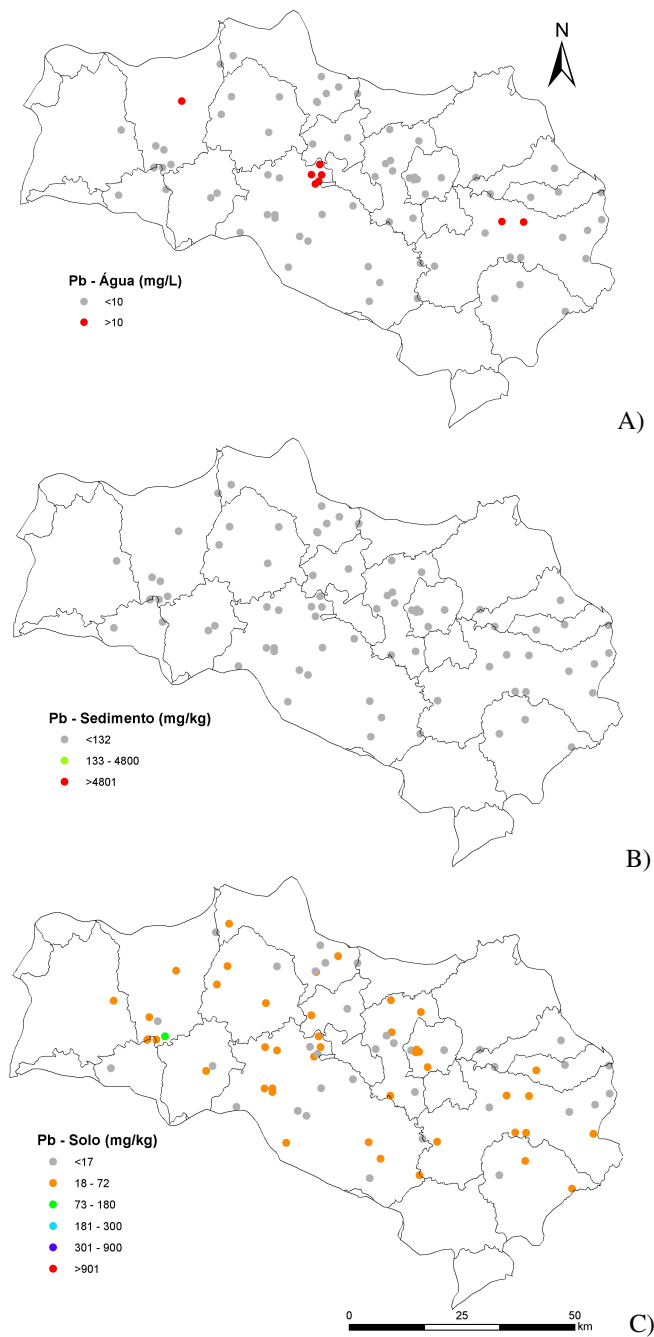


FIGURA 13. Mapas com faixas de concentração de Pb, detectadas em águas ($mg L^{-1}$) (A), sedimentos ($mg kg^{-1}$) (B) e solos (C) ($mg kg^{-1}$), na Bacia do Rio das Mortes-MG.

6.2.4.3 Cobre

O LDM para o Cu em água foi de $0,67 \mu\text{g L}^{-1}$. Em apenas nove pontos a concentração foi menor que este limite. A média geral encontrada nas águas dos locais suspeitos de contaminação foi superior ($4 \mu\text{g L}^{-1}$) à média dos locais naturais ($2,6 \mu\text{g L}^{-1}$). Os resultados obtidos para o Cu solúvel superaram o valor limite ($9 \mu\text{g L}^{-1}$ de Cu) para águas de classe 2 apenas nos pontos 7, 11, 22, 23 (locais suspeitos de contaminação), 58 e 78 (locais naturais). Os dois maiores valores obtidos em locais suspeitos de contaminação foram os pontos 22 e 23 (23 e $22 \mu\text{g L}^{-1}$ de Cu respectivamente), e nos locais naturais, o ponto 58 ($26 \mu\text{g L}^{-1}$) (figura 14A).

No monitoramento realizado pelo IGAM em 2004, nos seis pontos monitorados na Bacia do Rio das Mortes, a concentração de Cu variou de <4 a $11 \mu\text{g L}^{-1}$ de Cu, o que, portanto, corrobora com a concentração média encontrada nas águas amostradas neste estudo. A concentração de Cu na água verificada na Bacia do Rio das Mortes também está coerente com a encontrada por Falótico (2001) em águas do Rio Piracicaba, que verificou a maior média de $5 \mu\text{g L}^{-1}$ de Cu, e com a concentração média normalmente encontrada em águas que é de 1 a $20 \mu\text{g Cu L}^{-1}$ (WHO, 1998).

Quanto ao teor de Cu nos sedimentos amostrado em toda a Bacia do Rio das Mortes, 75 amostras não atingiram a CN (36mg kg^{-1}). Apenas os sedimento dos pontos 7, 11, 14 e 31 (locais suspeitos de contaminação) e 57 (local natural) alcançaram este valor e a CMP (70mg kg^{-1}) foi superada nos pontos 11 (153mg kg^{-1}) e 14 (159mg kg^{-1}) (figura 14B). Os pontos 11 e 14 estão em áreas diretamente influenciadas por mineradoras e isso pode explicar esses valores mais elevados. Estas concentrações de Cu encontradas no sedimento dos pontos 11 e 14 superaram o limite a partir do qual geralmente ocorrem efeitos biológicos adversos na comunidade aquática (PEL- *probable effect level*), de 108mg kg^{-1} de Cu, preconizado pela EPA (EPA, 2003).

A concentração de Cu encontrada nos pontos 11 e 14 corrobora os valores determinados por Cotta et al. (2006) em sedimentos do Rio Betari-SP, com menos de 6% de argila, que foi de 27 a 133 mg kg⁻¹ de Cu, e com os determinados por Falótico (2001), que encontrou a maior média, 41 mg kg⁻¹, em sedimentos do Rio Piracicaba, sendo que o teor de argila para este valor foi de 7%, portanto próximo aos 5% de argila do ponto 11. As médias de concentração de Cu em todos os sedimentos dos pontos dos locais suspeitos de contaminação e dos locais naturais foram de 19 mg kg⁻¹ e 11 mg kg⁻¹, respectivamente.

Quanto ao Cu nos solos, dos quarenta pontos amostrados nas locais suspeitos de contaminação, o teor ficou abaixo do VRQ (35 mg kg⁻¹) em 32 pontos. Nos pontos 10 (36 mg kg⁻¹) e 12 (41 mg kg⁻¹), este valor foi superado. Já nos pontos 7 (100 mg kg⁻¹), 11 (96 mg kg⁻¹), 13 (71 mg kg⁻¹), 14 (117 mg kg⁻¹), 23 (70 mg kg⁻¹) e 31 (68 mg kg⁻¹), os teores superaram o VP (60 mg kg⁻¹), porém nenhum deles chegou ao VIA. Nos pontos referentes aos locais naturais, o ponto 45 (38 mg kg⁻¹) superou VRQ e o ponto 57 (88 mg kg⁻¹), o VP. Os pontos 10, 11, 12, 13 e 14 estão numa área conhecida por várias atividades mineradoras nos Municípios de Nazareno e São Tiago (figura 14C). O ponto 7 foi coletado a jusante da cidade de Prados, e também foram encontradas concentrações mais altas de Cu na água (12 µg L⁻¹ de Cu) e no sedimento.

De acordo com Sparks (1995), o nível médio de Cu no solo é de 25 mg kg⁻¹. Catorze solos amostrados em locais suspeitos de contaminação superaram este valor, enquanto, nos locais naturais, apenas seis pontos apresentaram valores superiores a este nível médio. Em solos urbanos estudados por Moura et al. (2006), o máximo encontrado foi de 17 mg kg⁻¹ de Cu e a média foi de 6 mg kg⁻¹ de Cu; nos solos do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira- SP estudados por Cotta (2003), o teor de Cu encontrado foi de 25 a 92 mg kg⁻¹, sendo esta a maior média encontrada a jusante de um bairro. Desta forma, os níveis de Cu encontrados nos solos dos locais suspeitos de contaminação estão

de acordo com o que foi encontrado por estes autores em solos sob influência antrópica. Ou seja, em solos sob influência de mineração as concentrações de Cu são ligeiramente maiores que em solos urbanos.

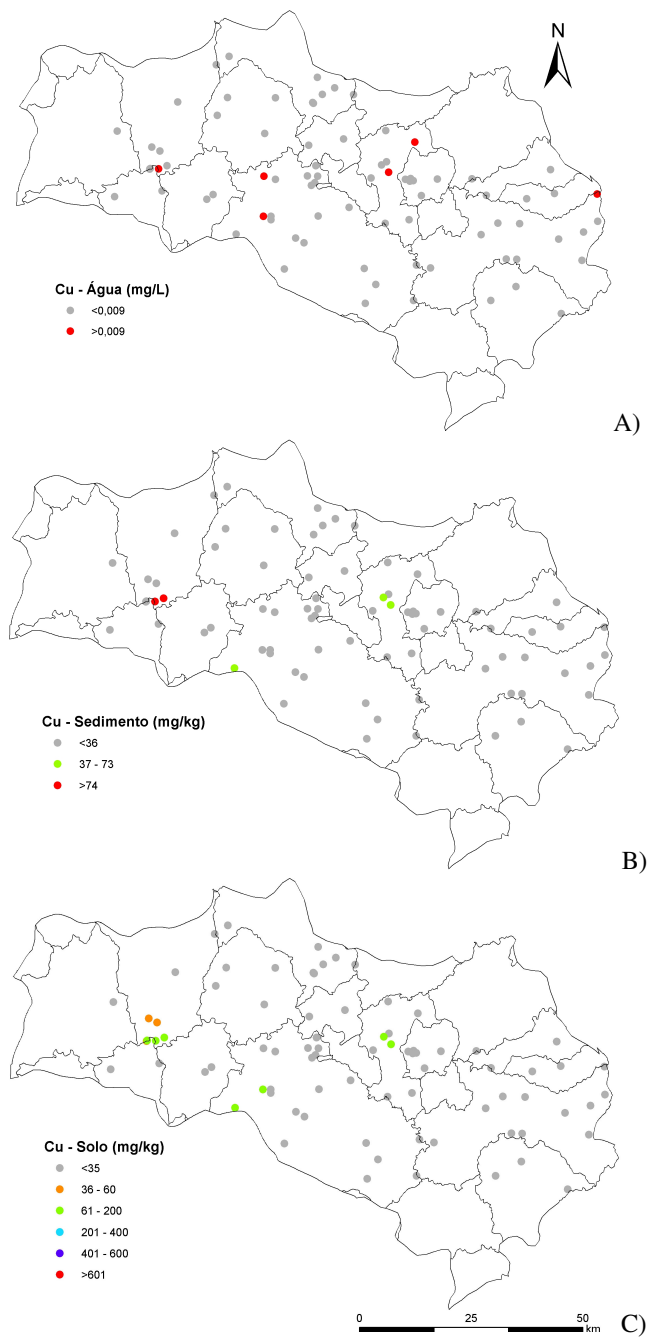


FIGURA 14 Mapas com faixas de concentração de Cu, detectadas em águas (mg L^{-1}) (A), sedimentos (mg kg^{-1}) (B) e solos (C) (mg kg^{-1}), na Bacia do Rio das Mortes-MG.

6.2.4.4 Cromo

O LDM para o Cr na água foi de $1,0 \mu\text{g L}^{-1}$. Trinta e cinco por cento das águas amostradas em locais suspeitos de contaminação e 13% em locais naturais apresentaram concentrações maiores que este limite. As águas de todos os pontos apresentaram concentração sempre abaixo do valor estabelecido para águas de classe 2 pela resolução CONAMA 357/05, que é $50 \mu\text{g L}^{-1}$ de Cr (figura 15A). Destaca-se que nos pontos 1, 2, 6, 26, 28, 30 a 37 e 39 (locais suspeitos de contaminação) e nos pontos 41, 44, 53, 57 e 68 (locais naturais), a concentração encontrada foi acima do LDM, na faixa de 2 a $37 \mu\text{g L}^{-1}$ de Cr (locais suspeitos de contaminação) e 2 a $33 \mu\text{g L}^{-1}$ de Cr (locais naturais). No entanto, cabe registrar que as águas que apresentaram maiores concentrações de Cr foram as águas sob influência de curtumes (pontos 1, 2, e 6) e as águas escuras, que drenam zonas urbanas, próximas a rodovias pavimentadas e atividades de mineração (os pontos 26, 28, 30 a 37 e 39). O maior valor encontrado em local natural ($33 \mu\text{g L}^{-1}$ de Cr) foi no ponto 53.

Em zona sob forte interferência antrópica na bacia do Rio Descoberto, no Distrito Federal, Carmo et al. (2005) encontraram $17 \mu\text{g L}^{-1}$ de Cr. Falótico (2001) encontrou até $26 \mu\text{g L}^{-1}$ de Cr e Silva (1997), que estudou o Cr em águas, sedimentos, vegetação e peixes, em várias localidades do Estado de Minas Gerais, em locais próximos a curtumes e indústria de couro, encontrou valores que variaram de 26 a $239 \mu\text{g L}^{-1}$ de Cr em Dores de Campos e de 10 a $23 \mu\text{g L}^{-1}$ de Cr em Ressaquinha, municípios pertencentes à Bacia do Rio das Mortes, conhecidos pelo grande número de curtumes e fabricação de materiais derivados de couro. Deve-se também enfatizar que a concentração de Cr nas águas, verificada neste estudo, em locais sem interferência antrópica, não chegou, em vários pontos, ao LDM; porém, em águas que drenam zonas urbanas e

industrializadas, a concentração deste elemento apresentou a tendência de ser mais alta.

Somente os sedimentos dos pontos 1 (131 mg kg⁻¹ de Cr) e 31 (341 mg kg⁻¹ de Cr) (local suspeito de contaminação) ultrapassaram a CN (116 mg kg⁻¹ de Cr) (figura 15B). Porém, considerando os limites PEL, canadense (90 mg kg⁻¹ de Cr) e norte americano (160 mg kg⁻¹ de Cr), estes dois sedimentos já apresentam valores considerados causadores de efeitos biológicos adversos à comunidade aquática. Nos sedimentos de rios estudados por Silva (1997), no Município de Dores de Campos foram encontrados valores de 30 a 2878 mg kg⁻¹ de Cr, e em Ressaquinha, de 44 a 98 mg kg⁻¹ de Cr, sendo que estes maiores valores foram encontrados no ponto a jusante de dois curtumes. Este autor estudou Cr em várias matrizes, entre elas sedimentos de rios de seis municípios mineiros (Ipatinga, Matias Barbosa, Dores de Campos, Ressaquinha, Ubá e Juiz de Fora), sendo que a maior concentração encontrada foi no Município de Dores de Campos. No presente estudo (Bacia do Rio das Mortes), os cinco primeiros pontos amostrados em locais suspeitos de contaminação estão localizados também neste mesmo município. Os pontos 1 e 3 foram amostrados no Ribeirão Patusca, o mesmo amostrado por Silva (1997), que encontrou 156 mg kg⁻¹ de Cr. No presente trabalho, realizado em toda a Bacia do Rio das Mortes, nas duas amostragens feitas neste mesmo ribeirão foram detectados valores de 31 e 17 mg kg⁻¹ de Cr em pontos no centro urbano do município. O ponto 1 apresentou 131 mg kg⁻¹ Cr e maior teor de argila (23%), e nos demais pontos (2, 3, 4, 5, 6), a quantidade de argila variou de 7 a 18%. O ponto 31 apresentou a concentração de 341 mg kg⁻¹ Cr e 23% de argila.

Nos solos amostrados em locais suspeitos de contaminação, o teor de Cr nos pontos 5, 6, 7, 11, 13, 14, 21, 27, 32, 33, 34, 35 e 37 superou o VRQ (40 mg kg⁻¹ de Cr) o ponto 3 superou o VP (75 mg kg⁻¹ de Cr). Os pontos 1, 23 e 31 apresentaram valores maiores que o VIA (150 mg kg⁻¹ de Cr). Destaca-se que

43% dos pontos amostrados em locais suspeitos de contaminação superaram o VRQ para Cr no solo. Nos solos amostrados em locais naturais, apenas 20% dos pontos (46, 48, 58, 68, 69, 73, 78 e 80) ultrapassaram o VRQ, o ponto 70 ultrapassou o VP e a faixa encontrada foi de 4 a 158 mg kg⁻¹ de Cr (figura 15C).

Em solos urbanos de Teresina-PI estudados por Moura et al. (2006), o máximo encontrado foi de 11 e a média foi de 7 mg kg⁻¹ Cr. Valores de 17 a 41 mg kg⁻¹ Cr foram encontrados por Cotta (2003) em solos do Parque Estadual Turístico Alto Ribeira-SP. Neste estudo realizado na Bacia do Rio das Mortes, dos solos amostrados em locais suspeitos de contaminação, somente em cinco pontos o nível de Cr foi menor que 7 mg kg⁻¹ e dezessete solos amostrados superaram o máximo encontrado por Cotta (2003) em solos sob influência de mineração. Deve-se ressaltar que, comparando os solos dos locais suspeitos de contaminação deste estudo com os estudados pelos dois autores citados acima, os níveis de Cr nos solos se mostraram superiores, indicando uma tendência de que estes solos estejam sendo contaminados por Cr, como verificado pela quantidade de pontos que tiveram as concentrações superiores ao VRQ preconizado pela CETESB. Na figura 15, portanto, pode-se visualizar as faixas de concentração de Cr encontradas nas águas, nos solos e sedimentos.

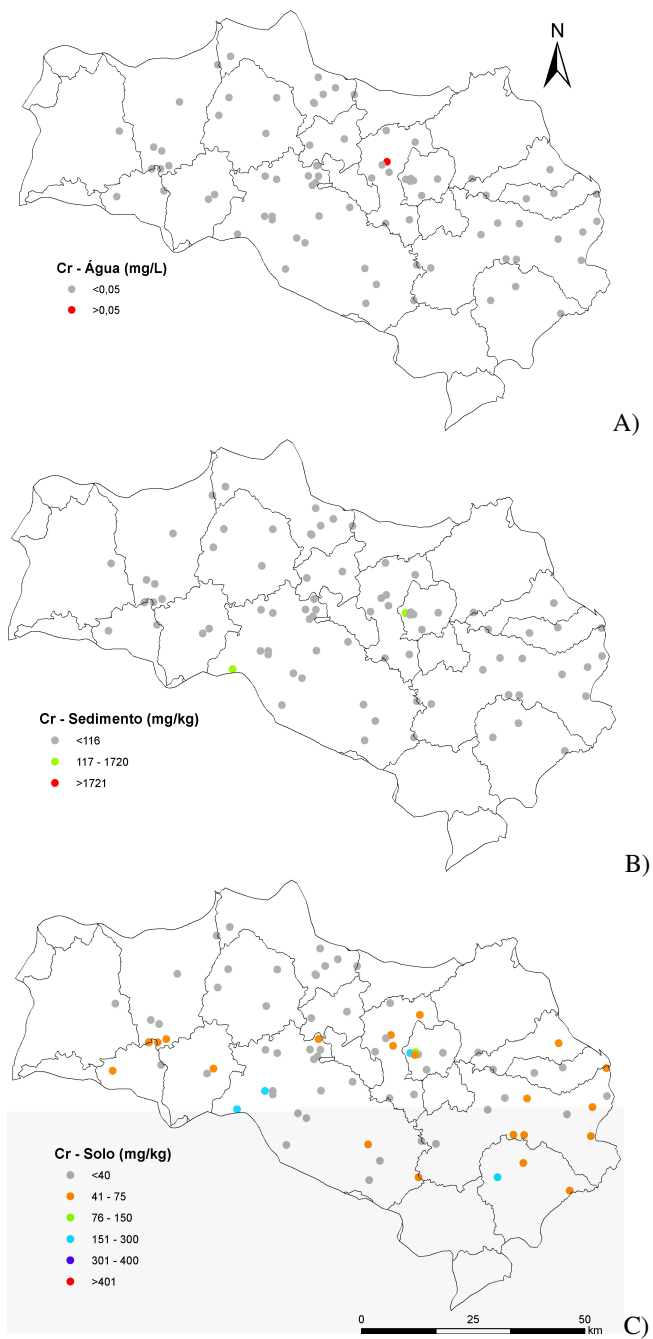


FIGURA 15 Mapas com faixas de concentração de Cr, detectadas em águas (mg L^{-1}) (A), sedimentos (mg kg^{-1}) (B) e solos (C) (mg kg^{-1}), na Bacia do Rio das Mortes-MG.

6.2.4.5 Níquel

Quanto ao Ni, o valor estabelecido para águas de classe 2 é $25 \mu\text{g L}^{-1}$ de Ni. Esse limite só foi superado no ponto 29 ($34 \mu\text{g L}^{-1}$ Ni) em locais suspeitos de contaminação e nos pontos 55 ($30 \mu\text{g L}^{-1}$ de Ni) e 60 ($45 \mu\text{g L}^{-1}$ de Ni) em locais naturais (figura 16A). No monitoramento do IGAM, detectaram-se valores de 6 a $14 \mu\text{g L}^{-1}$ de Ni. Este maior valor foi encontrado no ponto que fica no Rio das Mortes, a jusante da cidade de São João Del Rei. Estes dados corroboram o presente estudo, o qual encontrou maior concentração no ponto 29, localizado no ribeirão Água Limpa, poucos metros antes desaguar no Rio das Mortes, com presença visível de muito esgoto. Os pontos 55 e 60 (locais naturais) também apresentaram valores mais altos. Porém, nestes pontos a água foi coletada em trechos de riachos bastante preservados, com presença de mata ciliar. É possível portanto que esse valor seja natural da região.

Para o Ni no sedimento, os pontos 11 (310 mg kg^{-1} de Ni), 14 (122 mg kg^{-1} Ni) (locais suspeitos de contaminação) ultrapassaram a CMP (38 mg kg^{-1} de Ni) (figura 16B). É interessante ressaltar que estes pontos apresentaram concentrações que chegaram a ser oito vezes maior que a CMP. Os pontos 11 e 14, como já discutido anteriormente, localizam-se em uma zona de mineração desativada, podendo explicar os altos valores. Comparando os valores que Cotta et al. (2006) encontraram (máximo de 41 mg kg^{-1} de Ni) em sedimento do Parque Estadual Turístico Alto Ribeira-SP, sob influência de rejeitos de mineração e alta atividade antrópica, observa-se que os sedimentos amostrados na Bacia do Rio das Mortes (pontos 11 e 14) superam até oito vezes o máximo encontrado em áreas de mineração em São Paulo. Conclui-se, portanto, que as atividades mineradoras dos municípios de São Tiago e Nazareno podem ter sido fontes de Ni para o ambiente.

O Ni apresentou, em vários locais suspeitos de contaminação (pontos 1, 3, 6, 8, 9, 12, 18, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 32, 34, 35, 37, 39 e 40), teores no solo

maiores que o VRQ (13 mg kg^{-1}) (figura 16C). O VP (30 mg kg^{-1}) foi superado nos pontos 7, 11, 14 e 31 e o VIA (70 mg kg^{-1}), no ponto 13. Nos locais naturais amostrados, os pontos 43, 45, 46, 47, 57, 59, 62, 63, 65, 67, 68, 69, 70 e 73 apresentaram teores de Ni no solo maiores que o VRQ, porém nenhum ponto atingiu o VP. Em solos urbanos de Teresina-PI estudados por Moura et al. (2006), o máximo encontrado foi de 3 e a média foi de 1 mg kg^{-1} de Ni. Cotta (2003) encontrou 26 e 32 mg kg^{-1} de Ni em solos a jusante de bairro com alta densidade demográfica e quantidades não detectáveis em área a jusante de rejeitos de mineração. Tendo em vista que a maior parte dos solos amostrados em locais suspeitos de contaminação foram as zonas urbanas dos municípios, a média geral de concentração de Ni nos solos estudados é muito maior que nos solos da capital do Estado do Piauí (Moura et al., 2006). Portanto, os teores médios naturais de Ni nos solos de planícies de inundação a Bacia do Rio das Mortes é 11 mg kg^{-1} , valor próximo ao VRQ estabelecido pela CETESB. Por isso, quando quantidades pequenas de Ni são adicionadas ao solo, os teores atingem o VP mais facilmente como nos locais suspeitos de contaminação.

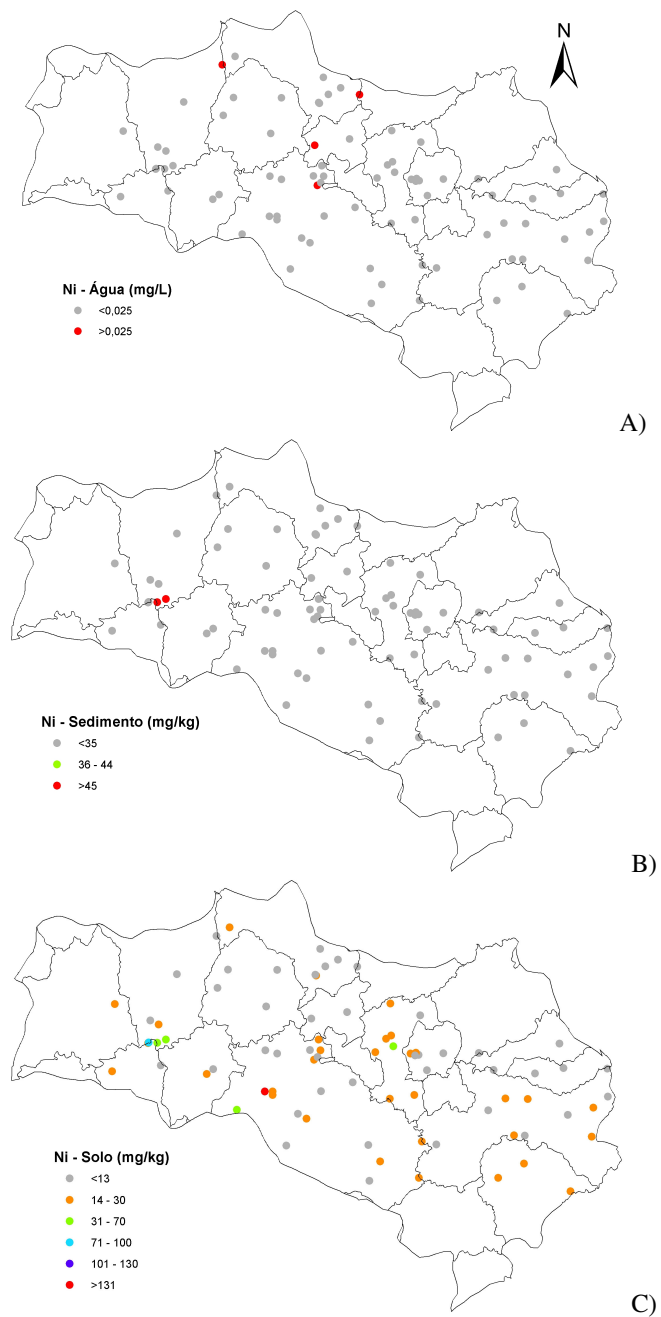


FIGURA 16 Mapas com faixas de concentração de Ni, detectadas em águas (mg L^{-1}) (A), sedimentos (mg kg^{-1}) (B) e solos (C) (mg kg^{-1}), na Bacia do Rio das Mortes-MG.

6.2.4.6 Manganês

A concentração de Mn encontrada nos rios amostrados na Bacia do Rio das Mortes só ultrapassou o valor máximo permitido para águas de classe 2 da Resolução CONAMA 357/05, que é $100 \mu\text{g L}^{-1}$ de Mn, nos pontos 14 ($102 \mu\text{g L}^{-1}$ de Mn) e 26 ($119 \mu\text{g L}^{-1}$ de Mn), ambos em locais suspeitos de contaminação (figura 17A). Das quatro coletas realizadas no ano de 2004 pelo IGAM, em 22 amostragens referentes à Bacia do Rio das Mortes, 32% das águas apresentaram valores acima do limite da classe 2. O maior valor obtido foi $390 \mu\text{g L}^{-1}$ de Mn no ponto do Rio das Mortes a jusante da cidade de São João Del Rei. Em zona sob forte interferência antrópica na Bacia do Rio Descoberto, no Distrito Federal, Carmo et al. (2005) encontraram $122 \mu\text{g L}^{-1}$ de Mn. Estes dados corroboram os dados encontrados neste estudo na Bacia do Rio das Mortes e com os níveis de Mn freqüentemente encontrado em quase todas as águas naturais ($200 \mu\text{g L}^{-1}$), segundo Santos (2000).

Não foram estabelecidos, para sedimentos, CMP nem CN referentes ao Mn. Portanto, usou-se como referência o valor médio encontrado em sedimentos do mundo, compilado por Sparks (1995), que é de 770mg kg^{-1} . Os pontos 7, 11, 14, 26 (locais suspeitos de contaminação) e 45 (local natural) apresentaram valores mais altos que a média mundial (figura 17B). Os pontos 11 e 14 apresentaram valores mais altos para vários elementos na água, sedimento e solo, fato que pode ser explicado por esta ser uma área de mineração desativada.

Da mesma forma que para sedimentos, não há valores orientadores para Mn em solos. Tendo-se como referência 1000mg kg^{-1} (Sparks, 1995), verifica-se que os pontos 11, 14, 18, 34 e 39 (locais suspeitos de contaminação) e 45 e 53 (local natural) excederam este valor (figura 17 C). Vale ressaltar que os pontos que apresentaram os valores mais elevados são solos sob forte interferência antrópica, como mineração, indústria metálica, fábrica de fertilizantes e rodovias.

Na Bacia do Rio as Mortes a concentração média de Mn nos solos de locais naturais foi de $343 \pm 307 \text{ mg kg}^{-1}$. Nos locais suspeitos de contaminação a média foi de $722 \pm 1020 \text{ mg kg}^{-1}$, o maior valor foi encontrado no ponto 18 (4491 mg kg^{-1}); estes valores foram muito maiores que os solos urbanos estudados por Moura et al. (2006), que verificou o máximo de 161 e a média de 66 mg kg^{-1} de Mn. No estudo de Cotta (2003) foram encontrados 170 mg kg^{-1} de Mn em zona de mineração e 1340 mg kg^{-1} de Mn em áreas localizadas após a influência do bairro com alta densidade populacional.

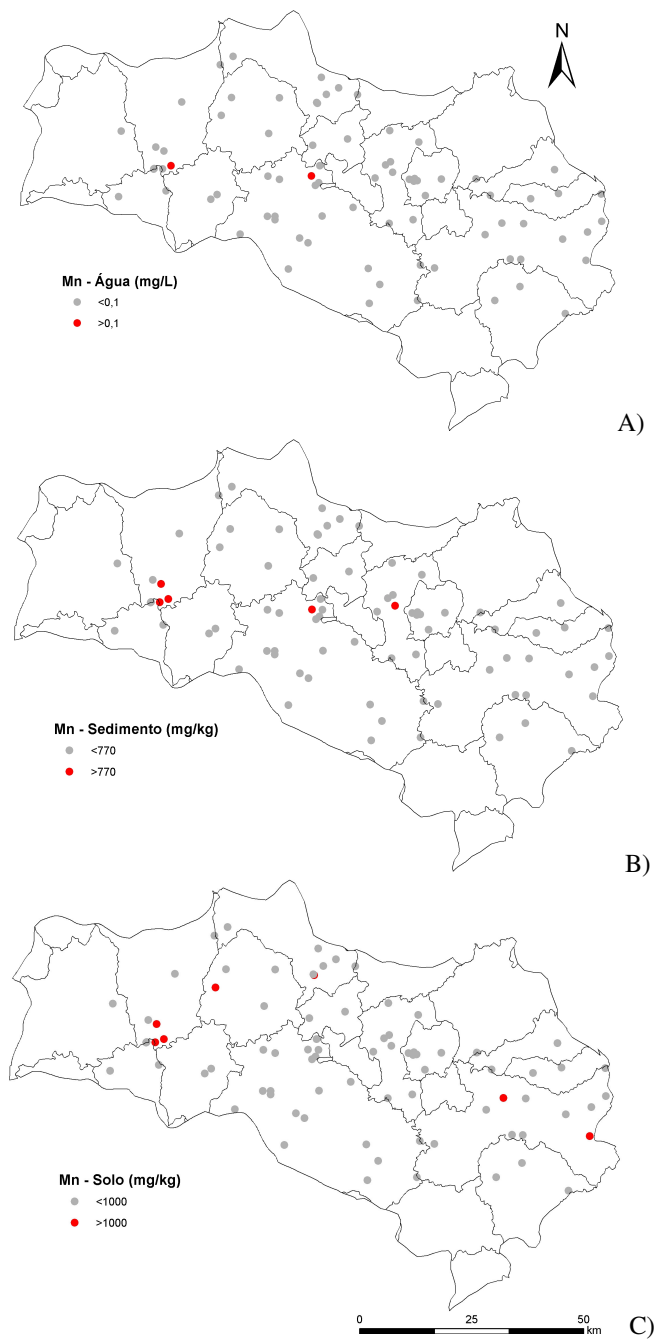


FIGURA 17 Mapas com faixas de concentração de Mn, detectadas em águas (mg L^{-1}) (A), sedimentos (mg kg^{-1}) (B) e solos (C) (mg kg^{-1}), na Bacia do Rio das Mortes-MG.

6.2.4.7 Zinco

A concentração de Zn encontrada nas águas amostradas, em nove pontos coletados em locais suspeitos de contaminação (3, 5, 9, 13, 14, 17, 18, 19, 21, 22) e em dois pontos em locais naturais (41 e 61), foi superior ao permitido na resolução CONAMA 357/05 ($200 \mu\text{g L}^{-1}$ de Zn) (figura 18A). Destacam-se os pontos 21 ($1168 \mu\text{g L}^{-1}$ de Zn) e 22 ($954 \mu\text{g L}^{-1}$ de Zn), que apresentaram seis e cinco vezes mais que o nível estabelecido para a classe 2. Em todas as amostragens realizadas no ano de 2004 pelo monitoramento do IGAM, todos os pontos apresentaram concentrações de Zn abaixo do limite da classe 2 e o máximo encontrado neste ano foi de $40 \mu\text{g L}^{-1}$. Em águas da Bacia do Rio Descoberto, no Distrito Federal, Carmo et al. (2005) encontraram $28 \mu\text{g L}^{-1}$ de Zn. No Rio Piracicaba, Falótico (2001) detectou $66 \mu\text{g L}^{-1}$ de Zn. Nas águas analisadas neste estudo, na Bacia do Rio das Mortes, a concentração de Zn foi muito superior à encontrada nas áreas afetadas por atividades antrópicas em São Paulo e no Distrito Federal. Os níveis naturais de Zn nas águas superficiais são normalmente menores que $40 \mu\text{g L}^{-1}$ de Zn (WHO, 2001). Tendo em vista estes valores, observa-se que 68% das águas amostradas em locais suspeitos de contaminação ficaram acima do que é normalmente encontrado em águas superficiais não contaminadas, enquanto, em locais naturais, apenas 33% das águas amostradas ultrapassaram este valor.

A concentração de Zn nos sedimentos excedeu a CN (140mg kg^{-1} de Zn) apenas no ponto 14 (282mg kg^{-1} de Zn), com teores elevados de vários elementos-traço por influência de mineração (figura 18B). Este valor é semelhante ao encontrado por Falótico (2001) em sedimentos do Rio Piracicaba, que obteve a maior concentração (111mg kg^{-1} de Zn) em região de intensa industrialização. Cotta et al. (2006) encontraram concentrações de até 5497mg kg^{-1} de Zn no Parque Estadual Turístico Alto Ribeira-SP; porém, mesmo sendo

uma área de mineração desativada, o sedimento do ponto 14 apresentou valor dezanove vezes mais baixo. Provavelmente o tipo de minério processado no local não era tão rico em Zn.

Quanto aos solos, os pontos 34 (111 mg kg^{-1} de Zn), 39 (139 mg kg^{-1} de Zn) (locais suspeitos de contaminação), e 57 (186 mg kg^{-1} de Zn) (local natural) excederam o VRQ (60 mg kg^{-1} de Zn), observando-se que nenhum destes pontos chegou ao VP (300 mg kg^{-1} de Zn) (figura 18C). Em solos urbanos estudados por Moura et al. (2006), o máximo encontrado foi de 93 e a média foi de 32 mg kg^{-1} de Zn. Cotta (2003) detectou 360 mg kg^{-1} de Zn em área de rejeitos de mineração e valores um pouco mais baixos, 115 mg kg^{-1} de Zn, após o centro urbano. Neste estudo na Bacia do Rio das Mortes, os solos dos pontos 34 e 39 apresentaram concentrações superiores aos da zona urbana de Teresina-PI estudados por Moura et al. (2006). Entretanto, as concentrações mais altas nos locais suspeitos de contaminação (pontos 34 e 39) estão localizadas em áreas próximas a rodovias e indústrias metalúrgicas e de fertilizantes, o que pode explicar estes valores mais elevados. As concentrações de Zn encontradas também estão próximas às concentrações encontradas por Cotta (2003) em área de mineração no Parque Estadual Turístico Alto Ribeira-SP, a jusante de bairro de alta densidade demográfica. No ponto 57, não foram observados indícios de interferência antrópica que justificasse o maior valor encontrado.

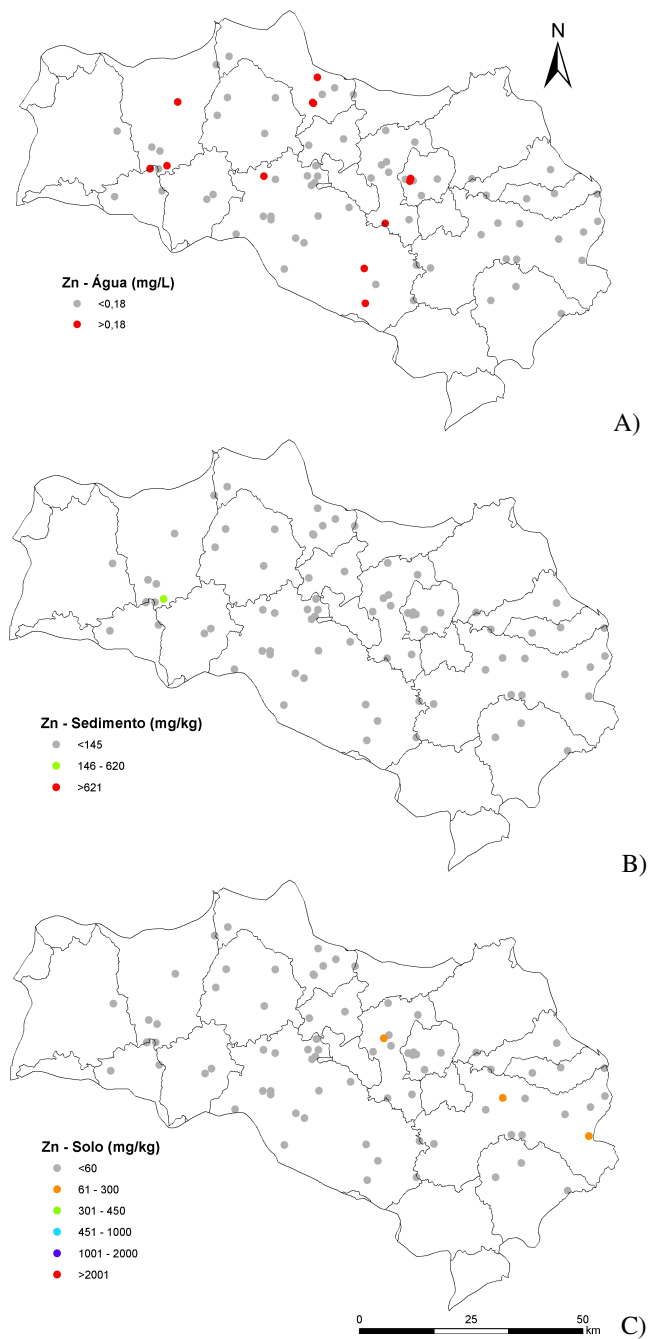


FIGURA 18 Mapas com faixas de concentração de Zn, detectadas em águas ($mg L^{-1}$) (A), sedimentos ($mg kg^{-1}$) (B) e solos (C) ($mg kg^{-1}$), na Bacia do Rio das Mortes-MG.

6.3 Comparação dos locais suspeitos de contaminação com os locais naturais

Para verificar se há, efetivamente, locais que possam ser considerados contaminados, ou seja, onde os teores de elementos-traço nos solos e sedimentos são maiores que os teores naturais regionais, os pontos geograficamente, próximos e com características semelhantes foram reunidos em seis grupos suspeitos (A, B, C, D, E, e F). Cada um desses grupos possui no mínimo cinco pontos amostrados. Para cada grupo de pontos amostrados em locais suspeitos de contaminação, outro grupo de pontos amostrados em locais naturais serviu para a comparação estatística. A tabela 14 apresenta os pontos pertencentes a cada grupo suspeito de contaminação, com seu respectivo grupo natural comparativo.

TABELA 14 Pontos amostrados em grupos de locais suspeitos de contaminação e seu respectivo grupo natural.

| Grupo | Classificação dos locais | Pontos amostrados |
|--------------|----------------------------------|--|
| A | locais suspeitos de contaminação | 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 |
| | locais naturais | 50, 57, 58, 59, 64, 65 |
| B | locais suspeitos de contaminação | 10, 11, 12, 13, 14 |
| | locais naturais | 41, 42, 45, 46, 47, 48, 53, 71 |
| C | locais suspeitos de contaminação | 15, 16, 17, 18, 19, 40 |
| | locais naturais | 41, 43, 44, 52, 54, 55, 56, 60 |
| D | locais suspeitos de contaminação | 21, 22, 23, 24, 25, 31 |
| | locais naturais | 47, 48, 49, 50, 51, 55, 56, 61, 62, 63, 66, 67, 72, 73 |
| E | locais suspeitos de contaminação | 26, 27, 28, 29, 30 |
| | locais naturais | 49, 50, 51, 52, 55, 56 |
| F | locais suspeitos de contaminação | 20, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39 |
| | locais naturais | 62, 63, 65, 66, 68, 69, 70, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80 |

A descrição dos municípios e principais empreendimentos com potencial de contaminação está apresentada resumidamente na tabela 15 .

TABELA 15 Municípios pertencentes aos diferentes grupos suspeitos de contaminação e potenciais fatores de impactos do respectivo grupo, na Bacia do Rio das Mortes-MG.

| Grupo | Municípios | Fatores potenciais de contaminação |
|--------------|------------------------------|--|
| A | Dores de Campos e Prados | Curtumes, mineração |
| B | Nazareno e São Tiago | Mineração |
| C | Resende Costa | Indústria têxtil, curtumes, mineração |
| D | São João del Rei | Mineração, industrias |
| E | São João del Rei/zona urbana | Mineração, indústrias e alta densidade demográfica |
| F | Barbacena | Mineração, indústrias e alta densidade demográfica |

A normalização do teor de elementos-traço pelo teor de argila é um procedimento realizado para que se possam comparar níveis dos elementos-traço em matrizes com quantidades diferentes de argila, pois é principalmente nesta fração granulométrica que os contaminantes ficam retidos. A concentração de elementos-traço foi normalizada para 300 g kg^{-1} de argila, que foi a maior quantidade de argila encontrada nos sedimentos, exceto um ponto em que foi de 550 g kg^{-1} . Para o solo, também foi utilizada a mesma porcentagem de argila que para a normalização, já que a média de argila encontrada nos oitenta pontos coletados foi de 260 g kg^{-1} .

Nas tabelas 16 e 17 apresentam-se os resultados das concentrações médias \pm desvio padrão ($5 < n < 10$) dos elementos-traço nos sedimentos e nos solos com a normalização do teor de argila (30%), para cada grupo (locais suspeitos de contaminação e locais naturais) utilizado na comparação.

Quanto aos sedimentos, verificou-se que não houve diferença significativa quando comparou-se todos os grupos de locais suspeitos de contaminação com os locais naturais.

A normalização de argila é indispensável quando se pretende comparar sedimentos ou solos com teores diferentes desta fração granulométrica. Porém, quando os teores de argila são baixos, como foi encontrada na Bacia do Rio das Mortes (média de 100 g kg⁻¹), a normalização para 300 g kg⁻¹ faz com que o teor de elementos-traço seja superestimado. Por isso deve-se alertar para que os valores normalizados não sejam considerados como valores numéricos dos teores de elementos-traço nos sedimentos.

TABELA 16 Resultado das concentrações dos elementos-traço (média ± desvio padrão, 5 < n < 10) normalizados para 300 g kg⁻¹ de argila nos sedimentos e solos, nos grupos A, B e C, com os locais suspeitos de contaminação (LSC) e seus respectivos locais naturais (LN) na Bacia do Rio das Mortes-MG.

| | Grupo A | | Grupo B | | Grupo C | |
|-----------|---------------------|---------|-------------|-----------|-----------|-----------|
| | LSC | LN | LSC | LN | LSC | LN |
| Sedimento | mg kg ⁻¹ | | | | | |
| Cd | 62±52 | 232±396 | 1141±1912 | 233±190 | 130±163 | 235±232 |
| Cu | 38±37 | 36±29 | 243±379 | 43±21 | 42±41 | 59±56 |
| Cr | 95±58 | 49±25 | 113±120 | 76±57 | 27±34 | 59±58 |
| Ni | 32±34 | 39±39 | 427±802 | 38±26 | 19±18 | 32±39 |
| Pb | 35±15 | 19±17 | 81±50 | 61±73 | 124±83 | 123±125 |
| Mn | 719±951 | 557±276 | 30059±50752 | 2499±2709 | 2138±1419 | 3096±3554 |
| Zn | 36±11 | 40±28 | 102±106 | 63±38 | 70±42 | 68±46 |
| Solo | mg kg ⁻¹ | | | | | |
| Cd | 65±57 | 191±194 | 1320±2853 | 90±126 | 36±22 | 59±53 |
| Cu | 40±39 | 24±21 | 84±67* | 23±10* | 17±13 | 13±7 |
| Cr | 65±51 | 26±6 | 53±24* | 27±12* | 11±6 | 18±10 |
| Ni | 26±26 | 16±10 | 43±38* | 14±6* | 10±7 | 9±6 |
| Pb | 28±16* | 13±6* | 66±108* | 13±9* | 20±7 | 24±11 |
| Mn | 432±293 | 327±178 | 1983±2654 | 728±516 | 1199±2288 | 330±11 |
| Zn | 29±16 | 44±48 | 13±9* | 29±7* | 22±6 | 22±11 |

* diferença estatística (p<0,05) pelo teste t, da concentração média entre os locais suspeitos de contaminação com os locais naturais, dentro do mesmo grupo.

TABELA 17 Resultado das concentrações dos elementos-traço (média \pm desvio padrão, $5 < n < 10$) normalizados para 300 mg kg^{-1} de argila nos sedimentos e solos, nos grupos D, E e F, com os locais suspeitos de contaminação (LSC) e seus respectivos locais naturais (LN) na Bacia do Rio das Mortes-MG.

| | Grupo D | | Grupo E | | Grupo F | |
|-----------|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|
| | LSC | LN | LSC | LN | LSC | LN |
| Sedimento | mg kg^{-1} | | | | | |
| Cd | 64 \pm 61 | 264 \pm 361 | 72 \pm 34 | 149 \pm 266 | 286 \pm 414 | 602 \pm 401 |
| Cu | 42 \pm 15 | 63 \pm 47 | 42 \pm 15 | 90 \pm 61 | 31 \pm 12 | 26 \pm 14 |
| Cr | 147 \pm 153 | 83 \pm 44 | 60 \pm 39 | 75 \pm 33 | 69 \pm 25 | 73 \pm 55 |
| Ni | 37 \pm 15 | 53 \pm 40 | 33 \pm 16 | 74 \pm 58 | 27 \pm 8 | 31 \pm 25 |
| Pb | 52 \pm 20 | 46 \pm 38 | 59 \pm 34 | 78 \pm 32 | 35 \pm 17 | 24 \pm 21 |
| Mn | 1061 \pm 305 | 2112 \pm 2830 | 1425 \pm 1725 | 3118 \pm 4251 | 707 \pm 584 | 782 \pm 731 |
| Zn | 63 \pm 25 | 62 \pm 37 | 105 \pm 62 | 83 \pm 48 | 54 \pm 29 | 41 \pm 26 |
| Solo | mg kg^{-1} | | | | | |
| Cd | 28 \pm 23 | 211 \pm 272 | 72 \pm 24 | 91 \pm 137 | 222 \pm 517 | 271 \pm 188 |
| Cu | 35 \pm 13 | 24 \pm 10 | 29 \pm 7 | 23 \pm 16 | 26 \pm 12* | 18 \pm 7* |
| Cr | 87 \pm 53* | 33 \pm 11* | 48 \pm 18* | 24 \pm 10* | 56 \pm 35 | 49 \pm 26 |
| Ni | 22 \pm 9* | 16 \pm 9* | 25 \pm 15 | 14 \pm 11 | 19 \pm 8 | 16 \pm 8 |
| Pb | 26 \pm 14 | 25 \pm 18 | 33 \pm 16 | 37 \pm 21 | 29 \pm 19 | 21 \pm 12 |
| Mn | 514 \pm 243 | 504 \pm 215 | 1018 \pm 529 | 542 \pm 269 | 1472 \pm 2222 | 307 \pm 216 |
| Zn | 33 \pm 18 | 32 \pm 19 | 57 \pm 23 | 37 \pm 24 | 78 \pm 110 | 28 \pm 21 |

* diferença estatística ($p < 0,05$) pelo teste t, da concentração média entre os locais suspeitos de contaminação com os locais naturais, dentro do mesmo grupo.

Nos solos do grupo A, observou-se que a concentração de Pb foi superior nos locais suspeitos de contaminação, quando comparados com seus respectivos locais naturais. Ao contrário do esperado, por ser uma região de muitos curtumes e produção de artigos em couro, não foi verificada contaminação por Cr. Quanto ao Pb, o processo de curtimento do couro em si não adiciona nenhum produto que o contenha. Contudo, as tinturas e corantes, de um modo geral, possuem consideráveis quantidades deste elemento, o qual, como é pouco móvel, pode estar se acumulando nestes solos quando são inundados pelas águas dos rios ou ao receberem a deposição de “aparas de

couro” já coloridas, como foi verificado durante a coleta. Também no Município de Prados, há algumas zonas de mineração que possivelmente contribuíram para este valor mais alto.

Nos locais suspeitos de contaminação do grupo B, também verificou-se a contaminação por Cu, Cr, Ni, Pb e Mn nos solos. Geralmente, as fontes destes elementos são mineração, metalurgia, tintas e corantes. Os locais amostrados como pontos suspeitos de contaminação são conhecidos por intensa atividade mineradora, o que pode explicar a contaminação.

Quanto à comparação de elementos-traço nos solos, o grupo C foi o único que não apresentou diferença estatística entre solos suspeitos de contaminação e os localizados em locais naturais para todos os elementos-traço determinados. Provavelmente, devido ao fato de que neste município os empreendimentos geralmente são de pequeno porte.

No grupo D, foi verificada a maior concentração de Cr e Ni, mas no grupo E, apenas o Cr. Os pontos amostrados neste grupo em locais suspeitos de contaminação localizam-se no Município de São João Del Rei, sendo, no grupo D, amostrados principalmente solos nos distritos do município (como o distrito de Rio das Mortes); no grupo E, a amostragem foi realizada na zona urbana. Este município abriga muitos empreendimentos de mineração e metalurgia, além de ter alta densidade demográfica e industrial de modo geral. Portanto, de certa forma, já se esperava encontrar tais contaminações.

No grupo F, as concentrações de Cu nos locais suspeitos de contaminação foram superiores à dos solos de seus respectivos locais naturais. Estes solos estão sob forte interferência antrópica, com elevado grau de industrialização, o que pode, assim, explicar estes valores para estes dois elementos.

6.4 Correlação

Realizou-se correlação de Pearson entre elementos-traço, parâmetros físicos e químicos dos solos suspeitos de contaminação na Bacia do Rio das Mortes-MG e também nos solos naturais, como mostram as tabelas 18 e 19. De modo geral, os coeficientes de correlação foram baixos ($R < 0,50$). Destacam-se apenas significativas correlações positivas entre Cu e Ni ($R = 0,85$), Cr e Ni ($R = 0,79$), Cr e Cu ($R = 0,86$), Cd e Zn ($R = 0,84$), Cd e Mn ($R=0,51$), Mn e Zn ($R=0,51$), Ni e Matéria Orgânica (MO) ($R=0,53$), Cu e Argila ($R=0,57$), Cr e Argila ($R=0,61$) e Ni e Argila ($R=0,58$).

Pode-se separar então dois grupos cujas concentrações de metais acham-se positivamente correlacionadas: (i) Cu, Ni e Cr; e (ii) Cd, Zn, e Mn. O primeiro grupo parece estar relacionado com matéria orgânica e argila, conhecidos sorbentes de metais. Os metais do segundo grupo parecem não estar relacionados a nenhum sorbente em particular. Sabe-se, no entanto, que óxidos de Mn possuem grande capacidade de adsorver metais, o que explicaria a correlação existente entre Mn, Cd e Zn.

Geralmente é comum na indústria a utilização da liga de Cu-Ni, o que pode explicar a correlação positiva entre Cu e Ni verificada nos solos suspeitos de contaminação. A alta correlação existente entre o Cd e Zn pode estar associada principalmente a presença de sulfetos desses metais em minérios de Zn, Pb e Cu. Verificou-se a correlação entre vários elementos-traço entre si. De um modo mais amplo, isso pode ser explicado pela grande variedade de ligas metálicas muito utilizadas na indústria. Desta forma, quando um resíduo, ou águas de processos industriais, são lançados no ambiente gera uma contaminação múltipla. A correlação existente entre argila e elementos-traço é bastante conhecida. Neste trabalho, foi verificada esta correlação para Cu, Ni e Cr. Provavelmente os elementos que estão sendo descartados no ambiente estão

sendo retidos na fração argila.

As únicas correlações significativas nos solos naturais (tabela 19) foram entre Cu e matéria orgânica ($R = 0,54$) e Zn e Cu ($R=0,91$). Percebe-se, portanto, um comportamento diferenciado entre os solos de locais naturais e os suspeitos de contaminação. Quando ocorre a contaminação do local a mesma é múltipla, ou seja: ao mesmo tempo são adicionados vários elementos ao ambiente.

TABELA 18. Matriz de correlação de Pearson entre elementos-traço e parâmetros físicos e químicos dos solos de locais suspeitos de contaminação da Bacia do Rio das Mortes-MG. Apenas as correlações com significância $p < 0,05$ são apresentadas.

| | Cd | Cu | Cr | Ni | Pb | Mn | Zn | pH | P | K | Ca | Mg | Al | M.Org. | Areia | Silte | Argila |
|---------------|----|----|------|------|------|------|------|----|------|------|------|------|-------|--------|-------|-------|--------|
| Cd | 1 | - | - | - | 0,41 | 0,51 | 0,84 | - | - | 0,58 | 0,45 | - | - | 0,43 | - | - | - |
| Cu | | 1 | 0,86 | 0,85 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,41 | -0,42 | - | 0,57 |
| Cr | | | 1 | 0,79 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,47 | -0,49 | - | 0,61 |
| Ni | | | | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,53 | -0,41 | - | 0,58 |
| Pb | | | | | 1 | - | 0,49 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Mn | | | | | | 1 | 0,51 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Zn | | | | | | | 1 | - | - | 0,48 | 0,46 | - | - | 0,50 | - | - | - |
| Ph | | | | | | | | 1 | 0,63 | 0,43 | 0,69 | - | -0,59 | - | 0,46 | - | -0,48 |
| P | | | | | | | | | 1 | 0,46 | 0,48 | - | - | - | - | - | - |
| K | | | | | | | | | | 1 | 0,45 | 0,66 | - | 0,49 | - | - | - |
| Ca | | | | | | | | | | | 1 | 0,43 | -0,50 | 0,50 | - | - | - |
| Mg | | | | | | | | | | | | 1 | - | 0,57 | - | - | - |
| Al | | | | | | | | | | | | | 1 | - | -0,38 | - | 0,61 |
| M. Org | | | | | | | | | | | | | | 1 | -0,49 | - | 0,49 |
| Areia | | | | | | | | | | | | | | | 1 | -0,83 | -0,77 |
| Silte | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | - |
| Argila | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 |

- abaixo do nível de significância

TABELA 19. Matriz de correlação de Pearson entre elementos-traço e parâmetros físicos e químicos dos solos de locais naturais da Bacia do Rio das Mortes-MG. Apenas as correlações com significância $p < 0,05$ são apresentadas

| | Cd | Cu | Cr | Ni | Pb | Mn | Zn | pH | P | K | Ca | Mg | Al | M.Org. | Areia | Silte | Argila |
|---------------|----|----|----|------|----|------|------|------|------|---|------|------|-------|--------|-------|-------|--------|
| Cd | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Cu | | 1 | - | 0,50 | - | 0,45 | 0,91 | - | 0,81 | - | 0,32 | 0,50 | - | 0,54 | -0,56 | 0,51 | 0,41 |
| Cr | | | 1 | 0,39 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,40 | -0,32 | | 0,50 |
| Ni | | | | 1 | - | 0,40 | 0,32 | - | - | - | 0,31 | - | - | - | -0,46 | 0,39 | 0,37 |
| Pb | | | | | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Mn | | | | | | 1 | - | 0,36 | - | - | - | 0,40 | - | - | - | - | - |
| Zn | | | | | | | 1 | | 0,94 | - | 0,39 | 0,48 | - | 0,58 | -0,45 | 0,46 | - |
| pH | | | | | | | | 1 | | - | 0,53 | 0,37 | -0,79 | - | - | - | - |
| P | | | | | | | | | 1 | - | - | 0,34 | - | 0,63 | -0,32 | - | - |
| K | | | | | | | | | | 1 | - | 0,35 | - | 0,45 | - | - | - |
| Ca | | | | | | | | | | | 1 | 0,45 | -0,51 | 0,64 | - | 0,35 | - |
| Mg | | | | | | | | | | | | 1,0 | -0,47 | 0,35 | -0,39 | 0,32 | 0,32 |
| Al | | | | | | | | | | | | | 1 | - | - | - | - |
| M.Org | | | | | | | | | | | | | | 1 | -0,50 | - | 0,52 |
| Areia | | | | | | | | | | | | | | | 1 | -0,84 | -0,80 |
| Silte | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 0,34 |
| Argila | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 |

- abaixo do nível de significância

6.5 Teores naturais de elementos-traço da Bacia do Rio das Mortes

6.5.1 Solos

Para poder avaliar a contaminação de um local, o procedimento comum é compará-la com os teores naturais de elementos-traço da mesma região com valores referência. Por isso, há uma grande necessidade de conhecimento do nível natural de elementos-traço em solos brasileiros, principalmente para estudos que investigam contaminação ambiental.

Valores referência para elementos-traço em solos brasileiros têm sido objeto de estudo de vários trabalhos. Entretanto, devido à grande extensão territorial brasileira, à diversidade solos, de ambientes, clima e litologia, é muito difícil estabelecer teores naturais, de referência de qualidade, de prevenção e intervenção para solos de todo o território brasileiro. O Estado de São Paulo foi pioneiro em adotar os valores orientadores para elementos-traço em solo, que foram estabelecidos pela CETESB em 2005, com base em estudo com vários solos deste Estado. Alguns trabalhos que registram os níveis de elemento-traço nos solos brasileiros (Campos et al., 2003; Fadigas et al., 2006; Marques et al., 2002b; Silva, 2001) são apresentados na tabela 20.

Vários estudos que determinaram os teores de elementos-traço em solos brasileiros demonstram que muitos solos apresentam teores naturais iguais ou acima dos teores de referência de qualidade estabelecidos pela CETESB, alguns, inclusive, ultrapassam o valor de prevenção. Os teores de Ni e Pb encontrados por este trabalho nos solos amostrados em áreas naturais da Bacia do Rio das Mortes, são muito próximos ao limite de valores considerados para solos limpos - valores de referência de qualidade (VRQ) indicados pela CETESB. Quando considerados os dados levantados por Silva (2001), também em solos naturais da mesma bacia, tanto para camadas de 0-10 cm quanto para 10-30 cm, os teores de Cu, Cr, Ni, Pb e Zn ultrapassam o VRQ. Em estudos realizados com diversos solos do Brasil, os teores naturais de Cu, Cr e Ni levantados por Marques et al.

(2002b), em solos do cerrado, são próximos ou acima do VRQ. Nos 17 latossolos brasileiros analisados por Campos et al. (2003), em que os teores de Cd, Cu, Ni e Pb estão acima do VRQ, e nos solos com características semelhantes (teores de silte e argila e CTC) às dos solos de várzea na Bacia do Rio das Mortes analisados por Fadigas et al. (2006), em que os teores de Cd, Cr, Ni e Pb estão acima do VRQ.

TABELA 20 Teores de elementos-traço em diversos solos brasileiros.

| | Cd | Cu | Cr | Ni | Pb | Mn | Zn |
|---|---------------------|-------|---------|-------|-------|---------|-------|
| | mg kg ⁻¹ | | | | | | |
| Bacia do Rio das Mortes ^{1*} | 0,1±0,1 | 17±14 | 30±26 | 11±6 | 15±8 | 343±307 | 24±28 |
| Bacia do Rio das Mortes ^{1**} | 0,1±0,1 | 18±15 | 25±14 | 12±6 | 15±8 | 379±331 | 26±30 |
| Bacia do Rio das Mortes ^{1***} | 0,1±0,2 | 11±8 | 58±60 | 13±8 | 17±10 | 154±76 | 17±7 |
| Silva (2001) ² | - | 38±30 | 142±100 | 84±94 | 24±20 | - | 61±47 |
| Silva (2001) ² | - | 37±28 | 163±102 | 89±64 | 27±22 | - | 60±40 |
| Marques et al. (2002b) ³ | - | 33±55 | 112±69 | 14±13 | 10±6 | 455±583 | 38±54 |
| Campos et al. (2003) ⁴ | 0,7±0,2 | 65±74 | - | 18±12 | 22±9 | - | 39±24 |
| Fadigas et al. (2006) ⁵ | 0,9 | 12 | 35 | 17 | 18 | | 35 |
| CETESB | | | | | | | |
| Referência de qualidade | <0,5 | 35 | 40 | 13 | 17 | - | 60 |
| Prevenção | 1,3 | 60 | 75 | 30 | 72 | - | 300 |
| Intervenção | 3 | 200 | 150 | 70 | 180 | - | 450 |

^{1*} Solos Naturais (sem interferência antrópica) da Bacia do Rio das Mortes-MG. Média geral de 40 solos amostrados.

^{1**} Média de 33 neossolos flúvicos.

^{1***} Média de 5 cambissolos.

² Solos da região de São João del Rei-MG (Bacia do Rio das Mortes).

³ Solos do cerrado.

⁴ Latossolos do Brasil.

⁵ Solos do grupo 4, de acordo com o autor, com características (silte, argila e Mn) mais próximas aos solos amostrados na Bacia do Rio das Mortes por esta tese.

Verifica-se que muitos solos brasileiros, em especial os solos de várzea da Bacia do Rio das Mortes, apresentam concentrações naturais de elementos-traço mais altas que o VRQ preconizado pela CETESB. Por isso, não é conveniente utilizar os valores padrões estabelecidos para solos do Estado de São Paulo como valores de referência para avaliação de solos suspeitos de contaminação em todo o território brasileiro devido à grande variação do teor de elementos-traço, como verificado nos solos da Bacia do Rio das Mortes. Reforça-se, portanto, que a comparação de solos de locais suspeitos de contaminação com os de locais naturais próximos das áreas suspeitas torna-se mais segura para a decisão de confirmação de contaminação.

6.5.2 Sedimentos

Os teores de Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, Mn e Zn encontrados nos sedimentos da Bacia do Rio das Mortes estão todos abaixo do que normalmente são encontrados em sedimentos do mundo (Sparks, 1995). Esses dados podem ser verificados na tabela 21. Quando compara-se os teores de Cu, Cr e Mn obtidos por Veado et al. (2006), verifica-se que os sedimentos da Bacia do Rio das Mortes apresentam teores naturais menores que os sedimentos do Rio das Velhas, que também está localizado no Estado de Minas Gerais.

Nos sedimentos em que predomina a fração areia, a capacidade de retenção de elementos-traço é baixa, podendo ser verificado quando compara-se os teores de elementos-traço em sedimentos arenosos com os de textura média (tabela 21), refletindo nos baixos teores encontrados.

TABELA 21. Teores de elementos-traço em sedimentos.

| | Cd | Cu | Cr | Ni | Pb | Mn | Zn |
|--|---------------------|------|-------|------|------|---------|-------|
| | mg kg ⁻¹ | | | | | | |
| Bacia do Rio das Mortes ^{1*} | 0,1±0,1 | 9±5 | 17±15 | 8±6 | 10±7 | 338±383 | 11±6 |
| Bacia do Rio das Mortes ^{1**} | 0,1±0,1 | 17±8 | 35±13 | 12±5 | 13±8 | 328±259 | 21±15 |
| Veado et al. (2006) ² | | 47±5 | 63±6 | | | 960±60 | |
| Sparks (1995) ³ | 0,17 | 33 | 72 | 52 | 19 | 770 | 95 |

^{1*} Sedimentos de fundo amostrados em rios, sem interferência antrópica, na Bacia do Rio das Mortes-MG. Média geral de 34 amostras de sedimentos arenosos (880±90 g kg⁻¹ de areia).

^{1**} Sedimentos de fundo amostrados em rios, sem interferência antrópica, na Bacia do Rio das Mortes-MG. Média geral de 5 amostras de sedimentos com textura média (600±140 g kg⁻¹ de areia).

² Sedimentos de áreas não poluídas, no Rio das Velhas, Estado de Minas Gerais.

³ Sedimentos, média mundial.

6.5.3 Proposição de valores de referência de teores naturais de elementos-traço em sedimentos de rios e solos da Bacia do Rio das Mortes

De acordo com os valores de elementos-traço determinados na bacia em questão, propõe-se como níveis naturais de Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, Mn e Zn para sedimento e solos da Bacia do Rio das Mortes os valores médios encontrados nos pontos amostrados em locais naturais deste estudo, que são apresentados na tabela 22. Estes valores podem servir de referência para sedimentos e solos naturais brasileiros, com características físico-químicas semelhantes, especialmente no Estado de Minas Gerais, visando estudos comparativos com locais suspeitos de contaminação ou contaminados.

TABELA 22. Teores de elementos-traço naturais propostos em sedimentos e solos de planície de inundação na Bacia do Rio das Mortes –MG.

| | Cd | Cu | Cr | Ni | Pb | Mn | Zn |
|------------------------|---------------------|-------|-------|------|------|---------|-------|
| | mg kg ⁻¹ | | | | | | |
| Sedimento ¹ | 0,1±0,1 | 11±8 | 20±16 | 9±6 | 10±7 | 345±361 | 13±8 |
| Solos ² | 0,1±0,1 | 17±14 | 30±26 | 11±6 | 15±8 | 343±307 | 24±28 |

¹Sedimentos de fundo amostrados em rios, sem interferência antrópica, na Bacia do Rio das Mortes-MG. Média geral de 40 sedimentos amostrados.

²Solos Naturais (sem interferência antrópica) da Bacia do Rio das Mortes-MG. Média geral de 40 solos amostrados.

7 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o procedimento de coleta priorizando rios de pequeno porte, puderam ser avaliadas as concentrações naturais e o grau de contaminação local, para mensurar a contribuição de certas regiões para a contaminação do ambiente. Na Bacia do Rio das Mortes, a agricultura não constitui um fator de aumento dos elementos-traço estudados nas três matrizes analisadas. Verifica-se grande influência de centros urbanos, industrializados ou não, e com alta densidade demográfica na dispersão de elementos-traço para o ambiente, os quais podem chegar a níveis considerados contaminantes. O maior fator de impacto é a mineração, seguida do curtimento e da industrialização de couros.

Quanto aos elementos-traço nos sedimentos, não houve diferença estatística entre os locais suspeitos de contaminação e os locais naturais. Porém, foi verificada a contaminação no solo por Pb (grupo A), Cu, Cr, Ni, Pb e Mn (grupo B), Cr e Ni (grupo D), Cr (grupo E) e Cu (grupo F).

Os sedimentos não foram tão adequados quanto os solos para detectar contaminação por serem, em geral, muito arenosos. Possivelmente em regiões menos acidentadas onde os rios possuam sedimentos de fundo de textura mais fina, a amostragem de sedimentos para fins de avaliação de contaminação seja imprescindível. Em regiões de relevo acidentado, como as do presente estudo, a amostragem de sedimentos revelou pouca utilidade, sendo preferível amostrar os solos das planícies de inundação, pois os mesmos mostraram-se capazes de reter quantidades diversificadas (consideráveis) de elementos-traço.

Neste trabalho, são sugeridos valores de referência de teores naturais de elemento-traço em solos de planícies de inundação visando subsidiar futuros estudos e avaliações na bacia em questão.

Na Bacia estudada, há a necessidade de estudos específicos quanto aos tipos de mineração, à área ocupada por esta atividade e, principalmente, à prática de recuperação das áreas após este tipo de exploração.

Sugerem-se estudos futuros enfocando os seguintes elementos-traço e Municípios: Pb em Dolores de Campos e Prados; Cu, Cr, Ni, Pb e Mn em Nazareno e São Tiago; Cr e Ni em São João del Rei; e Cu em Barbacena.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, C. A.; ABREU, M. F.; RAIJ, B.; SANTOS W. R. Comparação de métodos de análise para avaliar a disponibilidade de metais pesados em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solos**, Campinas, v. 19, p. 463-468, 1995.

AMBIENTE GLOBAL. Com o chumbo não se brinca. Disponível em: <<http://www.uol.com.br/ambienteglobal/site/reportagens>>. Acesso em: 09 out. 2002.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 17. ed. Washington, 1989. s. p.

ANTUNES, F. Z.; SANTANA, D. P.; BOUÇADA, A. V. et al. **Atlas climatológico do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: EPAMIG, 1982. s. p.

ARTAXO, P.; CAMPOS, R. C.; FERNANDES, E. T.; MARTINS, J. V.; XIAO, Z.; LINDQVIST, O.; FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, M. T.; MAENHAUT, W. Large scale mercury and trace element measurements in the Amazon basin. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 34, n. 24, p. 4085-4096, 2000.

ASSIS, L. F. S. de; MENESES, I. C. R. R. C. de. **Indicadores ambientais da Agenda marrom no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: FEAM, 2002.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. **Toxicological profile for Cadmium**. Atlanta: ATSDR, 1997. 347 p.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. **Toxicological profile for Zinc**. Atlanta, 1994. 243 p.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. **Toxicological profile for copper**. Syracuse: US Department of Commerce, 1990.

BAIRD, C. **Química ambiental**. 2. ed. – Porto Alegre: Bookman, 2002. 622 p.

BARCELOUX, D. G. Manganese Clin Toxicol. **Journal of Toxicology - Clinical Toxicology**, New York, v. 37, n. 2, p. 293-307, 1999.

BELLINGER, D.; SCHWARTZ, J. effects of lead in children and adults. In; STEELAND, K.; SAVITZ, D. A. A. (Ed.). **Topics in Environmental Epidemiology**. New York: Oxford University Press, 1997. cap 14, p. 314-349.

BERTON, R. S. Riscos de contaminação do agroecossistemas com metais pesados. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed.). **Impacto ambiental do uso Agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa, 2000. p 259-268.

CAMPOS, M. L.; PIERANGELI, M. A. P.; GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, J. J.; CURI, N. Baseline concentration of heavy metals in Brazilian Latosols. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 34, n. 3/4, p. 547-557, 2003.

CANADIAN COUNCIL OF ENVIRONMENTAL GUIDELINES – CCEG. Canadian Environmental Quality Guidelines. Canadian Sediment Quality Guidelines for the protection of aquatic life. 2002. Disponível em: <http://www.ccme.ca/assets/pdf/e1_06.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2003.

CARMO, M. S.; BOAVENTURA, G. R.; OLIVEIRA, E. C. Geoquímica das águas da bacia hidrográfica do rio descoberto, Brasília/DF – Brasil. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 4, jul./ago. 2005.

CETEC (Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais). **Diagnóstico ambiental do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: CETEC, 1983. 158 p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. DECISÃO DE DIRETORIA. Nº 195-2005- E, de 23 de novembro de 2005. Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo. São Paulo, 2005.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Informações ambientais**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/>>. Acesso em: 02 maio 2001.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo**. São Paulo, 2001. 73 p. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/>>. Acesso em: maio 2001.

CHASIN, A. A. M.; CARDOSO, L. M. N. Cádmiio. In: AZEVEDO, F. A.; CHASIN, A. A. M. **Metais – gerenciamento da toxicidade**. São Paulo: Editora Atheneu, 2003. Cap. 10, p. 263-298.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da União**, 18 mar. 2005. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2006.

COTTA, J. A. O. **Diagnóstico ambiental do solo e sedimento do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR)**. 2003. São Carlos. 116 p. Dissertação (Mestrado em Ciências- Química Analítica) Universidade de São Paulo.

COTTA, J. A. O.; REZENDE, M. O. O.; PIOVANI, M. R. Avaliação do teor de metais em sedimento do rio Betari no parque estadual turístico do Alto Ribeira – Petar, São Paulo, Brasil. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 40-45, jan./fev. 2006.

CROMMENTUIJN, T.; SIJM, D.; BRUIJM, HOOP, M. VAN DEN; LEEUWEN, K. VAN; PLASSCHE, E. VAN de. Maximum permissible and negligible concentrations for metals and metalloids in the Netherlands, taking into account background concentrations. **Journal of Environmental Management**, London, v. 60, n. 2, p. 121-143, Oct. 2000.

CURI, N. **Desenvolvimento de pastagens na zona fisiográfica Campos das Vertentes, MG**. Lavras/Coronel Pacheco: EMBRAPA, 1994. p. 21-43.

CURI, N.; FRANZMEIER, D. P. Effect of parent rocks on chemical and mineralogical properties of some Oxisols in Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 51, n. 1, p. 153-158, Jan./Fev. 1987.

DE PAULA, F. C. F.; MOZETO A. A. Biogeochemical evolution of trace elements in a pristine watershed in the Brazilian southeastern coastal region. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 16, p. 1139-1151, 2001.

DUFFUS, J. H. “Heavy Metals” - A Meaningless Term. **Pure and Applied Chemistry**, Triangle PK, v. 79, n. 9, p. 1357, Sept. 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 2006. 306 p.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. **National sediment quality survey**. Appendix D. Screening values for chemicals evaluated. 2003.

Disponível em: <http://www.epa.gov/ostwater/cs/vol1/appdx_d.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2003.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602 p.

EVANKO, C. R.; DZOMBAK, D. A. Remediation of metals-contaminated soils and groundwater. Technology evaluation report, Série E: TE 97-01, 1997. 61 p. Disponível em: <<http://www.gwrtac.org>>. Acesso em: 10 jan. 2003.

FADIGAS, F. S.; AMARAL SOBRINHO, N. M. A; MAZUR, N.; BEHLING, M. Proposição de valores de referência para a concentração de Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn em solos brasileiros. In: FERTBIO 2002, Rio de Janeiro. **Resumos...** Rio de Janeiro: UFRRJ/SBCS/SBM, 2002. 1CD-ROM.

FALÓTICO, M. H. B. **Distribuição de concentrações de metais em água, matéria em suspensão e sedimento de fundo na bacia do rio Piracicaba/ SP**. 2001. 92 p. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP.

FERNANDES, H. M. Heavy metals distribution in sediments and ecological risk assessment: the role of diagenetic processes in reducing metal toxicity in bottom sediments. **Environmental Pollution**, Oxford, v. 97, n. 3, p. 317-325, 1997.

FILIPPELLI, G. Lead's lingering legacy. Disponível em:

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - FEAM. **Relatório de qualidade das águas superficiais do Estado de Minas Gerais**: projeto sistema de monitoramento da qualidade das superficiais do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: FEAM/IGAM, 2001. 346 p.

GIASSON, E. Introdução aos estudos dos solos. In: MEURER, E. J. (Ed.). **Fundamentos de química do solo**. 2. ed. Porto Alegre: Gênese, 2004. 290 p.

GLEYZES, C.; TELLIER, S.; ASTRUC, M. Fractionation studies of trace elements in contaminated soils and sediments: a review of sequential extraction procedures. **Trends in Analytical Chemistry**, London, v. 21, n. 6 – 7, p. 451-467, June/ July2002.

GROTTI, M.; IANNI, C.; FRACHE, R. Inductively coupled plasma optical emission spectrometric determination of trace elements in sediments after

sequential selective extraction: effects of reagents and major elements on the analytical signal. **Talanta**, Amsterdam, v. 57, n. 6, p. 1053-1066, July 2002.

GUERREIRO, C. R.; VASSILIEFF, I. **1º Relatório da avaliação do impacto na saúde dos moradores do Recanto dos Pássaros, referente a contaminação ambiental do antigo site Shell – Química, Município de Paulínia - SP – BR.** Prefeitura Municipal de Paulínia, Secretaria da Saúde, Vigilância à Saúde, 2001. 30 p. Disponível em: <<http://sites.uol.com.br/acpo94/SSPaulinia.htm>>. Acesso em: maio 2001.

GUILHERME, L. R. G. Poluição do solo e qualidade ambiental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., 1999, Brasília. **Anais...** Brasília: SBCS, 1999. 1CD-ROM.

GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, J. J.; PIERANGELI, M. A. P.; ZULIANI, D. Q.; CAMPOS, M. L. Elementos-traço em solos, sedimentos e águas. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS: água e biodiversidade, 5., 2002, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 2002. p. 30-55.

GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, J. J.; PIERANGELI, M. A. P.; ZULIANI, D. Q.; CAMPOS, M. L.; MARCHI, G. Elementos-traço em solos e sistemas aquáticos. In: **Tópicos em ciências do solo.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2005. v. 4.

GUILHERME, L. R. G.; SILVA, M. L. N.; LIMA, J. M.; REGITANO, R. L. O. Contaminação de microbacia hidrográfica pelo uso de pesticidas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 21, n. 207, p. 40-50, 2000.

HAYES, K. F.; TRAINA, S. J. Metal speciation and its significance in ecosystem health. In: HUANG, P. M. (Ed.). **Soil chemistry and ecosystem health.** Madison: Soil Science Society of America, 1998. p. 45-84. (SSSA Special Publication N° 52).

HOENIG, M. Preparation steps in environmental trace element analysis – facts and traps. **Talanta**, Amsterdam, v. 54, n. 6, p. 1021-1038, July 2001.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. **Relatório de Monitoramento das águas superficiais na Bacia do Rio Grande.** Belo Horizonte: IGAM, 2005. 250 p.

JORDÃO, C. P.; PEREIRA, J. C.; BRUNE, W. PEREIRA, J. L.; BRAATHEN, P. C. Heavy metal dispersion from industrial wastes in the Vale do Aço, Minas Gerais, Brasil. **Environmental Technology**, London, v. 17, n. 5, p. 489-500, May 1996.

JORDÃO, C. P.; PEREIRA, J. L.; JHAM, G. N.; BELLATO, C. R. Distribution of heavy metals in environmental samples near smelters and mining areas in Brazil. **Environmental Technology**, London, v. 20, p. 489-498, 1999.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2001. 413 p.

KER, J. C. **Mineralogia, sorção e dessorção de fosfato, magnetização e elementos traços de Latossolos do Brasil**. 1995. 181 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

KING, L. D. Soil heavy metals. In: ALVAREZ, V. V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. (Ed.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o seu desenvolvimento sustentável**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p. 823-836.

LACERDA, L. D. Trace metals distribution in sediment profile from remote Lakes in the Pantanal Swamp, Central Brazil. **Geochimica Brasilienses**, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 103-109, 1992.

LACERDA, L. D.; DEPAULA, F. C. F.; OVALLE, A. R. C.; PFEIFFER, W. C.; MALM, O. Trace metals in fluvial sediments of the Madeira River watershed, Amazon, Brazil. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 97-8, p. 525-530, Nov. 1990.

LINK, D. D.; WALTER, P. J.; KINGSTON, H. M. Development and validation of the new EPA microwave-assisted leach method 3051A. **Environment Science Technology**, Washington, v. 32, n. 22, p. 3628-3632, Nov. 1998.

LOURENÇO, R. W.; LANDIM, P. M. B. Mapeamento de áreas de risco à saúde pública por meio de métodos geoestatísticos. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 1, p. 150-160, jan./fev. 2005.

MAGALHÃES, V. F.; PFEIFFER, W. C. Arsenic concentration in sediments near a metallurgical plant (Sepetiba Bay, Rio de Janeiro, Brazil). **Journal of Geochemical Exploration**, Amsterdam, v. 52, n. 1/2, p. 175-181, Jan. 1995.

MAGALHÃES, V. F.; CARVALHO, C. E. V.; PFEIFFER, W. C. Arsenic contamination and dispersion in the Engenho Inlet, Sepetiba Bay, se, Brazil. **Water, Air, and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 129, n. 1/4, p. 83-90, July 2001.

MAHER, W.; WOO, L. Procedures for the storage and digestion of natural waters for determination of filterable reactive phosphorus, total filterable phosphorus and total phosphorus. **Analytical Chimica Acta**, Amsterdam, v. 375, n. 1/2, p. 5-47, Nov. 1998.

MARQUES, J. J.; SCHULZE, D. G.; CURI, N.; MERTZMAN, S. A. Trace element geochemistry in Brazilian Cerrado soils. **Geoderma**, Amsterdam, v. 121, n. 1/2, p. 31-43, July 2004.

MARQUES, J. J. G. S. M. **Trace element distributions in Brazilian Cerrado soils at the landscape and micrometer scales**. 2000. 173 p. Thesis (Ph.D) - Purdue University West Lafayette, Disponível em: <<http://www.dcs.ufla.br/marques/curvit.htm>>. Acesso em: maio 2006.

MARQUES, J. J. G. S. M.; CURI, N.; LIMA, J. M. **Recursos ambientais da Bacia do Alto Rio Grande, Minas Gerais – Guia de excursão técnica**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002a. 33 p.

MARQUES, J. J. G. S. M.; CURI, N.; SCHULZE, D. G. Trace elements in cerrado soils. In: ALVAREZ, V. H. V.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002b. v. 2, p. 103-142.

MARTINS, I. Manganês. In: AZEVEDO, F. A.; CHASIN, A. A. M. **Metais – Gerenciamento da toxicidade**. São Paulo: Editora Atheneu, 2003. Cap. 3, p. 67-98.

MATSCHULLAT, J.; BORBA, R. P.; DESCHAMPS, E.; FIGUEIREDO, B. R.; GABRIO, T.; SCHWENK, M. Human and environmental contamination in the Iron Quadrangle, Brazil. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 15, n. 2, p. 181-190, Feb. 2000.

McBRIDE, M. B. **Environmental chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 1994. 406p.

MOLISANI, M. M.; SALOMÃO, M. S. M. B.; OVALLE, A. R. C.; REZENDE, C. E.; LACERDA, L. D.; CARVALHO, C. E. V. Heavy metals in sediments of the lower Paraíba do Sul River and stuary, R. J., Brazil. **Bulletin of**

Environmental Contamination and Toxicology, New York, v. 63, n. 5, p. 682-690, Nov. 1999.

MORAES, D. S. L.; JORDÃO, B. Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Revista Saúde Pública**, São Paulo, v. 36, n. 3, p. 370-374, 2002.

MOURA, M. C. S.; LOPES, A. N. C.; MOITA, G. C.; NETO, J. M. M. Estudo multivariado de solos urbanos da cidade de Teresina. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 3, p. 429-435, maio/jun. 2006.

MOZETO, A. A.; UMBUZEIRO, G. A.; JARDIM, W. F. **Métodos de coleta, análises físico-químicas e ensaios biológicos e ecotoxicológicos de sedimentos de água doce**. São Carlos: Cubo Multimídia, 2006. 224 p.

NRIAGU, J. O.; PACYNA, J. M. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils with trace metals. **Nature**, London, v. 333, n. 6169, p. 134-139, May 1988.

NRIAGU, J. O. A global assessment of natural sources of atmospheric trace metals. **Nature**, London, v. 338, 6210, p. 47-49, Mar. 1989.

NRIAGU, J. O. Global inventory of natural and anthropogenic emissions of trace metals to the atmosphere. **Nature**, London, v. 279, n. 5712, p. 409-411, 1979.

OLIVEIRA, J. P. Níquel. In: AZEVEDO, F. A.; CHASIN, A. A. M. **Metais – gerenciamento da toxicidade**. São Paulo: Editora Atheneu, 2003. Cap. 5, pág. 127 – 142.

PAOLIELLO, M. M. B.; CAPITANI, E. M. Chumbo. In: AZEVEDO, F. A.; CHASIN, A. A. M. **Metais – Gerenciamento da toxicidade**. São Paulo: Editora Atheneu, 2003. Cap. 12, p. 353-398.

PEDROZO, M. F. M. Cobre. In: AZEVEDO, F. A.; CHASIN, A. A. M. **Metais – gerenciamento da toxicidade**. São Paulo: Editora Atheneu, 2003. Cap. 6, p. 143-185.

PEREIRA, J. C. **Avaliação da degradação ambiental de três microbacias hidrográfica da região Campos das Vertentes (MG)**. 1995. 81 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

PIERANGELI, M. A. P.; GUILHERME, L. R. G.; CURI, N.; SILVA, M. L. N.; OLIVEIRA, L. R.; LIMA, J. M. Teor total e capacidade máxima de adsorção de chumbo em Latossolos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 279-288, abr./jun. 2001.

PIERZYNSKI, G. M.; SIMS, J. T.; VANCE, G. F. **Soils and environmental quality**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1994. 313 p.

PORTO, M. F. A.; BRANCO, S. M.; LUCA, S. J. Caracterização da qualidade da água. In: PORTO, R. L. (Org.) **Hidrologia ambiental**. São Paulo: editora da universidade de São Paulo, 1991. v. 3.

QUEVAUVILLER, P. Operationally-defined extraction procedures for soil and sediment analysis. Part 3: new CRMs for trace-element extractable contents. **Trends Analytical Chemistry**, London, v. 21, n. 11, p. 774-785, Nov. 2002.

RIBEIRO FILHO, M. R.; CURI, N.; SIQUEIRA, J. O.; MOTTA, P. E. F. Metais pesados em solos de área de rejeitos de indústria de processamento de zinco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 453-464, abr./jun. 1999.

ROULET, M.; LUCOTTE, M.; FARELLA, N.; SERIQUE, G. COELHO, H.; SOUZA PASSOS, C. J.; DE JESUS DA SILVA, E.; SCAVONE DE ANDRADE, P. GUIMARÃES, J. R. D.; MERGLER, D.; AMORIM, M. Effects of recent human colonization on the presence of mercury in Amazonian ecosystems. **Water, Air, Soil Pollution**, Dordrecht, v. 112, n. 3-4, p. 297-313, June 1999.

RESENDE, M.; CURI, N.; KER, J. C.; REZENDE, S. B. **Mineralogia de Solos Brasileiros**: interpretação e aplicações. Lavras-MG: Editora UFLA, 2005. v. 1. 192 p.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. 4. ed. Viçosa: NEPUT, 2002. v. 1. 338 p.

RESENDE, M.; CURI, N.; SANTANA, D. P. **Pedologia e fertilidade do solo**: interações e aplicações. Brasília: MEC/ESAL/POTAFOS, 1988. 84 p.

SANTOS, A. C. Noções de Hidroquímica. In: FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. M. **Hidrogeologia**: conceitos e aplicações. 2. ed. Fortaleza: CPRM/REFO, 2000. cap. 5, p. 81-108.

SANTOS, E. H. M. **Descarga de sedimentos transportados em suspensão por três rios da Bacia Hidrográfica do Alto Rio Grande**. 1998. 58 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SILVA, A. C. **Avaliação da Contaminação, por Crômio, em Ecossistemas Aquáticos, nas Proximidades de Indústria de Curtimento de Couros em Minas Gerais**. 1997. 100 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SILVA, A. C. **Contaminação dos solos por metais pesados oriundos da atividade metalúrgica na região de São João Del Rei (Minas Gerais). II. Quantificação do teor de metais pesados no solo**. Projeto de Iniciação Científica submetido ao comitê local do PIBIC. Universidade de Alfenas – Instituto de Ciências Agrárias. Alfenas-MG, 2001.

SILVA, C. S. Cromo. In: AZEVEDO, F. A.; CHASIN, A. A. M. **Metais – gerenciamento da toxicidade**. São Paulo: Editora Atheneu, 2003. Cap. 2, p. 35-65.

SILVA, E. M.; NAVARRO, M. F. T.; BARROS, A. F.; MOTA, M. F. V.; CHASTINET, C. B. A. Metals in the sediments of Jauá Lake (Camaçari, Bahia, Brazil) following an episode of industrial contamination. **Aquatic Ecosystem Health & Management**, Amsterdam, v. 3, n. 4, p. 509-514, 2000.

SILVA, E. S. Zinco. In: AZEVEDO, F. A.; CHASIN, A. A. M. **Metais – Gerenciamento da toxicidade**. São Paulo: Editora Atheneu, 2003. Cap. 7, p. 187-201.

SILVA, M. A. L. S.; REZENDE, C. E. Behavior of selected micro and trace elements and organic matter in sediments of a freshwater system in south-east Brazil. **Science Total Environment**, Amsterdam, v. 292, n. 1-2, p. 121-128, June 2002.

SPARKS, D. L. **Environmental soil chemistry**. San Diego: Academic Press, 1995. 267 p.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. rev. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 1996. v. 1, 243 p.

STUMM, W.; MORGAN, J. J. **Aquatic chemistry: chemical equilibria and rates in natural waters**. 3. ed. New York: John Wiley, 1996. 1022 p.

STUMM, W.; MORGAN, J. J. **Aquatic chemistry**. New York: John Wiley, 1981.

TOLEDO, L. G.; NICOLELLA, G. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. **Scientia Agrícola**, Piracicaba v. 5, n. 1, p. 181-186, jan./mar. 2002.

TOLEDO, M. C. M.; OLIVEIRA S. M. B.; MELFI, A. intemperismo e formação do solo. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIECHILD, T. R.; TAIOLI, F. (Org). **Decifrando a terra**. São Paulo: Oficina de textos, 2003. 568 p.

TOMAZELLI, A. C. **Estudo comparativo das concentrações de cádmio, chumbo e mercúrio em seis Bacias Hidrográficas do Estado de São Paulo**. 2003. 124 p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos: RiMa/IIIE, 2003. 248 p.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME - UNEP. **Phasing lead out of gasoline: an examination of policy approaches in different countries**, 2001.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. Method 3051A: Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils and oils. In: _____. **SW-846: test methods for evaluating solid waste, physical and chemical methods**. Washington, 1998. 20 p.

VAITSMAN, D. S.; AFONSO, J. C.; DUTRA, P. B. **Para que servem os elementos químicos**. Rio de Janeiro: Interciência, 2001. 286 p.

VITOUSEK, P. M. The effects of deforestation on air, soil, and water. In: BOLIN, B.; COOK, R. B. (Ed.). **The major biogeochemical cycles and their interactions**. Chichester: Wiley, 1983. p. 223-245.

WILCKE, W.; LILIENFEIN, J.; LIMA, S. C.; ZECH, W. Contamination of highly weathered urban soils in Uberlândia, Brazil. **Zeitschrift fuer Pflanzenernaehrung und Bodenkund**, Berlin, v. 162, n. 5, p. 539-548, Oct. 1999.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Cadmium**. Geneva, WHO, 1992. (Environmental Health Criteria 134).

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Chromium. Geneva, 1988. (Environmental health criteria, 61).

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Chromium**. Geneva, 1998. (Environmental health criteria 61).

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Concise International Chemical Assessment. **Manganese and its compounds**. Geneva, 1999. (Document, n. 12).

WORLD HEALTH ORGANIZATION. IPCS. **Environmental health criteria 165 – Inorganic Lead**. Geneva: WHO. 1995. 300 p. Publish under the joint sponsorship of the United Nations Environment programme, the International Labour Organization, and the World Health Organization.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Manganese**. Geneva, WHO, 1981. (Environmental Health Criteria, 17).

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Nickel**. Geneva, 1991. p. 383. (Environmental Health Criteria, n. 108).

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Zinc. Geneva, 2001. (Environmental Health Criteria, n. 221).

ZULIANI, D. Q. **Balanco geoquímico de plantações de eucalipto e caracterização de águas superficiais próximas a depósito de lixo: estudos de casos**. 2003. 96 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

ZULIANI, D. Q.; OLIVEIRA, M. L. J.; MARQUES, J. J. Águas superficiais afetadas pelo depósito de lixo da cidade de Nazareno – MG. In: CONGRESSO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UFLA, 11., 2002, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA/APG, 2002. 1CD-ROM.

9 ANEXOS

ANEXOS A

| | |
|--|-----|
| TABELA 1A. Resultados das análises de elementos-traço em sedimento e solo, na Bacia do Rio das Mortes-MG..... | 124 |
| TABELA 2A Pontos de coleta e classificação dos solos amostrados na Bacia do Rio das Mortes-MG..... | 127 |
| TABELA 3A Pontos de coleta, município amostrado, nome do córrego onde foram amostrados água e sedimento e vazão do respectivo córrego, pertencentes à Bacia do Rio das Mortes-MG..... | 128 |
| TABELA 4A Pontos de coleta e concentração de fósforo e nitrogênio, pH, Condutividade eletrolítica e turbidez das águas amostradas na Bacia do Rio das Mortes-MG..... | 131 |
| TABELA 5A Pontos de coleta e concentração de elementos-traço nas águas amostradas na Bacia do Rio das Mortes-MG..... | 134 |
| TABELA 6A Pontos de coleta e resultado das três repetições na determinação de elementos-traço nos sedimentos amostrados na Bacia do Rio das Mortes-MG..... | 136 |
| TABELA 7A Pontos de coleta e resultado das três repetições na determinação de elementos-traço nos solos amostrados na Bacia do Rio das Mortes-MG..... | 144 |
| TABELA 8A Pontos de coleta e resultado de fertilidade (pH em água, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio e H+Al) dos solos amostrados na Bacia do Rio das Mortes-MG..... | 153 |
| TABELA 9A Pontos de coleta e resultados de fertilidade (soma de bases trocáveis-SB, Capacidade de troca Catiônica Efetiva CTC (t), Capacidade de troca Catiônica a pH 7- CTC(T), Índice de saturação por bases-V% e Índice de saturação por alumínio-M) dos solos amostrados na Bacia do Rio das Mortes-MG..... | 155 |
| TABELA 10 A Pontos de coleta classe textural e porcentagem de areia, silte e argila dos sedimentos e solos amostrados na Bacia do Rio das Mortes-MG..... | 157 |
| TABELA 11 A Pontos de coleta e resultado das três repetições na determinação de arsênio e selênio nos sedimentos e solos amostrados na Bacia do Rio das Mortes-MG..... | 160 |
| Fotografias das amostragens | 167 |

TABELA 1A Descrição dos locais de coleta dos oitenta pontos amostrados na Bacia do Rio das Mortes-MG.

| Ponto | Descrição do local de amostragem |
|-------------|---|
| 1 | Águas escuras, pastagem semi-abandonada, área urbana, ponto à montante da cidade. |
| 2 | Águas negras, casas ao redor, área urbana, solo degradado, periferia da cidade. |
| 3 | Água claras com raspas de couro, área urbana, periferia da cidade, circundada por indústrias de transformação do couro, dois curtumes vizinhos. |
| 4 | Águas claras, presença de gado na área, pastagem nativa, à jusante do lixão, presença de curtume. |
| 5 | Águas escuras, ribeirão em água urbana, envolvido por mata ciliar secundária (lote). |
| 6 | Águas escuras, odor característico, a jusante do povoado com fabricação de vários artigos artesanais incluindo peças com latão. |
| 7 | Água de coloração “leitosa e azulada”, solo coletado em lavoura de arroz à jusante do município de Prados |
| 8 | Águas claras, pastagem, entre Prados e o povoado de Vitoriano Veloso |
| 9 | Águas claras, encontro dos dois córregos, perto de rodovia pavimentada. |
| 10 | Águas claras, a jusante do povoado de Capelinha aparentemente o solo não sofre influencia do rio, pastagem. |
| 11 | Águas claras, final de um vale de varias minerações desativadas |
| 12 | Águas claras (rio das Mortes), antes da portaria de uma mineradora, à jusante da maior parte das mineradoras da região |
| 13 | Águas claras, (rio das Mortes), mata ciliar secundária. |
| 14 | Águas claras, empreendimento de processamento de minérios desativada, pastagem |
| 15 | Águas claras, |
| 16 | Águas claras , mata secundaria |
| 17 | Águas claras, montante da cidade de Resende Costa. |
| 18 | Águas claras, mata secundária |
| 19 | Águas claras, mata secundária |
| 20 | Águas claras, campo de futebol, |
| 21 | Águas claras, a jusante do povoado de Emboabas, pastagem |
| 22 | Águas claras, pastagem degradadas, a montante do povoado de Caburu. |
| 23 | Águas claras, povoado de Rio Das Mortes. |
| 24 | Águas escuras, ribeirão no meio do povoado de Rio das Mortes, pastagem |
| Continua... | |

| "TABELA 1 A, Cont." | |
|---------------------|--|
| Ponto | Descrição do local de amostragem |
| 25 | Águas claras, mata secundária sem uso aparente trecho com mata ciliar. |
| 26 | Águas escuras, próximo a rodovia pavimentada, local de despejo de materiais (entulhos), pastagem |
| 27 | Águas claras, a Jusante de industria de metais, solo sob horticultura |
| 28 | Águas escuras, muito esgoto de casas, canos que caem no córrego (bairro Colônia do Marçal), solo em estrada, lotes urbanos. |
| 29 | Águas negras, muito lixo e presença de esgotos, poucos metros antes de desaguar no Rio das Mortes, solo sob pastagem degradada |
| 30 | Águas escuras, próximo a rodovia pavimentada, centro urbano, drena a área de estocagem e quartzito. |
| 31 | Águas claras, pastagem |
| 32 | Águas claras, baixo da periferia de Barbacena, pastagem. |
| 33 | Águas claras, drena pequeno campo de horticultura, periferia de Barbacena. |
| 34 | Águas claras, próximo a rodovia pavimentada, pastagem |
| 35 | Águas claras, à jusante do povoado de Senhora das Dores |
| 36 | Águas claras, área urbana de Alfredo Vasconcelos, a jusante de mineração, solo em loteamento urbano |
| 37 | Águas escuras, presença de muito lixo ao redor, solo em lote urbano |
| 38 | Águas negras, muito lixo, solo (mistura de solo do local com depositado) sob pastagem, |
| 39 | Águas negras, drena fabrica de fertilizantes e industria metálica, solo sob mata secundária. |
| 40 | Águas claras, pastagem ao redor de uma várzea grande, rio muito assoreado |
| 41 | Águas claras, pastagem, visivelmente em intervenção antrópica |
| 42 | Águas claras, presença de lixo, solo sob pastagem |
| 43 | Águas claras, pasto abandonado |
| 44 | Águas claras, várzea grande, grande lavoura de milho à sua montante |
| 45 | Águas claras, drena a várzea, solo sob pastagem |
| 46 | Águas claras, drena área de mata ciliar |
| 47 | Águas claras, próximo a estrada pavimentada, pastagem |
| 48 | Águas claras, local sem habitação em grande área |
| 49 | Águas claras, pastagem |
| 50 | Águas claras, próximo a olaria abandonada, animais de criação na área |
| Continua... | |

| “TABELA 1 A, Cont.” | |
|---------------------|--|
| Ponto | Descrição do local de amostragem |
| 51 | Águas claras, local desabitado, nenhuma casa ou interferência antrópica aparente |
| 52 | Águas claras, pastagem sem intervenção antrópica visível |
| 53 | Águas claras, pastagem abandonada, degradada |
| 54 | Águas claras, pastagem, área de eucalipto próxima |
| 55 | Águas claras, debaixo de mata ciliar , presença de animais de criação |
| 56 | Águas claras, drena várzea, pastagem, |
| 57 | Águas claras, pastagem , granja avícola abandonada, |
| 58 | Águas claras, pastagem, |
| 59 | Águas claras, pastagem, |
| 60 | Águas claras, solo sob mata ciliar |
| 61 | Águas claras, pastagem, próximo ao povoado de Piedade |
| 62 | Águas claras, solo sob mata secundária |
| 63 | Águas claras, mata ciliar próximo ao riacho solo sob pasto nativo |
| 64 | Águas claras, solo sob pastagem |
| 65 | Águas claras, solo sob mata ciliar |
| 66 | Águas claras, solo sob mata ciliar |
| 67 | Águas claras, solo sob mata ciliar |
| 68 | Águas claras, solo sob mata ciliar |
| 69 | Águas claras ,solo sob mata ciliar, área próxima à pomar de pêssigo |
| 70 | Águas claras, solo sob mata ciliar |
| 71 | Águas claras, solo sob mata ciliar |
| 72 | Águas claras (barragem), solo sob pastagem à montante do lixão de São João del Rei |
| 73 | Águas claras, solo sob mata ciliar, |
| 74 | Águas claras, mata secundária e pasto |
| 75 | Águas claras, mata ciliar Área com boa quantidade de lixo. |
| 76 | Águas claras, solo sob pastagem , presença próximo ao rio de mata secundária |
| 77 | Águas claras, solo sob mata ciliar com pastagem |
| 78 | Águas claras, área de brejo desmatada |
| 79 | Águas claras, presença de mata ciliar, próximo há pastagem |
| 80 | Águas claras, solo sob mata ciliar, próximo há pastagem |

TABELA 2A Pontos de coleta e classificação dos solos amostrados na Bacia do Rio das Mortes-MG.

| Ponto | Classificação do solo | Ponto | Classificação do solo |
|--------------|------------------------------|--------------|------------------------------|
| 1 | Neossolo flúvico | 41 | Neossolo flúvico |
| 2 | Neossolo flúvico | 42 | Neossolo flúvico |
| 3 | Cambissolo | 43 | Neossolo flúvico |
| 4 | Neossolo flúvico | 44 | Neossolo flúvico |
| 5 | Neossolo flúvico | 45 | Neossolo flúvico |
| 6 | Neossolo flúvico | 46 | Neossolo flúvico |
| 7 | Neossolo flúvico | 47 | Neossolo flúvico |
| 8 | Neossolo flúvico | 48 | Neossolo flúvico |
| 9 | Neossolo flúvico | 49 | Neossolo flúvico |
| 10 | Neossolo flúvico | 50 | Neossolo flúvico |
| 11 | Neossolo flúvico | 51 | Neossolo flúvico |
| 12 | Neossolo flúvico | 52 | Cambissolo |
| 13 | Cambissolo | 53 | Neossolo flúvico |
| 14 | Neossolo flúvico | 54 | Neossolo flúvico |
| 15 | Neossolo flúvico | 55 | Neossolo flúvico |
| 16 | Gleissolo Háptico | 56 | Neossolo flúvico |
| 17 | Gleissolo Háptico | 57 | Neossolo flúvico |
| 18 | Cambissolo | 58 | Latosolo |
| 19 | Gleissolo Háptico | 59 | Neossolo flúvico |
| 20 | Neossolo flúvico | 60 | Neossolo flúvico |
| 21 | Neossolo flúvico | 61 | Neossolo flúvico |
| 22 | Neossolo flúvico | 62 | Neossolo flúvico |
| 23 | Cambissolo | 63 | Cambissolo |
| 24 | Neossolo flúvico | 64 | Neossolo flúvico |
| 25 | Neossolo flúvico | 65 | Neossolo flúvico |
| 26 | Neossolo flúvico | 66 | Neossolo flúvico |
| 27 | Neossolo flúvico | 67 | Neossolo flúvico |
| Continua... | | | |

| "TABELA 2A, Cont." | | | |
|--------------------|-----------------------|-------|-----------------------|
| Ponto | Classificação do solo | Ponto | Classificação do solo |
| 28 | Neossolo flúvico | 68 | Neossolo flúvico |
| 29 | Neossolo flúvico | 69 | Cambissolo |
| 30 | Neossolo flúvico | 70 | Cambissolo |
| 31 | Cambissolo | 71 | Neossolo flúvico |
| 32 | Neossolo flúvico | 72 | Neossolo Litólico |
| 33 | Neossolo flúvico | 73 | Neossolo flúvico |
| 34 | Cambissolo | 74 | Neossolo flúvico |
| 35 | Neossolo flúvico | 75 | Neossolo flúvico |
| 36 | Neossolo flúvico | 76 | Neossolo flúvico |
| 37 | Neossolo flúvico | 77 | Neossolo flúvico |
| 38 | Neossolo flúvico | 78 | Gleissolo |
| 39 | Neossolo flúvico | 79 | Neossolo flúvico |
| 40 | Cambissolo | 80 | Cambissolo |

TABELA 3A Pontos de coleta, município amostrado, nome do córrego onde foram amostrados água e sedimento e vazão do respectivo córrego, pertencentes à Bacia do Rio das Mortes-MG.

| Ponto | Município | Nome do Córrego ou Rio | Vazão (m ³ /s) |
|-------------|----------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| 1 | Dores de Campos | Ribeirão da Patusca | 0,02 |
| 2 | Dores de Campos | Córrego do Açude | 0,13 |
| 3 | Dores de Campos | Ribeirão da Patusca | 0,18 |
| 4 | Dores de Campos | Córrego do Açude | 0,03 |
| 5 | Dores de Campos | Córrego do Lourenço | 0,02 |
| 6 | Prados | Ribeirão do Pinhão | 0,07 |
| 7 | Prados | Ribeirão do Pinhão | 0,16 |
| 8 | Prados | Córrego Palmital | 0,05 |
| 9 | Prados | Córrego Evangelista | 0,06 |
| 10 | São Tiago | Córrego Barreira da Vargem Grande | 0,35 |
| 11 | São Tiago / Nazareno | Córrego do Tanque | 0,03 |
| Continua... | | | |

| "TABELA 3 A, Cont." | | | |
|---------------------|------------------------|---|--------------|
| Ponto | Município | Nome do Córrego ou Rio | Vazão (m³/s) |
| 12 | São Tiago / Nazareno | Rio das Mortes | 91,50 |
| 13 | São Tiago / Nazareno | Rio das Mortes | 91,50 |
| 14 | São Tiago | Córrego Fundão | 0,40 |
| 15 | Resende Costa | Córrego Quilombo | 0,05 |
| 16 | Resende Costa | Córrego Mosquito | 0,01 |
| 17 | Resende Costa | Córrego do Tijuco | 0,30 |
| 18 | Resende Costa | Córrego da Aguada | 0,05 |
| 19 | Resende Costa | Córrego da Aguada | 0,24 |
| 20 | Barbacena | Ribeirão Praia do Cervo | 0,95 |
| 21 | São João Del Rei | Ribeirão da Onça | 1,98 |
| 22 | São João Del Rei | Córrego da Passagem | 0,06 |
| 23 | São João Del Rei | Rio das Mortes Pequeno | 6,84 |
| 24 | São João Del Rei | Ribeirão da Prata | 0,03 |
| 25 | São João Del Rei | Córrego do Rabicho | 3,81 |
| 26 | São João Del Rei | Ribeirão São Francisco Xavier | 0,15 |
| 27 | São João Del Rei | Córrego Caiambola | 4,50 |
| 28 | São João Del Rei | Rio Carandaí | 0,03 |
| 29 | São João Del Rei | Ribeirão da Água Limpa | 1,62 |
| 30 | São João Del Rei | Córrego do Porto | 0,13 |
| 31 | São João Del Rei | Córrego do Gambá | 0,08 |
| 32 | Barbacena | Córrego do Despejo ou Benta | 1,24 |
| 33 | Barbacena | Córrego Lavrinha | 1,41 |
| 34 | Barbacena | Ribeirão Sapateiro | 4,66 |
| 35 | Barbacena | Ribeirão Senhora das Dores | 0,84 |
| 36 | Alfredo de Vasconcelos | Córrego Violeta | 2,49 |
| 37 | Barbacena | Córrego das Pombas | 0,77 |
| 38 | Barbacena | Córrego da Estiva | 1,72 |
| 39 | Barbacena | Ribeirão Caieiro | 5,64 |
| 40 | São Tiago | Ribeirão Santo Antônio ou Córrego Fundo | 2,76 |
| Continua... | | | |

| "TABELA 3 A, Cont." | | | |
|---------------------|-----------------------------|----------------------------------|---------------------------|
| Ponto | Município | Nome do Córrego ou Rio | Vazão (m ³ /s) |
| 41 | São Tiago | Ribeirão da Fábrica ou Macuco | 0,42 |
| 42 | Bom Sucesso | Ribeirão dos Tabuões ou da Serra | 0,45 |
| 43 | Resende Costa | Rio do Peixe | 0,56 |
| 44 | Ritópolis | Ribeirão do Sítio | 0,57 |
| 45 | São Tiago | Córrego da Farofa | 0,06 |
| 46 | Nazareno | Ribeirão dos Moreiras | 0,54 |
| 47 | Conceição da Barra de Minas | Rio das Mortes Pequeno | 0,01 |
| 48 | Conceição da Barra de Minas | Rio das Mortes Pequeno | 0,01 |
| 49 | São João Del Rei | Córrego do Brumado | 0,45 |
| 50 | São João Del Rei | Córrego José Pedro | 0,06 |
| 51 | São João Del Rei | Córrego Morro Grande | 0,28 |
| 52 | Ritópolis | Ribeirão do Espraiador | 0,05 |
| 53 | Ritópolis | Córrego Monte Pio | 0,19 |
| 54 | Ritópolis | Córrego Segredo | 0,01 |
| 55 | Coronel Xavier Chaves | Córrego da Roça Grande | 2,55 |
| 56 | Coronel Xavier Chaves | Rio Carandaí | 0,75 |
| 57 | Prados | Córrego Engenho da Serra | 0,01 |
| 58 | Prados | Córrego da Ponte | 0,08 |
| 59 | Prados | Córrego do Ribeiro | 0,16 |
| 60 | Resende Costa/Lagoa Dourada | Córrego Floresta | 0,25 |
| 61 | São João Del Rei | Ribeirão da Onça | 0,31 |
| 62 | São João Del Rei | Córrego da Contenda | 0,21 |
| 63 | Barbacena/São João Del Rei | Rio Elvas | 5,47 |
| 64 | Dores de Campos | Ribeirão da Cachoeira | 0,31 |
| 65 | Prados | Córrego da Invernada | 0,10 |
| 66 | São João Del Rei | Ribeirão Grande | 0,31 |
| 67 | São João Del Rei | Ribeirão da Barba-de-Lobo | 0,07 |
| 68 | Antônio Carlos | Ribeirão Patrimônio dos Padres | 0,05 |
| 69 | Antônio Carlos | Córrego Morro Grande | 0,10 |
| Continua... | | | |

“TABELA 3 A, Cont.”

| Ponto | Município | Nome do Córrego ou Rio | Vazão (m ³ /s) |
|-------|----------------------------------|--|---------------------------|
| 70 | Antônio Carlos | Córrego do Guilherme | 0,15 |
| 71 | Nazareno | Córrego da Cachoeira | 0,10 |
| 72 | São João Del Rei | Represamento de água | - |
| 73 | Barbacena/São João Del Rei | Rio Elvas | 2,56 |
| 74 | Barbacena | Córrego Chapadão | 0,06 |
| 75 | Barbacena/Ressaquinha | Ribeirão do Loures ou Alberto Dias ou Bandeira | 2,65 |
| 76 | Carandaí/ressaquinha | Ribeirão Ressaquinha | 1,39 |
| 77 | Barbacena | Córrego Tapera | 0,07 |
| 78 | Alfredo de Vasconcelos/Barbacena | Córrego das Areias | 0,003 |
| 79 | Alfredo de Vasconcelos | Córrego Mombaça | 0,14 |
| 80 | Ressaquinha | Córrego Rincão | 0,04 |

TABELA 4A Pontos de coleta e concentração de fósforo e nitrogênio, pH, Condutividade eletrolítica e turbidez das águas amostradas na Bacia do Rio das Mortes-MG.

| Amostra | P (mg L ⁻¹) | N (mg L ⁻¹) | pH | Condutividade Eletrolítica (μS cm ⁻¹) | Turbidez (NTU) |
|-------------|----------------------------|----------------------------|-----|--|-------------------|
| 1 | 0,101 | 11,6 | 8,8 | 204 | 37 |
| 2 | 0,083 | 38,7 | 8,8 | 301 | 15 |
| 3 | 0,108 | 98,0 | 9,2 | 313 | 16 |
| 4 | 0,026 | 2,7 | 6,2 | 44 | 6 |
| 5 | 0,035 | 18,7 | 6,7 | 152 | 12 |
| 6 | 0,041 | 43,0 | 7,0 | 308 | 23 |
| 7 | 0,036 | 31,4 | 7,3 | 142 | 17 |
| 8 | 0,027 | 39,5 | 7,3 | 73 | 9 |
| 9 | 0,024 | 22,2 | 7,7 | 179 | 4 |
| 10 | 0,024 | <1,0 | 6,3 | 37 | 12 |
| 11 | 0,023 | 6,3 | 6,5 | 39 | 4 |
| 12 | 0,026 | <1,0 | 6,7 | 47 | 13 |
| 13 | 0,029 | 2,6 | 6,7 | 55 | 13 |
| Continua... | | | | | |

| "TABELA 4A, Cont." | | | | | |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|-----|----------------------------|----------|
| Amostra | P | N | pH | Condutividade Eletrolítica | Turbidez |
| | (mg L ⁻¹) | (mg L ⁻¹) | | (μS cm ⁻¹) | (NTU) |
| 14 | 0,024 | 57,1 | 6,5 | 304 | 8 |
| 15 | 0,039 | <1,0 | 6,3 | 46 | 12 |
| 16 | 0,059 | 6,2 | 6,2 | 54 | 21 |
| 17 | 0,035 | 4,9 | 5,7 | 35 | 8 |
| 18 | 0,023 | 6,7 | 6,0 | 27 | 16 |
| 19 | 0,048 | 6,7 | 6,2 | 30 | 21 |
| 20 | 0,016 | <1,0 | 7,0 | 20 | 6 |
| 21 | 0,020 | <1,0 | 7,2 | 26 | 17 |
| 22 | 0,015 | <1,0 | 7,3 | 37 | 46 |
| 23 | 0,009 | <1,0 | 7,3 | 27 | 6 |
| 24 | 0,011 | <1,0 | 7,1 | 45 | 10 |
| 25 | 0,008 | <1,0 | 7,1 | 18 | 5 |
| 26 | 0,014 | 5,0 | 6,5 | 41 | 16 |
| 27 | 0,011 | 7,0 | 7,2 | 42 | 17 |
| 28 | 0,031 | 3,7 | 6,5 | 75 | 8 |
| 29 | 0,155 | 8,0 | 6,9 | 104 | 14 |
| 30 | 0,029 | 15,4 | 6,2 | 107 | 25 |
| 31 | 0,007 | 7,6 | 7,3 | 68 | 7 |
| 32 | 0,013 | <1,0 | 6,6 | 70 | 29 |
| 33 | 0,015 | 3,6 | 7,2 | 57 | 32 |
| 34 | 0,031 | <1,0 | 6,6 | 28 | 38 |
| 35 | 0,013 | 5,6 | 6,8 | 25 | 14 |
| 36 | 0,010 | 8,4 | 6,4 | 13 | 11 |
| 37 | 0,124 | 15,5 | 5,6 | 11 | 16 |
| 38 | 0,316 | 35,3 | 6,0 | 11 | 16 |
| 39 | 0,201 | 15,6 | 6,0 | 11 | 15 |
| 40 | 0,014 | 8,6 | 6,5 | 27 | 11 |
| 41 | 0,123 | 2,2 | 6,3 | 26 | 29 |
| 42 | 0,016 | 7,7 | 6,6 | 27 | 31 |
| 43 | 0,021 | <1,0 | 6,3 | 26 | 8 |
| 44 | 0,235 | 1,2 | 6,3 | 17 | 12 |
| 45 | 0,015 | 1,3 | 6,0 | 41 | 16 |
| 46 | 0,014 | 4,8 | 6,4 | 26 | 10 |
| 47 | 0,070 | 3 | 5,8 | 51 | 46 |
| 48 | 0,015 | 10 | 6,3 | 44 | 18 |
| Continua... | | | | | |

| "TABELA 4A, Cont." | | | | | |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|-----|----------------------------|----------|
| Amostra | P | N | pH | Condutividade Eletrolítica | Turbidez |
| | (mg L ⁻¹) | (mg L ⁻¹) | | (μS cm ⁻¹) | (NTU) |
| 49 | 0,013 | 3,4 | 6,8 | 36 | 4 |
| 50 | 0,010 | 6,5 | 6,5 | 12 | 3 |
| 51 | 0,009 | 3,3 | 6,5 | 10 | 4 |
| 52 | 0,010 | 7,4 | 6,3 | 16 | 4 |
| 53 | <0,005 | <1,0 | 6,7 | 31 | 6 |
| 54 | 0,050 | <1,0 | 6,3 | 18 | 9 |
| 55 | 0,016 | 4,1 | 6,7 | 32 | 9 |
| 56 | <0,005 | 4,8 | 5,9 | 11 | 3 |
| 57 | 0,170 | 49,6 | 6,3 | 117 | 25 |
| 58 | 0,008 | <1,0 | 6,5 | 20 | 3 |
| 59 | 0,015 | 2,2 | 6,4 | 20 | 9 |
| 60 | 0,005 | 5,8 | 6,5 | 24 | 7 |
| 61 | 0,018 | 13,5 | 6,1 | 28 | 7 |
| 62 | <0,005 | 4 | 5,6 | 17 | 6 |
| 63 | 0,016 | 10,3 | 5,7 | 26 | 9 |
| 64 | <0,005 | 3,9 | 5,7 | 20 | 5 |
| 65 | 0,014 | 3,9 | 5,8 | 19 | 4 |
| 66 | <0,005 | 79,5 | 7,2 | 14 | 7 |
| 67 | 0,009 | 3,1 | 7,0 | 10 | 3 |
| 68 | <0,005 | 9,8 | 6,6 | 19 | 4 |
| 69 | 0,007 | <1,0 | 6,4 | 15 | 3 |
| 70 | 0,030 | <1,0 | 6,2 | 12 | 4 |
| 71 | 0,024 | 2,2 | 6,0 | 28 | 7 |
| 72 | 0,009 | 0,5 | 6,0 | 9 | 4 |
| 73 | 0,012 | 0,7 | 5,9 | 23 | 8 |
| 74 | 0,014 | <1,0 | 5,9 | 28 | 5 |
| 75 | 0,005 | <1,0 | 5,9 | 27 | 6 |
| 76 | 0,012 | <1,0 | 6,0 | 23 | 7 |
| 77 | <0,005 | 10,5 | 7,5 | 16 | 5 |
| 78 | 0,007 | 13 | 6,7 | 12 | 3 |
| 79 | 0,046 | 12,1 | 6,6 | 22 | 4 |
| 80 | 0,005 | 6,8 | 5,9 | 14 | 5 |

TABELA 5A Pontos de coleta e concentração de elementos-traço nas águas amostradas na Bacia do Rio das Mortes-MG.

| Amostra | Cd | Cu | Cr | μg L ⁻¹ | | | |
|-------------|------|------|----|--------------------|-----|----|------|
| | | | | Mn | Ni | Pb | Zn |
| 1 | <0,1 | 4 | <1 | 53 | <16 | 1 | 65 |
| 2 | <0,1 | 6 | <1 | 21 | 19 | 4 | 30 |
| 3 | <0,1 | 2 | <1 | 36 | <16 | 2 | 227 |
| 4 | <0,1 | 1 | <1 | 10 | <16 | 2 | 23 |
| 5 | <0,1 | 4 | <1 | 47 | <16 | 2 | 218 |
| 6 | <0,1 | 3 | 59 | 77 | <16 | 0 | 67 |
| 7 | <0,1 | 12 | <1 | 42 | <16 | 6 | 52 |
| 8 | <0,1 | 3 | <1 | 22 | <16 | 2 | 39 |
| 9 | <0,1 | 3 | <1 | 35 | <16 | 3 | 239 |
| 10 | <0,1 | <0,7 | <1 | 25 | <16 | 1 | 97 |
| 11 | <0,1 | 11 | <1 | 56 | <16 | 2 | 16 |
| 12 | <0,1 | <0,7 | <1 | 8 | <16 | 1 | 48 |
| 13 | <0,1 | 2 | <1 | 36 | <16 | 1 | 226 |
| 14 | <0,1 | 1 | <1 | 102 | <16 | 2 | 188 |
| 15 | <0,1 | 2 | <1 | 21 | <16 | 3 | 55 |
| 16 | <0,1 | 2 | <1 | 50 | <16 | 2 | 87 |
| 17 | <0,1 | 2 | <1 | 23 | <16 | 3 | 433 |
| 18 | <0,1 | 7 | <1 | 19 | <16 | 4 | 405 |
| 19 | <0,1 | 3 | <1 | 23 | <16 | 1 | 208 |
| 20 | <0,1 | 2 | <1 | 11 | <16 | 1 | 40 |
| 21 | <0,1 | 8 | <1 | 35 | <16 | 6 | 1168 |
| 22 | 1,58 | 23 | <1 | 16 | <16 | 4 | 954 |
| 23 | <0,1 | 22 | <1 | 49 | <16 | 4 | 47 |
| 24 | <0,1 | 3 | <1 | 12 | <16 | 1 | 21 |
| 25 | <0,1 | 1 | <1 | 36 | <16 | 1 | 31 |
| 26 | <0,1 | 2 | <1 | 119 | <16 | 15 | 17 |
| 27 | <0,1 | 1 | <1 | 11 | <16 | 18 | 12 |
| 28 | <0,1 | 2 | <1 | 2 | <16 | 16 | 18 |
| 29 | <0,1 | 3 | <1 | 18 | 34 | 12 | 25 |
| 30 | <0,1 | 2 | <1 | 36 | <16 | 55 | 26 |
| 31 | <0,1 | 3 | <1 | 11 | <16 | 4 | 16 |
| 32 | <0,1 | 1 | <1 | 40 | <16 | 5 | 57 |
| 33 | <0,1 | 2 | <1 | 25 | <16 | 2 | 48 |
| 34 | <0,1 | 3 | <1 | 37 | <16 | 2 | 50 |
| 35 | <0,1 | <0,7 | <1 | 25 | <16 | 6 | 18 |
| Continua... | | | | | | | |

| "TABELA 5A, Cont." | | | | | | | |
|--------------------|-------|------|----|----|-----|------|-----|
| Amostra | Cd | Cu | Cr | Mn | Ni | Pb | Zn |
| | | | | | | | |
| 36 | <0,1 | 2 | <1 | 16 | <16 | 6 | 49 |
| 37 | <0,1 | 2 | <1 | 17 | <16 | 24 | 66 |
| 38 | <0,1 | 3 | <1 | 26 | <16 | 2 | 30 |
| 39 | <0,1 | 1 | <1 | 37 | <16 | 13 | 90 |
| 40 | <0,1 | 3 | <1 | 56 | <16 | 2 | 49 |
| 41 | 0,698 | 1 | <1 | 28 | <16 | 12 | 210 |
| 42 | <0,1 | <0,7 | <1 | 27 | 26 | 1 | 38 |
| 43 | <0,1 | 2 | <1 | 32 | <16 | 2 | 60 |
| 44 | <0,1 | <0,7 | <1 | 55 | <16 | 1 | 21 |
| 45 | <0,1 | <0,7 | <1 | 53 | <16 | <0,8 | 11 |
| 46 | <0,1 | <0,7 | <1 | 10 | <16 | 1 | 40 |
| 47 | <0,1 | <0,7 | <1 | 40 | <16 | <0,8 | 36 |
| 48 | <0,1 | 1 | <1 | 18 | <16 | <0,8 | 39 |
| 49 | <0,1 | 1 | <1 | 10 | <16 | <0,8 | 28 |
| 50 | <0,1 | <0,7 | <1 | 27 | <16 | 1 | 14 |
| 51 | <0,1 | 2 | <1 | 7 | <16 | <0,8 | 17 |
| 52 | <0,1 | 1 | <1 | 7 | <16 | 2 | 15 |
| 53 | <0,1 | 1 | <1 | 39 | <16 | <0,8 | 19 |
| 54 | <0,1 | <0,7 | <1 | 23 | <16 | <0,8 | 9 |
| 55 | <0,1 | 2 | <1 | 34 | 30 | <0,8 | 24 |
| 56 | <0,1 | 1 | <1 | 27 | <16 | <0,8 | 16 |
| 57 | <0,1 | 3 | <1 | 45 | <16 | <0,8 | 22 |
| 58 | <0,1 | 26 | <1 | 44 | <16 | 4 | 27 |
| 59 | <0,1 | 2 | <1 | 7 | <16 | <0,8 | 108 |
| 60 | <0,1 | 5 | <1 | 46 | 45 | 1 | 48 |
| 61 | <0,1 | 1 | <1 | 8 | <16 | 2 | 737 |
| 62 | <0,1 | 1 | <1 | 44 | <16 | 2 | 34 |
| 63 | <0,1 | 3 | <1 | 27 | <16 | 4 | 60 |
| 64 | 0,15 | 1 | <1 | 44 | <16 | 2 | 43 |
| 65 | <0,1 | <0,7 | <1 | 14 | <16 | 2 | 43 |
| 66 | <0,1 | 1 | <1 | 39 | <16 | 2 | 17 |
| 67 | <0,1 | 1 | <1 | 48 | <16 | <0,8 | 9 |
| 68 | <0,1 | 1 | <1 | 21 | <16 | <0,8 | 24 |
| 69 | <0,1 | <0,7 | <1 | 22 | <16 | <0,8 | 19 |
| 70 | <0,1 | 1 | <1 | 19 | <16 | <0,8 | 39 |
| 71 | <0,1 | 2 | <1 | 12 | <16 | <0,8 | 18 |
| Continua... | | | | | | | |

“TABELA 5A, Cont.”

| Amostra | Cd | Cu | Cr | µg L ⁻¹ | | | |
|---------|------|----|----|--------------------|-----|------|-----|
| | | | | Mn | Ni | Pb | Zn |
| 72 | <0,1 | 9 | <1 | 51 | <16 | <0,8 | 145 |
| 73 | <0,1 | 3 | <1 | 13 | <16 | 2 | 53 |
| 74 | <0,1 | 2 | <1 | 29 | <16 | 2 | 138 |
| 75 | <0,1 | 9 | <1 | 7 | <16 | 3 | 28 |
| 76 | <0,1 | 2 | <1 | 31 | <16 | 3 | 20 |
| 77 | 1,49 | 3 | <1 | 47 | <16 | 1 | 22 |
| 78 | 1,11 | 10 | <1 | 22 | <16 | <0,8 | 14 |
| 79 | 0,95 | 1 | <1 | 13 | <16 | <0,8 | 17 |
| 80 | 1,21 | 3 | <1 | 25 | <16 | <0,8 | 14 |

TABELA 6A Pontos de coleta e resultado das três repetições na determinação de elementos-traço nos sedimentos amostrados na Bacia do Rio das Mortes-MG.

| Ponto | Repetição | Cd | Cu | Cr | mg kg ⁻¹ | | | |
|-------|-----------|-------|----|-----|---------------------|----|-----|----|
| | | | | | Ni | Pb | Mn | Zn |
| 1 | R1 | 0,027 | 12 | 101 | 12 | 18 | 157 | 24 |
| 1 | R2 | 0,027 | 12 | 146 | 12 | 15 | 176 | 26 |
| 1 | R3 | 0,026 | 12 | 147 | 11 | 15 | 197 | 24 |
| 2 | R1 | 0,009 | 4 | 28 | 3 | 6 | 69 | 12 |
| 2 | R2 | 0,010 | 5 | 31 | 5 | 8 | 87 | 15 |
| 2 | R3 | 0,011 | 5 | 19 | 6 | 8 | 67 | 11 |
| 3 | R1 | 0,011 | 5 | 15 | 5 | 5 | 82 | 9 |
| 3 | R2 | 0,012 | 6 | 18 | 6 | 6 | 86 | 10 |
| 3 | R3 | 0,011 | 6 | 17 | 7 | 6 | 88 | 10 |
| 4 | R1 | 0,013 | 5 | 10 | 3 | 23 | 80 | 13 |
| 4 | R2 | 0,012 | 5 | 10 | 3 | 19 | 80 | 13 |
| 4 | R3 | 0,012 | 6 | 10 | 5 | 21 | 66 | 12 |
| 5 | R1 | 0,013 | 4 | 8 | 3 | 6 | 44 | 9 |
| 5 | R2 | 0,017 | 4 | 7 | 3 | 7 | 46 | 8 |
| 5 | R3 | 0,012 | 4 | 7 | 3 | 8 | 21 | 8 |
| 6 | R1 | 0,048 | 41 | 51 | 32 | 19 | 254 | 16 |
| 6 | R2 | 0,060 | 39 | 24 | 32 | 19 | 139 | 16 |
| 6 | R4 | 0,068 | 26 | 78 | 42 | 18 | 577 | 16 |

Continua...

“TABELA 6A, Cont.”

| Ponto | Repetição | Cd | Cu | Cr | Ni | Pb | Mn | Zn |
|-------|-----------|--------|-----|-----|-----|----|-------|-----|
| | | | | | | | | |
| 7 | R1 | 0,038 | 37 | 37 | 19 | 17 | 1735 | 14 |
| 7 | R2 | 0,044 | 47 | 36 | 25 | 20 | 1486 | 17 |
| 7 | R3 | 0,044 | 43 | 36 | 24 | 20 | 1766 | 17 |
| 8 | R1 | 0,018 | 17 | 30 | 10 | 4 | 199 | 14 |
| 8 | R2 | 0,017 | 15 | 35 | 10 | 7 | 139 | 14 |
| 8 | R3 | 0,018 | 18 | 42 | 11 | 8 | 191 | 14 |
| 9 | R1 | 0,008 | 5 | 25 | 5 | 9 | 124 | 6 |
| 9 | R2 | 0,008 | 4 | 23 | 5 | 8 | 115 | 5 |
| 9 | R3 | 0,008 | 5 | 22 | 5 | 8 | 133 | 6 |
| 10 | R1 | <0,008 | 3 | 1 | 1 | 9 | 213 | 8 |
| 10 | R2 | <0,008 | 3 | 1 | 1 | 12 | 128 | 3 |
| 10 | R3 | <0,008 | 3 | 1 | 2 | 13 | 171 | 3 |
| 11 | R1 | 0,663 | 125 | 49 | 265 | 9 | 19869 | 8 |
| 11 | R2 | 0,956 | 154 | 55 | 390 | 14 | 19842 | 7 |
| 11 | R3 | 0,621 | 178 | 57 | 275 | 11 | 19897 | 9 |
| 12 | R1 | 0,015 | 9 | 13 | 16 | 12 | 1023 | 10 |
| 12 | R2 | 0,014 | 8 | 14 | 12 | 15 | 250 | 9 |
| 12 | R3 | 0,013 | 9 | 14 | 17 | 15 | 453 | 10 |
| 13 | R1 | 0,013 | 11 | 16 | 10 | 14 | 221 | 11 |
| 13 | R2 | 0,014 | 11 | 15 | 12 | 15 | 235 | 12 |
| 13 | R3 | 0,014 | 11 | 17 | 11 | 14 | 184 | 12 |
| 14 | R1 | 1,054 | 152 | 68 | 116 | 35 | 12752 | 282 |
| 14 | R2 | 0,914 | 169 | 91 | 101 | 37 | 25860 | 282 |
| 14 | R3 | 1,021 | 157 | 100 | 149 | 38 | 31757 | 281 |
| 15 | R1 | 0,015 | 8 | 8 | 9 | 22 | 298 | 11 |
| 15 | R2 | 0,015 | 8 | 9 | 10 | 24 | 325 | 11 |
| 15 | R3 | 0,014 | 8 | 9 | 7 | 17 | 306 | 10 |
| 16 | R1 | <0,008 | 3 | 3 | 3 | 12 | 138 | 14 |
| 16 | R2 | <0,008 | 4 | 4 | 2 | 15 | 138 | 15 |
| 16 | R3 | <0,008 | 2 | 3 | 1 | 17 | 130 | 14 |

Continua...

“TABELA 6A, Cont.”

| Ponto | Repetição | Cd | Cu | Cr | mg kg ⁻¹ | | | |
|-------|-----------|--------|------|----|---------------------|----|------|----|
| | | | | | Ni | Pb | Mn | Zn |
| 17 | R1 | 0,019 | 15 | 13 | 8 | 21 | 399 | 19 |
| 17 | R2 | 0,023 | 15 | 12 | 5 | 21 | 374 | 16 |
| 17 | R3 | 0,032 | 17 | 13 | 7 | 33 | 415 | 17 |
| 18 | R1 | 0,010 | 5 | 2 | 2 | 39 | 517 | 10 |
| 18 | R2 | 0,008 | 5 | 3 | 2 | 31 | 437 | 9 |
| 18 | R3 | 0,010 | 5 | 4 | 2 | 29 | 452 | 8 |
| 19 | R1 | <0,008 | <1,2 | 1 | <0,7 | 11 | 173 | 4 |
| 19 | R2 | <0,008 | <1,2 | 1 | <0,7 | 13 | 191 | 14 |
| 19 | R3 | <0,008 | <1,2 | 1 | <0,7 | 13 | 149 | 5 |
| 20 | R1 | <0,008 | <1,2 | 2 | <0,7 | 7 | 90 | 3 |
| 20 | R2 | <0,008 | <1,2 | 1 | <0,7 | 4 | 84 | 3 |
| 20 | R3 | <0,008 | <1,2 | 2 | <0,7 | 6 | 87 | 3 |
| 21 | R1 | <0,008 | 8 | 36 | 12 | 15 | 265 | 11 |
| 21 | R2 | <0,008 | 8 | 37 | 12 | 17 | 267 | 11 |
| 21 | R3 | <0,008 | 6 | 36 | 13 | 17 | 302 | 12 |
| 22 | R1 | <0,008 | <1,2 | 1 | <0,7 | 3 | 50 | 6 |
| 22 | R2 | <0,008 | <1,2 | 1 | <0,7 | 2 | 55 | 5 |
| 22 | R3 | <0,008 | <1,2 | 1 | <0,7 | 3 | 53 | 7 |
| 23 | R1 | 0,107 | 19 | 37 | 20 | 27 | 485 | 33 |
| 23 | R2 | 0,025 | 17 | 31 | 13 | 27 | 414 | 31 |
| 24 | R1 | 0,014 | 10 | 18 | 7 | 11 | 218 | 13 |
| 24 | R2 | 0,011 | 11 | 18 | 9 | 10 | 243 | 18 |
| 24 | R3 | 0,012 | 10 | 17 | 11 | 12 | 205 | 14 |
| 25 | R1 | 0,020 | 16 | 36 | 15 | 17 | 599 | 25 |
| 25 | R2 | 0,018 | 20 | 37 | 15 | 23 | 563 | 26 |
| 25 | R3 | 0,028 | 15 | 31 | 13 | 29 | 565 | 22 |
| 26 | R1 | 0,016 | 12 | 7 | 14 | 16 | 1134 | 48 |
| 26 | R2 | 0,023 | 14 | 6 | 14 | 16 | 1142 | 47 |
| 26 | R3 | 0,018 | 15 | 8 | 13 | 17 | 1171 | 50 |
| 27 | R1 | 0,019 | 7 | 16 | 7 | 17 | 103 | 14 |
| 27 | R2 | 0,016 | 8 | 15 | 8 | 17 | 99 | 14 |
| 27 | R3 | 0,016 | 7 | 17 | 6 | 16 | 98 | 14 |

“TABELA 6A, Cont.”

| Ponto | Repetição | Cd | Cu | Cr | Ni | Pb | Mn | Zn |
|-------|-----------|--------|----|-----|----|----|-----|----|
| | | | | | | | | |
| 28 | R1 | 0,012 | 7 | 20 | 6 | 10 | 294 | 17 |
| 28 | R2 | 0,010 | 6 | 19 | 4 | 9 | 267 | 16 |
| 28 | R3 | 0,014 | 8 | 21 | 5 | 9 | 300 | 18 |
| 29 | R1 | 0,035 | 15 | 18 | 12 | 23 | 162 | 40 |
| 29 | R2 | 0,032 | 18 | 18 | 13 | 23 | 160 | 41 |
| 29 | R3 | 0,032 | 16 | 17 | 11 | 38 | 167 | 40 |
| 30 | R1 | <0,008 | 2 | 4 | 1 | 1 | 14 | 5 |
| 30 | R2 | <0,008 | 2 | 2 | 1 | 1 | 14 | 5 |
| 30 | R3 | <0,008 | 5 | 4 | 2 | 1 | 16 | 5 |
| 31 | R1 | 0,013 | 44 | 340 | 26 | 17 | 477 | 16 |
| 31 | R2 | 0,010 | 43 | 332 | 26 | 16 | 446 | 16 |
| 31 | R3 | 0,010 | 49 | 352 | 29 | 18 | 485 | 19 |
| 32 | R1 | 0,016 | 12 | 35 | 14 | 11 | 167 | 17 |
| 32 | R2 | 0,013 | 12 | 38 | 15 | 11 | 178 | 18 |
| 32 | R3 | 0,015 | 22 | 31 | 11 | 11 | 188 | 16 |
| 33 | R1 | 0,061 | 10 | 22 | 9 | 8 | 125 | 10 |
| 33 | R2 | 0,032 | 11 | 21 | 9 | 8 | 123 | 11 |
| 33 | R3 | 0,028 | 10 | 24 | 9 | 9 | 133 | 11 |
| 34 | R1 | 0,017 | 7 | 15 | 5 | 9 | 221 | 17 |
| 34 | R2 | 0,039 | 7 | 15 | 8 | 11 | 227 | 17 |
| 34 | R3 | 0,019 | 7 | 15 | 7 | 10 | 210 | 21 |
| 35 | R1 | 0,069 | 6 | 22 | 10 | 9 | 251 | 13 |
| 35 | R2 | 0,018 | 6 | 22 | 9 | 8 | 252 | 15 |
| 35 | R3 | 0,018 | 7 | 23 | 7 | 8 | 268 | 15 |
| 36 | R1 | 0,470 | 10 | 20 | 10 | 10 | 53 | 43 |
| 36 | R2 | 0,475 | 11 | 20 | 9 | 11 | 55 | 42 |
| 36 | R3 | 0,403 | 11 | 19 | 9 | 10 | 51 | 41 |
| 37 | R1 | 0,127 | 14 | 33 | 9 | 12 | 153 | 14 |
| 37 | R2 | 0,105 | 17 | 36 | 14 | 16 | 141 | 16 |
| 37 | R3 | 0,110 | 18 | 49 | 16 | 15 | 154 | 18 |

Continua...

“TABELA 6A, Cont.”

| Ponto | Repetição | Cd | Cu | Cr | mg kg ⁻¹ | | | |
|-------|-----------|-------|----|----|---------------------|----|------|----|
| | | | | | Ni | Pb | Mn | Zn |
| 38 | R1 | 0,083 | 15 | 29 | 14 | 9 | 151 | 21 |
| 38 | R2 | 0,078 | 13 | 36 | 15 | 11 | 154 | 20 |
| 38 | R3 | 0,083 | 14 | 36 | 13 | 12 | 152 | 19 |
| 39 | R1 | 0,093 | 10 | 25 | 8 | 10 | 453 | 14 |
| 39 | R2 | 0,094 | 11 | 28 | 10 | 10 | 468 | 17 |
| 39 | R3 | 0,095 | 16 | 25 | 8 | 7 | 467 | 14 |
| 40 | R1 | 0,070 | 5 | 2 | 7 | 10 | 265 | 9 |
| 40 | R2 | 0,070 | 6 | 2 | 8 | 9 | 265 | 8 |
| 40 | R3 | 0,073 | 4 | 3 | 7 | 9 | 276 | 9 |
| 41 | R1 | 0,036 | 3 | 5 | 4 | 7 | 224 | 9 |
| 41 | R2 | 0,031 | 3 | 5 | 3 | 7 | 223 | 7 |
| 41 | R3 | 0,031 | 3 | 4 | 2 | 7 | 211 | 8 |
| 42 | R1 | 0,029 | 4 | 1 | <0,7 | 8 | 229 | 6 |
| 42 | R2 | 0,029 | 4 | 1 | <0,7 | 7 | 239 | 7 |
| 42 | R3 | 0,029 | 3 | 1 | <0,7 | 7 | 239 | 6 |
| 43 | R1 | 0,044 | 7 | 5 | <0,7 | 24 | 497 | 8 |
| 43 | R2 | 0,042 | 10 | 6 | <0,7 | 27 | 525 | 8 |
| 43 | R3 | 0,050 | 13 | 6 | <0,7 | 29 | 559 | 10 |
| 44 | R1 | 0,028 | 3 | 2 | <0,7 | 10 | 293 | 7 |
| 44 | R2 | 0,028 | 2 | 1 | <0,7 | 9 | 310 | 7 |
| 44 | R3 | 0,038 | 2 | 3 | <0,7 | 9 | 311 | 7 |
| 45 | R1 | 0,077 | 13 | 8 | 15 | 6 | 2310 | 14 |
| 45 | R2 | 0,072 | 12 | 7 | 15 | 7 | 2230 | 11 |
| 45 | R3 | 0,071 | 14 | 9 | 15 | 6 | 2124 | 14 |
| 46 | R1 | 0,016 | 12 | 20 | 11 | 37 | 579 | 15 |
| 46 | R2 | 0,016 | 10 | 24 | 13 | 33 | 523 | 16 |
| 46 | R3 | 0,017 | 13 | 20 | 12 | 19 | 535 | 15 |
| 47 | R1 | 0,116 | 27 | 42 | 17 | 19 | 693 | 42 |
| 47 | R2 | 0,114 | 27 | 42 | 17 | 19 | 709 | 42 |
| 47 | R3 | 0,047 | 28 | 44 | 19 | 18 | 728 | 43 |

Continua...

“TABELA 6A, Cont.”

| Ponto | Repetição | Cd | Cu | Cr | mg kg ⁻¹ | | | |
|-------|-----------|--------|----|----|---------------------|----|-----|----|
| | | | | | Ni | Pb | Mn | Zn |
| 48 | R1 | 0,007 | 17 | 47 | 11 | 4 | 244 | 21 |
| 48 | R2 | 0,008 | 16 | 32 | 12 | 4 | 230 | 12 |
| 48 | R3 | 0,008 | 19 | 29 | 13 | 4 | 238 | 11 |
| 49 | R1 | <0,008 | 16 | 10 | 21 | 9 | 431 | 11 |
| 49 | R2 | <0,008 | 25 | 16 | 22 | 9 | 432 | 16 |
| 49 | R3 | <0,008 | 17 | 16 | 20 | 10 | 422 | 17 |
| 50 | R1 | <0,008 | 14 | 14 | 8 | 6 | 115 | 11 |
| 50 | R2 | <0,008 | 12 | 11 | 9 | 6 | 99 | 13 |
| 50 | R3 | <0,008 | 11 | 11 | 8 | 6 | 84 | 11 |
| 51 | R1 | <0,008 | 16 | 13 | 12 | 14 | 398 | 15 |
| 51 | R2 | <0,008 | 14 | 17 | 12 | 10 | 394 | 16 |
| 51 | R3 | <0,008 | 17 | 18 | 14 | 19 | 381 | 18 |
| 52 | R1 | <0,008 | 6 | 4 | <0,7 | 24 | 100 | 6 |
| 52 | R2 | <0,008 | 5 | 5 | <0,7 | 27 | 95 | 7 |
| 52 | R3 | <0,008 | 6 | 5 | <0,7 | 26 | 111 | 7 |
| 53 | R1 | 0,122 | 6 | 10 | <0,7 | 15 | 83 | 5 |
| 53 | R2 | 0,188 | 6 | 11 | <0,7 | 17 | 94 | 5 |
| 53 | R3 | 0,155 | 8 | 9 | <0,7 | 18 | 90 | 5 |
| 54 | R1 | <0,008 | 2 | 6 | <0,7 | 15 | 105 | 3 |
| 54 | R2 | <0,008 | 5 | 6 | <0,7 | 14 | 106 | 3 |
| 54 | R3 | <0,008 | 6 | 6 | <0,7 | 12 | 90 | 2 |
| 55 | R1 | 0,044 | 11 | 6 | 9 | 10 | 790 | 10 |
| 55 | R2 | 0,032 | 11 | 5 | 7 | 7 | 757 | 9 |
| 55 | R3 | 0,062 | 11 | 5 | 8 | 10 | 749 | 10 |
| 56 | R1 | 0,024 | 5 | 13 | 5 | 9 | 119 | 7 |
| 56 | R2 | 0,022 | 5 | 13 | 5 | 10 | 131 | 7 |
| 56 | R3 | 0,023 | 5 | 12 | 5 | 14 | 119 | 6 |
| 57 | R1 | 0,036 | 42 | 43 | 15 | 13 | 635 | 32 |
| 57 | R2 | 0,039 | 54 | 51 | 20 | 16 | 674 | 43 |
| 57 | R3 | 0,034 | 38 | 39 | 14 | 14 | 678 | 24 |

Continua...

“TABELA 6A, Cont.”

| Ponto | Repetição | Cd | Cu | Cr | mg kg ⁻¹ | | | |
|-------|-----------|--------|----|----|---------------------|----|-----|----|
| | | | | | Ni | Pb | Mn | Zn |
| 58 | R1 | <0,008 | 18 | 54 | 11 | 11 | 189 | 15 |
| 58 | R2 | <0,008 | 19 | 57 | 12 | 14 | 200 | 16 |
| 58 | R3 | <0,008 | 15 | 48 | 9 | 14 | 183 | 12 |
| 59 | R1 | 0,049 | 20 | 27 | 16 | 23 | 421 | 31 |
| 59 | R2 | 0,016 | 22 | 31 | 18 | 21 | 450 | 30 |
| 59 | R3 | 0,019 | 21 | 25 | 18 | 24 | 450 | 30 |
| 60 | R1 | 0,019 | 7 | 4 | 7 | 3 | 443 | 13 |
| 60 | R2 | 0,020 | 8 | 4 | 9 | 4 | 459 | 14 |
| 60 | R3 | 0,015 | 9 | 5 | 8 | 2 | 434 | 15 |
| 61 | R1 | <0,008 | 5 | 14 | 10 | 10 | 419 | 8 |
| 61 | R2 | <0,008 | 5 | 14 | 12 | 6 | 408 | 8 |
| 61 | R3 | <0,008 | 5 | 13 | 12 | 7 | 415 | 8 |
| 62 | R1 | 0,086 | 5 | 12 | 10 | 2 | 377 | 7 |
| 62 | R2 | 0,091 | 5 | 13 | 13 | 4 | 384 | 8 |
| 62 | R3 | 0,096 | 5 | 14 | 12 | 2 | 389 | 8 |
| 63 | R1 | 0,266 | 5 | 11 | 5 | 2 | 130 | 8 |
| 63 | R2 | 0,242 | 5 | 12 | 5 | 2 | 141 | 8 |
| 63 | R3 | 0,217 | 5 | 11 | 6 | 2 | 141 | 7 |
| 64 | R1 | 0,295 | 11 | 24 | 9 | 5 | 256 | 12 |
| 64 | R2 | 0,223 | 11 | 25 | 9 | 7 | 275 | 11 |
| 64 | R3 | 0,121 | 11 | 25 | 11 | 6 | 264 | 12 |
| 65 | R1 | 0,128 | 7 | 10 | 29 | 1 | 242 | 13 |
| 65 | R2 | 0,270 | 7 | 10 | 28 | 1 | 228 | 14 |
| 65 | R3 | 0,412 | 7 | 10 | 30 | 1 | 262 | 14 |
| 66 | R1 | 0,150 | 11 | 11 | 4 | 19 | 107 | 5 |
| 66 | R2 | 0,172 | 11 | 13 | 4 | 26 | 103 | 6 |
| 66 | R3 | 0,159 | 9 | 11 | 5 | 17 | 110 | 5 |
| 67 | R1 | 0,133 | 13 | 18 | 14 | 16 | 492 | 17 |
| 67 | R2 | 0,206 | 14 | 19 | 15 | 14 | 500 | 19 |
| 67 | R3 | 0,178 | 13 | 18 | 14 | 16 | 510 | 19 |

Continua...

“TABELA 6A, Cont.”

| Ponto | Repetição | Cd | Cu | Cr | Ni | Pb | Mn | Zn |
|--------------|------------------|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | mg kg ⁻¹ | | | | | | |
| 68 | R1 | 0,183 | 6 | 19 | 7 | 9 | 595 | 9 |
| 68 | R2 | 0,152 | 7 | 19 | 7 | 9 | 632 | 9 |
| 68 | R3 | 0,135 | 6 | 17 | 6 | 9 | 606 | 9 |
| 69 | R1 | 0,283 | 7 | 38 | 12 | 11 | 44 | 14 |
| 69 | R2 | 0,137 | 6 | 34 | 8 | 10 | 40 | 13 |
| 69 | R3 | 0,087 | 8 | 39 | 10 | 4 | 44 | 15 |
| 70 | R1 | 0,173 | 5 | 27 | 7 | 14 | 198 | 10 |
| 70 | R2 | 0,134 | 5 | 27 | 7 | 9 | 199 | 9 |
| 70 | R3 | 0,154 | 5 | 29 | 7 | 10 | 213 | 9 |
| 71 | R1 | <0,008 | 8 | 29 | 4 | 0 | 156 | 15 |
| 71 | R2 | <0,008 | 5 | 20 | 5 | 2 | 218 | 8 |
| 71 | R3 | <0,008 | 7 | 27 | 5 | 1 | 213 | 11 |
| 72 | R1 | 0,022 | 29 | 40 | 12 | 6 | 427 | 24 |
| 72 | R2 | 0,013 | 26 | 35 | 10 | 1 | 513 | 21 |
| 73 | R1 | <0,008 | 9 | 36 | 8 | 6 | 387 | 9 |
| 73 | R2 | <0,008 | 11 | 36 | 9 | 6 | 444 | 13 |
| 73 | R3 | <0,008 | 9 | 34 | 7 | 5 | 471 | 8 |
| 74 | R1 | 0,135 | 5 | 6 | 6 | 10 | 54 | 18 |
| 74 | R2 | 0,096 | 6 | 8 | 6 | 9 | 112 | 21 |
| 74 | R3 | 0,109 | 6 | 8 | 6 | 9 | 62 | 21 |
| 75 | R1 | 0,368 | 6 | 14 | 8 | 1 | 196 | 18 |
| 75 | R2 | 0,161 | 6 | 13 | 9 | 3 | 211 | 18 |
| 75 | R3 | 0,162 | 6 | 15 | 8 | 4 | 202 | 16 |
| 76 | R1 | 0,254 | 12 | 29 | 15 | 11 | 457 | 31 |
| 76 | R2 | 0,434 | 11 | 28 | 14 | 11 | 470 | 30 |
| 76 | R3 | 0,126 | 11 | 29 | 13 | 12 | 435 | 30 |
| 77 | R1 | 0,243 | 5 | 11 | 2 | 3 | 39 | 5 |
| 77 | R2 | 0,251 | 4 | 8 | 2 | 6 | 40 | 5 |
| 77 | R3 | 0,355 | 4 | 8 | 2 | 2 | 43 | 5 |

Continua...

“TABELA 6A, Cont.”

| Ponto | Repetição | Cd | Cu | Cr | Ni | Pb | Mn | Zn |
|---------------------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| mg kg ⁻¹ | | | | | | | | |
| 78 | R1 | 0,134 | 6 | 26 | 4 | 3 | 24 | 7 |
| 78 | R2 | 0,123 | 7 | 28 | 3 | 2 | 26 | 8 |
| 78 | R3 | 0,210 | 6 | 22 | 8 | 7 | 51 | 9 |
| 79 | R1 | 0,041 | 7 | 6 | 6 | 3 | 36 | 5 |
| 79 | R2 | 0,058 | 7 | 4 | 4 | 3 | 46 | 6 |
| 79 | R3 | 0,050 | 7 | 5 | 2 | 2 | 48 | 6 |
| 80 | R1 | 0,256 | 8 | 80 | 8 | 12 | 79 | 8 |
| 80 | R2 | 0,168 | 8 | 79 | 7 | 14 | 86 | 9 |
| 80 | R3 | 0,106 | 8 | 79 | 8 | 13 | 86 | 8 |

TABELA 7A Pontos de coleta e resultado das três repetições na determinação de elementos-traço nos solos amostrados na Bacia do Rio das Mortes-MG.

| Ponto | Repetição | Cd | Cu | Cr | Ni | Pb | Mn | Zn |
|---------------------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| mg kg ⁻¹ | | | | | | | | |
| 1 | R1 | 0,056 | 22 | 186 | 15 | 15 | 372 | 41 |
| 1 | R2 | 0,062 | 28 | 182 | 18 | 17 | 455 | 52 |
| 1 | R3 | 0,063 | 25 | 185 | 17 | 15 | 437 | 48 |
| 2 | R1 | 0,011 | 6 | 16 | 7 | 27 | 285 | 27 |
| 2 | R2 | 0,016 | 5 | 14 | 7 | 27 | 284 | 21 |
| 2 | R3 | 0,013 | 5 | 14 | 5 | 25 | 269 | 20 |
| 3 | R1 | 0,041 | 25 | 98 | 19 | 20 | 460 | 46 |
| 3 | R2 | 0,039 | 23 | 71 | 16 | 29 | 446 | 42 |
| 3 | R3 | 0,037 | 24 | 84 | 17 | 17 | 469 | 43 |
| 4 | R1 | 0,016 | 4 | 8 | 3 | 24 | 134 | 12 |
| 4 | R2 | 0,023 | 5 | 14 | 4 | 34 | 207 | 17 |
| 4 | R3 | 0,022 | 5 | 12 | 4 | 36 | 180 | 17 |
| 5 | R1 | 0,026 | 17 | 54 | 12 | 25 | 156 | 17 |
| 5 | R2 | 0,027 | 19 | 73 | 16 | 23 | 160 | 22 |
| 5 | R3 | 0,027 | 18 | 68 | 12 | 18 | 167 | 18 |

Continua...

“TABELA 7A, Cont.”

| Ponto | Repetição | Cd | Cu | Cr | Ni | Pb | Mn | Zn |
|---------------------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| mg kg ⁻¹ | | | | | | | | |
| 6 | R1 | 0,057 | 32 | 40 | 28 | 24 | 305 | 16 |
| 6 | R2 | 0,059 | 33 | 48 | 28 | 20 | 194 | 15 |
| 6 | R3 | 0,074 | 33 | 43 | 28 | 21 | 151 | 16 |
| 7 | R1 | 0,090 | 114 | 53 | 50 | 18 | 1148 | 15 |
| 7 | R2 | 0,090 | 75 | 36 | 43 | 18 | 520 | 16 |
| 7 | R3 | 0,084 | 110 | 42 | 44 | 17 | 1216 | 15 |
| 8 | R1 | 0,056 | 30 | 30 | 17 | 10 | 249 | 16 |
| 8 | R2 | 0,053 | 31 | 14 | 15 | 11 | 263 | 16 |
| 8 | R3 | 0,057 | 31 | 31 | 14 | 10 | 212 | 16 |
| 9 | R1 | 0,033 | 21 | 20 | 14 | 29 | 155 | 16 |
| 9 | R2 | 0,034 | 23 | 23 | 14 | 23 | 131 | 16 |
| 9 | R3 | 0,037 | 20 | 38 | 13 | 20 | 160 | 15 |
| 10 | R1 | 0,022 | 35 | 46 | 13 | 20 | 264 | 14 |
| 10 | R2 | 0,021 | 35 | 29 | 11 | 17 | 152 | 14 |
| 10 | R3 | 0,019 | 39 | 40 | 13 | 17 | 284 | 15 |
| 11 | R1 | 0,106 | 99 | 67 | 37 | 19 | 2824 | 16 |
| 11 | R2 | 0,100 | 94 | 65 | 33 | 19 | 2871 | 16 |
| 11 | R3 | 0,095 | 97 | 73 | 33 | 17 | 3053 | 16 |
| 12 | R1 | 0,030 | 41 | 30 | 13 | 19 | 386 | 17 |
| 12 | R2 | 0,033 | 41 | 52 | 15 | 19 | 301 | 16 |
| 12 | R3 | 0,029 | 39 | 28 | 14 | 18 | 287 | 16 |
| 13 | R1 | 0,035 | 78 | 56 | 68 | 18 | 272 | 16 |
| 13 | R2 | 0,033 | 73 | 52 | 79 | 19 | 244 | 16 |
| 13 | R3 | 0,033 | 60 | 52 | 68 | 21 | 328 | 16 |
| 14 | R1 | 3,515 | 123 | 56 | 63 | 153 | 4107 | <2,9 |
| 14 | R2 | 4,031 | 110 | 44 | 64 | 160 | 3417 | <2,9 |
| 14 | R3 | 4,015 | 120 | 52 | 65 | 154 | 3867 | <2,9 |
| 15 | R1 | 0,033 | 22 | 15 | 10 | 25 | 330 | 26 |
| 15 | R2 | 0,025 | 16 | 11 | 9 | 20 | 233 | 21 |
| 15 | R3 | 0,034 | 23 | 14 | 10 | 25 | 308 | 25 |

Continua...

“TABELA 7A, Cont.”

| Ponto | Repetição | Cd | Cu | Cr | Ni | Pb | Mn | Zn |
|--------------|------------------|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | mg kg ⁻¹ | | | | | | |
| 16 | R1 | 0,008 | <2,4 | <0,5 | 0 | 15 | 58 | 15 |
| 16 | R2 | 0,009 | <2,4 | <0,5 | 0 | 10 | 66 | 15 |
| 16 | R3 | 0,009 | <2,4 | <0,5 | 0 | 11 | 65 | 14 |
| 17 | R1 | 0,028 | 16 | 12 | 8 | 15 | 278 | 16 |
| 17 | R2 | 0,021 | 16 | 12 | 8 | 8 | 264 | 16 |
| 17 | R3 | 0,019 | 14 | 11 | 6 | 8 | 255 | 14 |
| 18 | R1 | 0,049 | 29 | 9 | 15 | 20 | 4389 | 10 |
| 18 | R2 | 0,042 | 31 | 12 | 17 | 17 | 4469 | 26 |
| 18 | R3 | 0,043 | 30 | 12 | 16 | 20 | 4614 | 25 |
| 19 | R1 | 0,011 | 7 | 5 | 5 | 14 | 284 | 15 |
| 19 | R2 | 0,087 | 8 | 6 | 4 | 14 | 288 | 15 |
| 19 | R3 | 0,010 | 8 | 6 | 4 | 15 | 285 | 15 |
| 20 | R1 | 0,014 | 12 | 17 | 7 | 21 | 258 | 23 |
| 20 | R2 | 0,013 | 13 | 16 | 8 | 20 | 257 | 21 |
| 20 | R3 | 0,013 | 16 | 17 | 6 | 22 | 253 | 21 |
| 21 | R1 | 0,010 | 19 | 74 | 16 | 21 | 295 | 20 |
| 21 | R2 | 0,011 | 17 | 70 | 10 | 19 | 296 | 17 |
| 21 | R3 | 0,012 | 21 | 71 | 13 | 22 | 276 | 17 |
| 22 | R1 | 0,009 | 11 | 8 | 4 | 18 | 205 | 24 |
| 22 | R2 | 0,010 | 11 | 13 | 6 | 17 | 199 | 26 |
| 22 | R3 | 0,012 | 11 | 13 | 7 | 18 | 199 | 24 |
| 23 | R1 | 0,024 | 67 | 199 | 22 | 18 | 804 | 19 |
| 23 | R2 | 0,029 | 74 | 206 | 34 | 19 | 778 | 25 |
| 23 | R3 | 0,022 | 68 | 198 | 28 | 18 | 743 | 22 |
| 24 | R1 | 0,021 | 19 | 26 | 17 | 18 | 373 | 28 |
| 24 | R2 | 0,020 | 24 | 26 | 17 | 19 | 454 | 29 |
| 24 | R3 | 0,019 | 20 | 28 | 17 | 18 | 414 | 27 |
| 25 | R1 | 0,037 | 15 | 29 | 14 | 24 | 465 | 23 |
| 25 | R2 | 0,040 | 20 | 29 | 14 | 14 | 259 | 18 |
| 25 | R3 | 0,012 | 14 | 28 | 14 | 22 | 261 | 23 |

Continua...

“TABELA 7A, Cont.”

| Ponto | Repetição | Cd | Cu | Cr | Ni | Pb | Mn | Zn |
|-------|-----------|--------|----|-----|----|----|------|-----|
| | | | | | | | | |
| 26 | R1 | 0,023 | 10 | 23 | 6 | 14 | 509 | 16 |
| 26 | R2 | 0,024 | 9 | 23 | 7 | 10 | 494 | 16 |
| 26 | R3 | 0,020 | 9 | 20 | 4 | 10 | 428 | 14 |
| 27 | R1 | 0,080 | 20 | 43 | 12 | 23 | 930 | 48 |
| 27 | R2 | 0,076 | 24 | 42 | 14 | 21 | 922 | 43 |
| 27 | R3 | 0,074 | 25 | 42 | 17 | 21 | 925 | 46 |
| 28 | R1 | 0,032 | 15 | 25 | 14 | 17 | 755 | 30 |
| 28 | R2 | 0,032 | 16 | 24 | 14 | 21 | 746 | 28 |
| 28 | R3 | 0,033 | 15 | 27 | 15 | 17 | 785 | 31 |
| 29 | R1 | 0,040 | 14 | 27 | 14 | 21 | 424 | 35 |
| 29 | R2 | 0,040 | 17 | 27 | 16 | 26 | 451 | 35 |
| 29 | R3 | 0,037 | 13 | 18 | 24 | 17 | 326 | 33 |
| 30 | R1 | 0,010 | 6 | 3 | 4 | 5 | 43 | 9 |
| 30 | R2 | 0,010 | 5 | 5 | 3 | 3 | 41 | 9 |
| 30 | R3 | 0,010 | 6 | 5 | 4 | 4 | 41 | 9 |
| 31 | R1 | 0,016 | 67 | 252 | 38 | 16 | 433 | 26 |
| 31 | R2 | 0,015 | 64 | 241 | 36 | 15 | 429 | 24 |
| 31 | R3 | 0,017 | 72 | 277 | 47 | 18 | 440 | 28 |
| 32 | R1 | <0,008 | 24 | 49 | 16 | 20 | 186 | 14 |
| 32 | R2 | <0,008 | 22 | 45 | 15 | 21 | 170 | 13 |
| 32 | R3 | <0,008 | 23 | 34 | 14 | 15 | 178 | 13 |
| 33 | R1 | 0,009 | 24 | 66 | 8 | 18 | 681 | 15 |
| 33 | R2 | 0,007 | 26 | 76 | 12 | 18 | 702 | 16 |
| 33 | R3 | 0,007 | 28 | 78 | 13 | 19 | 643 | 17 |
| 34 | R1 | 0,114 | 20 | 45 | 19 | 30 | 2076 | 123 |
| 34 | R2 | 0,121 | 18 | 41 | 16 | 21 | 1964 | 108 |
| 34 | R3 | 0,100 | 17 | 40 | 16 | 18 | 2100 | 103 |
| 35 | R1 | 0,018 | 15 | 39 | 19 | 16 | 410 | 21 |
| 35 | R2 | 0,016 | 16 | 47 | 20 | 13 | 413 | 22 |
| 35 | R3 | 0,026 | 16 | 50 | 17 | 14 | 411 | 21 |

Continua...

“TABELA 7A, Cont.”

| Ponto | Repetição | Cd | Cu | Cr | Ni | Pb | Mn | Zn |
|-------|-----------|-------|----|----|----|----|------|-----|
| | | | | | | | | |
| 36 | R1 | 0,078 | 25 | 34 | 12 | 24 | 282 | 42 |
| 36 | R2 | 0,088 | 26 | 37 | 14 | 23 | 280 | 43 |
| 36 | R3 | 0,090 | 27 | 38 | 13 | 25 | 232 | 46 |
| 37 | R1 | 0,057 | 23 | 63 | 25 | 23 | 243 | 35 |
| 37 | R2 | 0,024 | 24 | 64 | 26 | 24 | 240 | 35 |
| 37 | R3 | 0,019 | 22 | 61 | 22 | 22 | 242 | 33 |
| 38 | R1 | 0,047 | 14 | 35 | 11 | 14 | 376 | 22 |
| 38 | R2 | 0,040 | 12 | 30 | 9 | 12 | 362 | 18 |
| 38 | R3 | 0,033 | 11 | 25 | 9 | 11 | 412 | 17 |
| 39 | R1 | 0,678 | 16 | 22 | 15 | 29 | 2828 | 134 |
| 39 | R2 | 0,594 | 17 | 21 | 14 | 30 | 2573 | 137 |
| 39 | R3 | 0,641 | 16 | 22 | 14 | 31 | 2941 | 146 |
| 40 | R1 | 0,050 | 29 | 26 | 16 | 24 | 572 | 43 |
| 40 | R3 | 0,047 | 30 | 31 | 19 | 20 | 565 | 39 |
| 41 | R1 | 0,070 | 9 | 21 | 11 | 19 | 272 | 26 |
| 41 | R2 | 0,068 | 9 | 20 | 12 | 20 | 259 | 26 |
| 41 | R3 | 0,067 | 9 | 18 | 11 | 28 | 273 | 27 |
| 42 | R1 | 0,020 | 8 | 16 | 14 | 14 | 129 | 13 |
| 42 | R2 | 0,017 | 8 | 15 | 11 | 10 | 128 | 13 |
| 42 | R3 | 0,024 | 7 | 14 | 12 | 8 | 128 | 12 |
| 43 | R1 | 0,131 | 32 | 38 | 24 | 22 | 417 | 44 |
| 43 | R2 | 0,126 | 31 | 36 | 17 | 23 | 412 | 42 |
| 43 | R3 | 0,112 | 28 | 34 | 18 | 17 | 397 | 40 |
| 44 | R1 | 0,110 | 10 | 14 | 10 | 18 | 282 | 24 |
| 44 | R2 | 0,106 | 11 | 14 | 11 | 19 | 291 | 26 |
| 44 | R3 | 0,108 | 10 | 13 | 9 | 20 | 291 | 25 |
| 45 | R1 | 0,107 | 37 | 25 | 17 | 5 | 1555 | 23 |
| 45 | R2 | 0,109 | 40 | 25 | 20 | 4 | 1699 | 25 |
| 45 | R3 | 0,106 | 39 | 27 | 20 | 6 | 1643 | 25 |

Continua...

“TABELA 7A, Cont.”

| Ponto | Repetição | Cd | Cu | Cr | Ni | Pb | Mn | Zn |
|-------|-----------|--------|----|----|----|----|------|----|
| | | | | | | | | |
| 46 | R1 | 0,044 | 33 | 53 | 29 | 11 | 997 | 47 |
| 46 | R2 | 0,043 | 29 | 47 | 24 | 9 | 909 | 41 |
| 46 | R3 | 0,043 | 31 | 42 | 20 | 12 | 964 | 42 |
| 47 | R1 | 0,021 | 29 | 34 | 18 | 20 | 590 | 42 |
| 47 | R2 | 0,020 | 27 | 32 | 17 | 20 | 594 | 41 |
| 47 | R3 | 0,020 | 26 | 31 | 23 | 20 | 589 | 40 |
| 48 | R1 | 0,018 | 21 | 73 | 9 | 9 | 644 | 35 |
| 48 | R2 | 0,019 | 26 | 71 | 11 | 14 | 636 | 32 |
| 48 | R3 | 0,019 | 27 | 68 | 11 | 13 | 627 | 34 |
| 49 | R1 | 0,012 | 11 | 11 | 4 | 23 | 325 | 22 |
| 49 | R2 | 0,011 | 18 | 10 | 4 | 26 | 323 | 21 |
| 49 | R3 | 0,013 | 16 | 11 | 5 | 18 | 278 | 21 |
| 50 | R1 | 0,116 | 11 | 9 | 10 | 7 | 203 | 20 |
| 50 | R2 | 0,125 | 11 | 11 | 12 | 8 | 201 | 20 |
| 50 | R3 | 0,121 | 11 | 11 | 12 | 6 | 213 | 21 |
| 51 | R1 | 0,008 | 14 | 17 | 9 | 17 | 310 | 21 |
| 51 | R2 | 0,011 | 13 | 17 | 9 | 18 | 310 | 22 |
| 51 | R3 | 0,014 | 13 | 16 | 9 | 17 | 323 | 22 |
| 52 | R1 | 0,077 | 3 | 4 | 3 | 33 | 187 | 15 |
| 52 | R2 | 0,059 | 2 | 5 | 3 | 34 | 204 | 16 |
| 52 | R3 | 0,094 | 2 | 3 | 2 | 31 | 199 | 15 |
| 53 | R1 | 0,019 | 23 | 11 | 9 | 18 | 1315 | 22 |
| 53 | R2 | 0,025 | 17 | 11 | 10 | 19 | 1298 | 22 |
| 53 | R3 | 0,014 | 24 | 10 | 10 | 17 | 1191 | 22 |
| 54 | R1 | <0,008 | 13 | 8 | 3 | 14 | 372 | 16 |
| 54 | R2 | <0,008 | 12 | 8 | 3 | 13 | 374 | 16 |
| 54 | R3 | <0,008 | 11 | 8 | 3 | 13 | 375 | 16 |
| 55 | R1 | 0,013 | 18 | 20 | 10 | 29 | 366 | 21 |
| 55 | R2 | 0,010 | 15 | 16 | 10 | 15 | 380 | 18 |
| 55 | R3 | 0,009 | 17 | 19 | 11 | 19 | 382 | 18 |

Continua...

“TABELA 7A, Cont.”

| Ponto | Repetição | Cd | Cu | Cr | Ni | Pb | Mn | Zn |
|-------|-----------|--------|----|----|----|----|-----|-----|
| | | | | | | | | |
| 56 | R1 | <0,008 | 7 | 10 | 2 | 11 | 170 | 5 |
| 56 | R2 | <0,008 | 3 | 11 | 1 | 9 | 158 | 4 |
| 56 | R3 | <0,008 | 7 | 11 | 2 | 15 | 158 | 6 |
| 57 | R1 | 0,046 | 89 | 36 | 15 | 12 | 416 | 180 |
| 57 | R2 | 0,043 | 88 | 35 | 14 | 9 | 421 | 191 |
| 58 | R1 | 0,025 | 11 | 41 | 9 | 13 | 171 | 11 |
| 58 | R2 | 0,025 | 12 | 48 | 11 | 20 | 178 | 14 |
| 58 | R3 | 0,025 | 14 | 52 | 11 | 20 | 167 | 15 |
| 59 | R1 | 0,027 | 22 | 25 | 17 | 21 | 429 | 28 |
| 59 | R2 | 0,030 | 19 | 21 | 16 | 20 | 435 | 22 |
| 59 | R3 | 0,029 | 18 | 23 | 14 | 14 | 439 | 24 |
| 60 | R1 | 0,021 | 7 | 9 | 7 | 12 | 119 | 8 |
| 60 | R2 | 0,021 | 8 | 9 | 7 | 14 | 109 | 10 |
| 60 | R3 | 0,018 | 7 | 9 | 6 | 9 | 122 | 6 |
| 61 | R1 | <0,008 | 13 | 33 | 12 | 16 | 175 | 14 |
| 61 | R2 | <0,008 | 12 | 30 | 10 | 18 | 164 | 15 |
| 61 | R3 | <0,008 | 13 | 32 | 9 | 16 | 172 | 15 |
| 62 | R1 | 0,062 | 23 | 23 | 11 | 35 | 454 | 16 |
| 62 | R2 | 0,032 | 22 | 29 | 17 | 39 | 491 | 18 |
| 62 | R3 | 0,092 | 22 | 29 | 16 | 41 | 493 | 16 |
| 63 | R1 | 0,103 | 9 | 20 | 16 | 3 | 221 | 15 |
| 63 | R2 | 0,102 | 9 | 21 | 15 | 8 | 207 | 14 |
| 63 | R3 | 0,110 | 9 | 20 | 14 | 6 | 233 | 15 |
| 64 | R1 | 0,320 | 6 | 17 | 8 | 4 | 192 | 6 |
| 64 | R2 | 0,282 | 6 | 18 | 9 | 4 | 165 | 6 |
| 64 | R3 | 0,243 | 6 | 19 | 9 | 5 | 186 | 7 |
| 65 | R1 | 0,360 | 12 | 19 | 17 | 6 | 259 | 24 |
| 65 | R2 | 0,285 | 12 | 19 | 16 | 10 | 253 | 23 |
| 65 | R3 | 0,323 | 13 | 19 | 17 | 17 | 256 | 24 |

“Continua...”

TABELA 7A, Cont.”

| Ponto | Repetição | mg kg ⁻¹ | | | | | | |
|-------|-----------|---------------------|----|-----|----|----|-----|----|
| | | Cd | Cu | Cr | Ni | Pb | Mn | Zn |
| 66 | R1 | 0,381 | 26 | 27 | 11 | 17 | 234 | 22 |
| 66 | R2 | 0,163 | 25 | 24 | 11 | 23 | 250 | 20 |
| 66 | R3 | 0,124 | 25 | 22 | 10 | 21 | 246 | 18 |
| 67 | R1 | 0,127 | 18 | 23 | 16 | 11 | 410 | 20 |
| 67 | R2 | 0,400 | 20 | 24 | 20 | 16 | 404 | 24 |
| 67 | R3 | 0,518 | 19 | 24 | 20 | 14 | 394 | 25 |
| 68 | R1 | 0,282 | 22 | 54 | 21 | 32 | 299 | 23 |
| 68 | R2 | 0,133 | 22 | 32 | 22 | 29 | 314 | 22 |
| 68 | R3 | 0,208 | 22 | 47 | 19 | 34 | 299 | 21 |
| 69 | R1 | 0,160 | 21 | 71 | 25 | 20 | 178 | 28 |
| 69 | R2 | 0,297 | 21 | 67 | 24 | 18 | 168 | 28 |
| 69 | R3 | 0,434 | 20 | 66 | 22 | 17 | 194 | 28 |
| 70 | R1 | 0,288 | 18 | 156 | 14 | 15 | 146 | 17 |
| 70 | R2 | 0,192 | 19 | 154 | 15 | 18 | 147 | 17 |
| 70 | R3 | 0,400 | 19 | 162 | 15 | 17 | 148 | 18 |
| 71 | R1 | 0,230 | 10 | 9 | 6 | 1 | 249 | 14 |
| 71 | R2 | 0,257 | 9 | 7 | 4 | 1 | 229 | 15 |
| 71 | R3 | 0,285 | 11 | 13 | 3 | 2 | 257 | 14 |
| 72 | R1 | 0,157 | 8 | 10 | 4 | 3 | 277 | 7 |
| 72 | R2 | 0,254 | 8 | 14 | 3 | 5 | 248 | 6 |
| 72 | R3 | 0,457 | 11 | 20 | 5 | 7 | 267 | 11 |
| 73 | R1 | 0,290 | 22 | 36 | 13 | 22 | 303 | 39 |
| 73 | R2 | 0,560 | 20 | 52 | 16 | 19 | 338 | 38 |
| 73 | R3 | 0,830 | 18 | 37 | 11 | 19 | 346 | 33 |
| 74 | R1 | <0,008 | 9 | 15 | 4 | 19 | 158 | 21 |
| 74 | R2 | <0,008 | 7 | 17 | 6 | 13 | 107 | 16 |
| 74 | R3 | <0,008 | 8 | 20 | 6 | 6 | 112 | 16 |
| 75 | R1 | 0,200 | 12 | 24 | 6 | 17 | 278 | 22 |
| 75 | R2 | 0,156 | 12 | 27 | 6 | 13 | 275 | 25 |
| 75 | R3 | 0,243 | 13 | 28 | 5 | 16 | 290 | 25 |

“Continua...”

TABELA 7A, Cont.”

| Ponto | Repetição | Cd | Cu | Cr | Ni | Pb | Mn | Zn |
|-------|-----------|-------|----|----|----|----|-----|----|
| | | | | | | | | |
| 76 | R1 | 0,128 | 9 | 34 | 8 | 10 | 265 | 24 |
| 76 | R2 | 0,121 | 8 | 28 | 8 | 10 | 278 | 25 |
| 76 | R3 | 0,125 | 7 | 25 | 7 | 10 | 166 | 18 |
| 77 | R1 | 0,290 | 8 | 31 | 10 | 13 | 114 | 9 |
| 77 | R2 | 0,407 | 7 | 23 | 5 | 5 | 102 | 7 |
| 77 | R3 | 0,120 | 8 | 28 | 8 | 13 | 126 | 8 |
| 78 | R1 | 0,173 | 11 | 53 | 10 | 10 | 38 | 10 |
| 78 | R2 | 0,206 | 11 | 54 | 9 | 8 | 39 | 11 |
| 78 | R3 | 0,189 | 12 | 60 | 11 | 12 | 98 | 11 |
| 79 | R1 | 0,189 | 13 | 29 | 12 | 12 | 218 | 20 |
| 79 | R2 | 0,111 | 13 | 27 | 13 | 10 | 202 | 19 |
| 79 | R3 | 0,325 | 12 | 25 | 11 | 10 | 212 | 19 |
| 80 | R1 | 0,257 | 6 | 40 | 7 | 10 | 26 | 7 |
| 80 | R2 | 0,231 | 6 | 42 | 7 | 12 | 27 | 8 |
| 80 | R3 | 0,261 | 6 | 44 | 6 | 14 | 29 | 8 |

TABELA 8A Pontos de coleta e resultado de fertilidade (pH em água, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio e H+Al) dos solos amostrados na Bacia do Rio das Mortes-MG.

| Ponto | pH(H ₂ O) | P | K | Ca | Mg | Al | H+Al |
|-------------|----------------------|------------------------|-------|---------------------------------------|-----|-----|------|
| | | —mg dm ⁻³ — | | —cmol _c dm ⁻³ — | | | |
| 1 | 5,6 | 4,0 | 59,0 | 5,6 | 0,9 | 0,2 | 4,5 |
| 2 | 5,7 | 0,6 | 148,0 | 1,7 | 0,3 | 0,0 | 1,7 |
| 3 | 6,3 | 2,5 | 61,0 | 6,4 | 1,4 | 0,0 | 2,3 |
| 4 | 5,3 | 2,5 | 53,0 | 2,2 | 0,6 | 0,3 | 4,5 |
| 5 | 6,6 | 1,2 | 83,0 | 4,7 | 0,4 | 0,0 | 1,7 |
| 15 | 5,5 | 3,7 | 33,0 | 2,3 | 1,0 | 0,3 | 3,6 |
| 16 | 5,7 | 2,0 | 25,0 | 1,4 | 0,6 | 0,3 | 1,9 |
| 17 | 5,3 | 2,8 | 31,0 | 0,8 | 0,2 | 0,9 | 5,0 |
| 18 | 5,6 | 0,9 | 28,0 | 1,1 | 0,3 | 0,2 | 2,3 |
| 19 | 5,2 | 2,3 | 27,0 | 0,9 | 0,3 | 0,7 | 3,2 |
| 20 | 5,5 | 2,0 | 66,0 | 1,7 | 0,7 | 0,3 | 3,2 |
| 21 | 5,4 | 2,5 | 28,0 | 1,0 | 0,3 | 0,3 | 5,0 |
| 22 | 5,3 | 3,1 | 56,0 | 1,4 | 0,6 | 0,4 | 3,6 |
| 23 | 6,4 | 1,7 | 27,0 | 4,7 | 0,6 | 0,0 | 2,3 |
| 24 | 5,7 | 2,3 | 75,0 | 1,8 | 0,7 | 0,0 | 1,9 |
| 25 | 6,5 | 2,8 | 27,0 | 2,4 | 0,6 | 0,0 | 1,9 |
| 26 | 7,4 | 14,5 | 59,0 | 3,8 | 0,3 | 0,0 | 1,0 |
| 27 | 5,9 | 4,6 | 36,0 | 3,3 | 1,0 | 0,2 | 3,2 |
| 28 | 6,8 | 40,1 | 133,0 | 5,6 | 0,9 | 0,0 | 1,5 |
| 29 | 7,6 | 22,9 | 150,0 | 5,7 | 0,8 | 0,0 | 1,0 |
| 30 | 7,6 | 22,3 | 30,0 | 2,1 | 0,3 | 0,0 | 0,9 |
| 31 | 5,2 | 1,4 | 47,0 | 2,6 | 1,6 | 1,0 | 7,9 |
| 32 | 5,3 | 1,2 | 37,0 | 0,8 | 0,2 | 0,5 | 4,0 |
| 33 | 6,9 | 3,7 | 97,0 | 4,4 | 0,4 | 0,0 | 1,2 |
| 34 | 6,0 | 9,3 | 139,0 | 2,7 | 0,6 | 0,2 | 2,6 |
| 35 | 5,2 | 3,1 | 69,0 | 1,1 | 0,4 | 0,8 | 6,3 |
| 36 | 7,1 | 36,6 | 148,0 | 6,5 | 0,5 | 0,0 | 1,2 |
| 37 | 5,2 | 1,7 | 117,0 | 0,8 | 0,4 | 2,4 | 11,0 |
| 38 | 6,8 | 10,4 | 58,0 | 2,2 | 0,3 | 0,0 | 1,1 |
| 39 | 7,5 | 5,2 | 412,0 | 7,0 | 1,3 | 0,0 | 0,9 |
| 40 | 6,8 | 32,7 | 480,0 | 3,9 | 2,7 | 0,0 | 1,7 |
| 41 | 5,5 | 0,9 | 45,0 | 0,8 | 0,6 | 0,3 | 2,9 |
| 42 | 5,6 | 2,0 | 122,0 | 1,5 | 0,6 | 0,5 | 4,0 |
| 43 | 5,3 | 1,2 | 45,0 | 1,6 | 1,1 | 0,6 | 4,5 |
| Continua... | | | | | | | |

“TABELA 8A, Cont.”

| Ponto | pH(H ₂ O) | P | K | Ca | Mg | Al | H+Al |
|-------|----------------------|------------------------|-------|---------------------------------------|-----|-----|------|
| | | —mg dm ⁻³ — | | —cmol _c dm ⁻³ — | | | |
| 44 | 5,9 | 2,0 | 56,0 | 2,9 | 1,2 | 0,2 | 2,9 |
| 45 | 6,3 | 1,2 | 117,0 | 1,8 | 1,1 | 0,0 | 2,3 |
| 46 | 5,5 | 0,9 | 27,0 | 2,6 | 0,7 | 0,6 | 5,6 |
| 47 | 5,8 | 2,8 | 30,0 | 3,2 | 0,7 | 0,3 | 3,2 |
| 48 | 5,4 | 1,7 | 42,0 | 2,5 | 1,4 | 0,5 | 6,3 |
| 49 | 5,7 | 7,1 | 48,0 | 1,1 | 0,4 | 0,3 | 1,9 |
| 50 | 5,4 | 4,6 | 48,0 | 1,1 | 0,4 | 0,4 | 2,9 |
| 51 | 5,1 | 2,8 | 37,0 | 0,6 | 0,2 | 1,0 | 5,0 |
| 52 | 5,2 | 1,4 | 31,0 | 0,4 | 0,2 | 0,7 | 3,2 |
| 53 | 5,4 | 0,9 | 20,0 | 1,3 | 0,8 | 0,4 | 2,9 |
| 54 | 5,1 | 0,9 | 20,0 | 0,7 | 0,2 | 0,8 | 5,0 |
| 55 | 5,6 | 2,0 | 70,0 | 2,5 | 1,0 | 0,2 | 3,2 |
| 56 | 5,4 | 1,2 | 16,0 | 1,0 | 0,6 | 0,3 | 2,9 |
| 57 | 5,3 | 197,7 | 115,0 | 4,9 | 1,3 | 0,2 | 5,6 |
| 58 | 5,4 | 1,4 | 73,0 | 1,7 | 0,6 | 0,2 | 5,0 |
| 59 | 5,4 | 2,5 | 37,0 | 2,4 | 0,6 | 0,4 | 5,6 |
| 60 | 5,2 | 1,2 | 20,0 | 0,8 | 0,4 | 0,7 | 5,0 |
| 61 | 5,7 | 2,0 | 215,0 | 1,5 | 0,8 | 0,4 | 4,5 |
| 62 | 5,4 | 1,2 | 47,0 | 0,8 | 0,2 | 0,4 | 4,5 |
| 63 | 5,1 | 1,2 | 34,0 | 0,5 | 0,2 | 0,9 | 4,0 |
| 64 | 5,8 | 0,4 | 30,0 | 1,1 | 0,3 | 0,2 | 2,3 |
| 65 | 6,2 | 2,8 | 42,0 | 9,7 | 0,6 | 0,0 | 2,6 |
| 66 | 5,2 | 2,5 | 42,0 | 0,8 | 0,2 | 0,9 | 5,6 |
| 67 | 5,1 | 2,0 | 36,0 | 0,6 | 0,2 | 0,9 | 5,0 |
| 68 | 5,3 | 1,7 | 34,0 | 2,7 | 0,7 | 0,3 | 6,3 |
| 69 | 5,6 | 2,3 | 42,0 | 1,8 | 0,5 | 0,3 | 4,5 |
| 70 | 5,0 | 2,0 | 89,0 | 1,8 | 0,7 | 0,9 | 8,8 |
| 71 | 5,3 | 1,4 | 33,0 | 1,1 | 0,7 | 0,5 | 3,6 |
| 72 | 5,5 | 1,7 | 39,0 | 1,0 | 0,4 | 0,4 | 3,6 |
| 73 | 5,3 | 2,3 | 66,0 | 2,3 | 0,8 | 0,4 | 5,0 |
| 74 | 5,4 | 2,0 | 44,0 | 1,0 | 0,3 | 0,4 | 2,6 |
| 75 | 5,9 | 1,7 | 87,0 | 4,3 | 0,8 | 0,0 | 3,2 |
| 76 | 5,6 | 2,3 | 61,0 | 1,7 | 0,8 | 0,3 | 3,2 |
| 77 | 5,1 | 2,3 | 119,0 | 1,1 | 0,4 | 1,4 | 9,8 |
| 78 | 5,5 | 0,9 | 17,0 | 0,8 | 0,2 | 0,5 | 6,3 |
| 79 | 5,4 | 2,5 | 72,0 | 2,7 | 0,9 | 0,4 | 5,6 |
| 80 | 5,3 | 1,2 | 94,0 | 1,6 | 0,4 | 0,5 | 5,0 |

TABELA 9A Pontos de coleta e resultados de fertilidade - soma de bases trocáveis-SB, Capacidade de troca Catiônica Efetiva CTC (t), Capacidade de troca Catiônica a pH 7- CTC(T), Índice de saturação por bases-V% e Índice de saturação por alumínio-M, Matéria Orgânica (MO) e fósforo remanescente (P(Rem))- dos solos amostrados na Bacia do Rio das Mortes-MG.

| Ponto | SB | CTC (t) | CTC (T) | V | M | MO | P (Rem) |
|-------------|------------------------------------|---------|---------|------|----|----------------------|--------------------|
| | cmol _c dm ⁻³ | | | % | | dag kg ⁻¹ | mg L ⁻¹ |
| 1 | 6,7 | 6,9 | 11,2 | 59,6 | 3 | 3,7 | 16,4 |
| 2 | 2,4 | 2,4 | 4,1 | 58,3 | 0 | 0,9 | 15,6 |
| 3 | 8,0 | 8,0 | 10,3 | 77,6 | 0 | 3,7 | 15,1 |
| 4 | 2,9 | 3,2 | 7,4 | 39,5 | 9 | 3 | 41,0 |
| 5 | 5,3 | 5,3 | 7 | 75,7 | 0 | 2,5 | 6,5 |
| 15 | 3,4 | 3,7 | 7 | 48,4 | 8 | 2 | 20,5 |
| 16 | 2,1 | 2,4 | 4 | 52 | 13 | 0,6 | 50,4 |
| 17 | 1,1 | 2 | 6,1 | 17,8 | 45 | 2,6 | 14,7 |
| 18 | 1,5 | 1,7 | 3,8 | 39 | 12 | 1,8 | 32,0 |
| 19 | 1,3 | 2 | 4,5 | 28,4 | 36 | 1,4 | 43,4 |
| 20 | 2,6 | 2,9 | 5,8 | 44,5 | 10 | 2,1 | 43,4 |
| 21 | 1,4 | 1,7 | 6,4 | 21,5 | 18 | 2,2 | 14,3 |
| 22 | 2,1 | 2,5 | 5,7 | 37,3 | 16 | 1,6 | 46 |
| 23 | 5,4 | 5,4 | 7,7 | 70 | 0 | 3,4 | 9,9 |
| 24 | 2,7 | 2,7 | 4,6 | 58,6 | 0 | 1,4 | 36,7 |
| 25 | 3,1 | 3,1 | 5 | 61,8 | 0 | 1 | 38,7 |
| 26 | 4,3 | 4,3 | 5,3 | 81 | 0 | 1,6 | 38,7 |
| 27 | 4,4 | 4,6 | 7,6 | 57,8 | 4 | 2,7 | 27,9 |
| 28 | 6,8 | 6,8 | 8,3 | 82 | 0 | 1,9 | 50,4 |
| 29 | 6,9 | 6,9 | 7,9 | 87,3 | 0 | 2,2 | 48,8 |
| 30 | 2,5 | 2,5 | 3,4 | 73,4 | 0 | 1,1 | 46 |
| 31 | 4,3 | 5,3 | 12,2 | 35,4 | 19 | 3,3 | 12,5 |
| 32 | 1,1 | 1,6 | 5,1 | 21,4 | 31 | 2,4 | 19,4 |
| 33 | 5,1 | 5,1 | 6,3 | 80,8 | 0 | 1,8 | 46 |
| 34 | 3,7 | 3,9 | 6,3 | 58,5 | 5 | 3 | 29,5 |
| 35 | 1,7 | 2,5 | 8 | 21,1 | 32 | 2,9 | 16,4 |
| 36 | 7,4 | 7,4 | 8,6 | 86 | 0 | 3 | 23,7 |
| 37 | 1,5 | 3,9 | 12,5 | 12 | 62 | 3,1 | 5,4 |
| 38 | 2,7 | 2,7 | 3,8 | 70,7 | 0 | 1,1 | 41 |
| 39 | 9,4 | 9,4 | 10,3 | 91,2 | 0 | 4,3 | 32,9 |
| 40 | 7,8 | 7,8 | 9,5 | 82,2 | 0 | 4 | 37,7 |
| Continua... | | | | | | | |

“TABELA 9A, Cont.”

| Ponto | SB | CTC (t) | CTC (T) | V | M | MO | P (Rem) |
|-------|------------------------------------|---------|---------|------|----|----------------------|--------------------|
| | cmol _c dm ⁻³ | | | % | | dag kg ⁻¹ | mg L ⁻¹ |
| 41 | 1,5 | 1,8 | 4,4 | 34,4 | 16 | 1,9 | 42,2 |
| 42 | 2,4 | 2,9 | 6,4 | 37,6 | 17 | 3 | 9,4 |
| 43 | 2,8 | 3,4 | 7,3 | 38,5 | 18 | 1,8 | 16,4 |
| 44 | 4,2 | 4,4 | 7,1 | 59,4 | 5 | 2,5 | 39,8 |
| 45 | 3,2 | 3,2 | 5,5 | 58,2 | 0 | 2,4 | 19,9 |
| 46 | 3,4 | 4 | 9 | 37,6 | 15 | 2,2 | 16 |
| 47 | 4 | 4,3 | 7,2 | 55,4 | 7 | 2,4 | 18,8 |
| 48 | 4 | 4,5 | 10,3 | 38,9 | 11 | 3,1 | 9,9 |
| 49 | 1,6 | 1,9 | 3,5 | 46 | 16 | 1,2 | 50,4 |
| 50 | 1,6 | 2 | 4,5 | 35,8 | 20 | 1,8 | 50,4 |
| 51 | 0,9 | 1,9 | 5,9 | 15,1 | 53 | 1,8 | 20,5 |
| 52 | 0,7 | 1,4 | 3,9 | 17,5 | 51 | 1,6 | 20,5 |
| 53 | 2,2 | 2,5 | 5,1 | 42,6 | 16 | 1,4 | 35,7 |
| 54 | 1 | 1,8 | 6 | 16 | 46 | 2,7 | 12,2 |
| 55 | 3,7 | 3,9 | 6,9 | 53,5 | 5 | 2,5 | 42,2 |
| 56 | 1,6 | 1,9 | 4,5 | 36,1 | 15 | 2,1 | 34,7 |
| 57 | 6,5 | 6,7 | 12,1 | 53,7 | 3 | 7,3 | 9,7 |
| 58 | 2,5 | 2,7 | 7,5 | 33,2 | 7 | 3,6 | 9,4 |
| 59 | 3,1 | 3,5 | 8,7 | 35,6 | 11 | 2,9 | 16,9 |
| 60 | 1,3 | 2 | 6,3 | 20 | 36 | 2 | 9,7 |
| 61 | 2,8 | 3,2 | 7,4 | 38,8 | 12 | 3,8 | 9,9 |
| 62 | 1,1 | 1,5 | 5,6 | 19,9 | 26 | 2,1 | 17,8 |
| 63 | 0,8 | 1,7 | 4,8 | 16,5 | 53 | 1,4 | 39,8 |
| 64 | 1,5 | 1,7 | 3,8 | 39,2 | 12 | 2,4 | 9,7 |
| 65 | 10,4 | 10,4 | 13 | 80 | 0 | 5,4 | 44,7 |
| 66 | 1,1 | 2 | 6,7 | 16,5 | 45 | 3,3 | 9,4 |
| 67 | 0,9 | 1,8 | 5,9 | 15,1 | 50 | 2,2 | 21,1 |
| 68 | 3,5 | 3,8 | 9,8 | 35,6 | 8 | 4,1 | 9,1 |
| 69 | 2,4 | 2,7 | 6,9 | 34,9 | 11 | 2,4 | 14,7 |
| 70 | 2,7 | 3,6 | 11,5 | 23,7 | 25 | 4,6 | 12,9 |
| 71 | 1,9 | 2,4 | 5,5 | 34,3 | 21 | 1,6 | 46 |
| 72 | 1,5 | 1,9 | 5,1 | 29,4 | 21 | 2,2 | 31,1 |
| 73 | 3,3 | 3,7 | 8,3 | 39,5 | 11 | 2,4 | 32 |
| 74 | 1,4 | 1,8 | 4 | 35,2 | 22 | 1,6 | 46 |
| 75 | 5,3 | 5,3 | 8,5 | 62,4 | 0 | 3,3 | 27,2 |
| 76 | 2,7 | 3 | 5,9 | 45,4 | 10 | 2,4 | 43,4 |

Continua...

“TABELA 9A, Cont.”

| Ponto | SB | CTC (t) | CTC (T) | V | M | MO | P (Rem) |
|-------|---------------------------------------|---------|---------|------|----|----------------------|--------------------|
| | —cmol _c dm ⁻³ — | | | —%— | | dag kg ⁻¹ | mg L ⁻¹ |
| 77 | 1,8 | 3,2 | 11,6 | 15,5 | 44 | 3,8 | 10,9 |
| 78 | 1 | 1,5 | 7,3 | 14,2 | 32 | 3,4 | 7,5 |
| 79 | 3,8 | 4,2 | 9,4 | 40,3 | 10 | 3,7 | 25 |
| 80 | 2,2 | 2,7 | 7,2 | 30,9 | 18 | 2,5 | 27,9 |

TABELA 10A Pontos de coleta classe textural e porcentagem de areia, silte e argila dos sedimentos e solos amostrados na Bacia do Rio das Mortes-MG.

| Sedimento | | | | | Solo | | | |
|-------------|-----------------|------------------------|-------|--------|-----------------|------------------------|-------|--------|
| Ponto | Classe textural | areia | silte | argila | Classe textural | areia | silte | argila |
| | | —mg kg ⁻¹ — | | | | —mg kg ⁻¹ — | | |
| 1 | Textura média | 560 | 210 | 230 | Argilosa | 60 | 570 | 370 |
| 2 | Arenosa | 930 | 0 | 70 | Textura média | 500 | 260 | 240 |
| 3 | Arenosa | 880 | 30 | 90 | Textura média | 270 | 500 | 230 |
| 4 | Textura média | 590 | 230 | 180 | Textura média | 500 | 270 | 230 |
| 5 | Arenosa | 900 | 20 | 80 | Argilosa | 350 | 170 | 480 |
| 6 | Arenosa | 840 | 70 | 90 | Arenosa | 700 | 200 | 100 |
| 7 | Textura média | 640 | 200 | 160 | Textura média | 220 | 500 | 280 |
| 8 | Arenosa | 810 | 70 | 120 | Textura média | 650 | 190 | 160 |
| 9 | Arenosa | 950 | 0 | 50 | Textura média | 370 | 310 | 320 |
| 10 | Arenosa | 980 | 0 | 20 | Argilosa | 240 | 290 | 470 |
| 11 | Arenosa | 880 | 70 | 50 | Textura média | 190 | 490 | 320 |
| 12 | Arenosa | 930 | 20 | 50 | Textura média | 430 | 380 | 190 |
| 13 | Arenosa | 810 | 110 | 80 | Argilosa | 240 | 320 | 440 |
| 14 | Textura média | 510 | 200 | 290 | Textura média | 550 | 270 | 180 |
| 15 | Arenosa | 750 | 150 | 100 | Textura média | 310 | 420 | 270 |
| 16 | Textura média | 660 | 100 | 240 | Textura média | 570 | 240 | 190 |
| 17 | Arenosa | 960 | 0 | 40 | Argilosa | 50 | 580 | 370 |
| 18 | Arenosa | 930 | 30 | 40 | Textura média | 570 | 200 | 230 |
| 19 | Arenosa | 970 | 0 | 30 | Textura média | 730 | 110 | 160 |
| 20 | Arenosa | 980 | 0 | 20 | Textura média | 510 | 230 | 260 |
| 21 | Arenosa | 880 | 50 | 70 | Textura média | 590 | 150 | 260 |
| Continua... | | | | | | | | |

“TABELA 10A, Cont.”

| Sedimento | | | | | Solo | | | | |
|-----------|-----------------|-------------------------|-------|--------|-----------------|-------|-------------------------|--------|--|
| Ponto | Classe textural | areia | silte | argila | Classe textural | areia | silte | argila | |
| | | — mg kg ⁻¹ — | | | | | — mg kg ⁻¹ — | | |
| 22 | Arenosa | 980 | 0 | 20 | Textura média | 650 | 170 | 180 | |
| 23 | Arenosa | 630 | 260 | 110 | Argilosa | 330 | 270 | 400 | |
| 24 | Arenosa | 830 | 110 | 60 | Arenosa | 360 | 490 | 150 | |
| 25 | Arenosa | 510 | 370 | 120 | Arenosa | 640 | 230 | 130 | |
| 26 | Arenosa | 670 | 250 | 80 | Arenosa | 700 | 180 | 120 | |
| 27 | Arenosa | 730 | 190 | 80 | Textura média | 280 | 440 | 280 | |
| 28 | Arenosa | 930 | 20 | 50 | Arenosa | 710 | 150 | 140 | |
| 29 | Arenosa | 730 | 190 | 80 | Arenosa | 650 | 240 | 110 | |
| 30 | Arenosa | 940 | 20 | 40 | Arenosa | 800 | 130 | 70 | |
| 31 | Textura média | 680 | 90 | 230 | Argilosa | 230 | 250 | 520 | |
| 32 | Arenosa | 810 | 70 | 120 | Textura média | 580 | 130 | 290 | |
| 33 | Arenosa | 900 | 20 | 80 | Textura média | 700 | 140 | 160 | |
| 34 | Arenosa | 850 | 60 | 90 | Textura média | 590 | 190 | 220 | |
| 35 | Arenosa | 790 | 90 | 120 | Textura média | 550 | 160 | 290 | |
| 36 | Arenosa | 890 | 10 | 100 | Textura média | 440 | 240 | 320 | |
| 37 | Arenosa | 760 | 90 | 150 | Argilosa | 220 | 230 | 550 | |
| 38 | Arenosa | 820 | 40 | 140 | Arenosa | 840 | 40 | 120 | |
| 39 | Arenosa | 920 | 10 | 70 | Arenosa | 750 | 130 | 120 | |
| 40 | Arenosa | 980 | 0 | 20 | Textura média | 450 | 310 | 240 | |
| 41 | Arenosa | 980 | 0 | 20 | Textura média | 630 | 140 | 230 | |
| 42 | Arenosa | 920 | 20 | 60 | Textura média | 560 | 110 | 330 | |
| 43 | Arenosa | 940 | 0 | 60 | Textura média | 270 | 380 | 350 | |
| 44 | Arenosa | 940 | 0 | 60 | Textura média | 510 | 240 | 250 | |
| 45 | Arenosa | 910 | 10 | 80 | Textura média | 610 | 130 | 260 | |
| 46 | Arenosa | 950 | 10 | 40 | Argilosa | 290 | 310 | 400 | |
| 47 | Textura média | 370 | 380 | 250 | Textura média | 260 | 400 | 340 | |
| 48 | Arenosa | 780 | 110 | 110 | Argilosa | 270 | 300 | 430 | |
| 49 | Arenosa | 910 | 50 | 40 | Arenosa | 830 | 80 | 90 | |
| 50 | Arenosa | 950 | 10 | 40 | Arenosa | 790 | 110 | 100 | |

Continua...

“TABELA 10A, Cont.”

| Sedimento | | | | | Solo | | | |
|-----------|-----------------|-------------------------|-------|--------|-----------------|-------------------------|-------|--------|
| Ponto | Classe textural | areia | silte | argila | Classe textural | areia | silte | argila |
| | | — mg kg ⁻¹ — | | | | — mg kg ⁻¹ — | | |
| 51 | Arenosa | 950 | 0 | 50 | Textura média | 610 | 210 | 180 |
| 52 | Arenosa | 890 | 10 | 100 | Textura média | 620 | 160 | 220 |
| 53 | Arenosa | 880 | 20 | 100 | Argilosa | 460 | 170 | 370 |
| 54 | Arenosa | 990 | 0 | 10 | Textura média | 480 | 250 | 270 |
| 55 | Arenosa | 980 | 0 | 20 | Textura média | 440 | 320 | 240 |
| 56 | Arenosa | 910 | 30 | 60 | Arenosa | 790 | 70 | 140 |
| 57 | Argilosa | 200 | 250 | 550 | Argilosa | 160 | 420 | 420 |
| 58 | Textura média | 600 | 160 | 240 | Argilosa | 370 | 220 | 410 |
| 59 | Textura média | 600 | 220 | 180 | Textura média | 130 | 540 | 330 |
| 60 | Arenosa | 910 | 20 | 70 | Argilosa | 500 | 140 | 360 |
| 61 | Arenosa | 930 | 10 | 60 | Argilosa | 400 | 150 | 450 |
| 62 | Arenosa | 890 | 30 | 80 | Textura média | 650 | 120 | 230 |
| 63 | Arenosa | 880 | 60 | 60 | Arenosa | 800 | 60 | 140 |
| 64 | Textura média | 690 | 80 | 230 | Textura média | 620 | 40 | 340 |
| 65 | Arenosa | 890 | 30 | 80 | Textura média | 540 | 250 | 210 |
| 66 | Arenosa | 920 | 10 | 70 | Argilosa | 220 | 420 | 360 |
| 67 | Arenosa | 610 | 240 | 150 | Textura média | 450 | 350 | 200 |
| 68 | Arenosa | 870 | 20 | 110 | Argilosa | 390 | 200 | 410 |
| 69 | Arenosa | 890 | 20 | 90 | Textura média | 570 | 170 | 260 |
| 70 | Arenosa | 890 | 0 | 110 | Argilosa | 430 | 130 | 440 |
| 71 | Arenosa | 940 | 10 | 50 | Textura média | 720 | 80 | 200 |
| 72 | Arenosa | 660 | 240 | 100 | Arenosa | 680 | 190 | 130 |
| 73 | Arenosa | 950 | 0 | 50 | Textura média | 580 | 210 | 210 |
| 74 | Arenosa | 780 | 110 | 110 | Arenosa | 760 | 130 | 110 |
| 75 | Arenosa | 890 | 60 | 50 | Textura média | 560 | 210 | 230 |
| 76 | Arenosa | 700 | 190 | 110 | Arenosa | 790 | 120 | 90 |
| 77 | Arenosa | 900 | 20 | 80 | Textura média | 550 | 100 | 350 |
| 78 | Textura média | 740 | 60 | 200 | Argilosa | 520 | 90 | 390 |
| 79 | Arenosa | 910 | 30 | 60 | Textura média | 600 | 160 | 240 |
| 80 | Arenosa | 780 | 80 | 140 | Textura média | 610 | 140 | 250 |

TABELA 11A Pontos de coleta e resultado das três repetições na determinação de arsênio e selênio nos sedimentos e solos amostrados na Bacia do Rio das Mortes-MG.

| Ponto | Repetição | Sedimento | | Solo | |
|---------------------|-----------|-----------|-------|-------|-------|
| | | As | Se | As | Se |
| mg kg ⁻¹ | | | | | |
| 1 | R1 | 0,56 | <0,22 | 1,05 | <0,22 |
| 1 | R2 | 0,55 | <0,22 | 1,01 | 0,30 |
| 1 | R3 | 0,55 | <0,22 | 1,20 | <0,22 |
| 2 | R1 | 0,47 | <0,22 | 0,75 | <0,22 |
| 2 | R2 | 0,58 | <0,22 | 0,76 | <0,22 |
| 2 | R3 | 0,52 | <0,22 | 0,78 | <0,22 |
| 3 | R1 | <0,34 | <0,22 | 1,14 | <0,22 |
| 3 | R2 | <0,34 | <0,22 | 0,74 | <0,22 |
| 3 | R3 | <0,34 | <0,22 | 0,62 | <0,22 |
| 4 | R1 | 1,51 | <0,22 | 0,46 | <0,22 |
| 4 | R2 | 1,49 | <0,22 | 0,43 | <0,22 |
| 4 | R3 | 1,46 | <0,22 | 0,37 | <0,22 |
| 5 | R1 | 0,70 | <0,22 | <0,34 | <0,22 |
| 5 | R2 | 0,80 | <0,22 | <0,34 | 0,24 |
| 5 | R3 | 0,82 | <0,22 | <0,34 | <0,22 |
| 6 | R1 | 7,02 | <0,22 | 14,59 | <0,22 |
| 6 | R2 | 7,33 | <0,22 | 11,75 | <0,22 |
| 6 | R4 | 12,48 | <0,22 | 7,89 | <0,22 |
| 7 | R1 | 2,96 | <0,22 | 1,74 | <0,22 |
| 7 | R2 | 3,86 | <0,22 | 1,71 | <0,22 |
| 7 | R3 | 3,93 | <0,22 | 1,59 | <0,22 |
| 8 | R1 | 1,13 | <0,22 | 1,54 | <0,22 |
| 8 | R2 | 1,13 | <0,22 | 1,64 | 0,24 |
| 8 | R3 | 1,34 | <0,22 | 1,56 | <0,22 |
| 9 | R1 | 2,44 | <0,22 | 19,56 | 0,28 |
| 9 | R2 | 2,39 | <0,22 | 15,52 | 0,28 |
| 9 | R3 | 2,26 | <0,22 | 17,95 | 0,28 |
| 10 | R1 | 0,52 | <0,22 | 1,76 | 0,33 |
| 10 | R2 | 0,40 | <0,22 | 1,76 | 0,25 |
| 10 | R3 | 0,39 | <0,22 | 1,73 | 0,27 |
| 11 | R1 | 44,74 | <0,22 | 23,23 | 0,27 |
| 11 | R2 | 75,26 | <0,22 | 18,97 | 0,23 |
| 11 | R3 | 42,10 | <0,22 | 25,36 | 0,25 |

Continua...

“TABELA 11A, Cont.”

| Ponto | Repetição | Sedimento | | Solo | |
|---------------------|-----------|-----------|-------|-------|-------|
| | | As | Se | As | Se |
| mg kg ⁻¹ | | | | | |
| 12 | R1 | 1,89 | 0,32 | 1,86 | 0,26 |
| 12 | R2 | 2,18 | <0,22 | 1,87 | 0,25 |
| 12 | R3 | 1,99 | <0,22 | 1,83 | <0,22 |
| 13 | R1 | 1,46 | <0,22 | 1,39 | 0,29 |
| 13 | R2 | 1,25 | <0,22 | 1,46 | 0,25 |
| 13 | R3 | 2,05 | <0,22 | 1,39 | 0,24 |
| 14 | R1 | 192,32 | 0,29 | 40,95 | 0,30 |
| 14 | R2 | 887,90 | 0,29 | 43,67 | 0,33 |
| 14 | R3 | 648,60 | 0,49 | 40,54 | 0,27 |
| 15 | R1 | 0,81 | <0,22 | 2,02 | 0,37 |
| 15 | R2 | 0,82 | <0,22 | 2,04 | 0,26 |
| 15 | R3 | 0,67 | <0,22 | 1,74 | 0,34 |
| 16 | R1 | 1,21 | <0,22 | 0,60 | 0,25 |
| 16 | R2 | 1,73 | 0,28 | 0,41 | <0,22 |
| 16 | R3 | 0,70 | <0,22 | 0,40 | 0,25 |
| 17 | R1 | 0,62 | <0,22 | 3,64 | 0,33 |
| 17 | R2 | 0,53 | <0,22 | 3,20 | 0,26 |
| 17 | R3 | 0,66 | <0,22 | 4,08 | <0,22 |
| 18 | R1 | 0,62 | <0,22 | 1,87 | <0,22 |
| 18 | R2 | 0,34 | <0,22 | 1,86 | <0,22 |
| 18 | R3 | 0,63 | <0,22 | 1,45 | 0,23 |
| 19 | R1 | <0,34 | <0,22 | 0,90 | <0,22 |
| 19 | R2 | <0,34 | <0,22 | 0,84 | <0,22 |
| 19 | R3 | <0,34 | <0,22 | 0,83 | <0,22 |
| 20 | R1 | <0,34 | <0,22 | <0,34 | <0,22 |
| 20 | R2 | <0,34 | <0,22 | <0,34 | <0,22 |
| 20 | R3 | <0,34 | <0,22 | <0,34 | <0,22 |
| 21 | R1 | 0,65 | <0,22 | 0,81 | <0,22 |
| 21 | R2 | 1,02 | <0,22 | 0,40 | <0,22 |
| 21 | R3 | 0,67 | <0,22 | 0,61 | <0,22 |
| 22 | R1 | <0,34 | <0,22 | <0,34 | <0,22 |
| 22 | R2 | <0,34 | <0,22 | <0,34 | <0,22 |
| 22 | R3 | <0,34 | <0,22 | <0,34 | <0,22 |
| 23 | R1 | 3,38 | <0,22 | <0,34 | <0,22 |
| 23 | R2 | 2,96 | <0,22 | <0,34 | <0,22 |
| 23 | R3 | <0,34 | <0,22 | <0,34 | <0,22 |

Continua...

“TABELA 11A, Cont.”

| Ponto | Repetição | Sedimento | | Solo | |
|---------------------|-----------|-----------|-------|------|-------|
| | | As | Se | As | Se |
| mg kg ⁻¹ | | | | | |
| 24 | R1 | 2,60 | <0,22 | 7,20 | <0,22 |
| 24 | R2 | 3,21 | <0,22 | 6,20 | <0,22 |
| 24 | R3 | 3,04 | <0,22 | 5,55 | <0,22 |
| 25 | R1 | 2,37 | <0,22 | 1,55 | <0,22 |
| 25 | R2 | 2,13 | <0,22 | 1,97 | <0,22 |
| 25 | R3 | 1,79 | <0,22 | 1,89 | <0,22 |
| 26 | R1 | 2,92 | <0,22 | 3,46 | <0,22 |
| 26 | R2 | 3,45 | <0,22 | 3,56 | <0,22 |
| 26 | R3 | 2,80 | <0,22 | 2,56 | <0,22 |
| 27 | R1 | 0,81 | <0,22 | 2,17 | <0,22 |
| 27 | R2 | 0,81 | <0,22 | 1,88 | <0,22 |
| 27 | R3 | 0,82 | <0,22 | 2,18 | <0,22 |
| 28 | R1 | 1,47 | <0,22 | 1,86 | <0,22 |
| 28 | R2 | 1,37 | <0,22 | 1,76 | <0,22 |
| 28 | R3 | 1,48 | <0,22 | 1,92 | <0,22 |
| 29 | R1 | 1,53 | <0,22 | 2,26 | <0,22 |
| 29 | R2 | 1,67 | <0,22 | 2,04 | <0,22 |
| 29 | R3 | 1,49 | <0,22 | 2,37 | <0,22 |
| 30 | R1 | <0,34 | <0,22 | 0,46 | <0,22 |
| 30 | R2 | <0,34 | <0,22 | 0,47 | <0,22 |
| 30 | R3 | <0,34 | <0,22 | 0,49 | <0,22 |
| 31 | R1 | 1,63 | <0,22 | 1,58 | <0,22 |
| 31 | R2 | 1,65 | <0,22 | 1,54 | <0,22 |
| 31 | R3 | 2,46 | <0,22 | 1,62 | <0,22 |
| 32 | R1 | <0,34 | <0,22 | 0,79 | <0,22 |
| 32 | R2 | <0,34 | <0,22 | 0,78 | <0,22 |
| 32 | R3 | <0,34 | <0,22 | 0,90 | <0,22 |
| 33 | R1 | 0,66 | <0,22 | 0,99 | <0,22 |
| 33 | R2 | 0,49 | <0,22 | 1,30 | <0,22 |
| 33 | R3 | <0,34 | <0,22 | 1,15 | <0,22 |
| 34 | R1 | 0,58 | <0,22 | 0,79 | <0,22 |
| 34 | R2 | 0,70 | <0,22 | 2,11 | <0,22 |
| 34 | R3 | 0,82 | <0,22 | 0,74 | <0,22 |
| 35 | R1 | 0,69 | <0,22 | 1,75 | <0,22 |
| 35 | R2 | 0,96 | <0,22 | 1,16 | <0,22 |
| 35 | R3 | 0,96 | <0,22 | 1,45 | <0,22 |

Continua...

“TABELA 11A, Cont.”

| Ponto | Repetição | Sedimento | | Solo | |
|---------------------|-----------|-----------|-------|------|-------|
| | | As | Se | As | Se |
| mg kg ⁻¹ | | | | | |
| 36 | R1 | 1,01 | <0,22 | 1,91 | * |
| 36 | R2 | 0,64 | <0,22 | 0,96 | * |
| 36 | R3 | 0,42 | <0,22 | 1,77 | * |
| 37 | R1 | 0,99 | <0,22 | 2,19 | * |
| 37 | R2 | 0,94 | <0,22 | 1,97 | * |
| 37 | R3 | 1,03 | <0,22 | 1,46 | * |
| 38 | R1 | 1,15 | <0,22 | 0,95 | * |
| 38 | R2 | 1,09 | <0,22 | 0,51 | * |
| 38 | R3 | 0,92 | <0,22 | 0,73 | * |
| 39 | R1 | 0,48 | <0,22 | 0,94 | * |
| 39 | R2 | 0,41 | <0,22 | 0,78 | * |
| 39 | R3 | 0,34 | <0,22 | 0,62 | * |
| 40 | R1 | 0,37 | <0,22 | 1,08 | <0,22 |
| 40 | R2 | 0,39 | <0,22 | 1,13 | 0,22 |
| 40 | R3 | 0,46 | <0,22 | - | - |
| 41 | R1 | <0,34 | <0,22 | 0,86 | 0,68 |
| 41 | R2 | <0,34 | <0,22 | 0,82 | 0,64 |
| 41 | R3 | <0,34 | <0,22 | 0,68 | 0,59 |
| 42 | R1 | 0,84 | <0,22 | 0,86 | 0,59 |
| 42 | R2 | 0,87 | <0,22 | 1,09 | 0,82 |
| 42 | R3 | 0,84 | <0,22 | 1,05 | 0,57 |
| 43 | R1 | 0,68 | <0,22 | 1,26 | 0,42 |
| 43 | R2 | 0,68 | <0,22 | 1,40 | 0,47 |
| 43 | R3 | 0,74 | <0,22 | 1,16 | 0,44 |
| 44 | R1 | <0,34 | <0,22 | 0,49 | <0,22 |
| 44 | R2 | <0,34 | <0,22 | 0,34 | <0,22 |
| 44 | R3 | <0,34 | <0,22 | 0,63 | <0,22 |
| 45 | R1 | 1,80 | <0,22 | 1,03 | <0,22 |
| 45 | R2 | 1,76 | <0,22 | 1,12 | <0,22 |
| 45 | R3 | 1,78 | <0,22 | 0,99 | <0,22 |
| 46 | R1 | 0,34 | * | 1,29 | <0,22 |
| 46 | R2 | 0,65 | * | 1,16 | <0,22 |
| 46 | R3 | 0,65 | * | 1,25 | <0,22 |
| 47 | R1 | 2,17 | * | 4,07 | * |
| 47 | R2 | 2,16 | * | 1,09 | * |
| 47 | R3 | 2,10 | * | 1,04 | * |

Continua...

“TABELA 11A, Cont.”

| Ponto | Repetição | sedimento | | solo | |
|---------------------|-----------|-----------|----|-------|----|
| | | As | Se | As | Se |
| mg kg ⁻¹ | | | | | |
| 48 | R1 | 0,37 | * | 1,16 | * |
| 48 | R2 | <0,34 | * | 1,04 | * |
| 48 | R3 | <0,34 | * | 1,02 | * |
| 49 | R1 | <0,34 | * | 0,38 | * |
| 49 | R2 | 0,37 | * | <0,34 | * |
| 49 | R3 | <0,34 | * | 0,43 | * |
| 50 | R1 | 1,08 | * | 1,19 | * |
| 50 | R2 | 1,09 | * | 1,22 | * |
| 50 | R3 | 0,87 | * | 1,23 | * |
| 51 | R1 | 1,73 | * | 3,18 | * |
| 51 | R2 | 1,87 | * | 2,05 | * |
| 51 | R3 | 2,39 | * | 2,97 | * |
| 52 | R1 | 0,34 | * | 4,60 | * |
| 52 | R2 | <0,34 | * | 4,68 | * |
| 52 | R3 | <0,34 | * | 3,63 | * |
| 53 | R1 | <0,34 | * | 1,94 | * |
| 53 | R2 | 0,46 | * | 2,54 | * |
| 53 | R3 | <0,34 | * | 2,47 | * |
| 54 | R1 | <0,34 | * | <0,34 | * |
| 54 | R2 | <0,34 | * | <0,34 | * |
| 54 | R3 | <0,34 | * | <0,34 | * |
| 55 | R1 | <0,34 | * | 2,12 | * |
| 55 | R2 | <0,34 | * | 1,74 | * |
| 55 | R3 | <0,34 | * | 2,04 | * |
| 56 | R1 | 1,47 | * | 1,97 | * |
| 56 | R2 | 2,09 | * | 1,30 | * |
| 56 | R3 | 0,89 | * | 1,78 | * |
| 57 | R1 | <0,34 | * | 0,43 | * |
| 57 | R2 | 0,83 | * | 1,66 | * |
| 57 | R3 | 1,07 | * | <0,34 | * |
| 58 | R1 | 18,64 | * | <0,34 | * |
| 58 | R2 | 16,16 | * | <0,34 | * |
| 58 | R3 | 17,40 | * | <0,34 | * |
| 59 | R1 | 2,40 | * | 9,33 | * |
| 59 | R2 | 4,36 | * | 5,00 | * |
| 59 | R3 | 6,20 | * | 3,27 | * |

Continua...

“TABELA 11A, Cont.”

| Ponto | Repetição | sedimento | | solo | | |
|-------|-----------|---------------------|----|------|----|--|
| | | As | Se | As | Se | |
| | | mg kg ⁻¹ | | | | |
| 60 | R1 | 0,60 | * | 0,85 | * | |
| 60 | R2 | 0,74 | * | 1,03 | * | |
| 60 | R3 | 0,46 | * | 0,67 | * | |
| 61 | R1 | 0,88 | * | 0,36 | * | |
| 61 | R2 | 0,67 | * | 0,92 | * | |
| 61 | R3 | 0,53 | * | 0,75 | * | |
| 62 | R1 | 0,70 | * | 0,94 | * | |
| 62 | R2 | 0,83 | * | 2,08 | * | |
| 62 | R3 | 0,83 | * | 0,75 | * | |
| 63 | R1 | 0,78 | * | 0,94 | * | |
| 63 | R2 | 0,51 | * | 0,85 | * | |
| 63 | R3 | 0,44 | * | 0,72 | * | |
| 64 | R1 | 1,79 | * | 0,88 | * | |
| 64 | R2 | 0,99 | * | 1,17 | * | |
| 64 | R3 | 1,03 | * | 1,19 | * | |
| 65 | R1 | 0,81 | * | 1,03 | * | |
| 65 | R2 | 1,35 | * | 0,82 | * | |
| 65 | R3 | 0,66 | * | 2,05 | * | |
| 66 | R1 | 0,98 | * | 1,16 | * | |
| 66 | R2 | 0,73 | * | 1,76 | * | |
| 66 | R3 | 0,82 | * | 1,47 | * | |
| 67 | R1 | 3,63 | * | 1,56 | * | |
| 67 | R2 | 4,70 | * | 1,99 | * | |
| 67 | R3 | 2,55 | * | 1,16 | * | |
| 68 | R1 | 1,59 | * | 1,64 | * | |
| 68 | R2 | 0,29 | * | 1,65 | * | |
| 68 | R3 | 0,25 | * | 1,43 | * | |
| 69 | R1 | 2,55 | * | 2,72 | * | |
| 69 | R2 | <0,34 | * | 1,25 | * | |
| 69 | R3 | <0,34 | * | 0,92 | * | |
| 70 | R1 | * | * | 0,98 | * | |
| 70 | R2 | * | * | 0,84 | * | |
| 70 | R3 | * | * | 1,58 | * | |
| 71 | R1 | * | * | 1,96 | * | |
| 71 | R2 | * | * | 0,84 | * | |
| 71 | R3 | * | * | 0,63 | * | |

Continua...

“TABELA 11A, Cont.”

| Ponto | Repetição | Sedimento | | Solo | | |
|-------|-----------|---------------------|----|-------|----|--|
| | | As | Se | As | Se | |
| | | mg kg ⁻¹ | | | | |
| 72 | R1 | 2,36 | * | 0,76 | * | |
| 72 | R2 | 1,48 | * | 0,88 | * | |
| 72 | R3 | - | * | 0,79 | * | |
| 73 | R1 | <0,34 | * | 0,93 | * | |
| 73 | R2 | <0,34 | * | 0,78 | * | |
| 73 | R3 | 0,41 | * | 0,45 | * | |
| 74 | R1 | 1,29 | * | 1,02 | * | |
| 74 | R2 | 2,16 | * | 1,09 | * | |
| 74 | R3 | 2,12 | * | 1,06 | * | |
| 75 | R1 | 3,11 | * | 0,79 | * | |
| 75 | R2 | 0,78 | * | 0,28 | * | |
| 75 | R3 | 1,40 | * | 0,40 | * | |
| 76 | R1 | * | * | <0,34 | * | |
| 76 | R2 | * | * | <0,34 | * | |
| 76 | R3 | * | * | <0,34 | * | |
| 77 | R1 | 2,08 | * | 0,86 | * | |
| 77 | R2 | 2,00 | * | 0,94 | * | |
| 77 | R3 | 2,04 | * | 0,90 | * | |
| 78 | R1 | 1,56 | * | 1,35 | * | |
| 78 | R2 | 0,83 | * | 0,91 | * | |
| 78 | R3 | 0,84 | * | 1,69 | * | |
| 79 | R1 | 0,97 | * | 0,85 | * | |
| 79 | R2 | 0,80 | * | 0,71 | * | |
| 79 | R3 | 0,67 | * | 0,78 | * | |
| 80 | R1 | 0,80 | * | 1,30 | * | |
| 80 | R2 | 1,12 | * | 1,69 | * | |
| 80 | R3 | 0,91 | * | 2,07 | * | |

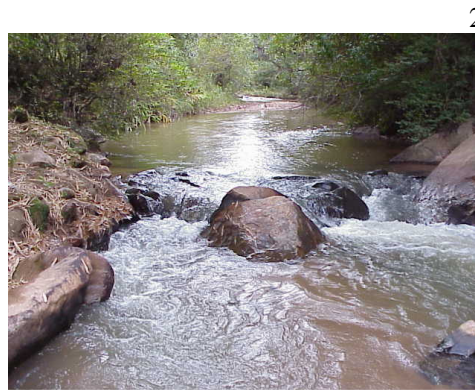
* Amostras que ainda não foram determinadas as concentrações de As e Se.

- Amostras perdidas.

FOTOGRAFIAS DA AMOSTRAGEM

Fotos:

- 1) Rio amostrado à jusante da cidade de Dores de Campos (local suspeito de contaminação).
- 2) Rio amostrado em local natural.
- 3) Amostragem de água.
- 4) Amostragem de sedimento de fundo com draga.
- 5) Amostragem de solo em local suspeito de contaminação (zona urbana do município de Dores de Campos)
- 6) Amostragem de solo em local natural.
- 7) Procedimento de medidas do fluxo da água (fluxômetro).
- 8) Medição de pH da água amostrada.
- 9) Medição da turbidez da água amostrada.
- 10) Vista do Rio das Mortes, em uma das suas maiores planícies de inundação.



5



6



7



8



9



10

