

PROJETO APA SUL RMBH Estudos do Meio Físico



ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL
SUL DA REGIÃO METROPOLITANA
DE BELO HORIZONTE

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E
TRANSFORMAÇÃO MINERAL
CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL

GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE
E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
CEMIG - COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS

PROGRAMA GATE
INFORMAÇÕES PARA A GESTÃO TERRITORIAL

GEOQUÍMICA AMBIENTAL

Volume 7

*Fernanda Gonçalves da Cunha - Geóloga, Dra.
Gilberto José Machado - Geólogo, M.Sc.*



Secretaria de Geologia,
Mineração e Transformação Mineral

Ministério de
Minas e Energia



Belo Horizonte
2005

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Silas Rondeau Cavalcante Silva
Ministro de Estado

**SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E
TRANSFORMAÇÃO MINERAL**

Cláudio Scliar
Secretário

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL

Agamenon Sérgio Lucas Dantas
Diretor - Presidente

Manoel Barretto da Rocha Neto
Diretor de Geologia e Recursos Minerais

José Ribeiro Mendes
Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial

Fernando Pereira de Carvalho
Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento

Álvaro Rogério Alencar Silva
Diretor de Administração e Finanças

Carlos Schobbenhaus Filho
Chefe do Departamento de Geologia

Inácio de Medeiros Delgado
Chefe da Divisão de Geologia Básica

Cássio Roberto da Silva
Chefe do Departamento de Gestão Territorial

Regina Célia Gimenez Armesto
Chefe da Divisão de Gestão Territorial

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE BELO HORIZONTE

Hélio Pereira
Superintendente

Márcio de Oliveira Cândido
Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial

Fernando Antônio Rodrigues de Oliveira
Gerente de Geologia e Recursos Minerais

Marcelo de Araújo Vieira
Gerente de Relações Institucionais e Desenvolvimento

Silvia Efigênia Vieira de Melo
Gerente de Administração e Finanças

GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

Aécio Neves
Governador

**SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

José Carlos Carvalho
Secretário de Estado

Shelley de Souza Carneiro
Secretário Adjunto

Antônio Eustáquio Oliver
Chefe de Gabinete

Rubens Varga Filho
Superintendente de Apoio Técnico

Rogério Noce Rocha
Superintendente de Política Ambiental

Eduardo Henrique Alves de Paula
Superintendente de Administração e Finanças

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS

Djalma Bastos de Moraes
Presidente

José Maria de Macedo
Diretor de Distribuição

Flávio Decat de Moura
Diretor de Finanças

Heleni de Mello Fonseca
Diretor de Gestão Empresarial

Celso Ferreira
Diretor de Planejamento, Projetos e Construções

Elmar de Oliveira Santana
Diretor de Geração e Transmissão

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL
SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE BELO HORIZONTE
SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
CEMIG - COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS

CONVÊNIO SEMAD - CPRM
Nº 011/CPRM/01

PROJETO APA SUL RMBH
Estudos do Meio Físico
Escala 1:225.000

Belo Horizonte
2005

EQUIPE TÉCNICA

COORDENAÇÃO E SUPERVISÃO

*Maria Antonieta Alcântara Mourão - Geóloga, M.Sc.
Helio Antonio de Sousa - Geólogo, M.Sc.*
Coordenadores do Projeto APA Sul RMBH

Maria Antonieta Alcântara Mourão - Geóloga, M.Sc.
Representante da CPRM

RELATÓRIOS TEMÁTICOS Responsáveis Técnicos

Geologia

*Sérgio Lima da Silva - Geólogo
Eduardo Araújo Monteiro - Geólogo
Orivaldo Ferreira Baltazar - Geólogo
Márcia Zucchetti - Geóloga, M.Sc.*

Mineração

Antônio Carlos Girodo - Eng. de Minas Consultor, Especialista

Cobertura e Uso da Terra

*Graziela da Silva Rocha Oliveira - Geógrafa Especialista
Patrícia Düringer Jacques - Geóloga, M.Sc.
Edgar Shinzato - Eng. Agrônomo, M.Sc.*

Geotecnia

*Jorge Pimentel - Geólogo, M.Sc.
Cornélio Zampier Teixeira - Eng. Civil Consultor, Dr.
Fábio Moraes Silva - Geólogo, M.Sc.*

Pedologia

*Edgar Shinzato - Eng. Agrônomo, M.Sc.
Amaury de Carvalho Filho - Eng. Agrônomo, M.Sc.*

Geomorfologia

*Antônio Ivo de Menezes Medina - Geólogo
Marcelo Eduardo Dantas - Geógrafo, M.Sc.
Allaoua Saadi - Geógrafo Consultor, Prof. Dr.*

Geoquímica Ambiental

*Fernanda Gonçalves da Cunha - Geóloga, Dra.
Gilberto José Machado - Geólogo, M.Sc.*

Hidrogeologia

*Décio Antônio Chaves Beato - Geólogo
André Luiz Mussel Monsorens - Geólogo, M.Sc.
Antônio Carlos Bertachinni - Geólogo Consultor, M.Sc.*

Hidrologia

*Elizabeth Guelman Davis - Eng. Civil
Eber José de Andrade Pinto - Eng. Civil Consultor Interno, M.Sc.
Magda Cristina Ferreira Pinto - Química, M.Sc.*

Uso e Disponibilidade de Recursos Hídricos

*Elizabeth Guelman Davis - Eng. Civil
Eber José de Andrade Pinto - Eng. Civil Consultor Interno, M.Sc.
Décio Antônio Chaves Beato - Geólogo*

APOIO OPERACIONAL

*Aginaldo Francisco Teixeira de Freitas - Ass. Tec. Especializado
Alessandro José da Silva - Ass. Tec. Especializado
Antônio dos Santos Neto - Auxiliar Tec. Manutenção
Arlindo Akio Yamato - Geólogo, M.Sc.
Branca Estrella Cardoso - Estagiária de Geografia
Deli Moreira Soares - Auxiliar Tec. Manutenção
Edésio Lucrécio Lucas Diniz - Hidrotécnico
Eliane Moraes Almeida - Estagiária de Geografia
Elóisa Helena Munck - Estagiária de Geografia
Francisco Magela Dias - Auxiliar Tec. Manutenção*

René Henrique Cardoso Renault - Biólogo
Gerente da APA Sul RMBH
Representante da SEMAD

APOIO OPERACIONAL

*Giovanni Diniz Moreira - Estagiário de Geografia
José Ismael Bento - Técnico de Perfuração
Keli Regina Rodrigues Pedroza - Técnico Administrativo
Lana de Cássia Andrade - Estagiária de Geografia
Márcio Alexandre - Técnico de Hidrologia
Marco Antônio Leitão Pimentel - Técnico Administrativo
Márcio de Oliveira Cândido - Eng. Civil, M.Sc.
Márcio Ferreira Augusto - Desenhista
Maria Lúcia Chagas Ribeiro Vasconcelos - Bibliotecária
Maurício Alves Ferreira Santos - Estagiário de Geografia
Maurício Vieira Rios - Técnico em Prospecção
Maurina Soares Siqueira de Freitas - Técnico de Hidrologia
Michelle Rodrigues Araújo - Estagiária de Geografia
Neuro Rodrigues - Técnico de Hidrologia
Oswaldo Pereira dos Santos - Técnico de Hidrologia
Paulo César Santarém da Silva - Geólogo, M.Sc.
Terezinha Inácia Carvalho Pereira - Técnica em Cartografia
Sarah Costa Cordeiro - Ass. Tec. Especializado
Valdiva de Oliveira - Ass. Tec. Especializado
Valter Gonçalves de Araújo - Ass. Tec. Especializado
Wanda A. X. França - Ass. Tec. Especializado
Wilson Luís Féboli - Geólogo*

APOIO TÉCNICO

Contribuição Técnica no Capítulo de Sedimentometria do Tema Hidrologia
Alice Silva de Castilho - Eng. Civil, M.Sc.

Digitalização de Mapas para o Tema Geologia:
*José Geraldo de Souza - Técnico de Mineração
Lindouro Araújo Duarte - Técnico de Mineração*

Editores Cartográfica e Composição de Leiaute Final:

*Elizabeth Almeida Cadete Costa - Tec. em Cartografia
Rosângela Gonçalves Bastos de Souza - Geógrafa*

Levantamento de Campo e Consistência de Dados Hidrogeológicos:

*Georgete Macedo Dutra - Geóloga
Júlio de Freitas Fernandes Vasques - Prospector e Hidrotécnico*

Levantamento de Dados Secundários:

José do Espírito Santo Lima - Geólogo

Levantamento de Campo para os Temas Hidrogeologia e Hidrologia:

*Antônio Luiz do Nascimento - Hidrotécnico
Gesler Ferreira - Técnico de Mineração
Luiz Fernando Zacarias - Técnico de Mineração*

Normalização e Pesquisa Bibliográfica:

Maria Madalena Costa Ferreira - Bibliotecária

Organização de Banco de Dados e Levantamento de Campo para o Tema Geotecnia:

Nelson Baptista de Oliveira Rezende Costa - Geólogo

Tratamento de Dados Temáticos em GIS:

*Carlos Augusto Silva Leite - Geólogo Supervisor
Márcio Antônio da Silva - Geólogo Supervisor, M.Sc.*

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL
GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS
SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
CEMIG - COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS

PROGRAMA GATE
INFORMAÇÕES PARA A GESTÃO TERRITORIAL

PROJETO APA SUL RMBH
Estudos do Meio Físico

Texto Explicativo - Geoquímica Ambiental
Volume 7

Fernanda Gonçalves da Cunha - Geóloga, Dra.
Gilberto José Machado - Geólogo, M.Sc.



GEOQUÍMICA AMBIENTAL

Escala 1:225.000

Belo Horizonte
2005

PROGRAMA GATE - INFORMAÇÕES PARA A GESTÃO TERRITORIAL

PROJETO APA SUL RMBH - ESTUDOS DO MEIO FÍSICO

Executado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM
Superintendência Regional de Belo Horizonte

CPRM - Superintendência Regional de Belo Horizonte
Av. Brasil, 1731 - Bairro Funcionários
Belo Horizonte - MG - 30140-002
Fax: (31) 3261 5585
Tel: (31) 3261 0391
<http://www.cprm.gov.br>

Ficha Catalográfica

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM

Projeto APA Sul RMBH: geoquímica ambiental, mapas geoquímicos escala 1:225.000.
Fernanda G. da Cunha, Gilberto J. Machado - Belo Horizonte: SEMAD/CPRM, 2005.

80p., v. 7: 17 mapas (Série Programa Informações Básicas para a Gestão Territorial - GATE).
Versão digital e convencional.

Conteúdo: Projeto APA Sul RMBH - inclui 10 volumes de textos, mapas, quadros e fotos de campo. Contém partes A, B e C do volume 9.

1 Gestão Territorial Regional de Belo Horizonte. 2 - Meio ambiente. I - Título. II - Cunha, F. G. III - Machado, G. J. - Série.

CDU 577.4

Direitos desta edição: CPRM - Serviço Geológico do Brasil

É permitida a reprodução desta publicação desde que mencionada a fonte.

AGRADECIMENTOS

Aos órgãos, instituições e empresas que contribuíram para o desenvolvimento das atividades do Projeto, em especial:

Água Consultores Associados

Anex (Superfilito)

Anglogold

Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC

Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA

Companhia Vale do Rio Doce - CVRD

Departamento de Estradas de Rodagem - DER

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA

Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM

Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais - FIEMG

Fundação João Pinheiro - FJP

Fundação Biodiversitas

Instituto Brasileiro de Mineração - IBRAM

Instituto Estadual de Florestas - IEF

Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM

Minerações Brasileiras Reunidas S.A. - MBR

Serviços de Hidrogeologia Ltda. - MDGEO

Mineral do Brasil

Pedras Congonhas

Prefeituras dos Municípios integrantes da APA Sul RMBH

Província Brasileira Congregação Missão (Santuário Caraça)

Rio Verde Mineração

SAMOTRACIA ALPHAVILLE

Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Itabirito

V & M Mineração Ltda

RESUMO

O projeto APA Sul RMBH está inserido numa importante região no Estado de Minas Gerais, denominada Quadrilátero Ferrífero, situando-se em grande parte dentro da área de influência da bacia do rio das Velhas, representando um pólo mineiro e industrial de grande importância social e econômica. Devido às concentrações urbanas, com crescimento desordenado, e de suas atividades industriais, são constatadas alterações no ambiente geoquímico dos ecossistemas aquáticos. Este levantamento geoquímico avaliou a qualidade dos cursos d'água e sua implicação na saúde humana, tanto na bacia do rio das Velhas quanto nas dos rios Paraopeba e Piracicaba, com destaque para a primeira, devido à sua importância para o abastecimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte. Para atender a esses objetivos foram coletadas amostras de água e sedimentos de corrente nas drenagens das principais sub-bacias, procurando cobrir toda área do projeto, propiciando a formação de uma base de dados geoquímicos, necessária para estabelecer as fontes naturais e as antropogênicas, tais como a influência da geologia, das atividades de mineração e da ocupação humana. Dessa forma, foram identificados dentre os metais encontrados em teores mais elevados nos ecossistemas aquáticos, os que apresentaram os maiores índices de contaminação (metais potencialmente críticos) e em que áreas estes se manifestaram de forma mais intensa (áreas críticas). Na água superficial foram verificadas altas concentrações de ferro e de manganês, e em alguns pontos de coleta ocorreram teores de arsênio, cobre, níquel, fosfato e sulfato acima dos limites definidos pelas legislações ambientais federal e estadual. Na maioria das amostras de sedimentos de corrente, os elementos traços, arsênio, cádmio, cobre e cromo, bem como os elementos maiores, ferro e manganês, apresentaram elevados teores, indicando áreas críticas e apontando contribuição tanto natural quanto antropogênica.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Mapa de localização da APA Sul RMBH.	4
FIGURA 2 - Localização dos pontos de coleta das amostras de sedimentos de corrente dos projetos históricos da CPRM	22
FIGURA 3 - Matriz de correlação dos resultados analíticos de sedimentos de corrente	46
FIGURA 4 - Médias aritméticas das concentrações dos elementos traços nos sedimentos de corrente por bacia hidrográfica.	48
FIGURA 5 - Médias aritméticas das concentrações dos elementos maiores nos sedimentos de corrente por bacia hidrográfica.	48

LISTA DE QUADROS E TABELAS

TABELAS

TABELA 1- Participação dos municípios na área total da APA Sul RMBH.	5
TABELA 2 - Valores limiares da Resolução 20 do CONAMA (1986) e da Deliberação Normativa do COPAM (1986)	16
TABELA 3 - Valores orientadores, em $\mu\text{g/g}$, para caracterizar a qualidade dos sedimentos em água doce segundo o CCME (2003)	19
TABELA 4 - Índices de Geoacumulação.....	20
TABELA 5 - Valores referenciais de média mundial para os metais associados ao folhelho padrão, definidos por Turekian e Wedepohl (1961).....	20
TABELA 6 - Valores de <i>background</i> regionais definidos para sedimentos de corrente nos projetos históricos recuperados na base de dados geoquímicos da CPRM.....	21
TABELA 7 - Sumário estatístico para resultados analíticos de água	25
TABELA 8 - Sumário estatístico para resultados analíticos de sedimentos de corrente ($\mu\text{g/g}$).....	26
TABELA 9 - Resultados das análises químicas das amostras de água da área da bacia do rio Paraopeba (mg/L)	27
TABELA 10 - Resultados das análises químicas das amostras de sedimentos de corrente da área da bacia do rio Paraopeba ($\mu\text{g/g}$)	28
TABELA 11 - Resultados das análises químicas das amostras de água na área da bacia do rio Piracicaba (mg/L).....	30
TABELA 12 - Resultados das análises químicas das amostras de sedimentos de corrente da área da bacia do rio Piracicaba ($\mu\text{g/g}$).....	32
TABELA 13 - Resultados das análises químicas das amostras de água do rio das Velhas (mg/L)	35
TABELA 14 - Resultados das análises químicas das amostras de sedimentos de corrente do rio das Velhas ($\mu\text{g/g}$).....	35
TABELA 15 - Resultados das análises químicas das amostras de água dos tributários da margem direita do rio das Velhas (mg/L).....	37
TABELA 16 - Resultados das análises químicas das amostras de sedimentos de corrente dos tributários da margem direita do rio das Velhas ($\mu\text{g/g}$).....	38
TABELA 17 - Resultados das análises químicas das amostras de água dos afluentes da margem esquerda do rio das Velhas – 1ª etapa de campo - Out/Nov - 2002 (mg/L)	39

TABELA 18 - Resultados das análises químicas das amostras de água dos afluentes da margem esquerda do rio das Velhas 2ª etapa de campo - Jul/Ago - 2003 (mg/L).....	40
TABELA 19 - Resultados das análises químicas das amostras de sedimentos de corrente dos afluentes da margem esquerda do rio das Velhas (µg/g)	43
TABELA 20 - Índices de Geoacumulação para metais nos sedimentos de corrente das bacias dos rios Paraopeba e Piracicaba.....	45
TABELA 21 - Índices de Geoacumulação para metais nos sedimentos de corrente na bacia do rio das Velhas	47

QUADROS

QUADRO 1 - Os elementos e substâncias químicas no meio ambiente e a saúde humana	7
QUADRO 2 - Drenagens onde foram coletadas as amostras de água e sedimentos de corrente	13

LISTA DE FOTOS

FOTO 1 – Medição dos parâmetros físico-químicos in loco. Ribeirão Capitão da Mata.....	14
FOTO 2 – Coleta de água e sedimentos de corrente utilizando um pequeno barco. Rio Mingú.	14
FOTO 3 – Coleta de amostra de água no Córrego do Viana.	15
FOTO 4 – Coleta de amostra e armazenamento de água em tubo de polietileno graduado.....	16
FOTO 5 – Coleta de amostra de sedimento de corrente no rio Preto	18
FOTO 6 – Coleta de amostra de sedimento de corrente no ribeirão da Prata	18
FOTO 7 – Ribeirão Água Suja com pilhas de rejeito enriquecido com arsênio em suas margens.....	41
FOTO 8 – Aspecto da água do córrego dos Carrapatos que recebe lançamentos de esgotos domésticos.....	42
FOTO 9 – Aterro de lixo em Itabirito.	44

SUMÁRIO

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Lista de figuras	iii
Lista de quadros e tabelas	iv
Lista de fotos	vi
Sumário	vii
1. Introdução.....	1
2. Histórico da criação da APA Sul RMBH.....	2
3. Localização e extensão territorial da APA Sul RMBH	4
4. Considerações iniciais.....	6
5. Aplicação e importância do estudo de geoquímica ambiental para o ZEE da APA Sul RMBH	10
6. Materiais e métodos	11
6.1 - Pesquisa bibliográfica	11
6.2 - Recuperação de dados analíticos na base de dados de geoquímica da CPRM.....	11
6.3 - Planejamento da rede de amostragem geoquímica	11
6.4 - Coleta e análise química das amostras	12
6.4.1 Amostras de Água Superficial.....	15
6.4.2 Amostras de Sedimentos de Corrente.....	17
(1) Valores de <i>background</i> regional.....	18
(2) Valores orientadores para avaliação da qualidade de sedimentos de corrente	19
(3) Índice de Geoacumulação	19
(4) Matriz de Correlação	20
6.5 - Tratamento estatístico dos dados analíticos.....	21
6.6 - Geração dos mapas geoquímicos.....	21
6.7 - Recuperação dos dados analíticos na base de geoquímica da CPRM – definição dos níveis de <i>background</i>	21
6.8 - Dados dos projetos de monitoramento do IGAM/FEAM e da COPASA.....	23
7. Apresentação e discussão dos resultados.....	24

7.1 - Área da bacia do rio Paraopeba.....	27
(1) Água superficial	27
(2) Sedimentos de corrente.....	28
7.2 - Área da bacia do rio Piracicaba	29
(1) Água superficial	29
(2) Sedimentos de corrente.....	31
7.3 - Área da bacia do rio das Velhas	33
7.3.1 Rio das Velhas.....	34
(1) Água superficial	34
(2) Sedimentos de corrente.....	34
7.3.2 Tributários da margem direita do rio das Velhas.....	36
(1) Água superficial	36
(2) Sedimentos de corrente.....	36
7.3.3 Tributários da margem esquerda do rio das Velhas	39
(1) Água superficial	39
(2) Sedimentos de corrente.....	42
7.4 - Avaliação da influência da geologia e das atividades antropogênicas	45
7.4.1 Matriz de Correlação.....	45
7.4.2 Índice de Geoacumulação	45
8. Conclusões e recomendações	51
9. Referências bibliográficas	53
APÊNDICES.....	55
APÊNDICE A - Mapa de Amostragem Geoquímica Total da Apa Sul RMBH	56
APÊNDICE B - Mapa Geoquímico de Água Superficial - Arsênio (As).....	57
APÊNDICE C - Mapa Geoquímico de Sedimentos de Corrente - Arsênio (As).....	58
APÊNDICE D - Mapa Geoquímico de Sedimentos de Corrente - Cádmiu (Cd).....	59
APÊNDICE E - Mapa Geoquímico de Sedimentos de Corrente - Chumbo (Pb).....	60
APÊNDICE F - Mapa Geoquímico de Água Superficial - Cobre (Cu).....	61
APÊNDICE G - Mapa Geoquímico de Sedimentos de Corrente - Cobre (Cu)	62
APÊNDICE H - Mapa Geoquímico de Água Superficial - Cromo (Cr)	63
APÊNDICE I - Mapa Geoquímico de Sedimentos de Corrente - Cromo (Cr).....	64
APÊNDICE J - Mapa Geoquímico de Água Superficial - Ferro (Fe).....	65
APÊNDICE K - Mapa Geoquímico de Sedimentos de Corrente - Ferro (Fe)	66
APÊNDICE L - Mapa Geoquímico de Água Superficial - Manganês (Mn).....	67
APÊNDICE M - Mapa Geoquímico de Sedimentos de Corrente - Manganês (Mn).....	68
APÊNDICE N - Mapa Geoquímico de Água Superficial - Níquel (Ni).....	69
APÊNDICE O - Mapa Geoquímico de Sedimentos de Corrente - Níquel (Ni).....	70
APÊNDICE P - Mapa Geoquímico de Água Superficial - Zinco (Zn).....	71
APÊNDICE Q - Mapa Geoquímico de Sedimentos de Corrente - Zinco (Zn).....	72

1. INTRODUÇÃO

O Zoneamento Ecológico e Econômico da Área de Proteção Ambiental da Região Metropolitana de Belo Horizonte - APA Sul RMBH, instituído pela Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - SEMAD, do Governo de Minas Gerais, tem por meta constituir-se num instrumento de apoio e orientação à gestão ambiental da APA, criando e desenvolvendo mecanismos legais e técnicos que possibilitem a conservação e proteção do meio ambiente em todo seu território. Objetiva, ainda, tornar-se um instrumento capaz de fornecer orientações programáticas e respectivas normas gerais para disciplinamento e adequação da ocupação e uso do solo e dos recursos naturais, na sua área de abrangência, segundo o modelo de desenvolvimento sustentável.

Os objetivos básicos da APA Sul RMBH estão definidos no Art. 2º da Lei Estadual nº 13.960 de sua criação e correspondem à “proteção e conservação dos sistemas naturais essenciais à biodiversidade, especialmente os recursos hídricos necessários ao abastecimento da população da Região Metropolitana de Belo Horizonte e das áreas adjacentes, com vistas à qualidade de vida da população local, à proteção dos ecossistemas e ao desenvolvimento sustentável”, justificando a realização dos estudos.

As justificativas de ordem institucional estão contidas na mesma Lei em seu artigo 3º item I e artigo 4º, parágrafo 2º, a seguir transcritos:

“Art. 3º – Para implantação da APA Sul RMBH, serão adotadas as seguintes providências:

I – zoneamento ecológico e econômico, com o respectivo sistema de gestão colegiado, ...”

“Art. 4º, parágrafo 2º – o zoneamento ecológico e econômico indicará as atividades a serem encorajadas em cada zona e as que deverão ser limitadas, restringidas ou proibidas, de acordo com a legislação aplicável”.

Os relatórios das atividades relativas ao meio físico ora apresentados pela CPRM - Serviço Geológico do Brasil, empresa pública vinculada ao Ministério de Minas e Energia, fazem parte do conjunto de dados e informações que comporão o banco de dados do Zoneamento Ecológico e Econômico da Área de Proteção Ambiental da Região Metropolitana de Belo Horizonte - APA Sul RMBH, sob responsabilidade da Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - SEMAD, do Governo de Minas Gerais.

2. HISTÓRICO DA CRIAÇÃO DA APA SUL RMBH

A legislação ambiental brasileira possui dispositivos específicos que disciplinam o sistema de unidades de conservação, estabelecendo categorias de uso direto e indireto, conforme Decreto Federal nº 33.944 de 18 de setembro de 1992. A Lei 9.985 de 18 de julho de 2000, bem mais específica, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC e em seu Art. 14 enquadra as unidades que constituem o Grupo das Unidades de Uso Sustentável, do qual fazem parte as Áreas de Proteção Ambiental – APAs. O Art. 15 dessa mesma lei define APA como sendo *“uma área em geral extensa, com um certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais”*.

Devido aos atributos dos meios físico e biótico, estéticos, culturais e econômicos significativos da região sul de Belo Horizonte, houve necessidade de se criar uma unidade de conservação que pudesse normatizar e disciplinar seu uso e ocupação. Desse modo, criou-se a APA Sul RMBH, cuja motivação deveu-se ao imenso potencial hídrico, à rica biodiversidade, aos aspectos sócio-culturais e econômicos profundamente ligados a uma tradição minerária, responsável pelo surgimento de núcleos populacionais desde o século XVIII, com o advento do ciclo do ouro e, posteriormente, com a mineração de ferro. É uma região que sofre uma forte pressão da expansão urbana de parte da Região Metropolitana de Belo Horizonte, principalmente em direção aos municípios de Nova Lima e Brumadinho, com riscos de comprometimento do equilíbrio natural da região, podendo vir ocasionar consequências sérias para o meio ambiente.

Segundo informações da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SEMAD, a demanda pela criação de uma APA na região sul de Belo Horizonte surgiu, inicialmente, de uma associação de proprietários de “residências de fins de semana” da localidade de São Sebastião de Águas Claras, também denominada de Macacos. Posteriormente a idéia foi levada ao Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM, ampliando-se o debate em torno da viabilidade de sua criação.

As discussões e avaliações técnicas entre os vários setores atuantes na região, por meio de debates e seminários realizados com o aval do COPAM, redundaram no estabelecimento da APA Sul RMBH, através do Decreto Estadual nº 35.624, de 08 de junho de 1994,

posteriormente alterado pelo Decreto Estadual nº 37.812, de 08 de maio de 1996. Em 26 de julho de 2001, através da Lei Estadual nº 13.960, foi estabelecida a redação definitiva do texto de criação da APA Sul RMBH.

3. LOCALIZAÇÃO E EXTENSÃO TERRITORIAL DA APA SUL RMBH

A APA Sul RMBH, com uma extensão de 1625,32 km², localizada ao sul da RMBH, engloba parte dos municípios de Barão de Cocais, Belo Horizonte, Brumadinho, Caeté, Catas Altas, Ibirité, Itabirito, Mário Campos, Nova Lima, Raposos, Santa Bárbara, Sarzedo e todo o município de Rio Acima (FIG. 1), com limites geográficos definidos em memorial descritivo anexo à Lei de criação. Os municípios de Nova Lima, Rio Acima, Itabirito e Santa Bárbara, compõem mais de 85% do território da APA (TAB. 1). A área é servida pelas rodovias federais BR-040 e BR-356 e por rodovias estaduais e municipais, em sua maioria de tráfego permanente.

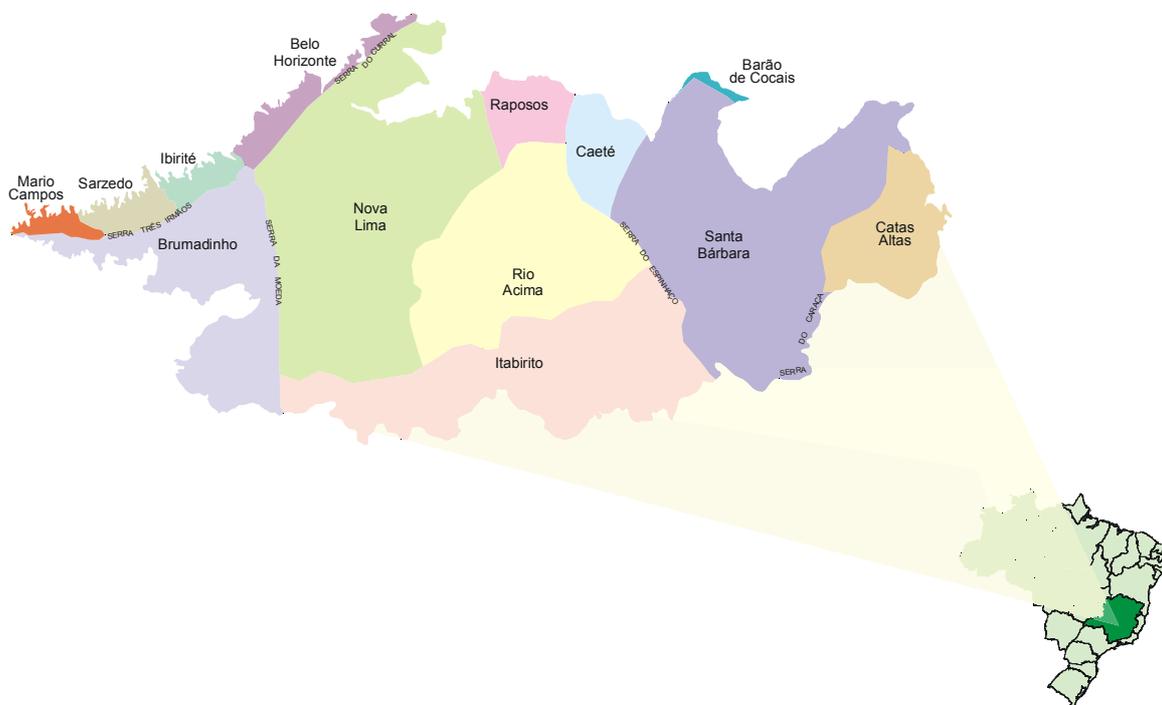


FIGURA 1 - Mapa de localização da APA Sul RMBH.

TABELA 1
Participação dos municípios na área total da APA Sul RMBH.

Municípios	Área total do município (km²)	Participação na APA (km²)	Equivalente em %
Barão de Cocais	342,00	4,39	0,27
Belo Horizonte	335,00	34,37	2,11
Brumadinho	634,00	176,43	10,86
Caeté	528,00	39,55	2,43
Catas Altas	240,30	75,59	4,65
Ibirité	145,00	17,71	1,09
Itabirito	553,00	259,26	15,95
Mário Campos	37,00	11,62	0,71
Nova Lima	410,00	378,16	23,27
Raposos	77,00	39,75	2,45
Rio Acima	228,06	228,06	14,03
Santa Bárbara	859,00	337,82	20,78
Sarzedo	62,17	22,61	1,39
TOTAL		1625,32	100,00

Fonte: Enciclopédia dos Municípios Mineiros/Vol. 1, 1998; Rio Acima (Instituto de Geociência Aplicada - IGA/MG); Catas Altas (PRODEMGE)

4. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A partir das últimas décadas, o crescimento exponencial da população do planeta criou a necessidade do aumento da produção de energia e de alimentos, da industrialização e da urbanização, problemas que o homem vem tentando solucionar a curto e médio prazos. A ocupação desordenada dos espaços causa desmatamento, erosão e extinção de espécies. Os grandes aglomerados urbanos, que viabilizam as relações econômicas da sociedade industrial, são grandes consumidores de energia e recursos em geral, mas, devido às dificuldades na reciclagem de seus resíduos, causam poluição. A agricultura intensiva, que se viabiliza pelo uso de pesticidas e fertilizantes e as atividades de mineração, também geram poluição ambiental. É necessário o monitoramento dos efeitos dessas atividades para que sejam respeitados os limites legais de interferência sobre a qualidade ambiental.

A poluição dos corpos d'água é gerada principalmente por lançamentos de efluentes domésticos e industriais, pelas atividades de mineração, pela agricultura, com a utilização de fertilizantes e defensivos agrícolas, como ainda pela pecuária, com os excrementos dos animais.

Entre as substâncias tóxicas que chegam aos ecossistemas aquáticos, os metais pesados levados diretamente por despejo de efluentes ou transportados indiretamente pela chuva e/ou pela atmosfera merecem especial interesse devido à ação residual e principalmente pelos seus efeitos acumulativos na cadeia trófica.

As águas superficiais e os sedimentos de corrente representam importante meio de conexão entre a saúde humana, geoquímica das rochas e dos solos e a composição dos efluentes lançados pelo homem, nos ecossistemas terrestres e aquáticos.

Estabelecer a relação entre os teores dos elementos químicos na água, no solo, nos sedimentos e nas poeiras, com doenças endêmicas nos seres vivos, está sendo, desde a década de 70, tema de pesquisas científicas em vários países do mundo, principalmente no Canadá, Suécia, Finlândia, China e Estados Unidos.

Sabe-se que alguns elementos químicos são macronutrientes essenciais à saúde dos seres vivos, como o cálcio, ferro, magnésio, potássio, sódio, cloro, fósforo e o enxofre; outros são micronutrientes essenciais, fazendo parte de complicados sistemas enzimáticos, como por exemplo o cobre, zinco, flúor, selênio, cromo, molibdênio e cobalto, porém podem ser tóxicos quando estão presentes no meio ambiente em altas concentrações. Outros

elementos, tais como o mercúrio, chumbo, arsênio, bário e o cádmio, não são essenciais aos seres vivos do ponto de vista biológico e são considerados muito tóxicos quando estão presentes no meio ambiente, mesmo em baixas concentrações, porque são acumulativos nos organismos dos animais.

É possível obter informações preliminares sugerindo influências do meio ambiente nos processos de saúde e doenças, estabelecendo-se correlações entre a incidência de doenças endêmicas com o excesso ou deficiência dos elementos químicos nos sedimentos, solos e água.

A Geoquímica Ambiental gera conhecimentos sobre a distribuição areal, bem como acerca dos mecanismos de dispersão dos elementos químicos no meio ambiente que são fundamentais para as pesquisas geomédicas e epidemiológicas.

Mapas geoquímicos, de cunho ambiental, são utilizados para identificar anomalias positivas e negativas de elementos traços em área onde são detectados problemas de saúde, caracterizando o campo de atuação da Geologia Médica. Os resultados desta área investigativa contribuem significativamente para as decisões no âmbito da saúde relacionadas com áreas de risco ambiental, de modo a permitir a definição de medidas que possibilitem a redução da exposição da população aos elementos químicos considerados tóxicos para o homem.

O **QUADRO 1** mostra uma síntese dos possíveis efeitos na saúde humana relacionados a alguns elementos e substâncias químicas.

QUADRO 1
Os elementos e substâncias químicas no meio ambiente e a saúde humana (continua)

Variável	Conseqüência na saúde (por deficiência ou excesso)
Alumínio	Não se conhece a importância biológica para o ser humano, mas sabe-se que a ingestão de altas concentrações (maior do que 1 ppm) é responsável pelo Mal de Alzheimer, laringite crônica e paralisia dos membros inferiores.
Arsênio	A ingestão de 100 mg envenena seriamente o organismo; é carcinogênico, causando principalmente câncer de pele e queratoses, e distúrbios no sistema nervoso. Antropicamente resulta de despejos industriais e herbicidas, porém pode ocorrer naturalmente nas rochas.
Bário	Concentrações de bário de 550 a 600 mg são fatais ao homem, causa bloqueio nervoso ou aumento da pressão sanguínea por vasoconstrição.
Cádmio	É altamente tóxico e acumulativo no organismo humano. Pode causar osteomacia, calcificação nos rins, deformação óssea e disfunção renal, também câncer, doenças cardiovasculares, retardamento de crescimento e morte. Ocorre associado ao zinco em áreas de mineração, em rejeitos de metalurgias, indústrias de baterias e de lonas de freio.

QUADRO 1
Os elementos e substâncias químicas no meio ambiente e a saúde humana (continua)

Variável	Conseqüência na saúde (por deficiência ou excesso)
Cloreto	Um aumento no teor de cloretos na água pode ser indicador de poluição por esgotos sanitários, por efluentes industriais ou pelo uso de pesticidas clorados, podendo acelerar os processos de corrosão em tubulações de aço e de alumínio, além de alterar o sabor da água.
Chumbo	É muito tóxico, de efeito cumulativo, pode ser letal se ingerido por muito tempo e causar danos irreversíveis ao cérebro, principalmente em crianças, resultando em hiperatividade, retardamento de crescimento, anemia e ainda tumores renais. Antropicamente, origina-se de efluentes industriais, de baterias, mineração, encanamentos e soldas.
Cobre	Quando presente em altas concentrações, o cobre pode causar danos ao fígado, rins e ao cérebro. Antropicamente, origina-se de efluentes de metalurgias, da mineração, de inseticidas e fungicidas.
Cromo	É importante para o metabolismo dos açúcares; a sua deficiência no organismo humano pode ocasionar neuropatia periférica e diabetes e em altas concentrações na água o cromo hexavalente pode causar câncer.
Ferro	O ferro forma as enzimas e atua na atividade respiratória e nos processos biológicos de oxi-redução. Tende a se concentrar nos sedimentos de fundo dos rios. A deficiência de ferro no organismo pode causar anemia e o excesso prejudica a absorção de outros metais. Quando associado ao manganês pode causar Mal de Parkison.
Flúor	Até 1,0 mg/L protege os dentes; teores acima de 1,5 mg/L causa a fluorose dental e deformação óssea; doses excessivas levam à morte em uma só dose. Em baixos teores na água pode provocar cáries dentárias.
Fosfato	Altos teores de fosfatos na água estão associados à eutrofização, causando o crescimento de algas ou de outras plantas aquáticas prejudiciais ao ecossistema. Origina-se de fertilizantes, dejetos de animais, esgotos e detergentes. A presença de ferro, alumínio, cálcio e manganês ajudam a precipitar o fosfato.
Manganês	É parte integrante dos ossos e cartilagens e elemento essencial nas reações enzimáticas geradas nos metabolismos protéico, lipídico e glucídico; altos teores no meio ambiente podem causar alucinações e demências.
Níquel	Geologicamente, origina-se de rochas ultrabásicas. Quando presente em altas concentrações no meio ambiente pode causar câncer no trato respiratório e dermatite de contato.

QUADRO 1
Os elementos e substâncias químicas no meio ambiente e a saúde humana (conclusão)

Variável	Conseqüência na saúde (por deficiência ou excesso)
Nitrito	Em geral, o nitrito é encontrado em diminutas quantidades em águas superficiais. A sua presença indica processos biológicos ativos influenciados por poluição orgânica. O efeito nocivo mais conhecido é sua capacidade de causar a metalmoglobinemia, principalmente em bebês.
Nitrato	Concentrações de nitrato superiores a 5 mg/L indicam condições sanitárias inadequadas, pois as principais fontes de nitratos são os dejetos humanos e de animais. Estimulam o desenvolvimento de plantas e algas que são nocivas ao ecossistema aquático.
Selênio	Evita a oxidação dos radicais livres, retardando o processo degenerativo. Quando deficiente nos solos e na água pode causar cardiomiopatia e distrofia muscular, e em excesso, pode causar câncer e deformações nas unhas e cabelos. Os fertilizantes fosfatados, em geral, contêm selênio.
Sulfato	A maioria dos sulfatos em água origina-se nos esgotos e são derivados de bactérias. Pode provocar corrosão de tubos ferrosos.
Zinco	É essencial à saúde humana, sua deficiência pode causar dermatite e nanismo. Porém, altos teores de zinco no organismo podem causar problemas circulatórios pulmonares e de concentração mental. Antropicamente, origina-se de galvanoplastia e de efluentes industriais.

Fonte: Cunha *et al.*, 2000; Mello e Vasconcelos, 1998

Os relatórios de monitoramento da qualidade das águas superficiais do Estado de Minas Gerais (IGAM/FEAM, 2001; 2002; 2003), os relatórios do CETEC (1974, 1978, 1978a), os trabalhos desenvolvidos por Mattos (1998), Borba *et al.* (2000), Borba (2002), Matschullat *et al.* (2000) e o relatório do Programa Nacional de Meio Ambiente II/MG - PNMA II (IGAM/FEAM, 2002) mostraram que alguns rios na região do projeto estão contaminados por metais devido às atividades de mineração e de indústrias.

Devido à presença de elementos tóxicos, tais como o arsênio, chumbo, cádmio, cromo e cobre, ser prejudicial à saúde humana em altas concentrações no meio ambiente e à grande importância do estudo da qualidade dos ecossistemas aquáticos, na definição de parâmetros para estabelecer o zoneamento ecológico econômico de uma região, definiram-se, então, os principais objetivos do levantamento geoquímico no projeto APA Sul RMBH:

1. avaliar as concentrações e a dispersão dos elementos químicos no ambiente, através da coleta de amostras de água superficial e sedimentos de corrente;
2. identificar locais onde a qualidade da água e dos sedimentos de corrente possa estar mais degradada, podendo afetar a saúde da população;
3. dar subsídio técnico para a elaboração do ZEE da APA Sul RMBH e contribuir nos estudos necessários à solução de problemas relacionados com a qualidade dos mananciais, uso e ocupação dos solos, atividades agropecuárias ou com a saúde pública.

5. APLICAÇÃO E IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DE GEOQUÍMICA AMBIENTAL PARA O ZEE DA APA SUL RMBH

As concentrações dos elementos químicos em amostras de águas fluviais e de sedimentos ativos de corrente, indicaram variações naturais ou antrópicas, cujos resultados deverão ser aplicados como ferramentas para o planejamento de ações de saneamento, saúde pública, diagnóstico ambiental, das atividades agropecuárias e ocupação do solo urbano e rural.

As informações obtidas no estudo de Geoquímica Ambiental poderão ser, adicionalmente, utilizadas como indicadores de problemas de saúde e doenças endêmicas (cardiopatias, alergias, doenças de pele e até câncer), que podem estar presentes em determinadas comunidades humanas, como também, em animais que convivem no mesmo ambiente.

6. MATERIAIS E MÉTODOS

6.1 Pesquisa Bibliográfica

Para aquisição de informações e dados secundários sobre a área do projeto foram pesquisados diversos relatórios técnicos disponíveis no [IGAM/FEAM](#) e na COPASA, trabalhos publicados em congressos, teses de doutorado, dissertações de mestrado e relatórios de projetos desenvolvidos pela CPRM.

6.2 Recuperação de Dados Analíticos na Base de Dados de Geoquímica da CPRM

Os sedimentos de corrente (de fundo de um canal de drenagem) são importantes acumuladores de metais no ciclo hidrológico. Eles podem refletir a qualidade e a história do ecossistema, fornecendo informações tanto das características geológicas da área quanto de fontes poluidoras. Com esse objetivo, foram recuperados os dados analíticos de 477 amostras de sedimentos de corrente, sendo 461 referentes ao Projeto Geoquímica do Quadrilátero Ferrífero ([OLIVEIRA et al.](#), 1979) e 16 ao Projeto Barbacena Quadrícula Mariana ([BALTAZAR e RAPOSO](#), 1993). Esses projetos foram desenvolvidos pela CPRM/DNPM na década de 70 e no final dos anos 80 e início dos anos 90.

Esses dados foram comparados com aqueles gerados no atual estudo e serviram, ainda, como valores de referência para o *background* regional. Os valores de *background* são importantes para determinar a extensão da poluição causada pelos metais no ecossistema aquático, pois permitem definir a taxa de enriquecimento causada por influência antrópica.

6.3 Planejamento da Rede de Amostragem Geoquímica

O trabalho foi realizado utilizando-se a bacia hidrográfica como unidade de estudo, que constitui a unidade padrão para o gerenciamento ambiental.

Foi preparado um mapa-base na escala 1:50.000, com o auxílio das bases cartográficas do IBGE das Folhas Brumadinho, Itabirito, Rio Acima, Belo Horizonte, Caeté, Acuruí, Catas Altas e Ouro Preto, visando efetuar o planejamento dos pontos de amostragem, a visualização espacial dos resultados, bem como identificar as áreas com maior ou menor concentração dos elementos estudados. Nesse mapa base delimitaram-se as bacias, sub-bacias e microbacias dos principais cursos d'água que ocorrem na região do projeto. Foram definidos, também, os pontos de coleta das amostras de água e sedimentos de corrente de maneira que a maioria das microbacias ficasse representada no desenvolvimento do estudo geoquímico.

6.4 Coleta e Análise Química das Amostras

A área do projeto teve uma cobertura de 69 pontos de amostragem de água superficial e de sedimentos de corrente, relacionados no [QUADRO 2](#), segundo as bacias do rio Paraopeba, do rio Piracicaba e do Rio das Velhas e lançados em mapa ([APÊNDICE A](#)).

A coleta das amostras ocorreu em duas etapas de campo: a primeira realizada nos meses de outubro e novembro de 2002, em período chuvoso, e a segunda nos meses de julho e agosto de 2003, em período mais seco.

Na primeira etapa de campo foram coletadas amostras de água superficial e de sedimentos de corrente em 58 pontos e na segunda foram acrescentados mais 9 pontos de coleta.

Como parte expressiva da área estudada abrange a bacia do rio das Velhas e tendo como finalidade caracterizar a paisagem geoquímica, foram estabelecidos três pontos de coleta de amostras ao longo do rio das Velhas: 1) em Itabirito, à montante da área do projeto; 2) próximo a Honório Bicalho e 3) à jusante da área do projeto APA Sul RMBH, em Raposos.

Nos ribeirões Casa Branca, Piedade e dos Macacos, nos rios Conceição e Caraça, e no córrego Mutuca foram coletadas duas amostras em pontos diferentes.

Em cada estação de amostragem foram medidos *in loco* os seguintes parâmetros físico-químicos nas amostras de água: pH, oxigênio dissolvido - OD, condutividade e a temperatura. Utilizaram-se os sensores portáteis da WTW: OXI 320/SET e MultiLine P3 pH/LF-SET ([FOTO 1](#)).

O teor de sólidos dissolvidos - TSD foi avaliado para cada amostra de água coletada utilizando-se os valores encontrados para condutividade elétrica multiplicados pelo fator 0,6 ([D'ÁGUILA](#), 2003).

As localizações geográficas dos pontos de coleta foram realizadas com o GPS - Global Positioning System. Logo após a coleta e medição dos parâmetros físico-químicos foram preenchidas as fichas de campo, com informações referentes à amostra coletada e ao ambiente local, necessárias para interpretação final dos dados.

Nas duas etapas do trabalho de campo foram coletadas algumas amostras em duplicatas para o controle de qualidade dos procedimentos de campo e do laboratório.

Para coleta das amostras foram utilizados macacão e luvas de borracha, ou ainda luvas descartáveis, segundo procedimentos normais de amostragem geoquímica, principalmente nos rios considerados mais poluídos por esgotos domésticos. Durante a coleta de amostras foi necessário, algumas vezes, a utilização de pequenos barcos pois o nível das águas impedia que se caminhasse no leito dos rios ([FOTO 2](#)).

QUADRO 2
Drenagens onde foram coletadas as amostras de água e sedimentos de corrente

Bacia	Amostra	Cursos d'água
Rio Paraopeba	FC- 44 e 46	Ribeirão Piedade
	FC - 45	Córrego dos Vieiras
	FC - 47	Ribeirão Ferro Carvão
	FC - 48 e 49	Ribeirão Casa Branca
	FC - 50	Córrego da Areia
	FC - 51	Ribeirão Catarina
	FC - 58	Córrego Fundo
	FC - 69	Córrego Taboões
Rio Piracicaba	FC - 01	Córrego Quebra Ossos
	FC - 02 e 59	Ribeirão Caraça
	FC - 03	Córrego do Engenho (sub-bacia do ribeirão Caraça)
	FC - 04 e 07	Rio Conceição
	FC - 05	Córrego Maria Casemira
	FC - 06	Rio Barão de Cocais
	FC - 08	Rio Preto
	FC - 09	Córrego Brumadinho (sub-bacia do rio Conceição)
	FC - 52	Córrego do Engenho (sub-bacia do rio Conceição)
	FC - 60	Córrego Brumadinho (sub-bacia do rio Caraça)
	FC - 61	Córrego Serra Redonda
	FC - 62	Córrego do Vieira
FC - 63	Córrego Mato Grosso	
Rio das Velhas	FC - 10	Córrego Vargem Limpa
	FC - 11	Córrego Água Suja
	FC - 12	Córrego Sem nome
	FC - 13	Córrego Paianas
	FC - 14	Córrego Itabirito
	FC - 15	Córrego Fazenda Velha
	FC - 16	Córrego Manso
	FC - 17	Córrego Palmital
	FC - 18	Rio de Pedras
	FC - 19	Córrego Cortesia
	FC - 20	Córrego do Viana
	FC - 21	Córrego Labareda
	FC - 22	Córrego Piolho
	FC - 23	Córrego dos Enforcados
	FC - 24	Córrego do Vilela
	FC - 25 e 40	Ribeirão dos Macacos
	FC - 26	Córrego Bela Fama
	FC - 27	Ribeirão Água Suja
	FC - 28	Córrego Mina d'Água
	FC - 29	Ribeirão da Prata
	FC - 30	Rio das Velhas
	FC - 31	Córrego Carrapato
	FC - 32	Ribeirão Congonhas
	FC - 33	Córrego Lagoa Grande
	FC - 34	Córrego Padre Domingos
	FC - 35	Córrego Capitão da Mata
	FC - 36	Córrego Fechos
	FC - 37	Córrego Marumbé
	FC - 38	Córrego Tamanduá
	FC - 39	Córrego Gordura
	FC - 41 e 68	Córrego da Mutuca
	FC - 42	Ribeirão dos Cristais
	FC - 43	Ribeirão Cambimba
	FC - 53	Córrego do Lobo
	FC - 54	Rio das Velhas
FC - 55	Rio de Peixe	
FC - 56	Córrego Olhos d'Água	
FC - 57	Córrego dos Boiadeiros	
FC - 64	Córrego Carioca	
FC - 65	Córrego Mingú	
FC - 66	Rio das Velhas	
FC - 67	Córrego Maquiné	



FOTO 1 – Medição dos parâmetros físico-químicos *in loco*. Ribeirão Capitão da Mata.



FOTO 2 – Coleta de água e sedimentos de corrente utilizando um pequeno barco. Rio Mingú.

6.4.1 Amostras de Água Superficial

As amostras de água foram coletadas e armazenadas em tubos de polietileno graduados, com capacidade de 50 mL, após serem filtradas em filtro micropore 0,45 μm , em duas alíquotas, para análise dos cátions e dos ânions (FOTOS 3 e 4). Para preservação dos cátions solúveis nas amostras foi adicionado 1 mL de HNO_3 1:1, mantendo-se o pH menor do que 2, enquanto as amostras para análise dos ânions permaneceram refrigeradas até o momento da análise.

As técnicas analíticas utilizadas para as amostras de água foram por ICP/AES para os cátions (Al, As, B, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sc, Se, Si, Sn, Sr, Ti, V, W e Zn) e Cromatografia de Íons - IC para os ânions (Br^- , Cl^- , F^- , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} e SO_4^{2-}). As análises químicas foram realizadas pelo Laboratório de Análises Mineraias - LAMIN da CPRM, localizado no Rio de Janeiro. É importante relatar que os valores de fosfato solúvel, na maioria das vezes, não foram utilizados porque o limite de detecção do ICP/AES era 10 vezes acima do valor do limite máximo definido pela Resolução 020/86 do CONAMA (1986), em decorrência de problemas técnicos verificados no equipamento, na época das análises.



FOTO 3 – Coleta de amostra de água no Córrego do Viana.

A avaliação da qualidade da água foi realizada com base nas legislações federal e estadual, para rios de Classe 2 (classe na qual estão enquadradas as drenagens das bacias em estudo) Resolução 020/86 do CONAMA e Deliberação Normativa 010/86 do COPAM. Os valores máximos permitidos por cada legislação estão discriminados na tabela TAB.2.



FOTO 4 – Coleta de amostra e armazenamento de água em tubo de polietileno graduado.

TABELA 2
Valores limiares da Resolução 20 do CONAMA (1986)
e da Deliberação Normativa do COPAM (1986)

Parâmetro	Unidade	CONAMA (1986)	COPAM (1986)
pH	-	6 a 9	6 a 9
OD	mg/L O ₂	> 5	≥ 5
Alumínio	mg/L	0,10	0,10
Arsênio	mg/L	0,05	0,05
Bário	mg/L	1,00	-
Cádmio	mg/L	0,001	0,001
Chumbo	mg/L	0,03	0,03
Cobalto	mg/L	0,20	0,20
Cobre	mg/L	0,02	0,02
Cromo hexavalente	mg/L	0,05	0,05
Ferro solúvel	mg/L	0,30	0,30
Manganês	mg/L	0,10	0,10
Níquel	mg/L	0,025	0,025
Selênio	mg/L	0,01	-
Zinco	mg/L	0,18	0,18
Cloretos	mg/L	250	250
Fluoretos	mg/L	1,40	1,40
Nitrito	mg/L	1,00	1,00
Nitrato	mg/L	10	10
Sulfatos	mg/L	250	250
Fosfatos	mg/L	0,025	0,025

6.4.2 Amostras de Sedimentos de Corrente

Tradicionalmente, os estudos para definir critérios de qualidade ambiental para proteção do ecossistema aquático são baseados somente nas concentrações dos elementos químicos na água. Esses resultados analíticos indicam a qualidade da água no instante da coleta. Os sedimentos de corrente refletem a qualidade das águas de forma cumulativa e contínua. Os elementos traços, que em geral estão presentes na água em baixíssimas concentrações, podem se acumular nos sedimentos em elevados teores.

A composição de uma amostra de sedimento de corrente depende da constituição geológica e pedológica da área fonte, da topografia, do tipo de clima, da cobertura vegetal e da atuação dos processos de intemperismo. Pode ser constituído por variados tipos de materiais clásticos, químicos e orgânicos: fragmentos de rocha (cascalho, areias, silte, argila, rochas não-decompostas); óxidos hidratados de ferro, manganês e alumínio; material biológico em decomposição, ácidos orgânicos; e materiais produzidos por atividades antrópicas.

Existe um equilíbrio físico-químico entre a água e os sedimentos nos ecossistemas aquáticos. Os sedimentos de corrente servem como depósito para muitos elementos tóxicos, que podem retornar ao meio aquoso por mudanças físico-químicas no ecossistema, como mudança de pH, temperatura e re-suspensão dos sedimentos devido a chuvas fortes e grandes enchentes. Uma vez adsorvidos nos sedimentos, os elementos tóxicos podem entrar na cadeia alimentar de microorganismos e de peixes, podendo chegar até o homem e causar danos à sua saúde.

O sedimento de corrente representa um excelente meio amostral, pois sua composição reflete o quimismo e a "história" da bacia hidrográfica, muito importante para os estudos de Geoquímica Ambiental.

No projeto APA SuL RMBH, a amostragem realizada foi do tipo composta, onde cada amostra corresponde à coleta de três a cinco porções de sedimento ativo ao longo da calha das drenagens (FOTOS 5 e 6).

As amostras foram peneiradas no campo utilizando-se peneira de aço, com abertura de 2 mm para redução do volume e para facilitar o transporte e manuseio das amostras no laboratório e acondicionadas em sacos plásticos devidamente etiquetados.

No laboratório, as amostras foram secas em estufa à 40°C. Em seguida, foram homogeneizadas, passadas por peneiras para separação da fração granulométrica menor do que 63 µm (230 mesh), fração esta preferencial na acumulação de metais pesados. Visando a determinação das concentrações dos elementos, a digestão das amostras foi feita com água régia (HCl:HNO₃ 3:1). As amostras foram analisadas por ICP/AES para os cátions Al, As, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, La, Li, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Sc, Sn, Sr, Ti, V, Y, W e Zn, sendo que para análise do Fe nas amostras utilizou-se a Espectrometria por Absorção Atômica - AA e para determinação do teor de matéria orgânica empregou-se a gravimetria. As análises foram realizadas no Laboratório da CPRM (LAMIN), unidade do Rio de Janeiro.



FOTO 5 – Coleta de amostra de sedimento de corrente no rio Preto



FOTO 6 – Coleta de amostra de sedimento de corrente no ribeirão da Prata

Para avaliar a extensão da contaminação no sistema aquático da área do projeto APA Sul, por meio dos teores dos elementos maiores e traços nos sedimentos de corrente, foram estabelecidos os seguintes critérios:

(1) Valores de background regional

Para determinar os níveis de *background* dos elementos químicos, isto é, os níveis desses elementos anteriormente ao enriquecimento causado pela influência antropogênica, foram utilizados os valores definidos como *background* regional nos projetos realizados pela CPRM. Vale ressaltar que esses projetos foram desenvolvidos nas décadas de 70, 80 e início dos anos 90, quando a ocupação humana e a degradação ambiental da região eram bem menores. Pode-se, então, considerar esses valores como referência em relação à qualidade dos sedimentos.

(2) *Valores orientadores para avaliação da qualidade de sedimentos de corrente*

Diversas agências governamentais na América do Norte dispõem de critérios de avaliação da qualidade de sedimentos, com padrões e valores orientadores estabelecidos regionalmente. Esses valores de referência são resultantes da correlação entre os efeitos adversos aos organismos aquáticos e as concentrações de alguns elementos químicos, em geral os mais tóxicos.

No Brasil, o Ministério de Meio Ambiente, através do [CONAMA](#), aprovou uma resolução estabelecendo diretrizes e procedimentos para avaliação da qualidade de material dragado (sedimentos fluviais e marinhos) em águas brasileiras, ainda não disponível para consulta (HELDER TORRES, 2004, comunicação pessoal). A CETESB utiliza para o Estado de São Paulo, os critérios de qualidade para sedimentos definidos para o Canadá, pelo [CCME](#) (2003). O [Canadian Council of Ministers of the Environment – CCME](#) (2003) desenvolveu estudos para estabelecer padrões de qualidade para os sedimentos, com base na avaliação dos efeitos adversos dos metais mais tóxicos aos organismos aquáticos ([TAB. 3](#)).

Os valores orientadores são bastante úteis para estimar o enriquecimento de um determinado elemento nos sedimentos, em relação ao valor do *background* regional, decorrente das atividades antropogênicas.

TABELA 3
Valores orientadores, em $\mu\text{g/g}$, para caracterizar a qualidade dos sedimentos em água doce segundo o CCME (2003)

Elemento	Nível 1	Nível 2
Arsênio (As)	5,9	17
Cádmio (Cd)	0,6	3,5
Chumbo (Pb)	35	91,3
Cromo (Cr)	37,3	90
Cobre (Cu)	35,7	197
Níquel (Ni)	-	-
Zinco (Zn)	123	315

O [CCME](#) (2003) definiu Nível 1 como o limiar abaixo do qual espera-se baixa probabilidade de efeitos adversos à biota e Nível 2, como o limiar acima do qual espera-se um provável efeito adverso à biota.

Para valores referenciais relacionados à contaminação antrópica nos sedimentos, optou-se por utilizar os valores orientadores definidos pelo [CCME](#) (2003), porque já são utilizados no Brasil pela CETESB e são menos rigorosos do que os definidos pelos Estados Unidos.

(3) *Índice de Geoacumulação*

A avaliação quantitativa do grau de contaminação em relação aos metais encontrados nos sedimentos de corrente foi obtida empregando-se o “Índice de Geoacumulação – I_{geo} ” proposto por Muller (*apud* [FORSTNER](#), 1983). Este índice estabelece a relação entre os teores de metais nos sedimentos estudados e um valor referencial de média mundial para metais associados a sedimentos argilosos (folhelho padrão), definidos por [Turekian e Wedepohl](#) (1961).

O I_{geo} é definido pela seguinte expressão:

$$I_{geo} = \log_2 C_n / 1,5 \times B_n$$

Onde C_n é a concentração do elemento na fração pelítica do sedimento e B_n é o valor de *background* geoquímico para o folhelho padrão e o fator 1,5 é usado para corrigir variações no *background* devido a efeitos litogênicos.

Este índice permite classificar os níveis de enriquecimento em seis classes de intensidades progressivas de contaminação, expressas na TAB. 4.

Os valores referenciais de média mundial para metais associados a sedimentos argilosos (folhelho padrão), definidos por Turekian e Wedepohl (1961), utilizados nesse estudo para o cálculo dos Índices de Geoacumulação, estão na TAB. 5.

TABELA 4
Índices de Geoacumulação

I_{geo}	Classes	Intensidade de poluição
>5	6	exageradamente poluído
4 – 5	5	fortemente poluído a exageradamente poluído
3 – 4	4	fortemente poluído
2 – 3	3	moderadamente poluído a fortemente poluído
1 – 2	2	moderadamente poluído
0 – 1	1	não poluído a moderadamente poluído
< 0	0	não poluído

Fonte: Fostner (1983)

TABELA 5
Valores referenciais de média mundial para os metais associados ao folhelho padrão, definidos por Turekian e Wedepohl (1961)

Metal	Concentração ($\mu\text{g/g}$)	Metal	Concentração ($\mu\text{g/g}$)
Arsênio (As)	13,0	Ferro (Fe)	47.200,0
Cádmio (Cd)	0,3	Manganês (Mn)	850,0
Chumbo (Pb)	20,0	Níquel (Ni)	68,0
Cobre (Cu)	45,0	Zinco (Zn)	95,0
Cromo (Cr)	90,0		

(4) Matriz de Correlação

Para identificar as possíveis fontes naturais ou geológicas e antropogênicas, elaborou-se uma matriz de correlação com os resultados analíticos dos sedimentos de corrente. A correlação é uma medida da relação entre duas (ou mais) variáveis, nesse caso entre os elementos químicos. Os coeficientes de correlação (r) podem variar entre $-1,00$ e $+ 1,00$, representando uma correlação negativa ou positiva, respectivamente, e podem ser utilizados

para verificação das influências geológicas e antropogênicas na composição dos sedimentos de corrente.

6.5 Tratamento Estatístico dos Dados Analíticos

Para interpretação dos dados analíticos das amostras de água e de sedimentos de corrente utilizou-se o software *Statistic* para definição dos parâmetros estatísticos básicos e para elaboração da matriz de correlação, e o *Excel* para confecção dos histogramas.

6.6 Geração dos Mapas Geoquímicos

Para gerar os diversos mapas mostrando as regiões de concentrações anômalas dos principais elementos químicos identificados como poluentes dos ecossistemas aquáticos estudados utilizou-se o software Oásis Montaj da Geosoft – versão 5.1 e o ArcView GIS – versão 3.2.

6.7 Recuperação dos Dados Analíticos na Base de Geoquímica da CPRM – Definição dos Níveis de *Background*

O Projeto Geoquímica do Quadrilátero Ferrífero (OLIVEIRA *et al.*, 1979) realizado em 1978 e 1979, em convênio com o DNPM, teve como objetivo a prospecção geoquímica visando identificar halos anômalos de alguns elementos como o cobre, chumbo, zinco, antimônio, arsênio e ouro, por meio da amostragem de sedimentos de corrente e concentrados de bateia. O Projeto Barbacena Quadrícula Mariana (BALTAZAR e RAPOSO, 1993), integrante do Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB, foi realizado no final da década de 80 e início dos anos 90, também em convênio com o DNPM, tendo como objetivo a elaboração de cartografia geológica. Nesse mesmo projeto foi contemplado o Levantamento Geoquímico para os seguintes elementos químicos: cobre, chumbo, zinco, cobalto, níquel, manganês, prata, ouro, cromo, antimônio e arsênio. Do mesmo modo, visou identificar anomalias por meio de amostragem de sedimentos de corrente e concentrados de bateia.

Após a recuperação dos resultados analíticos das amostras de sedimentos de corrente desses projetos históricos da CPRM, na Base de Dados de Geoquímica, os pontos de coleta dessas amostras foram lançados em base georeferenciada (FIG. 2). Verificou-se a existência de grande número de informações nas áreas das bacias do rio Paraopeba e do rio Piracicaba e ausência de dados para a bacia do Rio das Velhas.

Nesses projetos foram definidos valores de *background* regional para os elementos químicos que estão apresentados na TAB. 6. Esses valores serviram padrão de referência na discussão entre contribuições ambientais de fonte natural ou geológica e antropogênicas.

TABELA 6
Valores de *background* regionais definidos para sedimentos de corrente nos projetos históricos recuperados na base de dados geoquímicos da CPRM

Elementos	Valores de <i>background</i> regional (µg/g)
Arsênio (As)	8,7 - 19
Chumbo (Pb)	3 - 17
Cobre (Cu)	5 - 40
Cromo (Cr)	15 - 67
Ferro (Fe)	2 - 5 (%)
Manganês (Mn)	350 - 900
Níquel (Ni)	12 - 32
Zinco (Zn)	8 - 40

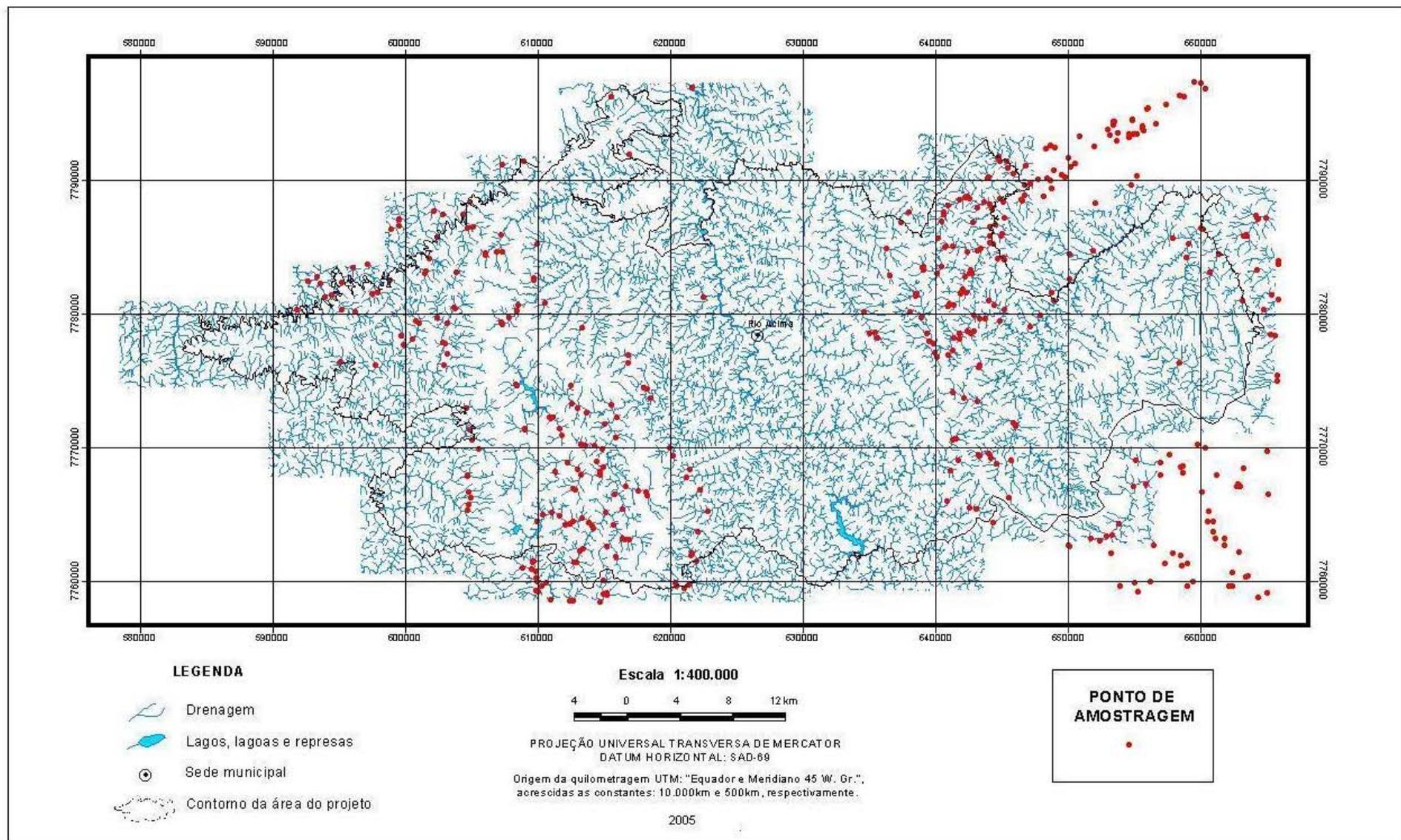


FIGURA 2 - Localização dos pontos de coletas das amostras de sedimentos de corrente dos projetos históricos da CPRM

6.8 Dados dos Projetos de Monitoramento do IGAM/FEAM e da COPASA

Foram consultados os dados gerados no projeto de monitoramento da qualidade das águas superficiais nas bacias dos rios Piracicaba, Paraopeba e das Velhas em 1999, 2000, 2001 e 2002, que fazem parte do Sistema de Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais no Estado de Minas Gerais do Projeto Águas de Minas, desenvolvido pelo [IGAM/FEAM](#). O monitoramento iniciou-se sob a responsabilidade da FEAM e a partir do último trimestre de 2001 foi assumido pelo IGAM.

Dos pontos de coleta de água para o projeto de monitoramento do [IGAM/FEAM](#), somente três coincidem com os pontos de coleta das amostras deste estudo, que se situam na bacia do rio das Velhas: BV139 (rio das Velhas a montante da ETA/COPASA), BV062 (ribeirão Água Suja, próximo de sua foz com o rio das Velhas) e BV063 (rio das Velhas a jusante do ribeirão Água Suja). São rios enquadrados na Classe 2, de acordo com seu uso, conforme Deliberação Normativa nº10, de 16/12/1986, do [COPAM](#).

Devido ao grande número de informações existentes sobre a qualidade das águas superficiais nos relatórios do [IGAM/FEAM](#) e da COPASA, a avaliação dos resultados analíticos e dos parâmetros físico-químicos para comparação com os dados gerados no projeto APA Sul RMBH foi baseada nas médias mensais daquelas informações.

Os dados pesquisados mostraram contaminação alta para substâncias tóxicas com valores acima do padrão de rios classificados como Classe 2, principalmente para fosfatos, manganês, arsênio, ferro e níquel. A situação é mais crítica no ribeirão Água Suja, onde os estudos mostraram alta contaminação por elementos tóxicos: arsênio, ferro, manganês, níquel, fosfatos, além de coliformes fecais e de alto índice de fenóis, o que já representa um risco potencial à saúde humana. Também, no rio das Velhas, na captação para o abastecimento de Belo Horizonte, em Bela Fama, as águas apresentaram elevadas concentrações de material particulado em suspensão, provavelmente resultante da intensa atividade mineradora a montante.

A COPASA mantém uma rede de monitoramento da qualidade das águas nos pontos de captação para abastecimento da região metropolitana de Belo Horizonte, dos quais, vários foram estudados no projeto APA Sul RMBH. Apesar das análises das amostras de água apresentarem descontinuidade de coleta em alguns pontos, durante o período de monitoramento compreendido entre os anos de 1981 e 2001, os resultados analíticos no córrego Seco, na captação de Fechos, no ribeirão Macacos, no rio Itabirito, no rio das Velhas nos pontos a montante de Honório Bicalho e de Rio Acima, como também nas alças direita e esquerda da ETA de Bela Fama, mostraram, na maioria das vezes, concentrações de alumínio, ferro, manganês, zinco e cádmio acima dos limites máximos definidos pelo [CONAMA](#) e pelo [COPAM](#).

7. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A partir dos resultados obtidos, duas tabelas foram elaboradas (TAB. 7 e 8) contendo o sumário estatístico das amostras de água, para cátions e ânions, e das amostras de sedimentos de corrente. Para elaboração do sumário estatístico das amostras de água, foram considerados, somente os elementos que apresentaram resultados acima dos limites de detecção do equipamento analítico.

Visando um melhor entendimento da apresentação dos resultados obtidos, optou-se pela descrição itemizada por bacia hidrográfica: do rio Paraopeba, do rio Piracicaba e do rio das Velhas, sendo que esta última foi subdividida em três subitens: os resultados das amostras coletadas no leito do rio das Velhas, nos afluentes da margem direita e nos afluentes da margem esquerda.

Os dados analíticos foram disponibilizados sob forma de tabelas, visando facilitar a visualização dos resultados. Decidiu-se pela utilização apenas dos resultados analíticos das amostras de água que mostraram valores acima do limite de detecção do equipamento analítico e/ou acima dos limiares definidos pelas legislações ambientais. Para os sedimentos de corrente, selecionou-se os elementos considerados perigosos para a saúde humana e/ou que exibiram teores elevados.

TABELA 7
Sumário estatístico para resultados analíticos de água

Cátions				
Elementos	X	Min	Max	S
Al	0,05	0,020	0,100	0,016
As	0,008	0,001	0,110	0,014
B	0,005	0,001	0,200	0,022
Ba	0,007	0,001	0,030	0,005
Be	0,001	0,001	0,001	0
Ca	10,568	0,231	490,30	58,71
Co	0,002	0,001	0,060	0,007
Cr	0,011	0,010	0,030	0,003
Cu	0,007	0,003	0,200	0,024
Fe	0,250	0,027	3,500	0,443
Li	0,002	0,001	0,060	0,006
Mg	2,879	0,100	60,400	7,137
Mn	0,08	0,003	1,090	0,150
Mo	0,003	0,002	0,010	0,001
Ni	0,002	0,001	0,080	0,009
Si	3,898	1,310	9,870	1,549
Sr	0,039	0,001	1,840	0,220
W	0,009	0,005	0,016	0,003
Zn	0,015	0,006	0,072	0,011
Ânions				
F ⁻	0,043	0,01	0,63	0,098
Cl ⁻	1,107	0,12	35,00	4,349
NO ₂ ⁻	0,109	0,10	2,30	0,044
Br ⁻	0,034	0,03	0,07	0,008
NO ₃ ⁻	0,445	0,10	9,20	0,634
PO ₄ ⁻³	0,132	0,10	2,30	0,265
SO ₄ ⁻²	18,653	0,2	1222,2	139,309

X = média aritmética

S = Desvio Padrão

Min = Valor Mínimo

Max = Valor Máximo

TABELA 8
Sumário estatístico para resultados analíticos de
sedimentos de corrente (µg/g)

Elemento	X	Min	Max	S
Al (%)	1,18	0,01	2,99	0,537
As	70,89	0,80	873,40	144,6857
B	86,50	1,60	215,00	38,02402
Ba	96,43	8,10	605,40	97,847
Be	0,38	0,10	1,30	0,219
Ca (%)	0,08	0,01	1,70	0,213
Cd	7,83	1,60	15,00	3,076
Co	45,34	1,20	399,20	47,192
Cr	273,83	19,00	1359,00	265,196
Cu	68,59	7,00	841,00	100,6355
Fe (%)	12,80	2,70	30,00	5,494
Li	13,56	0,50	92,20	11,834
Mg (%)	0,08	0,01	0,80	0,0954
Mn	2550,5	40,00	25000,0	2700,41
Mo	0,29	0,10	5,40	0,665
Ni	68,67	3,30	356,40	73,158
P	341,04	157,00	675,00	101,350
Pb	19,22	5,60	47,30	8,096
Sn	0,65	0,25	3,10	0,552
Sr	5,91	0,40	69,40	8,837
Ti	175,43	5,00	598,00	135,117
V	65,4	10,00	169,00	39,431
W	1,55	0,25	12,50	2,114
Zn	66,77	15,00	175,10	32,275

X = Média aritmética

S = Desvio Padrão

Min = Valor mínimo

Max = Valor máximo

7.1 Área da Bacia do Rio Paraopeba

Os resultados das análises químicas realizadas nas amostras de água e sedimentos de corrente estão apresentados nas TAB. 9 e 10, respectivamente. Os valores dos parâmetros físico-químicos medidos *in loco* estão na TAB. 9.

(1) Água superficial

As amostras de água coletadas nessa bacia apresentaram os valores de pH variando de neutro a levemente alcalino (7,4 a 7,9), nas duas etapas de campo. Todos os valores de oxigênio dissolvido ficaram acima de 5 mg/L, valor máximo recomendado pelas legislações ambientais. Os valores da condutividade e do total de sólidos dissolvidos apresentaram valores baixos, 20 a 62 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 12 a 37,2 mg/L, respectivamente, caracterizando ambientes com baixa influência antrópica.

TABELA 9
Resultados das análises químicas das amostras de água da área da bacia do rio Paraopeba (mg/L)

Nº amostra	Toponímia/Elementos	1ª etapa de campo (Out/Nov - 2002)				2ª etapa de campo (Jul/Ago - 2003)							
		Ca	Fe	Mn	pH	Ca	Fe	Mn	pH	OD*	Cond. **	Temp. ***	TSD*
FC 44	Ribeirão Piedade	4,78	1,57	0,08	7,8	3,50	0,35	0,07	7,2	8,4	44	18,2	26,4
FC 45	Córrego dos Vieiras	5,21	0,46	0,05	7,9	4,32	0,36	0,03	7,4	8,3	47	16,9	28,2
FC 46	Ribeirão Piedade	5,08	0,48	0,13	7,8	3,74	0,25	0,04	7,4	8,5	45	17,3	27
FC 47	Ribeirão Ferro Carvão	3,56	1,21	0,79	7,5	3,57	0,21	0,23	7,0	7,7	36	20,6	21,6
FC 48	Ribeirão Casa Branca	1,98	0,43	0,03	7,6	1,49	0,18	0,05	7,1	8,3	23	18,1	13,8
FC 49	Ribeirão Casa Branca	1,89	0,40	0,02	7,5	1,54	0,05	0,02	7,2	8,5	22	17,9	13,2
FC 50	Córrego da Areia	1,91	0,34	0,02	7,5	1,48	0,20	0,03	7,1	8,2	22	18,9	13,2
FC 51	Ribeirão Catarina	2,20	0,22	0,01	7,4	1,11	0,10	0,01	7,3	8,5	20	18,2	12
FC 58	Córrego Fundo	1,64	0,32	0,03	7,6	1,45	0,18	0,03	7,0	8,1	24	17,6	14,4
FC 69	Córrego Taboões					6,00	0,22	0,10	7,2	8,0	62	19,9	37,2

* mg/L ** $\mu\text{S}/\text{cm}$ *** °C

Em relação à presença de cátions e ânions nas águas, verificou-se que a maioria dos elementos apresentou concentrações abaixo do limite de detecção do equipamento e abaixo das legislações ambientais. O cálcio, o ferro e o manganês mostraram teores elevados. O ferro mostrou-se em desacordo com os limites estabelecidos pelo CONAMA e COPAM para rios de Classe 2, somente nas amostras coletadas na primeira etapa de campo, correspondendo à época mais chuvosa. A razão para esse fato, deve-se provavelmente, à maior quantidade de material que é lixiviado para dentro das calhas das drenagens durante os períodos de chuva. Os resultados analíticos do manganês mostraram que somente o ribeirão Ferro Carvão excedeu o limite do CONAMA e do COPAM nas duas etapas de campo, como resposta à exploração de minério de ferro e manganês na sub-bacia desse ribeirão.

O córrego Taboões apresentou a concentração de nitrato mais elevada (4,3 mg/L) em relação às outras amostras da bacia do rio Paraopeba, porém abaixo do limite do CONAMA (10 mg/L), o que pode ser indicativo de influência humana ou, ainda, estar ligado à presença de depósito de lixo próximo a suas cabeceiras.

(2) *Sedimentos de corrente*

As amostras de sedimentos de corrente das microbacias que compõem a área da bacia do rio Paraopeba (TAB. 10) mostraram alguns resultados que merecem ser mencionados quando comparados com os valores de *background* regional (OLIVEIRA *et al.*, 1979, BALTAZAR e RAPOSO, 1993) e os utilizados pelo CCME (2003).

TABELA 10
Resultados das análises químicas das amostras de sedimentos
de corrente da área da bacia do rio Paraopeba ($\mu\text{g/g}$)

Nº amostra	Toponímia/Elementos	As	B	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe %	Mn	Ni	Pb	Zn	pH	MO %
FC 44	Ribeirão Piedade	83,3	88,4	180,8	10,7	301,0	57	16,8	3000	61,7	30,8	60,8	6,5	4,6
FC 44	Córrego dos Vieiras	28,7	90,2	80,6	10,8	16,4	21	17,0	1500	17,9	21,1	41,7	6,3	3,6
FC 46	Ribeirão Piedade	29,9	62,9	96,3	6,7	142,0	49	9,6	1150	27,9	18,6	52,3	6,4	6,2
FC 47	Ribeirão Ferro Carvão	2,9	104,5	56,8	13,3	19,0	12	26,0	2400	7,4	15,7	40,2	6,4	1,7
FC 48	Ribeirão Casa Branca	30,3	71,6	56,8	7,6	49,0	17	11,2	1650	11,0	22,0	33,3	6,2	2,9
FC 49	Ribeirão Casa Branca	25,0	82,3	73,4	9,4	51,0	18	13,6	1750	11,4	27,8	39,4	6,0	2,9
FC 50	Córrego da Areia	24,5	93,1	55,8	11,2	56,0	19	17,8	1250	10,0	25,7	38,3	6,0	2,8
FC 51	Ribeirão Catarina	28,8	83,9	13,2	9,6	38,0	9	16,0	220	3,3	13,2	30,2	5,9	7,2
FC 58	Córrego Fundo	98,3	75,0	41,9	8,4	322,0	88	13,2	1350	102,3	21,5	76,5	6,3	6,2
FC 69	Córrego Taboões	15,2	200,6	191,0	5,7	97,0	41	16,2	3200	16,2	16,1	48,0	6,8	6,5

Com exceção da amostra coletada no ribeirão Ferro Carvão, as demais apresentaram concentrações de arsênio acima dos valores de *background* e dos de referência para sedimentos com prováveis efeitos adversos à biota. O ribeirão Piedade e o córrego Fundo mostraram teores mais elevados, de 5 a 6 vezes acima do valor orientador adotado pelo CCME (2003). Em geral, o arsênio ocorre como arsenopirita nas mineralizações de ouro que estão associadas às formações ferríferas.

O ribeirão Piedade (amostra FC44) e o córrego Fundo (amostra FC-58) apresentaram concentrações de níquel acima dos valores de *background*, ultrapassando de duas e quatro vezes, respectivamente, esses valores.

Em relação ao cromo, as duas amostras coletadas no ribeirão Piedade e nos córregos Fundo e Taboões mostraram teores acima dos valores de *background* e foram classificadas como sedimentos contaminados com prováveis efeitos adversos à biota, segundo o CCME (2003).

Com exceção dos sedimentos do ribeirão Catarina, todas as outras amostras apresentaram elevadas concentrações de ferro e manganês, acima dos valores de *background* regional.

Enquanto todas as amostras foram classificadas como sedimentos contaminados para cádmio, com concentrações muito acima do valor de referência do CCME (2003), os teores de cobre ficaram abaixo dos valores de *background* e dos valores orientadores utilizados pelo CCME (2003).

Em geral, os teores de chumbo e zinco estão ligeiramente acima dos valores de *background* regional, mas abaixo dos valores definidos pelo CCME (2003), para sedimentos com prováveis efeitos adversos à biota.

As concentrações de bário e boro são expressivas em todas as amostras, provavelmente indicando contribuição da geologia regional, talvez pela presença de minerais com elevada concentração desses elementos.

Os resultados das análises das amostras de sedimentos de corrente coletadas no ribeirão Piedade mostraram que a FC44, localizada próxima à mina Pau Branco, apresentou concentrações mais elevadas do que a FC46 para todos os elementos. Esse resultado pode indicar que a amostra FC44 é diretamente mais influenciada pelas atividades da mineração. A amostra FC46, situada a jusante, apresentou uma melhoria na qualidade ambiental em relação a FC44, mesmo após receber contribuição de material do córrego dos Vieiras.

No ribeirão Casa Branca também foram coletadas duas amostras, mas sem variações significativas nos seus resultados analíticos.

Em relação às concentrações de matéria orgânica, verificou-se que somente os ribeirões Piedade (amostra FC46) e Catarina e os córregos Fundo e Taboões apresentaram teores acima de 5%.

Na bacia do rio Paraopeba, o ribeirão Piedade foi o que mostrou piores condições ambientais relacionadas à contaminação por elementos tóxicos, devido à presença de atividades antropogênicas em sua sub-bacia.

7.2 Área da Bacia do Rio Piracicaba

Os resultados analíticos das amostras de água e dos sedimentos de corrente coletadas na bacia do rio Piracicaba estão apresentadas nas [TAB. 11](#) e [12](#). Os valores dos parâmetros físico-químicos medidos *in loco* estão na [TAB. 11](#).

(1) Água superficial

Na bacia do rio Piracicaba os valores de pH variaram de 5,5 a 7,9, tanto na primeira, quanto na segunda etapa de campo, caracterizando ambientes ácidos a levemente alcalinos.

Observou-se que, em geral, na serra do Caraça, onde as cotas topográficas são mais elevadas, as temperaturas das águas apresentaram os valores mais baixos da área do projeto, ficando, na maioria das vezes, entre 15 a 19°C.

Todos os valores de oxigênio dissolvido ficaram bem acima de 5 mg/L, limite recomendado pelas legislações ambientais. A condutividade e o total de sólidos dissolvidos mostraram-se baixos. O córrego Mato Grosso apresentou, em relação às outras amostras, os valores desses parâmetros bastante elevados, podendo indicar influência das atividades de mineração da empresa Extramil.

Todos os resultados analíticos correspondentes aos ânions estão abaixo dos limites máximos estabelecidos pelo [CONAMA](#) e [COPAM](#).

Em relação às concentrações dos elementos maiores e traços nas água da bacia do rio Piracicaba, somente o cálcio, ferro, magnésio e o manganês mereceram atenção porque ocorreram em quantidades elevadas, porém não excederam os limites definidos pelas legislações federal e estadual. É interessante ressaltar que o córrego Mato Grosso mostrou elevadas concentrações de cálcio e magnésio, refletindo a geologia local (talco-xisto, dolomito e calcário).

TABELA 11
Resultados das análises químicas das amostras
de água na área da bacia do rio Piracicaba (mg/L)

Nº amostra	Toponímia/Elementos	1ª etapa de campo (Out/Nov - 2002)					2ª etapa de campo (Jul/Ago- 2003)								
		Ca	Fe	Mg	Mn	pH	Ca	Fe	Mg	Mn	pH	OD*	Cond.*	Temp.**	TSD*
Sub-bacia do ribeirão Caraça															
FC 01	Córrego Quebra Osso	1,72	0,32	2,01	0,02	6,9	1,81	0,28	2,39	0,03	7,1	9,1	31	16,7	18,6
FC 02	Ribeirão Caraça	1,04	0,27	0,94	0,06	6,9	0,89	0,07	0,84	0,10	7,1	10,0	14	17,2	8,4
FC 03	Córrego do Engenho	1,31	0,52	0,87	0,14	7,3	1,19	0,44	0,75	0,09	6,7	9,07	17	15,0	9,0
FC 59	Ribeirão Caraça						0,23	0,06	0,1	0,004	6,0	10,2	4	15,0	2,4
FC 60	Córrego Brumadinho						1,32	0,18	1,53	0,05	7,1	8,7	31	18,6	18,6
Sub-bacia do rio Conceição															
FC 04	Rio Conceição	2,10	0,08	1,19	0,05	7,4	1,93	0,07	1,26	0,05	7,1	9,6	22	14,5	13,2
FC 07	Rio Conceição	0,66	0,15	0,52	0,01	7,9	0,72	0,09	0,53	0,004	7,0	8,6	9	15,6	5,4
FC 08	Rio Preto	4,64	0,05	2,56	0,03	7,5	4,29	0,03	2,49	0,009	7,4	9,0	42	18,6	25,2
FC 09	Córrego Brumadinho	1,26	0,16	0,77	0,01	7,5	1,2	0,09	0,7	0,005	6,8	9,6	14	15,5	8,4
FC 52	Córrego do Engenho	0,25	0,43	0,16	0,02	5,5	0,27	0,25	0,18	0,02	6,6	9,0	4	14,8	2,4
FC 61	Córrego Serra Redonda						0,55	0,29	0,67	0,01	6,9	9,6	11	13,9	6,6
Sub-bacia do ribeirão Barão de Cocais															
FC 05	Córrego Maria Casimir	4,04	0,05	2,27	0,04	7,3	3,52	0,04	2,12	0,02	7,6	9,0	36	18,1	21,6
FC 06	Rio Barão de Cocais	4,11	0,19	2,41	0,05	7,2	3,89	0,03	2,4	0,01	7,3	10,0	40	14,8	24,0
FC 62	Córrego do Vieira						7,11	0,05	3,60	0,11	7,6	9,0	36	18,0	21,6
FC 63	Córrego Mato Grosso						14,01	0,33	7,31	0,01	7,9	9,0	115	15,9	69,0

* mg/L **µS/cm *** °C

(2) Sedimentos de corrente

(a) Sub-bacia do ribeirão Caraça

Das amostras coletadas na sub-bacia do ribeirão Caraça, somente os sedimentos de corrente do ribeirão homônimo, no ponto localizado na ponte próxima ao hotel (FC59), apresentou concentrações abaixo dos valores de *background* regional e dos valores orientadores definidos pelo CCME (2003), para todos os elementos. Esse ponto de amostragem está próximo das nascentes desse ribeirão.

A maioria das amostras apresentou altas concentrações de arsênio, cádmio, cromo, cobre, níquel, ferro e manganês, com exceção daquela coletada no ribeirão Caraça próximo ao hotel. Os córregos Quebra Ossos e Brumadinho e o ribeirão Caraça (na amostra coletada à jusante do córrego Brumadinho) foram os que mostraram concentrações mais elevadas de arsênio, cromo, cobre e níquel, bem acima do limite considerado pelo CCME (2003) como sedimento com prováveis efeitos adversos à biota. Esses resultados evidenciam fonte natural de contaminação pela presença de rochas máficas-ultramáficas da unidade peridotítica Quebra Ossos (associação cobalto-cromo-níquel) e pelas ocorrências de ouro com arsenopirita associada. Vale ressaltar que as atividades de mineração existentes na região contribuem para que as concentrações dos metais fiquem mais disponíveis nos sedimentos dos leitos dos rios, o que corrobora os estudos de Oliveira *et al.* (1979), nos projetos Geoquímica do Quadrilátero Ferrífero e Projeto Barbacena - Quadrícula Mariana (BALTAZAR e RAPOSO, 1993).

Os teores de chumbo estão ligeiramente acima dos valores de *background* regional, mas bem abaixo dos valores definidos pelo CCME (2003). No entanto, as concentrações de zinco mostram-se abaixo dos valores de *background* e daquele definido como sedimentos com prováveis efeitos adversos à biota.

Os resultados analíticos das amostras de sedimentos dos córregos Quebra Ossos e Brumadinho mostraram elevados teores de bário, enquanto apenas o último apresentou também, alta concentração de boro. Esses valores indicam influência geológica, provavelmente devido à presença de minerais enriquecidos com esse elemento.

(b) Sub-bacia do rio Conceição

Das amostras coletadas na sub-bacia do rio Conceição, somente os sedimentos de corrente do córrego do Engenho apresentaram, para todos os elementos, concentrações abaixo dos valores de *background* regional e dos valores orientadores definidos pelo CCME (2003).

TABELA 12
Resultados das análises químicas das amostras de sedimentos de corrente da área da bacia do rio Piracicaba (µg/g)

Nº amostra	Toponímia/Teores	As	B	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe%	Mn	Ni	Pb	Zn	pH	MO %
Sub-bacia do Ribeirão Caraça														
FC 01	Córrego Quebra Ossos	98,5	68,9	143,8	7,7	1044	81	12,2	3600	294,2	15,4	70,8	6,4	4,5
FC 02	Ribeirão Caraça	63,7	78,0	101,0	7,9	882	89	10,6	3200	230,2	18,3	87,9	5,9	6,7
FC 03	Córrego do Engenho	38,0	98,7	74,5	10,6	227	72	15,4	1600	50,1	21,5	88,0	5,9	5,3
FC 59	Ribeirão Caraça	17,2	78,1	20,0	1,6	48	9	3,6	40	6,7	9,5	15,0	5,7	5,2
FC 60	Córrego Brumadinho	71,0	167,7	105,5	4,4	1359	84	13,8	3800	356,4	18,2	113,0	6,7	6,4
Sub-bacia do rio Conceição														
FC 04	Rio Conceição	14,1	111,3	106,9	12,7	162	33	19,6	6600	25,6	18,3	51,2	6,0	3,3
FC 07	Rio Conceição	1,4	122,8	16,8	15,0	71	10	26,0	600	3,5	14,4	39,2	5,9	4,0
FC 08	Rio Preto	107,8	107,8	62,9	12,2	57	7	18,6	3800	5,0	12,1	32,8	6,3	1,8
FC 09	Córrego Brumadinho	68,0	68,0	33,7	6,4	204	60	8,8	1000	62,8	19,2	116,0	5,9	5,4
FC 52	Córrego do Engenho	11,5	23,7	11,9	2,0	37	21	2,7	60	13,1	5,6	44,3	5,1	2,9
FC 61	Córrego Serra Redonda	37,7	148,8	32,1	3,6	340	46	9,2	520	49,7	13,3	77,0	6,3	7,9
Sub-bacia do ribeirão Barão de Cocais														
FC 05	Córrego Maria Casimira	6,1	96,9	157,3	12,0	77	41	18,2	12600	20,3	15,7	54,8	7,4	4,8
FC 06	Rio Barão de Cocais	12,3	100,2	77,0	11,0	69	28	17,0	5400	15,1	14,5	39,0	6,6	3,0
FC 62	Córrego do Vieira	19,0	215,0	307,8	8,1	58	30	> 20,0	> 10000	7,9	20,8	37,0	6,7	4,7
FC 63	Córrego Mato Grosso	4,1	107,0	400,8	8,2	71	32	> 20,0	> 10000	20,6	17,6	54,0	7,0	6,8

Os córregos Brumadinho e Serra Redonda e o rio Preto apresentaram elevados teores de arsênio, acima dos valores de *background* regional e foram classificados como contaminados, sendo que o último mostrou concentração 6 vezes acima do limite para sedimento com prováveis efeitos adversos à biota, segundo o CCME (2003).

Os resultados analíticos da maioria das amostras coletadas nessa sub-bacia exibiram teores de cobre, chumbo e zinco abaixo dos valores definidos pelo CCME (2003) para sedimentos contaminados e abaixo dos valores do *background* regional, com exceção dos córregos Brumadinho e Serra Redonda, que apresentaram, respectivamente, concentrações elevadas de zinco, 116 µg/g e 77 µg/g. O níquel foi detectado, na maioria das vezes, apareceu em baixas concentrações, abaixo do nível de *background*.

Com exceção das amostras coletadas nos córregos Brumadinho e do Engenho, as concentrações de boro e bário mostraram-se elevadas, evidenciando grande contribuição da mineralogia das rochas regionais.

O córrego Serra Redonda apresentou o maior teor de matéria orgânica da bacia do rio Piracicaba (7,9%).

(c) Sub-bacia do ribeirão Barão de Cocais

Os sedimentos de corrente da sub-bacia do ribeirão Barão de Cocais mostraram boas condições de qualidade ambiental. Porém, é interessante observar que a maioria dos sedimentos apresentou altas concentrações de boro e bário. Os córregos Mato Grosso e do Vieira exibiram os teores mais elevados de bário, provavelmente devido à presença de barita associada aos calcários e dolomitos da Formação Gandarela, presentes nas suas micro-bacias.

O cádmio ocorreu em todas as drenagens, com teores acima do valor definido pelo CCME (2003) para sedimentos com prováveis efeitos adversos à biota.

As mais altas concentrações de ferro e manganês da bacia do rio Piracicaba foram observadas nessa sub-bacia.

O córrego Mato Grosso apresentou o mais elevado teor de matéria orgânica da sub-bacia do ribeirão Barão de Cocais (6,8%).

7.3 Área da Bacia do Rio das Velhas

Os resultados analíticos das amostras de água e sedimentos de corrente do rio das Velhas são apresentados nas TAB. 13 e 14, os de seus tributários da margem direita estão descritos nas TAB. 15 e 16, enquanto os da margem esquerda estão nas TAB. 17, 18 e 19. Os valores dos parâmetros físico-químicos medidos *in loco* encontram-se nas TAB. 13, 15, e 18.

As águas do rio das Velhas em seu percurso pela área do projeto, exibe, em geral, tonalidade amarronzada, mas na primeira etapa de campo encontrava-se avermelhada, devido à grande quantidade de materiais em suspensão gerados, principalmente, pelas atividades de mineração de ferro e pelo carreamento de sedimentos, pelas águas pluviais, para o leito do rio.

7.3.1 Rio das Velhas

(1) *Água superficial*

Comparando-se os resultados das três amostras coletadas no rio das Velhas observou-se que a qualidade das águas não sofreu alteração em relação às concentrações dos elementos químicos, nem em relação aos valores de pH e oxigênio dissolvido. Porém, os valores da condutividade e do total de sólidos dissolvidos variaram em relação aos pontos de coleta à montante e à jusante da área do projeto. No ponto de coleta em Raposos, o valor da condutividade aumentou mais do que duas vezes em comparação com o valor medido em Itabirito, evidenciando um aumento significativo da quantidade de sólidos dissolvidos, o que pode ser reflexo das atividades de mineração que ocorrem na área da APA Sul RMBH.

Todos os elementos analisados em água estão abaixo dos limiares definidos pelo [CONAMA](#) e [COPAM](#).

(2) *Sedimentos de corrente*

Os sedimentos de corrente coletados no rio das Velhas a jusante do limite da APA Sul RMBH estão de três a dez vezes mais contaminados por arsênio, cádmio e cromo do que a montante, e as concentrações desses elementos foram crescendo ao longo do curso do rio, mostrando o aumento da contribuição das atividades antrópicas. O alto teor de arsênio encontrado na amostra coletada em Raposos é devido à ocorrência de arsenopirita associada ao minério de ouro, e pode ter sido levado desde o ribeirão Água Suja até ao Rio das Velhas ([MATTOS](#), 1998).

Comparando-se os resultados obtidos no projeto APA Sul RMBH com os do [IGAM/FEAM](#), constata-se que os resultados analíticos das amostras de sedimentos de corrente corroboram os resultados das amostras de água do projeto monitoramento da qualidade das águas da bacia do rio das Velhas, em especial a contaminação por arsênio.

TABELA 13
Resultados das análises químicas das amostras de água do rio das Velhas (mg/L)

Nº da amostra	Toponímia/Teores*	1ª etapa de campo (Out/Nov - 2002)			2ª etapa de campo (Jul/Ago - 2003)						
		Fe	Mn	pH	Fe	Mn	pH	OD*	Cond.**	Temp.***	TSD*
FC 30	Rio das Velhas (Raposos)	0,30	0,27	7,3	0,17	0,17	7,6	9,1	116	19,0	69,6
FC 54	Rio das Velhas (Itabirito)	0,33	0,03	7,2	0,17	0,03	7,5	9,3	48	14,0	28,8
FC 66	Rio das Velhas(Honório Bicalho)				0,14	0,05	7,9	9,1	55	17,5	33,0

*mg/L **µS/cm ***°C

TABELA 14
Resultados das análises químicas das amostras de sedimentos de corrente do rio das Velhas (µg/g)

Nº da amostra	Toponímia/Elementos	As	B	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe %	Mn	Ni	Pb	Zn	pH	MO %
FC 30	Rio das Velhas (Raposos)	123,7	78,7	55,8	7,3	163	64	10,8	2000	42,5	27,6	74,1	6,6	5,4
FC 54	Rio das Velhas (Itabirito)	10,8	41,4	42,8	3,9	44	24	5,2	3050	38,1	8,6	33,6	6,4	1,4
FC 66	Rio das Velhas(Honório Bicalho)	14,0	4,9	70,5	3,1	135	42	9,6	3100	26,6	11,2	52,0	6,6	5,6

7.3.2 Tributários da Margem Direita do Rio das Velhas

(1) *Água superficial*

Os resultados analíticos e os parâmetros físico-químicos medidos nas amostras coletadas nas drenagens da margem direita do rio das Velhas exibiram bons padrões de qualidade da água, de acordo com o [CONAMA E COPAM](#). Os valores de pH variam de 5,8 a 7,5 para amostras da primeira etapa de campo e de 6,1 a 7,3 para amostras da segunda etapa, caracterizando ambiente levemente ácido a levemente alcalino. Os teores de oxigênio dissolvido mostraram-se de acordo com o limite das legislações ambientais. Os valores de condutividade e total de sólidos dissolvidos apresentaram-se baixos.

(2) *Sedimentos de corrente*

Na TAB. 16 encontram-se os resultados analíticos das amostras de sedimentos de corrente. A exceção do chumbo, todos os elementos apresentaram concentrações acima dos valores de *background* regional definidos por [Oliveira et al.](#) (1979) e por [Baltazar e Raposo](#) (1993), destacando-se o cromo que mostrou teores mais elevados, entre duas e cinco vezes os valores de *background*.

A maioria das amostras de sedimentos foi classificada como contaminada por arsênio, cádmio e cromo, com possíveis efeitos adversos à biota, segundo o [CCME](#) (2003). O córrego do Lobo mostrou os teores mais elevados, principalmente de arsênio.

Os resultados obtidos para o cobre, chumbo e zinco nos sedimentos de corrente dos tributários da margem direita do rio das Velhas mostraram valores abaixo dos limiares para os quais espera-se um provável efeito adverso à biota. Observou-se, ainda, que os teores de boro e bário nessas drenagens estavam baixos, com exceção dos sedimentos do córrego Maquiné.

Os córregos Mingú e Maquiné apresentaram altos teores de matéria orgânica nos sedimentos de corrente, confirmando as observações de campo.

TABELA 15
Resultados das análises químicas das amostras de
água dos tributários da margem direita do rio das Velhas (mg/L)

N° da amostra	Toponímia/Elementos	1ª etapa de campo (Out/Nov-2002)			2ª etapa de campo (Jul/Ago-2003)						
		Fe	Mn	pH	Fe	Mn	pH	OD*	Cond.**	Temp.** *	TSD*
FC 10	Córrego Vargem Limpa	0,40	0,02	5,8	0,03	0,01	6,1	7,5	8	16,3	4,8
FC 16	Córrego Manso	0,16	0,07	7,1	0,10	0,02	7,1	8,9	24	13,9	14,4
FC 17	Córrego Palmital	0,20	0,03	7,1	0,07	0,02	7,0	8,7	12	15,1	7,2
FC 18	Rio de Pedras	0,22	0,07	7,0	0,16	0,04	6,8	9,0	22	13,7	13,2
FC 19	Córrego Cortesia	0,38	0,02	6,8	0,15	0,01	7,3	8,8	25	14,8	15,0
FC 20	Córrego do Viana	0,26	0,03	7,1	0,10	0,02	6,9	8,7	12	16,5	7,2
FC 24	Córrego do Vilela	0,49	0,02	7,3	0,22	0,02	7,2	8,5	43	14,5	25,8
FC 29	Ribeirão da Prata	0,28	0,04	7,3	0,09	0,02	7,2	9,4	20	15,9	12,0
FC 43	Ribeirão Cambimba	1,30	0,22	7,0	0,41	0,10	7,1	8,7	30	18,0	18,0
FC 53	Córrego do Lobo	0,47	0,05	7,2	0,11	0,03	7,0	9,3	29	12,0	17,4
FC 56	Córrego Olhos d'Água	0,40	0,05	7,5	0,28	0,04	7,2	8,2	37	16,4	22,2
FC 65	Córrego Mingú				0,23	0,02	6,3	8,2	6	16,1	3,6
FC 67	Córrego Maquiné				0,08	0,003	7,1	8,3	16	17,5	9,6

* mg/L ** uS/cm ***°C

TABELA 16

Resultados das análises químicas das amostras de sedimentos de corrente dos tributários da margem direita do rio das Velhas ($\mu\text{g/g}$)

Nº da amostra	Toponímia/Elementos	As	B	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe %	Mn	Ni	Pb	Zn	pH	MO %
FC 10	Córrego Vargem Limpa	38,5	39,9	23,8	3,2	187	33	4,6	600	32,6	9,6	44,3	5,4	5,3
FC 16	Córrego Manso	96,3	71,3	31,9	6,6	291	58	8,8	600	84,4	12,2	67,2	6,3	4,9
FC 17	Córrego Palmital	55,0	87,8	14,0	8,2	165	44	11,4	600	42,9	11,7	60,4	6,1	3,3
FC 18	Rio de Pedras	87,7	80,1	18,8	7,3	181	47	10,2	600	55,4	12,0	56,7	5,5	3,2
FC 19	Córrego Cortesia	14,8	94,0	27,6	9,2	155	29	12,6	600	29,9	14,1	47,1	6,7	4,4
FC 20	Córrego do Viana	58,6	53,4	30,9	4,4	185	39	5,6	800	56,9	12,3	56,6	6,0	3,2
FC 24	Córrego do Vilela	82,9	45,8	37,7	3,7	207	46	5	2200	62,5	14,1	73,8	6,2	4,3
FC 29	Ribeirão da Prata	88,3	91,6	23,7	8,6	250	57	10,8	600	74,6	16,9	88,4	6,0	3,4
FC 43	Ribeirão Cambimba	74,1	38,6	71,6	3,7	142	54	6,1	3200	94,4	7,5	44,6	6,5	5,0
FC 53	Córrego do Lobo	233,0	69,3	39,5	7,3	266	73	10,2	1400	112,5	19,0	78,2	6,1	4,4
FC 56	Córrego Olhos d'Água	55,1	43,1	44,1	4,1	121	51	5,9	1200	51,9	14,5	58,3	6,4	4,6
FC 65	Córrego Mingú	25,1	78,9	29,1	1,6	138	26	4,0	60	18,1	6,9	28	5,9	6,9
FC 67	Córrego Maquiné	15,1	108,3	47,3	5,0	113	38	12,6	980	19,7	12,0	41	6,4	6,9

7.3.3 Tributários da Margem Esquerda do Rio das Velhas

(1) Água superficial

Os valores de pH não apresentaram diferenças significativas para as amostras das duas etapas de campo, exibindo espectro de variação de 6,4 a 8,7. Os córregos do Piolho, Bela Fama e Mutuca foram os que mostraram, na segunda etapa, os valores de pH mais elevados.

TABELA 17
Resultados das análises químicas das amostras de água dos afluentes da
margem esquerda do rio das Velhas – 1ª etapa de campo - Out/Nov - 2002 (mg/L)

Nº amostra	Toponímia/Elementos	As	B	Ca	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	Sr	pH
FC 11	Córrego Água Suja	0,001	0,003	1,63	0,005	0,39	1,37	0,001	0,001	0,01	6,7
FC 12	Sem nome (lixão)	0,001	0,005	1,68	0,005	0,21	2,07	0,09	0,001	0,01	6,9
FC 13	Córrego Paianas	0,001	0,004	1,41	0,005	0,29	2,53	0,05	0,002	0,01	7,4
FC 14	Rio Itabirito	0,001	0,003	7,06	0,005	0,27	2,34	0,09	0,001	0,02	7,2
FC 15	Córrego Fazenda Velha	0,001	0,003	6,00	0,005	0,24	3,12	0,04	0,001	0,03	7,1
FC 21	Córrego Labareda	0,001	0,003	2,62	0,005	0,49	2,31	0,16	0,001	0,02	7,0
FC 22	Córrego Piolho	0,001	0,001	2,89	0,005	0,29	2,76	0,05	0,001	0,02	7,3
FC 23	Córrego dos Enforcados	0,001	0,001	4,13	0,005	0,36	3,13	0,02	0,001	0,02	7,5
FC 25	Ribeirão dos Macacos	0,001	0,001	4,07	0,005	0,12	2,51	0,02	0,001	0,02	7,3
FC 26	Córrego Bela Fama	0,001	0,004	9,96	0,005	0,08	4,87	0,005	0,001	0,03	7,6
FC 27	Ribeirão Água Suja	0,064	0,007	13,93	0,005	0,45	5,80	0,35	0,003	0,07	7,3
FC 28	Córrego Mina d'Água	0,080	0,200	32,77	0,02	0,09	58,77	1,58	0,100	1,49	7,4
FC 31	Córrego Carrapato	0,001	0,029	24,04	0,11	0,71	5,88	0,33	0,002	0,16	7,4
FC 32	Ribeirão Congonhas	0,001	0,001	6,46	0,005	0,16	3,36	0,20	0,001	0,01	7,3
FC 33	Córrego Lagoa Grande	0,001	0,001	4,29	0,005	0,25	1,88	0,18	0,001	0,01	7,2
FC 34	Córrego Padre Domingos	0,001	0,001	1,44	0,005	0,21	0,68	0,23	0,001	0,01	7,1
FC 35	Córrego Capitão da Mata	0,001	0,001	7,06	0,005	0,13	3,40	0,01	0,001	0,01	7,7
FC 36	Córrego Fechos	0,001	0,001	5,90	0,005	0,18	3,16	0,64	0,001	0,03	7,1
FC 37	Córrego Marumbé	0,001	0,001	1,60	0,005	0,21	1,50	0,06	0,001	0,01	7,1
FC 38	Córrego Tamanduá	0,001	0,001	2,57	0,005	0,73	2,81	0,26	0,002	0,01	6,8
FC 39	Córrego Gordura	0,001	0,001	5,41	0,005	0,06	2,91	0,01	0,001	0,01	7,4
FC 40	Ribeirão dos Macacos	0,001	0,001	2,91	0,005	0,20	2,20	0,15	0,001	0,02	7,3
FC 41	Córrego da Mutuca	0,001	0,001	8,1	0,005	0,14	2,37	0,10	0,001	0,04	7,4
FC 42	Ribeirão dos Cristais	0,001	0,001	6,39	0,005	0,13	2,36	0,03	0,001	0,03	7,6
FC 55	Rio do Peixe	0,001	0,001	5,85	0,005	0,09	3,04	0,05	0,001	0,01	7,5
FC 57	Córrego dos Boiadeiros	0,001	0,001	1,29	0,005	0,28	1,98	0,08	0,002	0,01	7,0

A maioria das amostras coletadas nas drenagens da margem esquerda do rio das Velhas mostraram valores de oxigênio dissolvido acima de 5 mg/L, atendendo às legislações ambientais federal e estadual. Somente o ribeirão Água Suja e o córrego Carrapato mostraram valores inferiores aos estabelecidos pelo [CONAMA](#) e [COPAM](#), indicando ambientes degradados e com elevada carga de matéria orgânica, decorrentes do lançamento de efluentes domésticos. Esses corpos d'água, devido à grande quantidade de esgotos que recebem, além de serem impróprios como fonte de água potável, possuem as condições favoráveis para o crescimento de organismos patogênicos, como os causadores da hepatite, cólera e tifo.

Os ribeirões Água Suja e Congonhas e os córregos Mina d'Água, Bela Fama e Carrapato apresentaram elevados valores de condutividade e conseqüentemente, altos teores de sais dissolvidos, o que indica presença de atividades antropogênicas.

TABELA 18
Resultados das análises químicas das amostras de água dos afluentes da margem esquerda do rio das Velhas
2ª etapa de campo - Jul/Ago - 2003 (mg/L)

Nº amostra	Toponímia/Elementos	As	B	Ca	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	Sr	pH	OD*	Cond.**	Temp***	TSD*
FC 11	Córrego Água Suja	0,005	0,002	1,28	0,005	0,14	1,24	0,003	0,001	0,007	7,1	9,1	26	14,9	15,6
FC 12	Sem nome (lixão)	0,010	0,003	1,40	0,005	0,39	2,16	0,310	0,002	0,008	6,4	6,4	31	16,4	18,6
FC 13	Córrego Paianas	0,005	0,002	1,76	0,010	0,24	2,30	0,070	0,001	0,009	7,0	8,5	31	14,6	18,6
FC 14	Rio Itabirito	0,010	0,003	7,41	0,005	0,20	2,32	0,095	0,001	0,020	7,2	8,6	75	16,6	45,0
FC 15	Córrego Fazenda Velha	0,005	0,010	4,18	0,010	3,50	2,68	0,093	0,011	0,020	7,5	9,1	46	14,6	27,6
FC 21	Córrego Labareda	0,005	0,001	2,30	0,005	0,23	2,26	0,093	0,001	0,020	7,0	7,7	38	18,0	22,8
FC 22	Córrego Piolho	0,005	0,001	2,61	0,010	0,12	2,57	0,025	0,001	0,020	8,7	8,7	41	15,8	24,6
FC 23	Córrego dos Enforcados	0,005	0,001	3,72	0,005	0,08	3,05	0,009	0,001	0,020	7,4	9,5	50	14,1	30,0
FC 25	Ribeirão dos Macacos	0,005	0,001	2,54	0,010	0,06	2,28	0,007	0,001	0,010	7,6	9,3	36	15,2	21,6
FC 26	Córrego Bela Fama	0,005	0,002	9,28	0,005	0,06	5,04	0,029	0,001	0,030	8,2	9,4	91	18,1	54,6
FC 27	Ribeirão Água Suja	0,110	0,009	10,16	0,005	0,74	4,58	0,492	0,002	0,050	7,0	4,3	138	17,7	82,8
FC 28	Córrego Mina d'Água	0,060	0,185	490,3	0,210	0,03	60,4	1,090	0,078	1,840	7,2	7,7	197	21,1	118
FC 31	Córrego Carrapato	0,010	0,030	20,5	0,005	0,92	5,44	0,274	0,002	0,130	7,2	1,98	393	20,6	236
FC 32	Ribeirão Congonhas	0,005	0,002	5,12	0,005	0,76	2,58	0,147	0,001	0,007	7,2	7,8	94	16,1	56,4
FC 33	Córrego Lagoa Grande	0,005	0,001	5,13	0,005	0,25	2,26	0,121	0,001	0,008	7,2	8,5	43	13,6	25,8
FC 34	Córrego Padre Domingos	0,005	0,001	1,49	0,005	0,10	0,69	0,158	0,001	0,003	7,0	9,1	15	14,6	9,0
FC 35	Córrego Capitão da Mata	0,005	0,001	6,60	0,010	0,06	2,96	0,004	0,001	0,010	7,7	8,1	52	18,2	31,2
FC 36	Córrego Fechos	0,005	0,001	5,24	0,005	0,06	3,35	0,185	0,001	0,010	7,5	8,6	51	17,2	30,6
FC 37	Córrego Marumbé	0,010	0,001	1,24	0,010	0,06	1,57	0,032	0,001	0,010	7,1	8,3	22	17,8	13,2
FC 38	Córrego Tamanduá	0,010	0,001	2,01	0,005	0,44	2,71	0,241	0,002	0,006	7,2	8,4	32	17	19,2
FC 39	Córrego Gordura	0,005	0,001	3,17	0,010	0,25	2,28	0,005	0,001	0,009	7,3	8,9	37	15,5	22,2
FC 40	Ribeirão dos Macacos	0,005	0,001	2,53	0,005	0,11	2,23	0,075	0,001	0,010	7,3	8,6	33	17,1	19,8
FC 41	Córrego da Mutuca	0,005	0,003	6,10	0,010	1,03	2,11	0,110	0,001	0,030	8,5	8,3	54	18,9	32,4
FC 42	Ribeirão dos Cristais	0,005	0,001	4,99	0,005	0,15	2,27	0,047	0,001	0,030	7,9	8,9	50	16,2	30,0
FC 55	Rio do Peixe	0,005	0,001	4,69	0,01	0,04	2,4	0,021	0,001	0,008	7,4	9,1	53	16,9	31,8
FC 57	Córrego dos Boiadeiros	0,005	0,001	1,17	0,005	0,12	2,07	0,049	0,001	0,006	6,9	8,9	25	15,5	15,0
FC 64	Córrego Carioca	0,005	0,001	0,69	0,005	0,25	1,42	0,041	0,001	0,003	6,9	8,7	19	15,8	11,4
FC 68	Córrego da Mutuca	0,005	0,001	4,72	0,005	0,06	2,03	0,006	0,001	0,020	8,1	8,7	42	17,7	25,2

* mg/L ** uS/cm ***°C

O ribeirão Água Suja e o córrego Mina d'Água foram os que apresentaram as mais elevadas concentrações de arsênio, muito acima dos limiares do [CONAMA](#) e [COPAM](#). Verificou-se, nas margens do ribeirão Água Suja, a ocorrência de pilhas de rejeito enriquecido em arsênio ([FOTO 7](#)).

O córrego Mina d'Água apresentou também altos teores de estrôncio, níquel, cobre e boro, como também elevadas concentrações de nitritos (2,3 mg/L), nitratos (9,2 mg/L) e sulfatos (1222,2 mg/L) para amostras da primeira etapa de campo e somente de sulfatos (1158,5 mg/L) para amostras da segunda etapa. Os valores de nitritos e sulfatos encontram-se acima dos limites máximos definidos pelas legislações ambientais na proporção de duas e quase cinco vezes, respectivamente. Estes resultados indicam grande contribuição antropogênica, em especial lançamento de esgotos domésticos.

O córrego dos Carrapatos ([FOTO 8](#)) foi o único corpo d'água que apresentou elevados teores de cloretos (29,82 mg/L e 35,0 mg/L) e fosfatos (1,0 mg/L e 2,3 mg/L), respectivamente na primeira e na segunda etapa de campo. Apesar de elevados em relação aos outros corpos d'água, os teores de cloretos estão bem abaixo do limiar do [CONAMA](#) e [COPAM](#) (250 mg/L), porém os de fosfatos ultrapassam de quatro e noventa vezes o limite máximo definido pelas legislações ambientais (0,0 25mg/L), como verificado nas amostras da primeira e segunda etapa de campo, respectivamente. Esses resultados indicam a presença de fontes antropogênicas, como esgotos domésticos, que compreendem as águas utilizadas para higiene pessoal, cocção de alimentos, lavagem de utensílios e efluentes de banheiros.

A presença de elevadas concentrações de ferro e manganês na maioria das drenagens se deve às características naturais da bacia do rio das Velhas, marcada pela ocorrência de coberturas lateríticas enriquecidas nesses elementos, e às atividades de extração e beneficiamento mineral realizadas na área, principalmente de ferro.



Em relação à qualidade das águas dos tributários da margem esquerda do rio das Velhas, observou-se que o ribeirão Água Suja e os córregos Mina d'Água e Carrapato são os mais poluídos pelas atividades antropogênicas, estando de acordo com os resultados mostrados pelos programas de monitoramento realizados pelo [IGAM/FEAM](#) e pela COPASA.

FOTO 7 - Ribeirão Água Suja com pilhas de rejeito enriquecido com arsênio em suas margens.



FOTO 8 – Aspecto da água do córrego dos Carrapatos que recebe lançamentos de esgotos domésticos.

(2) *Sedimentos de corrente*

Grande parte das amostras de sedimentos de corrente coletadas nos cursos d'água da margem esquerda do rio das Velhas apresentou concentração superior ao valor de *background* regional para todos os elementos.

Em relação aos limiares estabelecidos pelo [CCME](#) (2003) observou-se que:

- (a) as amostras de sedimentos do córrego Água Suja, dos que drenam o aterro de lixo de Itabirito (Paianas e Sem Nome), dos Enforcados e Mina d'Água, bem como do ribeirão Água Suja indicaram concentrações bastante elevadas de arsênio, muito acima do limiar estabelecido. O córrego Mina d'Água e o ribeirão Água Suja apresentaram teores de 40 a 50 vezes acima do valor estabelecido.
- (b) os sedimentos de corrente de todos os tributários da margem esquerda do rio das Velhas estão contaminados por cádmio e cromo.
- (c) para os elementos chumbo, cobre e zinco, os resultados mostraram que a maioria dos sedimentos analisados não está contaminada.

TABELA 19

Resultados das análises químicas das amostras de sedimentos de corrente dos afluentes da margem esquerda do rio das Velhas ($\mu\text{g/g}$)

Toponímia/Elementos	As	B	Ba	Cd	Cr	Fe %	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	pH	MO %
Córrego Água Suja	150,2	51,1	57,9	4,3	337	5,8	53	600	49,7	47,3	49,3	6,2	7,2
Sem nome (lixão)	348,8	76,9	30,5	7,1	537	10	88	600	68,9	15,1	56,1	6,5	7,0
Córrego Paianas	222,2	74,1	48,0	7,1	684	9,6	133	1800	183,7	36,9	72,0	6,0	6,4
Rio Itabirito	26,2	78,3	142,0	7,4	134	10,6	53	3600	44,2	20,2	54,2	6,5	3,0
Córrego Fazenda Velha	40,4	82,0	64,6	7,8	367	11,0	66	2800	93,4	17,1	58,4	6,9	4,8
Córrego Labareda	46,7	70,0	36,9	6,2	319	7,8	86	800	80,6	23,0	121,0	6,5	4,9
Córrego Piolho	30,8	86,4	97,6	8,3	588	10,0	126	1600	151,9	28,8	137,0	6,4	6,7
Córrego dos Enforcados	104,8	89,0	67,3	8,7	393	13,4	109	1600	83,3	25,2	140,0	6,4	6,0
Ribeirão dos Macacos	6,8	109,3	53,9	11,4	197	16,0	28	2200	27,8	13,9	46,2	6,3	2,7
Córrego Bela fama	34,8	67,6	31,8	6,1	353	8,2	147	1200	82,8	22,7	165,0	6,7	5,4
Ribeirão Água Suja	873,4	103,1	58,8	10,7	276	16,6	172	1600	67,5	36,4	102,0	6,6	4,1
Córrego Mina d'Água	788,0	66,1	68,8	5,6	318	7,4	841	1200	147,8	13,4	115,0	6,6	4,9
Córrego Carrapato	52,8	67,2	98,0	6,4	172	8,2	118	800	53,1	27,6	175,0	8,3	5,0
Ribeirão Congonhas	10,7	86,1	605,4	8,4	180	13,2	83	8800	40,4	25,5	69,5	6,3	6,6
Córrego Lagoa Grande	9,3	100,4	157,5	10,1	239	14,4	45	4600	18,5	28,3	58,2	6,2	4,7
Córrego Padre Domingos	8,1	74,8	243,8	6,7	183	10,2	48	3400	34,2	27,1	52,9	6,2	6,3
Córrego Capitão da Mata	5,5	108,0	293,0	11,7	110	18,1	64	15800	39,8	14,5	59,3	6,7	3,5
Córrego Fechos	5,1	114,9	83,0	11,7	93	17,4	17	4200	10,4	13,5	34,6	6,2	1,9
Córrego Marumbé	16,4	85,8	107,9	10,6	237	16,8	57	3200	63,6	23,2	66,4	6,7	4,0
Córrego Tamanduá	33,8	59,6	90,8	6,1	400	8,6	68	2000	79,5	17,7	68,6	6,4	8,7
Córrego Gordura	26,2	81,1	217,2	9,3	420	15,2	90	4600	139,6	40,9	90,9	6,4	3,5
Ribeirão dos Macacos	17,4	88,0	125,1	10,6	166	16,6	44	4800	50,9	20,9	56,8	6,4	4,0
Córrego da Mutuca	21,7	95,4	165,6	11,9	212	18,8	73	4800	75,1	28,6	74,3	6,5	3,7
Ribeirão dos Cristais	23,5	87,7	135,3	10,5	244	15,8	74	3600	85,5	26,9	81,7	6,5	4,2
Rio do Peixe	12,9	97,1	145,3	12,2	775	19,4	42	5000	331,8	16,8	57,2	6,7	2,6
Córrego dos Boiadeiros	31,6	80,2	86,4	9,1	1077	13,4	103	3200	207,2	28,8	112,0	6,2	5,6
Córrego Carioca	42,2	1,6	28,9	3,8	779	12,8	121	680	73,0	15,5	67,0	6,4	7,5
Córrego Mutuca	26,4	214,4	205,1	6,3	378	19,4	85	5000	81,1	27,2	101,0	6,9	4,7

Também é importante observar que os córregos Gordura, dos Boiadeiros e o rio do Peixe apresentaram elevadas concentrações de cobre, cromo e níquel, indicando contribuição geológica, devido à presença de rochas máficas-ultramáficas, associada às atividades de mineração que ocorrem nas microbacias dessas drenagens.

A amostra de sedimento de corrente coletada no ribeirão Congonhas apresentou alto teor de bário (605,4 $\mu\text{g/g}$), provavelmente devido à presença de barita em sua microbacia. A amostra coletada no córrego Carioca mostrou alto teor de cromo (779 $\mu\text{g/g}$), cuja origem provável é o lançamento de efluentes industriais em sua calha de drenagem.

Os corpos d'água que drenam o aterro de lixo de Itabirito (FOTO 9) mostraram elevados teores de arsênio, cromo, cobre e níquel, que podem estar associados à decomposição do lixo, que produz um líquido, denominado chorume, com alta concentração de elementos e compostos tóxicos. Em caso de má disposição dos rejeitos, o chorume atinge os mananciais subterrâneos e superficiais. Os resíduos sólidos provenientes de várias fontes como indústria, hospitais, agricultura, podem conter metais pesados (cádmio, chumbo, cobre, cromo, zinco, entre outros), matéria orgânica, sulfetos, fenóis, cianetos, óleo e graxas, que podem ficar biodisponíveis ao ser humano.

Os córregos Água Suja, Sem Nome (aterro de lixo de Itabirito), Tamanduá e Carioca apresentaram os teores de matéria orgânica mais elevados, excedendo a 7%.



FOTO 9 – Aterro de lixo em Itabirito.

7.4 Avaliação da Influência da Geologia e das Atividades Antropogênicas

7.4.1 Matriz de Correlação

O tratamento estatístico com base na matriz de correlação (FIG. 3) permitiu identificar as seguintes associações geoquímicas nas amostras de sedimentos de corrente:

- Forte correlação positiva entre cobalto-cromo-níquel-cobre-vanádio indicando influência litológica, evidenciada principalmente nos resultados analíticos das amostras dos sedimentos dos córregos Quebra Ossos, Brumadinho e dos Boiadeiros e do ribeirão Caraça. Essa associação de elementos indica a presença de rochas de composição máfica-ultramáfica (peridotitos, serpentinitos e kimberlitos).
- A correlação positiva muito forte entre o cálcio e o estrôncio indica a presença de rochas carbonáticas.
- Observou-se uma correlação positiva entre o arsênio e o cobre, o que é bastante comum em depósitos com sulfetos, principalmente nos de ouro, com arsenopirita associada.
- Os elementos maiores, ferro e manganês, não mostraram correlações marcantes com os metais traços, com exceção do cádmio, que apresentou uma correlação positiva forte com o ferro, o que pode ser explicado pela coprecipitação do cádmio com o óxido de ferro hidratado nos sedimentos.

7.4.2 Índice de Geoacumulação

Através da aplicação do I_{geo} foi possível caracterizar as bacias que apresentaram valores anômalos devido ao enriquecimento de alguns elementos e que evidenciam contaminação por atividades antrópicas, corroborando com os resultados já discutidos anteriormente (TAB. 20 e 21).

TABELA 20
Índices de Geoacumulação para metais nos sedimentos de corrente das bacias dos rios Paraopeba e Piracicaba

I_{geo}	I_{geo} classe	Bacia do rio Paraopeba	Bacia do rio Piracicaba
> 5	6		Cd
4-5	5	Cd	Cd
3-4	4	Cd	Cd, Cr, Mn
2-3	3	As	As, Cd, Cr, Mn
1-2	2	Cd, Cr, Fe, Mn	As, Cd, Cr, Fe, Mn, Ni
0-1	1	As, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb	As, Cr, Cu, Fe, Mn, Zn
< 0	0	As, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn	As, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn

Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Li	Mg	Mn	Mo	Ni	P	Pb	Sn	Sr	Ti	V	W	Zn	
1	0,04	-0,03	0,39	0,15	0,12	-0,24	0,16	0,16	0,09	-0,28	0,20	0,11	0,04	0,06	0,13	0,17	0,28	0,27	0,25	0,24	0,39	0,15	0,25	Al
	1	-0,08	-0,16	-0,04	0,06	-0,06	0,18	0,14	0,72	-0,14	0,07	0,09	-0,17	0,59	0,19	0,31	0,19	-0,06	0,10	-0,05	0,15	0,65	0,27	As
		1	0,35	0,01	-0,05	0,35	0,12	0,01	-0,10	0,63	-0,13	0,16	0,18	-0,12	0,01	0,15	0,12	-0,01	0,07	-0,06	-0,09	-0,08	0,01	B
			1	0,32	0,05	0,22	0,05	-0,02	-0,01	0,42	0,14	-0,01	0,53	-0,07	0,02	0,15	0,29	0,05	0,34	0,40	0,11	-0,09	0,01	Ba
				1	0,11	0,31	-0,13	-0,13	-0,09	0,25	0,13	-0,05	0,28	-0,13	-0,15	0,16	0,45	0,52	0,15	0,60	0,13	-0,14	-0,06	Be
					1	-0,03	-0,01	-0,08	0,14	-0,07	0,06	0,08	0,08	0,03	-0,05	0,43	0,10	0,23	0,87	0,12	0,05	0,16	0,41	Ca
						1	-0,09	-0,10	-0,11	0,81	-0,12	-0,18	0,41	-0,20	-0,05	-0,07	0,28	0,08	0,01	-0,02	-0,21	-0,26	-0,05	Cd
							1	0,89	0,32	-0,05	0,35	0,69	0,08	0,16	0,86	0,35	0,33	-0,03	0,03	0,08	0,73	0,31	0,56	Co
								1	0,22	-0,08	0,21	0,65	0,02	0,07	0,90	0,16	0,24	0,03	-0,08	0,12	0,79	0,21	0,46	Cr
									1	-0,17	0,14	0,14	-0,05	0,90	0,29	0,25	0,10	-0,13	0,22	-0,05	0,23	0,64	0,45	Cu
										1	-0,09	-0,06	0,32	-0,23	-0,09	-0,04	0,19	0,11	0,04	0,05	-0,19	-0,25	-0,14	Fe
											1	0,24	0,14	0,04	0,32	0,26	0,15	-0,02	0,10	0,02	0,22	0,14	0,24	Li
												1	0,06	0,02	0,66	0,23	0,04	0,10	0,04	0,11	0,43	0,21	0,39	Mg
													1	-0,13	0,08	0,06	0,08	-0,09	0,14	0,25	-0,01	-0,20	-0,03	Mn
														1	0,16	0,07	0,00	-0,11	0,08	-0,17	0,04	0,59	0,20	Mo
															1	0,19	0,18	0,03	-0,04	0,04	0,62	0,28	0,45	Ni
																1	0,41	0,03	0,53	0,08	0,32	0,41	0,59	P
																	1	0,28	0,23	0,19	0,39	0,10	0,41	Pb
																		1	0,14	0,35	0,16	-0,08	-0,12	Sn
																			1	0,18	0,09	0,19	0,48	Sr
																				1	0,42	-0,12	-0,06	Ti
																					1	0,21	0,50	V
																						1	0,47	W
																							1	Zn

■ forte a muito forte ($r > 0,80$) ■ fraca ($r 0,30 - 0,49$)
■ moderada ($r = 0,50 - 0,79$) ■ muito fraca ($r < 0,30$)

FIGURA 3 - Matriz de correlação dos resultados analíticos de sedimentos de corrente.

TABELA 21
Índices de Geoacumulação para metais nos sedimentos de corrente na bacia do rio das Velhas

I_{geo}	Classes	Rio das Velhas	Margem direita	Margem esquerda
> 5	6			As
4-5	5	Cd	Cd	As, Cd
3-4	4	Cd	As, Cd	As, Cd, Cu, Mn
2-3	3	As, Cd	As, Cd	As, Cr, Mn
1-2	2	Mn	As, Cd, Cr, Mn	As, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni
0-1	1	Cr, Fe, Mn	As, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni	As, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn
< 0	0	As, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn	As, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn	As, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn

Esses resultados apontaram que:

- Todas as bacias estudadas mostraram intensas interferências antrópicas, principalmente em relação ao cádmio e ao arsênio.
- Os valores do I_{geo} para o cádmio foram mais elevados nos sedimentos da bacia do rio Piracicaba, enquanto que para o arsênio, os valores mais elevados apareceram na bacia do rio das Velhas, em especial nos afluentes da margem esquerda.
- Os valores dos índices de geoacumulação para o ferro ficaram entre 2 e 0, classificando os sedimentos como moderadamente poluídos a não poluídos, em termos desse elemento.
- Os valores dos índices de geoacumulação mostraram que a presença do manganês nos sedimentos de corrente na área do projeto APA Sul RMBH é mais impactante do que a do ferro, que é um elemento em abundância nessa região. Os sedimentos foram classificados como fortemente poluídos a não poluídos em relação ao manganês. Os valores de I_{geo} mais elevados ocorreram nos córregos do Vieira, Maria Casemira e Mato Grosso, todos na bacia do rio Piracicaba.
- Os valores do I_{geo} para o cromo classificaram os sedimentos como moderadamente a fortemente poluídos, sendo o valor mais elevado na bacia do rio Piracicaba.
- Para os elementos traços cobre e níquel, os valores do I_{geo} classificaram os sedimentos como moderadamente poluídos a não poluídos, em todas as bacias.
- Em relação ao zinco e ao chumbo, os índices de geoacumulação mostraram valores inferiores a zero, indicando que os sedimentos de corrente da região do projeto não estão poluídos antropicamente em relação a esses elementos.

Os histogramas exibidos nas [FIG. 4 e 5](#) foram construídos com o objetivo de complementar as informações fornecidas pelo I_{geo} . Foram utilizadas as médias aritméticas das concentrações dos elementos para cada bacia estudada. Os resultados apresentados através dos histogramas ressaltaram que os afluentes da margem esquerda do rio das Velhas estão mais impactados em relação ao arsênio, cromo e cobre, apesar do maior valor do índice de geoacumulação em relação ao cromo ter sido identificado na bacia do rio Piracicaba. Enquanto o manganês está presente em todas as bacias, a bacia do rio Piracicaba está mais enriquecida em ferro.

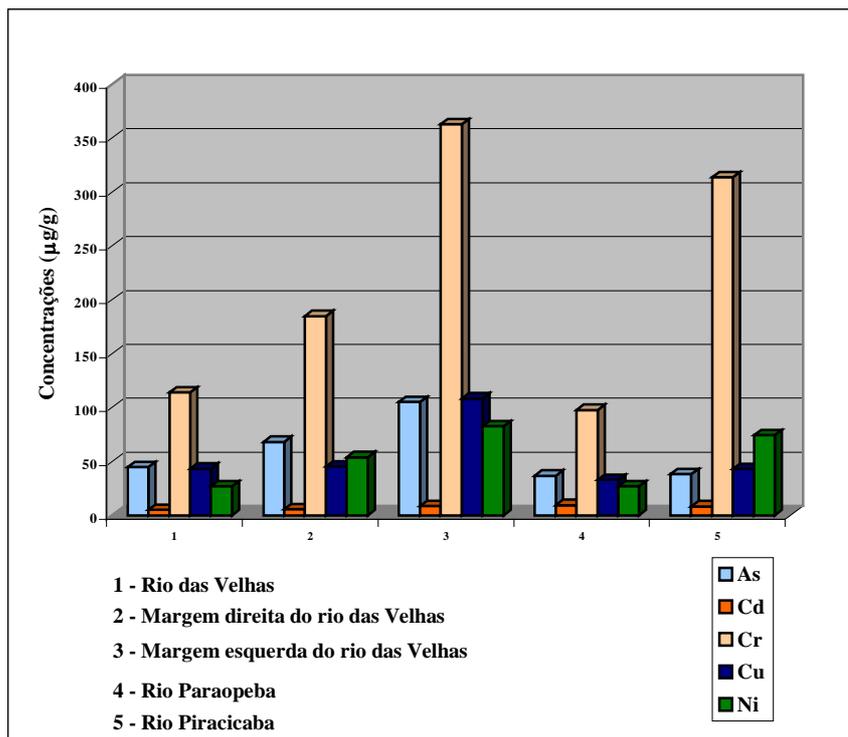


FIGURA 4 - Médias aritméticas das concentrações dos elementos-traço nos sedimentos de corrente por bacia hidrográfica.

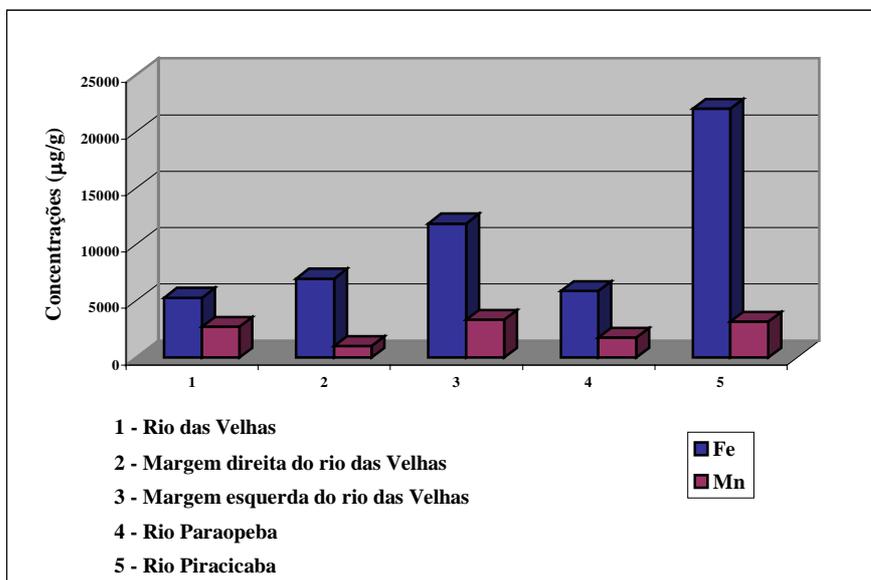


FIGURA 5 - Médias aritméticas das concentrações dos elementos maiores nos sedimentos de corrente por bacia hidrográfica.

As minerações de ferro e ouro são as atividades mais importantes na região, tanto pela expressão econômica como ambiental, esta última caracterizada pela geração de cavas profundas, de depósitos de estéril e de rejeitos, bem como de barragem de contenção de resíduos sólidos que quando mal controladas, podem produzir grande quantidade de sedimentos, os quais são transportados para os cursos d'água. Como a exploração e o beneficiamento do minério de ferro e de outros bens minerais são executados a céu aberto, há grande possibilidade de liberação para a atmosfera de material particulado enriquecido em ferro, manganês e outros metais, que é depositado na região ao entorno das minas e/ou transportado pelos ventos até longas distâncias, suficiente para elevar os teores normais desses elementos nos cursos d'água.

De um modo geral, os sedimentos de corrente das drenagens da região do projeto APA SUL apresentaram valores elevados de ferro e manganês, o que mostra a influência da litologia e da composição do material de cobertura na geologia do Quadrilátero Ferrífero, mas também a interferência antrópica, pois as atividades de exploração e de beneficiamento do minério de ferro podem resultar no carreamento dos sedimentos mais finos para os leitos dos rios e córregos, aumentando assim as concentrações desses elementos nos ecossistemas aquáticos.

Em relação aos elementos traços, os resultados do estudo mostraram que somente poucas amostras de água e a maioria das amostras de sedimentos de corrente apresentaram elevadas concentrações de arsênio, cádmio, cromo, cobre e níquel. Em geral, a presença de ferro e manganês no ambiente aquático favorece a adsorção dos metais traços nos óxidos e hidróxidos secundários dos sedimentos, favorecida pelo pH próximo à neutralidade (pH 7).

As concentrações mais elevadas de arsênio, na área do projeto APA Sul RMBH, ocorrem nos ribeirões Mina d'Água e Água Suja e nos córregos Paianas e Sem Nome (que drenam o aterro de lixo de Itabirito), indicando grande contribuição das atividades antropogênicas. A presença de arsênio no ribeirão Água Suja deve-se, provavelmente, à existência de passivos de mineração na área de sua microbacia.

A presença de cádmio na maioria das amostras de sedimentos de corrente, em todas as bacias estudadas, é geoquimicamente explicada pela forte correlação positiva entre o ferro e cádmio. O cádmio ocorre, naturalmente, em baixíssimas concentrações na crosta terrestre, em geral associado ao zinco nos depósitos minerais. No entanto, esse elemento pode ser incorporado aos ecossistemas aquáticos através das atividades antropogênicas. É amplamente utilizado para revestimento de materiais, em pigmentos de tinta, na indústria plástica, em baterias, em soldas, em lubrificantes e em acessórios fotográficos, estando presente ainda em resíduos de pneus, no óleo diesel, em fertilizantes e no lixo urbano.

Na área do projeto APA Sul RMBH, o cádmio pode ocorrer associado ao zinco. Porém, tendo em vista a dispersão, de maneira quase homogênea, das elevadas concentrações de cádmio, é provável que a combustão do óleo diesel amplamente utilizado nos veículos para transportar minérios, esteja contribuindo para o aumento dos teores de cádmio na região. A combustão do óleo diesel gera gases e resíduos particulados enriquecidos em cádmio, que são lançados na atmosfera, transportados pelos ventos e depositados nos solos e corpos d'água (DIAS e ALLEONI, 1999).

Mattos (1998) detectou elevados teores de cádmio no rio das Velhas, nas áreas entre Honório Bicalho e Bela Fama e entre Raposos e Nova Lima e no ribeirão Água Suja, e atribuiu como fonte, as atividades de mineração. A COPASA também identificou elevadas concentrações de cádmio, em alguns pontos de monitoramento da água.

Os elevados teores de cobre, cromo e níquel nos sedimentos de corrente são resultado, principalmente, do intemperismo das rochas máficas-ultramáficas que ocorrem na região, mas também podem estar associados com as atividades de mineração e até mesmo com as atividades industriais, em especial no córrego Carioca, na bacia do rio das Velhas.

Para uma melhor visualização da dispersão daqueles elementos químicos que foram considerados mais perigosos à saúde humana, como ainda, da distribuição das áreas impactadas na área do projeto APA Sul RMBH, foram elaborados mapas por elemento químico, tanto em água como nos sedimentos de corrente. Esses mapas encontram-se como apêndices do relatório ([APÊNDICES B a Q](#)).

8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados dos estudos geoquímicos no Projeto APA Sul RMBH mostraram que os sedimentos de corrente dos corpos d'água em áreas com intensa atividade de mineração estão bem mais contaminados, especialmente por cádmio, arsênio, ferro e manganês, comparados com as áreas sem esse tipo de atividade. O arsênio e o cádmio são os elementos tóxicos que merecem maior atenção, principalmente, se os mananciais forem utilizados constantemente pela população para consumo, irrigação de hortaliças, dessedentação de gado ou até mesmo para pesca e recreação.

Além das atividades de mineração, os principais fatores causadores de impactos das águas superficiais e dos sedimentos na área do projeto APA Sul RMBH são os esgotos domésticos e o lixo, que são conseqüências da ocupação urbana desordenada.

Em relação aos depósitos de resíduos sólidos urbanos, verificou-se que em Itabirito, no sopé da área onde está instalado o aterro de lixo, existe uma comunidade de baixa renda. Os córregos Paianas e Sem Nome, que drenam essa região mostraram elevadas concentrações de arsênio, cádmio e cromo nos sedimentos de corrente, o que revela o risco de exposição dessa população a esses elementos tóxicos. O aterro de lixo de Ibirité está localizado nas cabeceiras do córrego Taboões, sendo que na região de drenagem de sua microbacia as águas são utilizadas para irrigação de hortaliças. Nesses casos é importante estabelecer o controle da poluição gerada pelo lixo, com um programa de monitoramento das águas superficiais e com abertura de poços próximos aos aterros para estudar a evolução da pluma de chorume que se movimenta em direção aos cursos d'água e que pode estar contaminando suas águas e sedimentos.

Para uma avaliação mais completa sobre o impacto da contaminação dos ecossistemas aquáticos em relação à saúde humana é necessário dar continuidade aos estudos geoquímicos na área do Quadrilátero Ferrífero. É importante desenvolver estudos sobre a biodisponibilidade dos metais, isto é, quantificar a fração de cada elemento que está liberada no ecossistema para ser prontamente absorvida pelos organismos vivos. Para verificação da exposição humana aos elementos tóxicos biodisponíveis é necessário realizar um monitoramento biológico nas populações consideradas expostas, como o que foi realizado no Quadrilátero Ferrífero por [Matschullat et al.](#) (2000). Esses pesquisadores encontraram crianças com elevados teores de arsênio na urina, no município de Nova Lima e em Brumal, no município de Santa Bárbara. Esse resultado foi considerado como influência da mineração de ouro nessas áreas.

É importante, também, o respeito às legislações ambientais e a fiscalização eficiente por parte dos órgãos competentes, principalmente no que diz respeito aos passivos ambientais, às obras de contenção dos sedimentos gerados e aos lançamentos de esgotos sanitários e efluentes industriais diretamente nas redes de drenagens.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALTAZAR,O.F. ; RAPOSO,F.O. **Projeto Barbacena: Quadrícula Mariana – SF.23-X-B-I**, escala 1:100.000, texto explicativo. Brasília: MME/DNPM/CPRM, 1993, 183p.

BORBA,R.P. **Arsênio em ambiente superficial: processos geoquímicos naturais e antropogênicos em uma área de mineração aurífera**. 2002. 112p. Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de Geociências. Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2002.

BORBA,R.P.; FIGUEIREDO,B.R.; RAWLINS,B.; MATSCHULLAT,J. Arsenic in water and sediment in the Iron Quadrangle, state of Minas Gerais, Brazil. **Rev. Bras. de Geoc.**, São Paulo/SP, v.30, n.3, p.554-557, 2000.

CCME – Canadian Council of Ministers of the Environment. Canadian Environmental Quality Guidelines. Summary tables. Disponível em: <http://www.ccme.ca/assets/pdf/e1_06.pdf> Atualizado em dezembro de 2003. Acesso em: 15 março 2004.

Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC. **Uso racional e integrado dos recursos hídricos da Bacia do rio das Velhas**: Região de Estudos II. v.I, Belo Horizonte, 1978, 157p.

_____. **Uso racional e integrado dos recursos hídricos da Bacia do rio das Velhas**: Região de Estudos II. v.II, Belo Horizonte, 1978a. 36 p.

_____. **Uso racional e integrado dos recursos hídricos da bacia do rio Paraopeba**: Região de Estudos I. Belo Horizonte, 1974. 120p.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 20. Em 18 junho de 1986. Brasília. 1986. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/frlegis.html>>. Acesso em: 04 maio 2001.

COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental. Deliberação Normativa COPAM nº 10. Em 16 de dezembro de 1986. Belo Horizonte. 1986. Disponível em: <http://www.ief.mg.gov/copam/normas/dh_copam10-86.pdf>. Acesso em: 10 junho 2003.

CUNHA,F.G.; MACHADO,G.J.; MORAIS,E.C.; RAMOS, A.J.A. **Levantamento geoquímico do Estado do Rio de Janeiro**. Brasília:CPRM, 2000. 42p.

D'AGUILA,P.S. **Águas subterrâneas**. Rio de Janeiro/RJ. FIOCRUZ/FUNASA, 2003.28p.

DIAS,N.M.P.; ALLEONI,L.R.F. **Efeitos do pH na retenção de cádmio em solos tropicais**. Meio Ambiente 99. Disponível em: <<http://umweltprogramme.de/meioambiente99/tema03/dias/text.html>>. Acesso em: 04 maio 2004.

ENCICLOPÉDIA dos Municípios Mineiros: Minas. Belo Horizonte: Armazém de Idéias, 1998. v. 1.

FORSTNER,U. Assessment of metal pollution in rivers and estuaries. In: THORNTON,I. Applied environmental geochemistry. New York, Academic Press, 1983. p.395-423.

Instituto Mineiro de Gestão das Águas/Fundação Estadual do Meio Ambiente IGAM/FEAM. **Qualidade das Águas Superficiais do Estado de Minas Gerais em 2000**. Projeto Águas de Minas Gerais. Monitoramento das Águas Superficiais do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, IGAM/FEAM, 2001. 346p.

_____. **Qualidade das Águas Superficiais do Estado de Minas Gerais em 2001**. Projeto Águas de Minas Gerais. Monitoramento das Águas Superficiais do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, IGAM/FEAM, 2002. Disponível em <<http://www.feam.br/monitora.htm>>. Acesso em 19/11/2002.

_____. **Qualidade das Águas Superficiais do Estado de Minas Gerais em 2002**. Projeto Águas de Minas Gerais. Monitoramento das Águas Superficiais do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, IGAM/FEAM, 2003. Disponível em <<http://www.feam.br/monitora.htm>>. Acesso em 09/01/2004.

_____. **PNMA II – MG. Alto Rio das Velhas**. Belo Horizonte, IGAM/FEAM, 2002. Disponível em <<http://www.igam.mg.gov/aguas/htmls/downloads.htm>>. Acesso em 09/08/2003.

MATSCHULLAT,J.; BORBA,R.P.; DESCHAMPS,E.; FIGUEREDO,B.R.; GABRIO,T.; SCHWENK,M. Human and environmental contamination in the Iron Quadrangle, Brazil. **Applied Geochemistry**, n.15, p.193-202, 2000.

MATTOS,A.R. **Índice de qualidade de águas para bacia do Rio das Velhas**: Aspectos metodológicos e avaliação qualitativa do ambiente. 1998. 94p. Tese (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 1998.

MELLO,C.A.B.; VASCONCELOS,G.C. **As águas do rio Paraíba do Sul: uma análise de tendências dos elementos e das substâncias**. In:BIZZERRIL,C.R.S.F.; ARAÚJO,L.M.N; TOSIN,P.C. Contribuição ao conhecimento da bacia do rio Paraíba do Sul. Coletânea de Estudos. Rio de Janeiro: ANEEL/CPRM, p.55-73. 1998.

OLIVEIRA,J.J.C.; RIBEIRO,J.H.; SOUSA,H.A. Projeto Geoquímica do Quadrilátero Ferrífero. Levantamento orientativo e regional. Relatório final. Texto e ilustrações. Volume I. CPRM/DNPM. Belo Horizonte, 1979.

TUREKIAN,K.; WEDEPOHL,K.H. Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust. *Geol. Soc. Amer. Bull.* vol. 72, p.641-664, 1961.

**Belo Horizonte
2005**



Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral
Ministério de Minas e Energia

