



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**



TESE DE DOUTORADO

**CONTRIBUIÇÕES NATURAIS E ANTROPOGÊNICAS PARA
A CONCENTRAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE METAIS
PESADOS EM ÁGUA SUPERFICIAL E SEDIMENTO DE
CORRENTE NA BACIA DO RIO DO FORMOSO, MUNICÍPIO
DE BURITIZEIRO - MG**

AUTOR: Hernando Baggio Filho

ORIENTAÇÃO: Prof. Dr. Adolf Heinrich Horn

BELO HORIZONTE
26/09/2008

Hernando Baggio Filho

CONTRIBUIÇÕES NATURAIS E ANTROPOGÊNICAS PARA A
CONCENTRAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE METAIS PESADOS EM ÁGUA
SUPERFICIAL E SEDIMENTO DE CORRENTE NA BACIA DO RIO DO
FORMOSO, MUNICÍPIO DE BURITIZEIRO – MG.

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Geologia do Instituto de Geociências da
Universidade Federal de Minas Gerais como requisito
para obtenção do título de Doutor em Geologia. Área de
concentração: Geologia Econômica e Aplicada.

Orientador: Prof. Dr. Adolf Heinrich Horn

BELO HORIZONTE

26/09/2008

B144c Baggio Filho, Hernando.

2008

Contribuições naturais e antropogênicas para a concentração e distribuição de metais pesados em água superficial e sedimento de corrente na Bacia do Rio do Formoso, município de Buritizeiro, MG [manuscrito] / Hernando Baggio Filho. – 2008.

xvi, 216 f. : il. mapas, fots., gráfs. color; enc.

Orientador: Adolf Heinrich Horn.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2008.

Área de concentração: Geologia Econômica e Aplicada.

Bibliografia: f. 171-180.

1. Água – Poluição – Buritizeiro (MG) – Teses. 2. Metais pesados – Teses. 3. Formoso, Rio da, Bacia (MG)– Teses. I. Horn, Adolf Heinrich. II. Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. III. Título.

CDU: 55(815.1)

Tese defendida e aprovada, em 26 de setembro de 2008, pela Banca Examinadora constituída pelos professores:



Prof. Dr. Adolf Heinrich Horn - Orientador



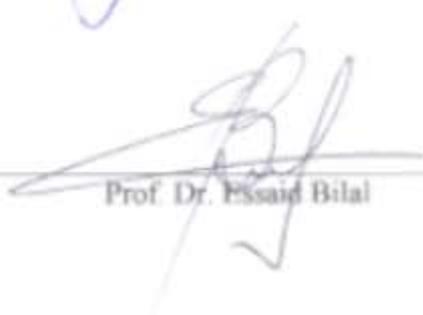
Profa. Dra. Tânia Mara Dussin



Profa. Dra. Maria Giovana Parizzi



Prof. Dr. Jorge Carvalho de Lena



Prof. Dr. Essaid Bilal

AGRADECIMENTOS

Aos meus familiares, pais e irmãos, pelo incentivo e apoio mesmo que distante.

À minha esposa, pelo apoio integral nos momentos mais difíceis desta jornada.

À minha filha, pelos finais de semanas não compartilhados.

Agradeço especialmente ao amigo, geólogo e professor Dr. Adolf Heinrich Horn, pela amizade, orientação e disponibilidade.

Aos professores Dr. Jorge Carvalho de Lena e Dra. Maria Giovana Parizzi, pelas excelentes sugestões quando da qualificação deste trabalho.

Agradeço aos professores membros da banca examinadora da defesa desta tese.

Ao Instituto de Geociências IGC/UFMG pós-graduação em Geologia, pelo apoio e incentivo no decorrer da pesquisa.

Ao Deutscher Akademischer Austauschdienst – DAAD, pela bolsa de pesquisa de curta duração na Universität Leipzig/Institut für Geographie.

À Fundação de Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, pelo apoio e incentivos financeiros.

À Universidade Estadual de Montes Claros – UNIMONTES, pelo apoio e incentivo a esta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Walter de Brito, do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN, pelas análises mineralógicas.

Ao técnico Willian Fonseca de Figueiredo Santos, do CPMTC/IGC/UFMG, pelas análises químicas.

Agradecimento especial aos meus alunos Wallace Trindade, Elizene Veloso e Natália Mendonça, pela ajuda nas campanhas de campo.

E a todos que de certa forma contribuíram para a execução desta pesquisa.

"A vereda, com toda a razão, muito valiosa, já está pensando que dela vou me esquecer. Não poderia de me lembrar da mãe de minhas águas, do mais belo espetáculo cênico do mundo tropical, meu oásis, de maior beleza que o saariano. A ela confiei as mais nobres funções. Eu a dotei de espécies não encontradas em nenhum outro subsistema sob o meu comando, como o buritizeiro, a palmeira providencial do sertão, pois dela tudo se tira tudo se faz. É a guardadora de água e de alimentos frescos para meus bichos durante as quatro estações, defendendo-os também das ardências do fogo natural ou ateado que, no esconder das chuvas, flameja e crepita na macega seca de meus gerais, mas com muito respeito pelo úmido da vereda. Ela é meu santuário."

[Ivo da Chagas]

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	I
Epígrafe.....	II
Sumário.....	III
Lista de Figura	VII
Lista de Tabelas	X
Lista de Abreviaturas	XI
Resumo.....	XII
Abstract.....	XIV

CAPITULO 1: INTRODUÇÃO..... 1

1.1. Problemática Ambiental	7
1.2. Estudos Prévios	8
1.3. Objetivo Geral	9
1.4. Objetivos Específicos	10

CAPITULO 2: CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DA PESQUISA..... 11

2.1. Localização.....	11
2.2. Caracterização do Meio Físico	13
2.2.1. Aspectos Vegetacionais	13
2.2.2. Aspectos Climáticos	13
2.2.3. Características Geológicas	15
2.2.3.1. A Bacia do Rio do Formoso	17
2.2.3.2. Grupo Bambuí– Neoproterozóico	20
2.2.3.3. Cretáceo Inferior e Superior	21
2.2.3.4. Cenozóico	24
2.2.4. Características Geomorfológicas.....	26
2.2.4.1. Superfície Tabular – Unidades de Chapadas - Cretáceo Superior	29
2.2.4.2. Unidades de Colinas – Cretáceo Superior e Neoproterozóico	31
2.2.4.3. Planície Aluvial Unidades de Vales e Terraços Quaternários	34
2.2.4.4. Declividade	37
2.2.4.5. Classes de Dissecação	39
2.2.5. Solos	42
2.2.6. Características Hidrográficas: Origem e Significado da Rede Hidrográfica Atual.	45
2.2.6.1. Localização e Características da Bacia de Drenagem do rio do Formoso.....	47
2.2.6.2. Dinâmica do Escoamento Fluvial e Tipos de Fluxos.....	51
2.2.6.3. Tipologia do Canal e Padrão de Drenagem	52
2.2.6.4. Transporte Fluvial de Sedimentos.....	54
2.2.7. Uso e Ocupação do Solo	57

<u>CAPÍTULO 3: METODOLOGIA, ETAPAS, MATERIAIS E TÉCNICAS.....</u>	61
3.1. Metodologia	61
3.2. Metodologia e Etapas	62
3.2.1. A Primeira Etapa.....	63
3.2.2. A Segunda Etapa	65
3.2.3. A Terceira Etapa	66
3.3 Localização dos Pontos de Amostragem de Sedimentos de Corrente e Fundo.....	66
3.3.1. Frequência, Coleta e Preservação das Amostras de Sedimentos	68
3.3.2. Procedimento Analítico para Sedimento	68
3.4. Localização dos Pontos de Amostragem de Água	72
3.4.1 Frequência, Coleta e Preservação das Amostras de Água Superficial.....	72
3.4.2. Levantamento dos Parâmetros Físico-químicos da Água Superficial.....	73
3.4.3. Levantamento da Água Superficial para Análises Químicas de Metais Pesados....	73
3.5. Localização dos Pontos de Amostragem de Rochas.....	74
3.5.1. Frequência, Coleta e Transporte das Amostras de Rochas	75
3.5.2. Levantamento dos Litotipos para Análise dos Elementos Menores	76
3.6. Tratamento dos Dados e Estruturação.....	77
<u>CAPÍTULO 4: METAIS PESADOS NO MEIO AMBIENTE</u>	78
4.1. Contextualização e Características dos Metais Investigados.....	78
4.2. Especificações dos Metais Pesados Investigados.....	83
4.3. Metais Pesados nos Sedimentos e Água Superficial.....	95
4.4. Elementos Suporte	99
4.5. Parâmetros físico-Químicos para a Água Superficial.....	101
4.5.1. Temperatura	101
4.5.2. Potencial Hidrogeniônico	102
4.5.3. Oxigênio Dissolvido	102
4.5.4. Turbidez	103
4.5.5. Condutividade Elétrica.....	103
<u>CAPÍTULO 5 :INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS DADOS DE CAMPO E LABORATÓRIO</u>	104
5.1. Valores dos Parâmetros Físico-Químicos nas Águas do rio do Formoso.....	104
5.2. Valores do Potencial Hidrogeniônico	104
5.3. Oxigênio Dissolvido	106
5.4. Condutividade Elétrica.....	107
5.5. Turbidez	109
5.6. Temperatura	111
5.7. Concentração dos Metais Pesados de Suporte na Água Superficial do rio do Formoso....	112
5.7.1. Ferro.....	112
5.7.2. Alumínio	114
5.7.3. Manganês	116
5.8 - Concentração de Metais Pesados nas Águas Superficiais do rio do Formoso.....	118
5.8.1. Cobre	118
5.8.2. Cádmio.....	120

5.8.3. Cromo	122
5.8.4. Níquel	123
5.8.5. Chumbo	125
5.8.6. Zinco	126
5.9. Dados Analíticos Físico-químicos nos Sedimentos	127
5.9.1. Características dos Sedimentos.....	127
5.9.2. Cor dos Sedimentos.....	128
5.9.3. Análise Mineralógica dos Sedimentos	128
5.9.4. Valores do Potencial Hidrogeniônico	130
5.10. Concentração e Distribuição dos Metais Pesados Seleccionados em Amostras de Sedimentos.....	130
5.10.1. Cobre.....	130
5.10.2. Cádmio	134
5.10.3. Cromo	136
5.10.4. Níquel	138
5.10.5. Chumbo	141
5.10.6. Zinco	143
<u>CAPÍTULO 6: RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	146
6.1. Avaliação da Amostragem para a Água Superficial.....	146
6.2. Avaliação da Amostragem para Sedimentos de Corrente e Fundo.....	155
<u>CAPÍTULO 7 : DETERMINAÇÃO E AVALIAÇÃO À PREDISPOSIÇÃO AO RISCO AMBIENTAL NA BACIA DO RIO DO FORMOSO</u>	161
7.1. A Bacia do rio Formoso.....	161
<u>CAPÍTULO 8: CONCLUSÕES</u>	167
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	171
ANEXO I - Tabelas com resultados geoquímicos das amostras de água e sedimentos coletas na área da pesquisa.....	181
ANEXO II – Tabela com coordenadas dos pontos amostrados	185
ANEXO III – Resolução nº 357 – CONAMA	187
ANEXO IV – Resolução nº 344 - CONAMA	193
ANEXO V – Tabela com condições de operação do aparelho – ICP-OES.....	204
ANEXO VI – Tabela com os resultados geoquímicos dos litotipos.....	206
ANEXO VII – Tabela com as variáveis geoambientais.....	208
ANEXO VIII – Tabela com as especificações técnicas dos agrotóxicos.....	211

ANEXO IX – Mapa com pontos de amostragem para água, sedimento e rochas..... 214

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema Mostrando os Compartimentos Ambientais e suas Interligações.....	1
Figura 2: Mapa de Localização da Bacia do rio Formoso.....	12
Figura 3: Gráfico1 – Precipitação Média Anual do Município de Buritizeiro-MG.....	14
Figura 4: Gráfico 2 –Precipitação Média Anual na Bacia do rio do Formoso-MG	14
Figura 5: Mapa Geológico do Cráton do São Francisco	16
Figura 6: Coluna estratigráfica da Bacia do rio do Formoso-MG.....	18
Figura 7: Mapa geológico da bacia do rio do Formoso.....	19
Figura 8: Afloramento da Formação Três Marias.....	21
Figura 9: Conglomerado fluvial.....	22
Figura 10: Afloramento da Formação Três Barras.....	23
Figura 11: Afloramento rochoso da Formação Capacete – Grupo Mata da Corda.....	24
Figura 12: Rochas vulcânicas e vulcanoclásticas do Grupo Mata da Corda.....	25
Figura 13: Sedimentos aluvionares areno-argilo-siltosos.....	26
Figura 14: Mapa geomorfológico da Bacia do Formoso.....	28
Figura 15: Superfície Tabular representada pelas Unidades de Chapadas.....	30
Figura 16: Borda de escarpa.....	31
Figura 17: Colinas convexas.....	32
Figura 18: Seqüência de morrotes.....	32
Figura 19: Superfície Mata da Corda.....	33
Figura 20: Material alterado da Fm Capacete.....	33
Figura 21: Colinas Convexas da depressão Neoproterozóica.....	34
Figura 22: Seixos envolvidos por uma matriz areno-argilo-siltosa.....	35
Figura 23: Depressão do rio do Formoso.....	35
Figura 24: Vertente.....	36
Figura 25: Mapa clinográfico.....	38
Figura 26: Mapa de dissecação.....	40
Figura 27: Mapa com as principais classes de solos da bacia do rio do Formoso.....	44
Figura 28: Mapa da rede de drenagem da bacia do rio do Formoso.....	48
Figura 29: Modelagem 3D do segmento Alto curso do rio do Formoso.....	50

Figura 30: Modelagem 3D do segmento Médio curso do rio do Formoso.....	50
Figura 31: Modelagem 3D do segmento Baixo curso do rio do Formoso.....	51
Figura 32: Fluxo Turbulento de Corrente e Fluxo Turbulento Encachoeirado.....	52
Figura 33: Segmento médio – rupturas de declive.....	53
Figura 34: Solo Aluvial/Hidromórfico, Plintossolos e material grosseiro.....	56
Figura 35: Mapa de uso do solo – 1980.....	59
Figura 36: Mapa de uso do solo – 2008.....	60
Figura 37: Esquema geral apresentando as etapas metodológicas.....	62
Figura 38: Pontos de Amostragens da Bacia do Formoso.....	67
Figura 39: Organograma – sedimento de corrente/fundo.....	69
Figura 40: Organograma – água superficial.....	74
Figura 41: Organograma – litotipos.....	76
Figura 42: Gráfico - pH e perfil geológico longitudinal do rio do Formoso.....	105
Figura 43: Gráfico – Oxigênio Dissolvido.....	107
Figura 44: Gráfico – Condutividade elétrica.....	108
Figura 45: Gráfico – Turbidez.....	110
Figura 46: Gráfico – Temperatura.....	111
Figura 47: Gráfico – Concentração de Ferro dissolvidos na água.....	113
Figura 48: Gráfico – Concentração de Alumínio dissolvidos na água.....	115
Figura 49: Gráfico – Concentração de Manganês dissolvidos na água.....	117
Figura 50: Gráfico – Concentração de Cobre nas águas superficiais.....	118
Figura 51: Gráfico – Concentração de Cádmiu nas águas superficiais.....	120
Figura 52: Gráfico – Concentração de Cromo nas águas superficiais.....	122
Figura 53: Gráfico – Concentração de Níquel nas águas superficiais.....	124
Figura 54: Gráfico – Concentração de Chumbo.....	125
Figura 55: Gráfico – Concentração de Zinco.....	126
Figura 56: Gráfico – Distribuição Teores totais de Cobre nos sedimentos.....	131
Figura 57: Gráfico – Distribuição Teores totais de Cádmiu nos sedimentos.....	135
Figura 58: Gráfico – Distribuição Teores totais de Cromo nos sedimentos.....	137
Figura 59: Gráfico – Distribuição Teores Totais de Níquel nos sedimentos.....	140
Figura 60: Gráfico - Distribuição Teores Totais de Chumbo nos sedimentos.....	142

Figura 61: Gráfico - Distribuição Teores Totais de Zinco nos sedimentos.....	144
Figura 62: Gráfico - Correlação entre a condutividade elétrica e a turbidez.....	147
Figura 63: Gráfico - Correlação entre os elementos de suporte e oxigênio dissolvido.....	148
Figura 64: Gráfico - Correlação entre os elementos de suporte Fe, Al e Mn e o pH.....	150
Figura 65: Gráfico - Correlação dos metais pesados com o pH.....	151
Figura 66: Gráfico - Correlação entre os seis metais pesados e a seção geológica.....	158
Figura 67: Mapa de vulnerabilidade da Bacia do rio Formoso.....	165

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Metais Pesados e os Processos Poluentes	80
Tabela 2: Ordem de Precipitação Metais Aumento do pH	102
Tabela 3: Composição mineralógica das amostras de sedimentos de corrente	129
Tabela 4: Valores de Referências para Cobre - Arenitos e Folhelhos Médio	131
Tabela 5: Referência e Concentração de Cádmio nos Litotipos.....	135
Tabela 6: Referência e Concentração de Cromo nos Litotipos	137
Tabela 7: Referência e Concentração de Níquel nos Litotipos	140
Tabela 8: Referência e Concentração de Chumbo nos Litotipos.....	142
Tabela 9: Referência e Concentração de Zinco nos Litotipos.....	144
Tabela 10: Matriz de Susceptibilidade Ambiental.....	163

LISTA DE ABREVIATURAS

Al – Alumínio

ANA - Agência Nacional de Águas

CCME - Canadian Council of Ministers of The Environment

Cd – Cádmió

CDTN/CNEN – Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear

Comissão Nacional de Energia Nuclear

CEPETC/INPE - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos– Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

CERH-MG - Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais

CETEC - Centro Tecnológico de Minas Gerais

CETESBE - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CMM - Companhia Mineira de Metais

COMIG - Companhia Mineradora do Estado de Minas Gerais

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente

COPAM - Conselho de Meio Ambiente de Minas Gerais

CPMTC - Centro de Pesquisas Manoel Teixeira da Costa

CPRM - Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais

Cr – Cromo

Cu – Cobre

FAPEMIG - Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais

Fe - Ferro

GPS - Global Positioning System

GEOSOL – Companhia e Geologia e Sondagem Ltda

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICP-AAS – Espectrometria de Absorção Atômica

ICP-OES – Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy -

Espectrômetro de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado de Argônio

IEF - Instituto Estadual de Florestas

IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas

IGC - Instituto de Geociências

Mn – Manganês

MNT – Modelagem Numérica do Terreno

NASA - National Aeronautics and Space Administration

Ni – Níquel

NPA – Núcleo de Pesquisas Ambientais

NTU – Turbidez

OD – Oxigênio Dissolvido

ONGs – Organizações não governamentais

Pb – Chumbo

PEL – Proble Effect Level

pH – Potencial Hidrogeniônico

RSTM/NASA - The Shuttle Radar Topography Mission

SAAE - Serviço Autônomo de Água e Esgoto

TCC - Trabalhos de Conclusão de Curso

TEL – Threshold Effect Level

TFSA – Terra Fina Seca ao Ar

UFPA – Universidade Federal de Lavras

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

UFSCAR – Universidade Federal de São Carlos

UNIMONTES – Universidade Estadual de Montes Claros

Zn – Zinco

Unidades

Alt/m – altitude em metros

% - Porcentagem

ppm – parte por milhão

mg/L – miligrama por litro

mg/kg – miligrama por quilo

µS/cm – micro-siemens por centímetro – condutividade elétrica

km – quilômetro

m – metro

°C – temperatura

RESUMO

O Rio do Formoso é um importante tributário do Rio São Francisco no norte do estado de Minas Gerais. Sua bacia abriga mais de 100 famílias que dependem exclusivamente dos seus recursos naturais e ambientais. Inserida no Bioma Cerrado, suas águas drenam imensos latifúndios com forte tendência agropecuária, influenciando diretamente nas características físico-químicas da água superficial e do sedimento de corrente. Tendo em vista as particularidades naturais e as características antrópicas, o estudo, avaliou a concentração e a distribuição dos metais pesados: Cu, Cd, Cr, Ni, Pb, Zn, Al, Mn e Fe, ao longo do perfil longitudinal do rio, correlacionado sua presença aos ambientes naturais e às interferências antropogênicas, inferindo sobre os riscos ambientais desses metais e sobre as restrições de uso. Coletou-se 40 amostras de água, foram analisados parâmetros de qualidade ambiental in-situ e metais totais; os resultados foram comparados à Resolução CONAMA 357/05. O estudo revelou que, em alguns pontos os níveis de Fe, Al, Mn, Cd, Cr, estão acima do recomendado pela Resolução 357/05, valores de OD, T, pH e turbidez, também se encontram acima do estabelecido. Foram coletadas 22 amostras de sedimentos, os parâmetros analisados foram Cu, Cd, Cr, Ni, Pb, Zn, a técnica química utilizada foi a extração parcial ácida, a leitura foi feita por ICP-OES, os resultados foram comparados à Resolução CONAMA 344/04. Os níveis dos metais Cd e Cr estão acima dos valores recomendados pela resolução. A caracterização mineral foi feita por difratometria de Raios-X, a análise geoquímica dos litotipos foi feita através de ICP-AAS. Na elaboração cartográfica foi utilizado o SIG-SPRING, para obtenção dos cenários naturais. A presença desses elementos na coluna d'água mostra um enriquecimento natural ao longo do perfil longitudinal, cujas fontes principais são os litotipos. Existe uma forte ligação entre as variáveis litopedológicas, a tipologia do canal fluvial e a hidrodinâmica da bacia, com a distribuição e transporte dos metais ao longo do perfil longitudinal do rio. Os níveis de concentração de Cd, Cr, Cu, Zn, Ni e Pb no compartimento água são advindos principalmente das interferências antropogênicas e de uma contribuição natural de ordem geológica. Nos sedimentos, a fração argilosa está retendo concentrações elevadas de Cd e Cr. As características morfológicas do canal fluvial e a hidrodinâmica da bacia funcionaram como um importante mecanismo para a distribuição e transporte dos metais junto aos sedimentos. O grau de susceptibilidade à contaminação por metais pesados nos ambientes naturais que compõem a bacia ficou demonstrado, através carta de predisposição ao risco ambiental. Concluiu-se que a bacia do Rio do Formoso se constitui em um ambiente natural frágil. Os vários tipos de interferências antropogênicas, em especial a agricultura comercial, contribuíram de forma marcante para a sua degradação ambiental. Os recursos hídricos e os ambientes aquáticos foram os mais afetados.

Palavras-chave: Metais pesados, água e sedimento, contribuições naturais e antropogênicas, valores orientadores, riscos ambientais.

ABSTRACT

The Formoso River is an important tributary of The São Francisco River in the North of Minas Gerais State. There are more than 100 families who live and depend exclusively on the natural and environmental resources of its basin. It is inserted in the Cerrado Biome where its waters drain large agropecuary landed estates, what directly influences the physicochemical characteristics of superficial waters and stream sediments. Taking into account the natural particularities and the anthropogenic characteristics, this study aimed to asses the concentration and distribution of heavy metals: Cu, Cd, Cr, Ni, Pb, Zn, Al, Mn, Fe, along the river longitudinal profile, correlating their presence to the natural environments and to anthropogenic interferences, inferring the environmental risks and the use restrictions of these metals. Environmental quality parameters in-situ and total heavy metals were analyzed in 40 samples of water and the results were compared to the legislation of CONAMA resolution 357/05. The research revealed that in some points the levels of Fe, Al, Mn, Cd, and Cr are over the recommended by the resolution 357/05, OD, T, pH and turbidity values are also over the established level. The Cu, Cd, Cr, Ni, Pb and Zn parameters were analyzed in 22 sediment samples using the chemical partial acid extraction technique and ICP-OES reading and the results were compared to the CONAMA resolution 344/04. It was found that the levels of Cd and Cr are above the levels recommended by this resolution. Mineral characterization was done by X-Ray diffractometry and geochemical lithotypes analysis was done by ICP-AAS. For the cartographic elaboration SIG-SPRING was used to capture natural landscapes. The presence of these elements in the water column shows a natural enrichment throughout the longitudinal profile whose main sources are the lithotypes. There is a link between the lithopedologic variable, the typology of the fluvial canal, the hydrodynamic of the basin and the distribution and transport of metals throughout the longitudinal profile of the river. The levels of concentration of Cd, Cr, Cu, Zn, Ni and Pb in the water compartment are mainly related to the anthropogenic interferences and to a natural contribution of geologic order. In sediments the argillaceous fraction is retaining high concentrations of Cd and Cr. The morphologic characteristics of the fluvial canal and the hydrodynamics of the basin have played an important role as a mechanism for the distribution and transport of metals in the sediments. The susceptibility degree of heavy metal contamination of the natural environments that constitutes the basin was demonstrated by a predisposition letter for the environmental risk. In conclusion, the basin of The Formoso River is constituted of a fragile natural environment. The varied types of anthropogenic interferences, especially the commercial agriculture, have contributed significantly for its environmental degradation. The hydric resources and the aquatic environments have been the most affected.

Key words: Heavy metals, water and stream sediments, natural and anthropogenic contributions, orienting values, environmental risks.

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

Existe uma multiplicidade de ciclos naturais envolvendo interações entre a litosfera, hidrosfera, biosfera e a atmosfera, cada um mantendo e desenvolvendo composições químicas diferenciadas (Skinner, 1986).

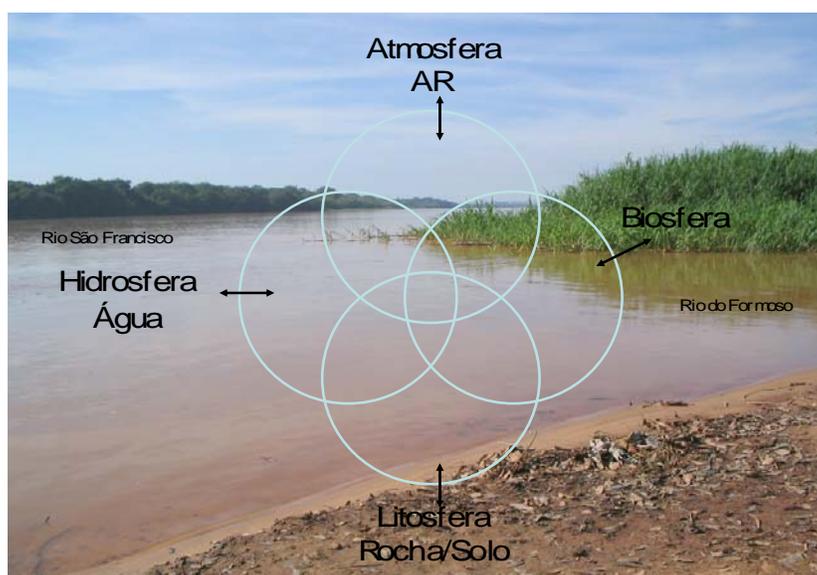


Figura 1: Esquema gráfico mostrando os compartimentos ambientais e suas interligações. Foz do Rio Formoso com o Rio São Francisco em Buritizeiro - MG.

A energia de funcionamento dos ciclos biogeoquímicos atua como transformadora e modeladora natural da paisagem terrestre. Os desequilíbrios ambientais, causados pelas ações antropogênicas nos ciclos biogeoquímicos, vêm impactando negativamente o meio físico, biológico e o próprio ser humano. Assim sendo, torna-se cada vez mais importante conhecer o impacto da intervenção humana nesses ciclos naturais para prever e remediar, ao máximo, suas conseqüências.

A dinâmica da evolução dos sistemas produtivos e o domínio sobre a tecnologia têm como conseqüência uma ampla problemática ambiental onde o meio ambiente físico e biológico se instala no cenário principal desses processos.

As questões ambientais têm sido amplamente debatidas: discute-se sobre a poluição do ar, a contaminação dos corpos hídricos, a importância do uso e preservação de sedimentos e solos, etc. Ressalta-se, entretanto, que a degradação dos recursos hídricos tem se intensificado e que a poluição e contaminação, principalmente das águas superficiais, representam uma faceta de tal processo. (Ribeiro, 2007).

Segundo Lima (2001), apesar da crença existente de que os efluentes industriais são os principais responsáveis pela degradação dos recursos hídricos, os efluentes gerados pelos esgotos domésticos ainda são os principais responsáveis pela má qualidade em que se encontram os mananciais. O mesmo autor ainda argumenta que o crescimento industrial e agrícola dos países em desenvolvimento pode alterar essa tendência – tal afirmação já é uma realidade nesta área de pesquisa. Ainda segundo Lima (2001), existem cerca de vinte elementos considerados tóxicos para a saúde humana; tais elementos contendo ligantes difusores, com macromoléculas e com ligantes presentes em membrana conferindo propriedades de bioacumulação, biomagnificação na cadeia alimentar, persistência no ambiente e distúrbios nos processos metabólicos dos seres vivos. As bioacumulações e biomagnificações transformam concentrações antes tidas por aceitadas em concentrações altamente tóxicas para o homem e para a biota. A persistência desses processos permite com que seus efeitos se dêem de forma contínua ou em longo prazo, mesmo depois de cessadas as emissões.

A contaminação por metais pesados passa a ser um objeto de investigação, tanto pela ausência de uma política ambiental – uma realidade desde a implantação dos sistemas industriais situados diretamente às margens dos cursos de água – como pelo não-tratamento destes resíduos industriais por um longo tempo.

A demanda mundial por alimentos e por biocombustíveis etílicos (cana-de-açúcar) e metílicos (soja, mamona e outras oleoginosas) têm ampliado de forma acelerada a produção de agroquímicos. No caso dos municípios de Pirapora e Buritizeiro, a presença desse novo perfil agrícola pode contribuir para a contaminação do principal eixo de drenagem regional do Rio São Francisco, através de seus inúmeros afluentes que compõem sua bacia de drenagem, em especial o Rio do Formoso.

Segundo Alloway *et al.* (1997), a agricultura é uma das maiores fontes não pontuais de poluição por metais pesados, sendo as fontes principais as impurezas em fertilizantes (Cd, Cr, Mo, Pb, U, V, Zn); os pesticidas (Cu, As, Hg, Pb, Mn, Zn); os preservativos de madeiras (As, Cu,

Cr) e os dejetos de produção de aves e porcos (Cu, Az, Zn).

A água é um recurso natural vital para os homens, animais e vegetais; proporcionando um *habitat* para um grande número de espécies da fauna, flora e espécies microscópicas, sendo todos estes organismos diretamente afetados pela composição da água.

Atualmente, a água tornou-se um problema ambiental em função da crise dos recursos hídricos ligada à disponibilidade da água doce no total global e à diversidade da economia.

O problema da contaminação das águas aparece no contexto de uma crise ambiental de proporção global. Embora diversos países despendam esforços para melhorar o uso e o manejo dos recursos hídricos, a demanda e a degradação estão aumentando cada vez mais.

Desse modo, a água, por sua importância na vida terrestre como recurso imprescindível e inquestionável para a sobrevivência humana, deve ser preservada. Diante disso, examinar suas condições na atual era da globalização capitalista é fundamental para que se possa estabelecer um modelo de gestão e gerenciamento que considere o volume de interferências antropogênicas no geoambientes.

Do ponto de vista ambiental e legal, os rios são classificados de acordo com o nível de qualidade que deve ser mantido em vista dos usos previstos para suas águas, sendo as maiores exigências centradas nas águas de reservas ecológicas e nas que se destinam ao abastecimento público. A qualidade das águas na bacia depende da natureza geológica do terreno, da cobertura vegetal e do uso e ocupação dos solos. (Lima, 2001).

A água possui várias características intrínsecas, próprias da substância, que lhe conferem o caráter qualitativo determinante da sua utilização.

Segundo Braga (2002), a contaminação dos mananciais impede seu uso para o abastecimento humano. A alteração na qualidade da água agrava o problema da sua escassez. Analisar a qualidade da água significa conhecer a relação a que ela se destina, qualidades próprias e variáveis que dependem do seu local e condições de origem. Apesar desses condicionantes naturais, têm-se estabelecidos parâmetros para análise da qualidade da água definidos em fatores físicos, químicos e biológicos.

Muitos desses indicadores da qualidade da água têm como condicionantes os processos de poluição ou contaminação, advindos das atividades antrópicas. A avaliação dessas características gera tanto índices de qualidade quanto coeficientes de toxicidade; parâmetros que têm sido fundamentais para definir o uso dos recursos hídricos, bem como a gestão ambiental.

Assim como a água, os sedimentos de rios, lagos e oceanos encontram-se poluídos, tornando-se assunto de interesse mundial. Os sedimentos estão associados a contaminantes que podem ser transportados por ressuspensão de suas próprias partículas, as quais podem se acumular em uma cadeia alimentar, afetar a biota ou, ainda, a qualidade da água no ambiente aquático. Para se avaliar o grau de contaminação do sedimento no meio aquático é necessário que antes se colete amostras, possibilitando assim que se determinem suas características químicas e físicas.

A legislação brasileira que dispõe acerca da qualificação dos corpos de água e prescreve diretrizes ambientais para seu enquadramento – bem como estabelecendo condições e padrões de lançamento de efluentes – é a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA N° 357 de 17 de março de 2005, consultada neste trabalho. Além desta, existe a Legislação Nacional, que dispõe acerca da potabilidade da água, elaborada pelo Ministério da Saúde – Portaria N° 518 de 25 de março de 2004.

No contexto estadual, em relação a recursos hídricos, o estado de Minas Gerais é bem servido no que diz respeito a leis, decretos e deliberações, esses geridos pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais (CERH-MG) e pelas portarias do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM).

No que diz respeito a sedimentos, o Brasil e o estado de Minas Gerais ainda não possuem uma legislação específica que determine o nível máximo de metais neles permitidos – a legislação brasileira vigente é direcionada apenas à água. Utilizou-se neste trabalho os valores orientadores para sedimentos estabelecidos e classificados pela Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME, 2001), sendo que os mesmos critérios foram adotados pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) – Resolução n° 344 de 25 de março de 2004 (CONAMA, 2004).

Este estudo, que contempla a coluna d'água, ou seja, os compartimentos águas superficiais e sedimentos, buscou analisar a concentração, distribuição, disponibilidade e a origem desses metais pesados; visando também inferir sobre os riscos ambientais dentro da bacia hidrográfica. Para tal, foram utilizados parâmetros de suporte físico-químicos e análises químicas.

A região analisada neste estudo vem sendo utilizada para fins agrícolas, desde a década de 60 por imensos latifúndios que introduziram a monocultura de pinus e eucaliptos. Contudo,

com a chegada dos grandes grupos capitalistas agrícolas, trazendo consigo novas agrotecnologias, a produção diversificou-se e ganhou caráter comercial. Os grãos, em especial a soja, milho, feijão, café e, atualmente, a monocultura de algodão, desenharam uma nova paisagem agrícola na região. Para dar lugar a estes grandes empreendimentos, o cerrado foi praticamente extinto, tendo sido quase toda a sua fitomassa substituída, em um primeiro momento, pelas florestas energéticas de pinus e eucalipto e, em um segundo momento, pela monocultura comercial.

A área de estudo – a bacia hidrográfica do Rio do Formoso – abriga aproximadamente 100 famílias, estas dependendo basicamente dos recursos naturais e ambientais provenientes de sua bacia.

A pressão exercida pela crescente expansão da agricultura comercial irrigada, em especial a de grãos; a utilização de práticas não adequadas às condições edafoclimáticas; a falta de práticas conservacionistas e, principalmente, o uso intenso e indiscriminado de agrotóxicos como sais de zinco, arsenatos de cobre e de chumbo e compostos metalo-orgânicos, têm elevado os níveis de contaminação do solo com esses elementos (Tiller, 1989).

Além dos solos, os recursos naturais também vêm sendo impactados negativamente e de forma acelerada – principalmente os recursos hídricos –, o que os coloca em risco permanente.

Em razão do crescente volume de evidências das transformações geoambientais, geradas pela ação do homem e pelas variáveis das componentes ambientais tais como a litologia, morfologia, morfodinâmica e fatores climáticos, que influenciam diretamente na capacidade de retenção e distribuição dos metais por seus constituintes, será diferenciada ao longo do tempo. Dessa forma a proposta da vulnerabilidade ambiental para a bacia servirá com instrumento de monitoramento ambiental no tempo e no espaço.

Faz-se necessário, portanto, a criação e atualização de um banco de dados georeferenciados sobre o meio natural e socioeconômico que irá gerar modelos indicativos sobre a vulnerabilidade ambiental da bacia em relação aos vários tipos de interferências antropogênicas, em especial a concentração e distribuição de metais pesados no compartimento água e sedimentos. Com isso também será possível levantar o que há de concreto em relação aos riscos aos geoambientes e à saúde das populações que integram a bacia.

O trabalho foi estruturado em oito capítulos. O Capítulo 1 consubstancia-se na introdução, na qual é apresentado o tema, a justificativa de sua escolha, os estudos existentes acerca do assunto na região e toda a problemática ambiental no que se refere à presença de metais

pesados na porção média da bacia hidrográfica do Rio São Francisco, seguidos dos objetivos do trabalho.

No Capítulo 2 são apresentadas a localização da área da pesquisa e suas características fisiográficas e econômicas. Esse capítulo contribui, portanto, para o conhecimento detalhado da evolução e estruturação do arcabouço geológico-estratigráfico regional e local da bacia, além de apresentar o cenário geomorfológico da área investigada – o que, associado ao arcabouço geológico da bacia, possibilitou a reconstituição das etapas geodinâmicas a que a paisagem esteve historicamente submetida durante o cenozóico. Bem como a constatação das feições de relevo e a dinâmica fluvial atual como fatores determinantes da distribuição dos metais pesados ao longo do perfil longitudinal do rio. A partir da definição do quadro litogeomórfico, desenvolveu-se a cobertura pedológica, apresentando as principais classes de fragilidade e tipos de solos. Nesse capítulo também é feita uma referência às potencialidades do meio natural e econômico e aos riscos ambientais que as envolvem. Esse capítulo constitui um elo importante para a compreensão de todo o trabalho.

O Capítulo 3 trata da descrição detalhada de todas as etapas e técnicas metodológicas utilizadas em gabinete e em laboratório. O delineamento experimental foi detalhado na forma escrita e em organogramas, o que, de certa forma, possibilitou uma compreensão mais objetiva dos procedimentos utilizados.

O Capítulo 4 é desenvolvido com base numa abordagem teórica que deu embasamento ao trabalho, como os referentes à contextualização histórica, à concentração, distribuição e contaminação e aos prováveis riscos ao ambiente e à saúde humana em relação aos metais pesados. Foram abordados nesse capítulo a utilidade dos elementos de suporte e parâmetros físico-químicos, que foram ilustrados pela sua aplicabilidade nas análises das águas superficiais e dos sedimentos.

Os resultados analíticos obtidos no capítulo anterior geraram o Capítulo 5, onde é apresentada a interpretação dos dados obtidos em laboratório e em campo, tabulados e ilustrados por meio de histogramas.

Tomando-se como referência os dados analíticos e de campo levantados no capítulo 5, foi estruturado o Capítulo 6, cujo eixo de abordagem foi a elaboração de uma síntese sobre a concentração e distribuição dos metais pesados, bem como de suas relações com os fatores naturais e antropogênicos. Por fim, tais dados foram comparados com os dados de referência

estabelecidos pelos órgãos ambientais.

O Capítulo 7 tem como eixo central a percepção atual sobre susceptibilidade ambiental. Foram levantados todos os indicadores ambientais e econômicos para a bacia, sob a forma de uma estrutura criada para facilitar a compreensão de informações por classes de predisposição ao risco ambiental. No capítulo seguinte, por fim, são apresentadas as conclusões.

O trabalho foi complementado com anexos contendo as Resoluções Ambientais que serviram como referência para o levantamento dos níveis de metais pesados em águas superficiais e sedimentos; tabelas com as concentrações de metais; valores para os parâmetros de suporte; classes de declividade e de dissecação; uso dos solos e tipo de cobertura vegetal; geoquímica dos litotipos, entre outras. Tudo isso possibilitou a estruturação gráfica do trabalho.

1.1 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL

A região de estudo encontra-se totalmente inserida na bacia hidrográfica do Rio São Francisco. A degradação ambiental dessa imensa bacia hidrográfica, aliada à grande polêmica da transposição de suas águas, tem colocado o Brasil e principalmente o estado de Minas Gerais no centro das discussões ambientais na mídia brasileira e internacional. Movimentos ambientalistas e o governo federal travam acaloradas discussões sobre os impactos ambientais da transposição e sobre os recursos financeiros destinados à revitalização de sua bacia hidrográfica, dentre outras questões. Em Minas Gerais, o Rio São Francisco abrange uma área de 233.600 km², representando 39,8% do total do estado (CETEC, 1980).

A contaminação das águas do Rio São Francisco decorre de problemas comumente encontrados na maior parte dos corpos hídricos brasileiros, tais como lançamentos de efluentes urbanos e industriais sem tratamento e contaminação de suas águas por atividades agrícolas e industriais. Todos esses impactos negativos ocorrem de forma agravante na microrregião de Pirapora.

O ano de 2005 foi marcado por um grande "acidente ambiental" que resultou na morte de várias espécies de peixes do Rio São Francisco, no segmento de Três Marias a Pirapora - MG. A partir desse episódio, vários estudos foram efetuados a fim de se investigar a causa do problema ou na tentativa de se imputar a alguém a responsabilidade pelo crime ambiental. Essa ocorrência despertou as autoridades para a necessidade de se estudar mais profunda e

interdisciplinarmente a bacia hidrográfica do Rio São Francisco no estado de Minas Gerais.

No que tange às polêmicas em torno do Rio São Francisco, outro incidente corrobora as discussões ambientais acerca da poluição das águas ao longo do segmento alto/médio curso, no que diz respeito à Companhia Mineira de Metais (CMM), atual Votorantim Metais Zinco/SA, localizada a montante da área de estudo, na cidade de Três Marias. Desde 1969, quando entrou em funcionamento, a Votorantim Metais Zinco/SA vem lançando seus efluentes diretamente nas águas do Rio São Francisco. A partir daí deu-se o início da saga da empresa – que se estende até os dias atuais –, compreendendo acusações de responsabilidade, críticas ácidas por parte dos ambientalistas, ONG's, Ministério Público Federal e Estadual e a sociedade civil em geral.

Em consequência dos fatos ocorridos, vários estudos foram feitos ao longo dos anos na busca de se identificar as causas dos desequilíbrios ambientais causados na região, principalmente por parte da Votorantim Metais Zinco/SA. Frise-se que a maioria dos estudos foi patrocinada pela própria empresa, que busca a otimização ambiental na região.

1.2 ESTUDOS PRÉVIOS

Deve-se ressaltar que a área objeto desta pesquisa é incipiente no que diz respeito a trabalhos científicos sistemáticos, principalmente na área das Ciências Ambientais e da Terra. Trabalhos de ordem pontual vêm sendo desenvolvidos na região. Dentre eles cita-se:

- a) dissertação de Mestrado que buscou avaliar a condição geoquímica ambiental das veredas na Bacia Hidrográfica do Rio do Formoso (Viana, 2006);
- b) um projeto de pesquisa financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) (Processo 11858/07), em andamento, cujo objetivo principal é investigar a poluição ambiental da água e sedimentos, entre a cidade de Pirapora e Três Marias;
- c) um trabalho produzido na forma de artigo, interpretando as feições geomorfológicas do Grupo Mata da Corda – Cretáceo Superior, na bacia Hidrográfica do Rio do Formoso (Baggio, 2006);
- d) dois trabalhos de conclusão de curso (TCC) em Geografia/UNIMONTES intitulados:
 - Níveis de Contaminação por Metais Pesados em Águas Superficiais do Rio São Francisco em Pirapora e sua Relação com as Atividades Industriais (Ribeiro, 2007);
 - Condicionantes Litoestruturais na Origem e Desenvolvimento de Processos Erosivos e Arenização na Bacia do Rio do Formoso-MG (Trindade, 2007);
- e) dissertação de Mestrado, cujo objetivo principal foi investigar a contaminação do solo por metais pesados em pilhas de rejeitos antigas e atuais das indústrias de Fe-Si na

região de Várzea da Palma – MG (Braga, 2007);

f) uma tese de Doutorado, que investigou a contaminação por metais pesados no solo, sedimentos e água no entorno da barragem de Três Marias e no próprio Rio São Francisco, cuja fonte é uma indústria de refinamento de zinco (Oliveira, 2007);

g) a elaboração, por parte da Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR), através do seu Laboratório de Bioquímica Ambiental, no ano de 2003, de um diagnóstico sobre a contaminação ambiental por metais pesados na Represa de Três Marias – MG. Tal documento atribui como fonte contaminante da represa a indústria de refinamento de zinco do Grupo Votorantin;

h) os trabalhos pioneiros na área em questão, que datam do período de 1980 a 1992, dentre eles:

- investigações feitas pelo Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC) e pelo Conselho de Meio Ambiente de Minas Gerais (COPAM) (CETEC, 1980; COPAM, 1986), objetivando a obtenção de dados químicos da água do Rio São Francisco;
- trabalhos de Mestrados de alunos da Fachhochschule München (1990 a 1992), na região da represa e da zona de influência da CMM em Três Marias.

Apesar dos poucos trabalhos sobre a região, é desafiador e necessário estudar mais profundamente o impacto químico sobre a área da sub-bacia do Rio do Formoso, já que a mesma se insere dentro de uma das mais importantes e significativas bacias hidrográficas do país, a bacia hidrográfica do Rio São Francisco.

1.3 OBJETIVO GERAL

O principal objetivo desta pesquisa é a determinação da concentração e distribuição dos metais pesados cobre (Cu), cádmio (Cd), cromo (Cr), níquel (Ni), chumbo (Pb), zinco (Zn), ferro (Fe), alumínio (Al) e manganês (Mn) nas águas superficiais e nos sedimentos de corrente/fundo do Rio do Formoso. Para tanto, foram utilizados parâmetros de suporte físico-químicos e análises químicas, correlacionado a presença destes metais aos ambientes naturais e às interferências antropogênicas, inferindo sobre os riscos ambientais causados por eles e sobre as restrições de uso.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Dentre os objetivos específicos, o trabalho propõe-se a:

- a) determinar o nível de concentração dos metais pesados nos sedimentos e na coluna de água que compõem os pontos de amostragem e analisar como esses teores então variando ao longo do perfil longitudinal do rio;
- b) analisar, avaliar e quantificar os parâmetros físicos e químicos da água superficial e correlacioná-los entre si e com os elementos de suporte, como o perfil geológico, com a morfologia e morfodinâmica do canal fluvial e com os compartimentos geomorfológicos e os de uso dos solos;
- c) quantificar as concentrações e a distribuição dos teores dos metais nos sedimentos ao longo do perfil longitudinal do rio, correlacionando-os entre si e com as frações granulométricas, com a composição mineralógica, com as cores, com o perfil litogeopedológico, com a morfologia e hidrodinâmica do canal fluvial, com os compartimentos geomórficos e com o uso dos solos;
- d) avaliar a contribuição natural e antropogênica dos metais pesados nos compartimentos de água superficial e de sedimento de corrente e fundo;
- e) comparar os resultados analíticos dos metais encontrados com os valores orientadores estabelecidos pela Resolução CONAMA N°357/05 para as águas superficiais Classe 2 e pela Resolução CONAMA n° 344/04 para análises químicas de material a ser dragado;
- f) gerar mapas com dados obtidos no item b e c e otimizá-los como ferramentas cartográficas na montagem da Matriz de Susceptibilidade Ambiental;
- g) inferir sobre os riscos ambientais e sobre as restrições de uso da área advindos a partir da definição do grau de susceptibilidade ambiental definido para os compartimentos;
- h) sugerir proposta que possa remediar os possíveis impactos negativos ocorridos na área investigada;
- i) apresentar a metodologia proposta neste trabalho com a intenção de que a mesma possa ser apreciada em trabalhos dessa natureza para outras áreas do estado de Minas Gerais e/ou do país.

CAPÍTULO 2: CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DA PESQUISA

2.1 LOCALIZAÇÃO

A área da pesquisa encontra-se regionalmente inserida na bacia hidrográfica do Rio São Francisco, mais especificamente no segmento mineiro alto/médio curso Rio São Francisco, sendo a sub-bacia do Rio do Formoso a área efetiva da pesquisa. A bacia está inserida no quadrilátero delimitado pelas coordenadas de 17° 25' e 17° 56' de latitude sul e 44° 56' e 45° 26' de longitude W de GR, e está totalmente contida no município de Buritizeiro-MG, drenando uma área de 826 km², como pode ser visto no mapa apresentado abaixo.

O município acima citado encontra-se inserido na zona fisiográfica denominada Alto Médio São Francisco, na mesorregião geográfica de planejamento Norte de Minas, a qual pertence à microrregião de Pirapora. (Viana, 2006).

A sede do município de Buritizeiro encontra-se a aproximadamente 377 km de Belo Horizonte, e ocupa uma área territorial de 7.236 km². Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2005), o município possui uma população de 26.798 habitantes.

O acesso ao município faz-se pelo sistema rodoviário federal BR-365 e pelos sistemas rodoviários estaduais MGT-161, MGT- 408 e MGT- 496. As estradas vicinais que dão acesso à área da pesquisa encontram-se relativamente bem conservadas durante todo o ano. Além disso, a região é servida pela hidrovia do Rio São Francisco, com 1.371 km navegáveis entre Pirapora-MG e Petrolina-PE, sendo essa um importante elo entre as regiões Sudeste e Nordeste do país.

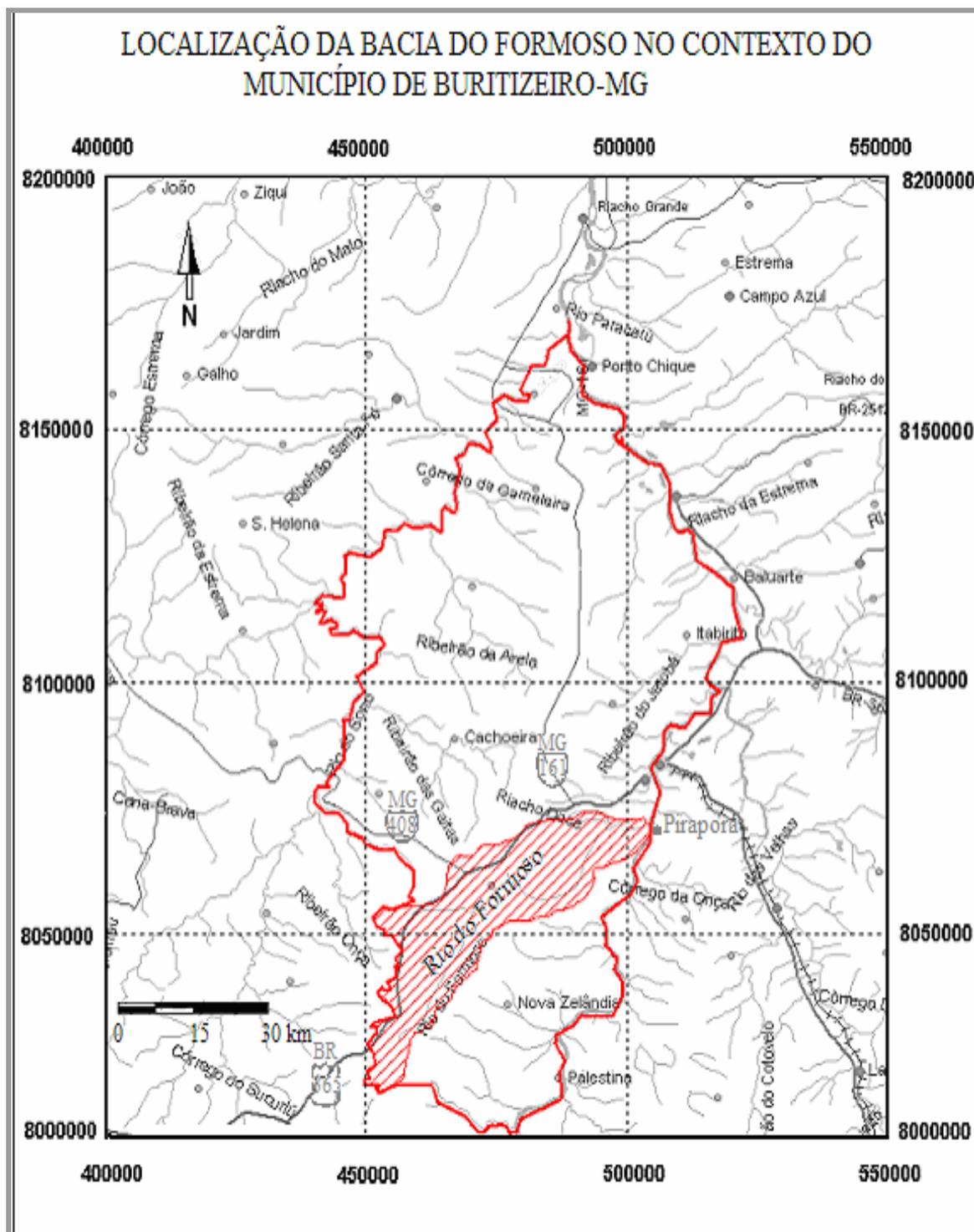


Figura 2: Hachurado em vermelho, a bacia hidrográfica do Rio do Formoso, no contexto geográfico do Município de Buritizeiro - MG, área efetiva da pesquisa.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO

Do ponto de vista da paisagem natural, a área encontra-se inserida no domínio dos chapadões interiores, de acordo com a divisão morfoclimática proposta por Ab' Saber (1971). Na classificação fitogeográfica, a região investigada encontra-se inserida no domínio das Savanas – Cerrados/Campos Gerais Tropicais.

2.2.1 Aspectos Vegetacionais

O Instituto Estadual de Florestas (IEF, 2005), em parceria com o Laboratório de Estudos e Projetos em Manejo Florestal da Universidade Federal de Lavras (UFLA, 2005), definiram para a área de estudo os seguintes tipos vegetacionais:

- a) *Floresta estacional semidecidual*: composta por comunidades que abrangem agrupamentos florestais úmidos e estacionais semidecíduais – são as florestas ciliares e de galeria ao longo dos cursos d'água;
- b) *Floresta estacional decidual*: engloba os agrupamentos remanescentes florestais tropicais caducifólios, caracterizados como matas secas ou mesófilas;
- c) *Savanas*: abrangem as diversas formações e fisionomias específicas que caracterizam a região do Cerrado;
- d) *Formações pioneiras*: nessas comunidades estão incluídos os buritizais ou veredas e a vegetação de várzea;
- e) *Tratos antrópicos*: caracterizados pelo reflorestamento com pinus e eucaliptos e sistemas agropecuários.

2.2.2 Aspectos climáticos

O tipo climático para a área de estudo é o tropical úmido/subúmido –, com inverno seco e verão chuvoso. O regime térmico é caracterizado por temperaturas médias mensais: janeiro em torno de 25°C a 24°C; junho e julho entre 20°C a 21°C.

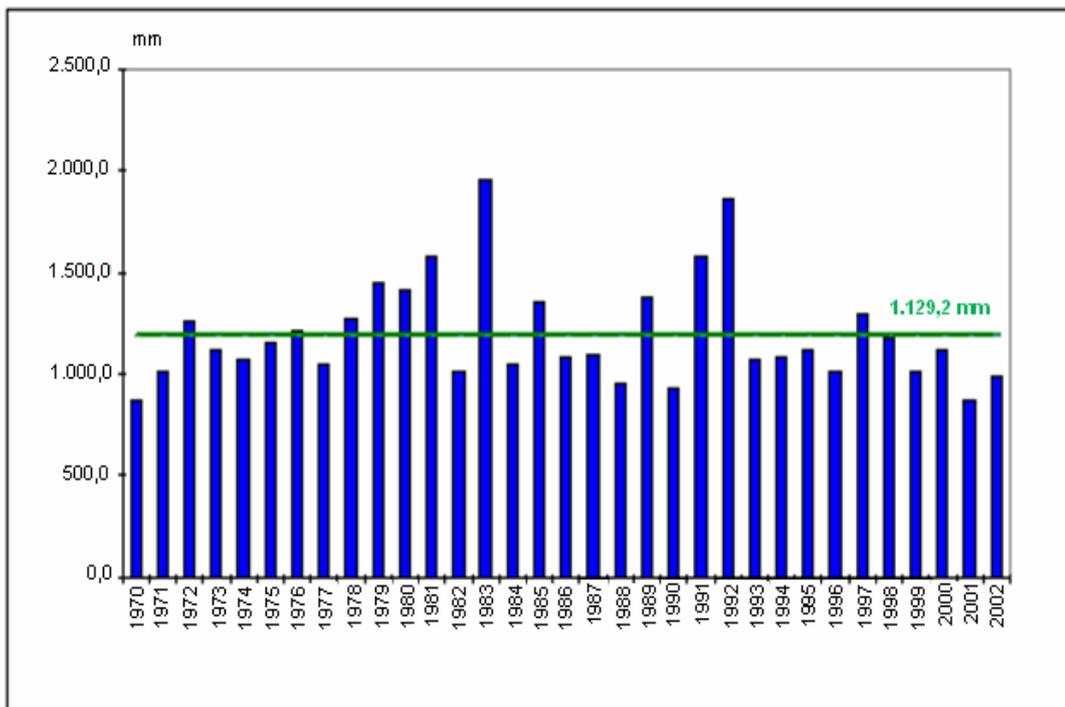


Figura 3: Gráfico 1 – Precipitação Média Anual do Município de Buritizeiro – MG (1970 – 2002).
 Fonte: Agencia Nacional de Águas (2005).

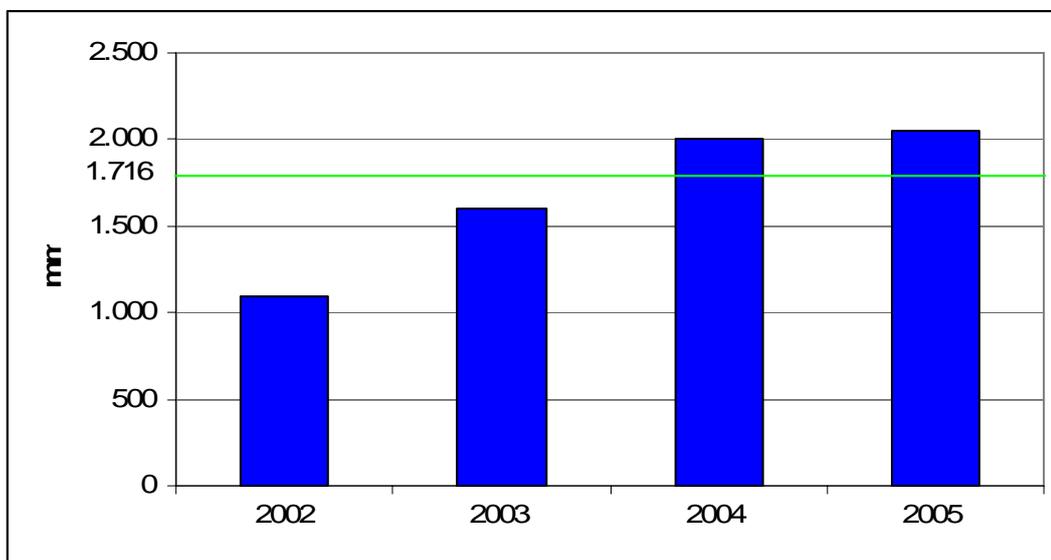


Figura 4: Gráfico 2 – Precipitação Média Anual na Bacia do Rio do Formoso – MG (2002-2005).
 Fonte: Fazenda do Formoso – MG, (2005).

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA) (2005) a média pluviométrica para o município de Buritizeiro no período de 1970 a 2002 foi de 1195,9mm, como representado no gráfico 1 (fig. 3). No alto curso do Rio do Formoso – segundo dados pluviométricos fornecidos pela Fazenda Rio do Formoso –, durante os anos de 2002 a 2005 a média

pluviométrica alcançou 1.716mm – gráfico 2 (fig.4). As temperaturas médias mensais em janeiro giram em torno de 24°C a 23°C e nos meses de junho e julho oscilam entre de 19°C a 20°C. As características do meio físico (topografia) e as características geográficas (extensão territorial) condicionam as características pluviométricas e térmicas, principalmente na porção SW da bacia hidrográfica do Rio do Formoso.

As variáveis climáticas apresentadas são importantes ambientalmente, pois estão diretamente correlacionadas com a mobilidade dos poluentes nos solos/sedimentos e na água.

A análise da (fig.4) aponta um aumento na distribuição das chuvas para o segmento alto curso, implicando um maior gradiente de infiltração e aumento da taxa erosiva, tendo como resposta direta a diluição, dispersão e transporte – principalmente das substâncias químicas presentes nos solos, que conseqüentemente serão carregadas em direção aos cursos d'água.

Sugere-se para futuros trabalhos que se investigue a direção e velocidade dos ventos, já que o uso do solo na área em questão se dá na forma de plantações comerciais de grãos, com uso intensivo de agroquímicos solúveis e em pó.

2.2.3 Características geológicas

A bacia do Rio do Formoso encontra-se localizada na porção meridional da Bacia Sanfranciscana, dentro dos limites do Cráton do São Francisco, mais especificamente na bacia cretácea do oeste mineiro. A Bacia Sanfranciscana apresenta uma evolução paleogeográfica fortemente controlada pelos estádios tectônicos e magmáticos que condicionaram os períodos de deposição, diagênese e erosão dos litotipos representados no arcabouço geológico da bacia. Segundo Sgarbi (1989), a Bacia Sanfranciscana possui forma alongada, com comprimento aproximado de 1100 km e largura de afloramentos em torno de 200 km, posicionada entre 45° e 47° de longitude oeste. A partir da Lat 20°S, no oeste de Minas, prolonga-se para norte até a Lat 10°S, nas proximidades dos Estados do Piauí e Maranhão.

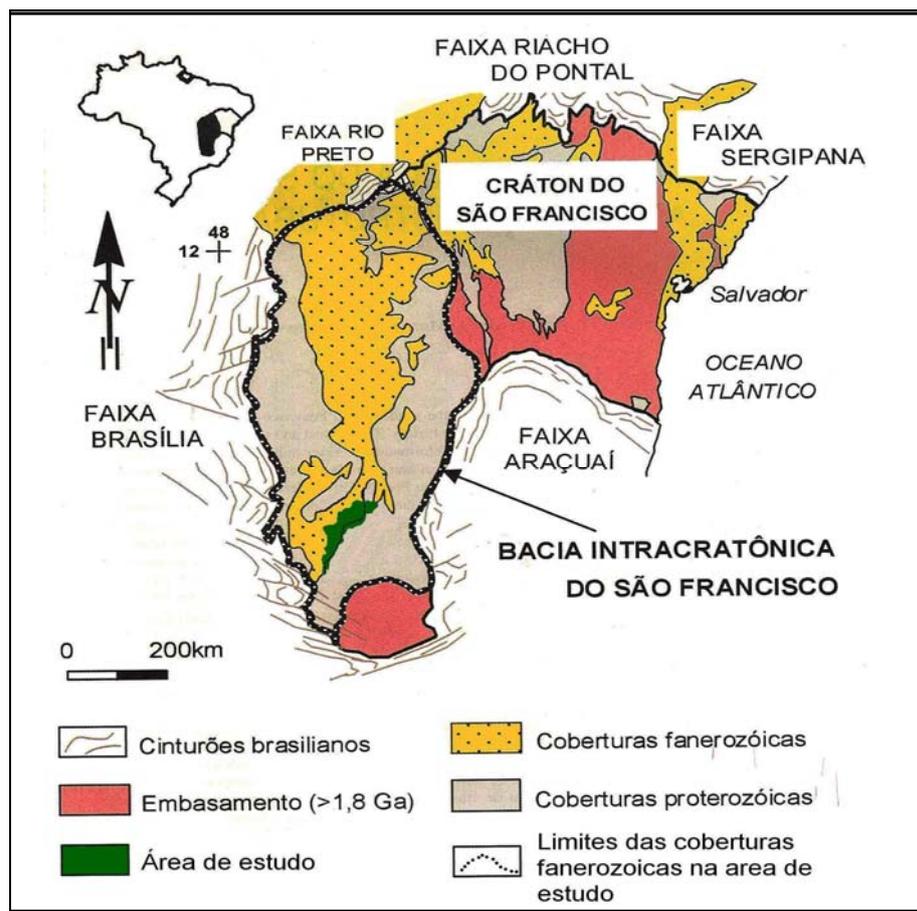


Figura 5: Mapa Geológico simplificado do Cráton do São Francisco, com a localização geográfica da área da pesquisa, delimitação e contexto estratigráfico da Bacia Intracratônica do São Francisco. Fonte: Modificado de Alkmim *et al.* (1993).

Do sul para o norte, a Bacia Sanfranciscana encontra-se sobre sedimentos neoproterozóicos do Grupo Bambuí, rochas granitóides do embasamento regional e metamorfitos mesoproterozóicos da Suíte Natividade; até alcançar os sedimentos da Bacia do Paranaíba no seu extremo norte. Sua porção meridional localiza-se no norte e nordeste da Bacia do Paraná, da qual é separada pelo Arco do Alto Paranaíba, domínio oriental da Faixa Brasília no oeste de Minas Gerais (Sgarbi, 1989).

A Bacia Sanfranciscana representa um dos mais expressivos exemplos da sedimentação continental fanerozóica do país. Seu preenchimento é relacionado com o último megaciclo geodinâmico que afetou a bacia intracratônica neoproterozóica do São Francisco após a sedimentação dos grupos Macaúbas, Paranoá e Bambuí. Sua história evolutiva pode ser dividida em cinco ciclos tectono-sedimentares distintos, todos presentes na área de estudo:

- a) Permo-Carbonífero: Grupo Santa Fé, composto por sedimentação glaciogênica, representada por tilitos, diamictitos, pavimentos estriados, seixo caídos e presença de blocos erráticos dispersos sobre as superfícies tabulares do oeste mineiro;
- b) Cretáceo Inferior: Grupo Areado, depositados através de sistemas de leques

aluviais e de torrentes do tipo *Wadi*, além de sedimentos lacustrinos, fluviais, flúvio-deltaico e eólicos caracterizando um paleoambiente desértico;

c) Cretáceo Superior: Grupo Mata da Corda, representado por rochas alcalinas kamafugíticas (80-90 Ma), apresentando sedimentos vulcanoclásticos que ocupam a porção meridional da bacia -, os dois últimos ciclos tectono-sedimentar, encontram-se presentes na área de estudo;

d) Cretáceo Superior: Grupo Urucuia, constituído por sedimentos de origem fluvial, eólico e lacustre representativo de um ambiente árido que ocorreu na porção setentrional da bacia;

e) Cenozóico: Formação Chapadão, composta por sedimentos arenosos oxidados de cor avermelhada, resultante do retrabalhamento fluvial recente de materiais detríticos diversos na área da pesquisa. Esta cobertura é o produto da alteração das rochas do Grupo Mata da Corda – sendo mais prudente designá-la como Formação Capacete (Sgarbi, 2001) –, o que gera um pacote intempérico com espessura considerável que capeia o topo das chapadas. Esse ciclo é bem caracterizado no alto curso da Bacia do Formoso.

Ainda segundo Sgarbi (1989), a Bacia Sanfranciscana tem-se notabilizado, na última década, pelo número e qualidade de informações geológicas geradas (tectônicas, paleogeográficas, sedimentológicas, etc.). Além disso, a bacia desperta um grande interesse econômico, principalmente no que diz respeito à prospecção de hidrocarbonetos no município de Buritizeiro – MG.

2.2.3.1 A bacia do Rio do Formoso

Apresenta-se nesta seção o mapa geológico definido para a Bacia do Formoso (fig.7), juntamente com a coluna litoestratigráfica simplificada (fig.6), proposta para a área investigada. Segue-se abaixo a descrição geológica, litológica, sedimentológica e paleoambiental das Unidades Geológicas representativas, constituídas pelos principais Grupos e suas respectivas Formações.

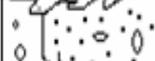
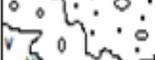
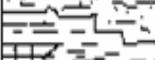
COLUNA ESTRATIGRÁFICA E AMBIENTES DEPOSICIONAIS PROPOSTO PARA A BACIA DO FORMOSO-MG								
Idade	Época	Estágio	Coluna litológica	Sistema Depositionais Principais	Formação	Grupo	Espessura mínima(m)	Litoestratigrafia
Cenozoico				fluvial/eólico	Chapadão		?	Cobertura arenosas Eluvio/coluviais, laterizadas -sedimentos arenosos, areno-argilosos e argilo-siltoso inconsolidados
		terciário						
MESOZOICO	Cretáceo Superior	Cenomaniano		Eólico/lacustre Wadi		Urucuia	360	Rochas alcalinas máficas e ultramáficas; Rochas sedimentares epiclásticas.
				Leque Aluvial e Fluvial entrelaçado	Capacete	Mata da Corda	150	
				Derrames e intrusivas	Patos		70	
	Cretáceo Inferior	Berriasiano/Albiano		Eólico	Três Barras	Areado	140	
				Fluvial meandrante			90	
			Lacustrino	Quiricó		40		
			Fluvial entrelaçado Leque aluvial Wadi	Abaeté				
Neoproterozóico				Delta/Pró-delta Fluvial	Três Marias	Bambuú	?	Arcóseos, siltitos e argilitos ferruginosos intercalados com areias claras e finas.

Figura 6: A figura apresenta a coluna estratigráfica simplificada, com a indicação dos principais sistemas deposicionais proposto para a Bacia do Rio do Formoso.
 Fonte: Modificado de Seer *et al.* (1989).

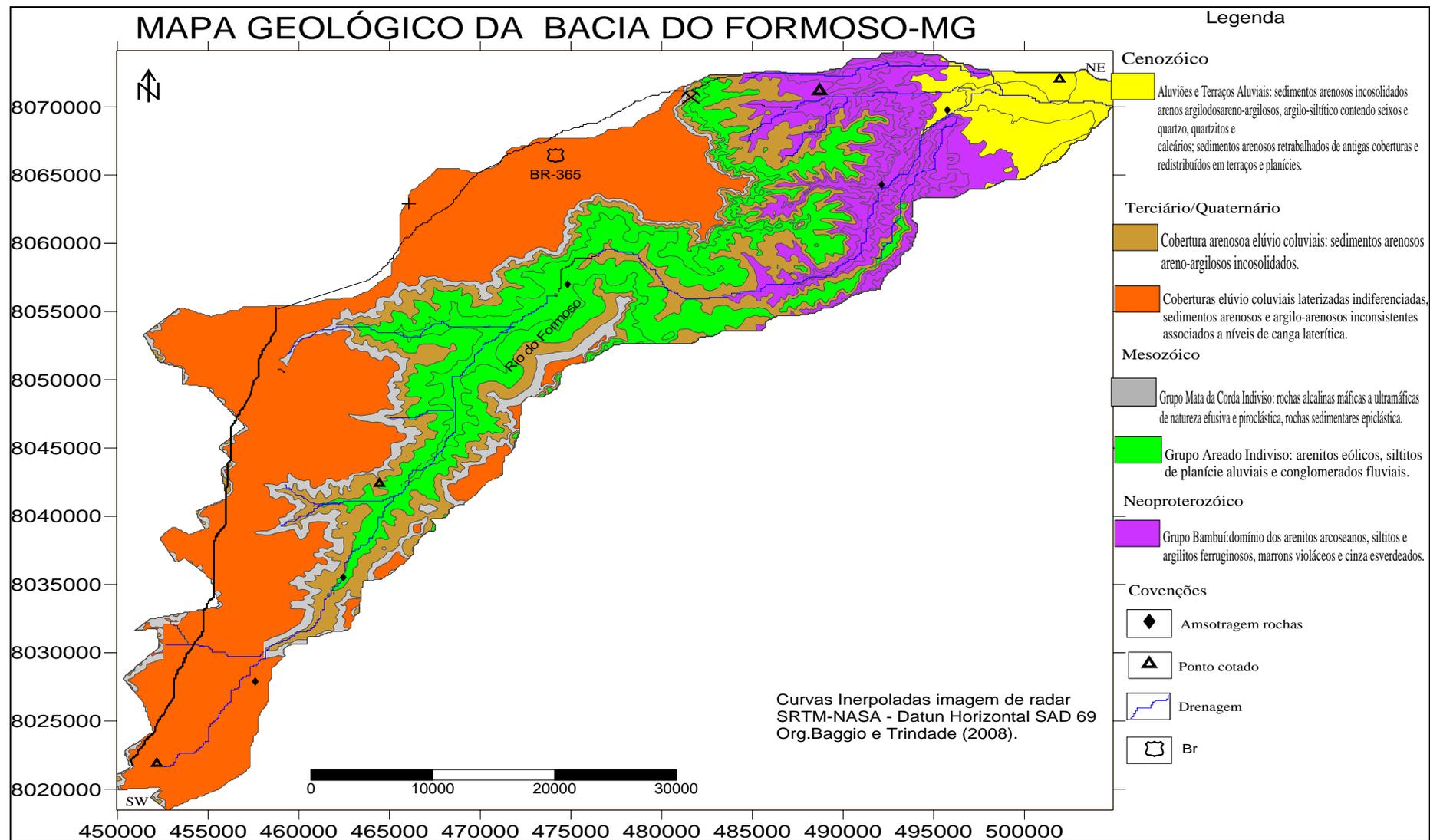


Figura 7: Mapa geológico simplificado da bacia do Rio do Formoso, apresentando as unidades litoestratigráficas definidas para área. São indicados os pontos de amostragem para rochas que foram, usadas nas análises mineralógica, físico-químicas e da contaminação natural. Fonte: Modificado de CPRM, (2003).

2.2.3.2 Grupo Bambuí – Neoproterozóico

O Grupo Bambuí constitui a unidade característica da bacia, e geograficamente exibe a maior área de afloramento de todas as unidades. É formado por uma espessa seqüência de rochas sedimentares e metasedimentares de baixo grau metamórfico que cobrem uma grande área nos Estados de Minas Gerais, Goiás, e Bahia. Constitui a principal unidade litoestratigráfica neoproterozóica de coberturas do Cráton do São Francisco (Alkmim *et al.*, 1993).

A Bacia Bambuí compreende sedimentação plataformal sobre um substrato siálico, controlada por lineamentos tectonicamente ativos que dividiram a bacia em porções com subsidência diferencial (Dardenne, 2000).

A Bacia era então entendida como um tipo de rifte, gerada por forças extensionais que representariam a continuidade da estruturação das bacias de margens continentais adjacentes. Entretanto, a parte superior (Formação Três Marias) foi relacionada a uma evolução de bacia de antepaís, como resposta ao soergimento orogenético de faixas móveis circunvizinhas com sedimentação molássica (Costa e Angeiras, 1971).

Mais recentemente, todo o Grupo Bambuí tem sido associado ao desenvolvimento de uma bacia de antepaís (*foreland-basin*) como resposta flexural ao soergimento orogenético da Faixa Brasília (Chang *et al.*, 1988); (Valeriano, 1992); (Castro, 1997); (Castro; Dardenne, 2000); (Dardenne, 2000); (Martins Neto; Alkmin, 2001).

Em conformidade com Uhlein *et al.* (2003) e em razão de características diferenciadas no preenchimento sedimentar para a bacia do Bambuí, a subdivisão estratigráfica adotada neste trabalho é, da base para o topo, a seguinte: Setor Ocidental: Formação Sete Lagoas e, de forma restrita, a Unidade Samburá; Formação Serra de Santa Helena, Unidade Lagoa Formosa; Formação Serra da Saudade; Setor Oriental: Formação Sete Lagoas; Formação Serra de Santa Helena; Formação Lagoa do Jacaré; Formação Serra da Saudade e, por fim, a Formação Três Maria representando o topo do Grupo Bambuí e sendo a única formação deste grupo presente na área pesquisada. Segue-se uma descrição sucinta sobre suas principais características litológicas, deposicionais e paleoambientais.

A Formação Três Marias (fig.8), ocorre na região central do estado de Minas Gerais e possui grande distribuição geográfica regional, constituindo-se como a unidade de topo do Grupo Bambuí. É formada por uma espessa seqüência tempestítica com relativa persistência lateral das suas litofácies, sendo as suas principais: siltitos com interlaminações fina argila-

areia, siltitos com estrutura *wavy/linsen*, siltitos violáceos apresentando gretas de contração, arenitos com cruzadas sigmoidal, arenitos com cruzadas por ondas, arenitos com estruturas *hummocky* e arenitos com estratificação horizontal; além de arenitos arcoseanos e arcóseos (Chiavegatto, 1992).

A deposição dessa unidade ocorreu em ambientes de plataforma siliciclástica e em ambientes transicionais a continentais, alimentados por sistemas fluviais, fácies de pró-delta e de frente deltaica. Gerando na paisagem uma morfologia de colinas e vales encaixados.



Figura 8 (a e b): A foto (a) mostra afloramento da Formação Três Marias, apresentado estratificação horizontalizada em bancos distintos; a foto (b) detalhe dos litotipos, arenitos arcoseanos e siltitos violáceos intercalados da Fm. Três Marias. Córrego Vermelho.

2.2.3.3 Cretáceo Inferior e Superior

O Cretáceo (fig.9) encontra-se muito bem representado pelas litofácies sedimentares do Grupo Areado (Formação Abaeté e Três Barras) e do Grupo Mata da Corda. Este último, é composto por rochas vulcânicas e vulcanoclásticas que recobrem, em discordância erosiva, a seqüência terrígena do Grupo Areado na Bacia Sanfranciscana. Divide-se nas Formações Patos e Capacete, sendo que na área investigada os litotipos da Formação Capacete se encontram estruturados na forma de imensas *chapadas* (Sgarbi, 2001).

A Formação Abaeté – Cretáceo Inferior – (fig.9) representa a unidade litoestratigráfica basal da Bacia Sanfranciscana e, em alguns locais da bacia do Rio do

Formoso, inicia-se com os conglomerados fluviais contendo ventifactos, cascalhos e um grande volume de sedimentos rudícticos, depositados em regime torrencial sob clima árido e semi-árido (Sgarbi, 2001). Segundo Ladeira e Brito (1968), Sgarbi (1989) e Sgarbi e Ladeira (1995), os sedimentos basais da Bacia Sanfranciscana foram depositados ao longo de várias superfícies de denudação, formando discordâncias erosivas e angulares, e resultam da implantação, no Cretáceo Inferior, de processos de deposição gravitacional na forma de lençóis de escoamento por leques aluviais e por fluxo aquosos esporádicos e torrenciais – configurando em depósitos do tipo *wadi*, formando o substrato da bacia. Esse tipo de depósito rudáceo exibe características paleoambientais de clima desértico.

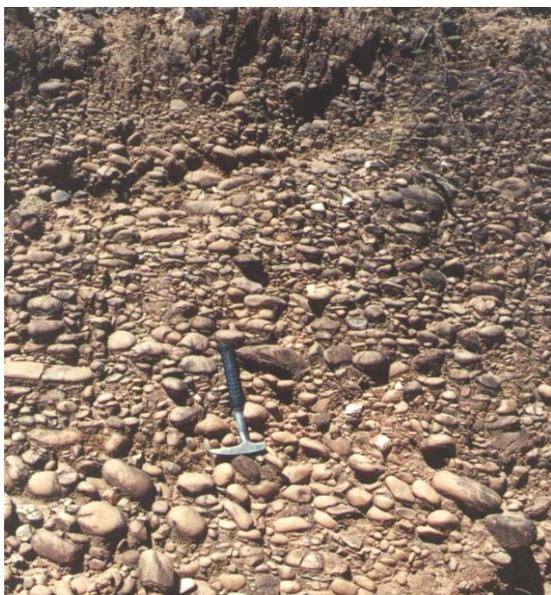


Figura 9: Conglomerado fluvial suportado pelos clastos, apresentando fragmentos sub-arredondados de quartzito e arenito envolvidos em uma matriz areno/argilosa. Notar a imbricação dos clastos – Fm. Abaeté. Córrego Morro Vermelho.

A Formação Três Barras – Cretáceo Inferior – (fig.10), é dividida em dois membros (Quintinos e Olegário), composta de forma geral por arenitos finos a médios. Estes são resultantes de deposição em ambientes eólicos e fluvio-deltaico, cimentados por carbonatos de cálcio, possuidores de cor rosada a esbranquiçada com manchas de oxirredução e apresentam estratificações cruzadas, paralelas e plano-paralelas, de pequeno, médio e grande porte. Na área investigada, os arenitos eólicos são representativos de um paleoclima árido a semi-árido, apresentam maior espacialização geográfica, estando distribuídos de forma descontínua dentro da bacia, podendo localmente constituir platôs e topos planos e podem ainda apresentar-se recobertos por níveis de lateritas ferruginosas de espessura variável, fato que mascara totalmente as texturas diagnósticas do ambiente eólico (Sgarbi, 1991).

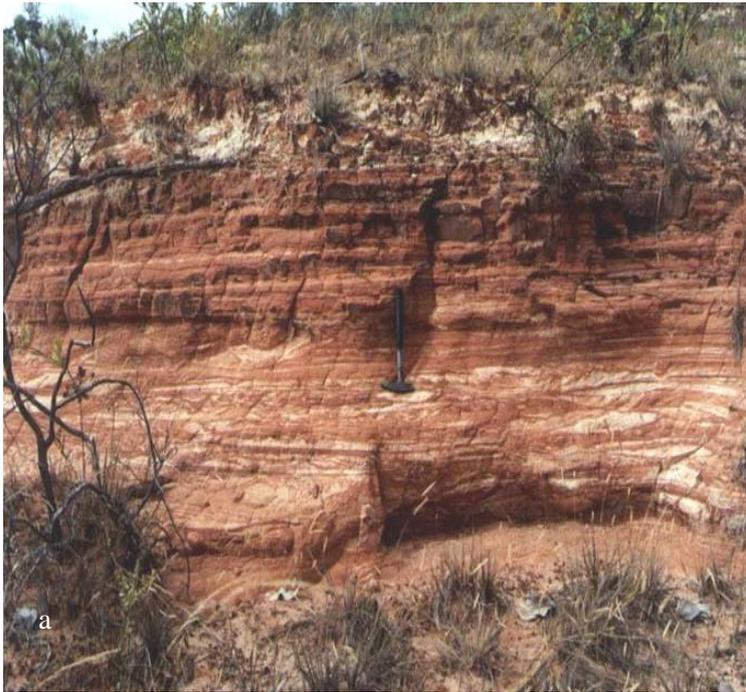


Figura 10 (a e b): Foto 10 (a) mostra afloramento de arenito do Grupo Areado – Formação Três Barras – apresentando intercalações de areias claras, finas e médias. Foto 10 (b) mostra uma feição morfológica superficial do tipo prisma pseudo-hexagonal, observada nos arenitos eólicos da Formação Três Barras. Fazenda do Formoso.

A Formação Capacete – Cretáceo Superior – (fig.11), na área investigada é composta por rochas vulcanoclásticas, conglomerados e arenitos epicláticos além de brecha lapilítica –, cujas cavidades e matriz se encontram preenchidas e cimentadas por sílica nos estados criptocristalino e amorfo (Sgarbi, 2001).

Localmente, a Formação Capacete encontra-se bastante oxidada e caulinizada. Seu subproduto é um material detrítico avermelhado com textura e dureza de argila em que fragmentos de rochas vulcânicas aparecem como bolas caulinizadas. Seu topo é recoberto por níveis de lateritas ferruginosas de espessuras variadas, o que gera na morfologia uma seqüência de morrotes alinhados preferencialmente na direção SW-NE, apresentando rampas curtas com declividade acentuada que se propagam em direção aos fundos dos vales.



Figura 11: No quadrante superior, litotipo representativo da Formação Capacete – Grupo Mata da Corda. No quadrante inferior, silcrete – arenitos vulcânicos contendo cavidades preenchidas por sílica criptocristalina amorfa. BR-365, Buritizeiro – MG.

2.2.3.4 Cenozóico

O Cenozóico (fig.12), é representado na região por duas unidades do Terciário/Quaternário caracterizadas, segundo a CPRM (2003), pelas coberturas arenosas evúlio-coluviais, pelas coberturas evúlio-coluviais laterizadas indiferenciadas e pelos aluviões recentes e sub-recentes do Quaternário/Holoceno. Os aluviões estão representados, por sedimentos arenosos – classificados como coberturas aluvionares – que estão associados à planície de inundação das maiores drenagens (Rio São Francisco e rio das Velhas) e resultam do retrabalhamento fluvial recente e de material detrítico diversificado: cascalhos, areias e siltes. Os sedimentos coluvionares, por sua vez, decorrem de pequeno retrabalhamento das unidades fanerozóicas; sendo formados por areias vermelhas e capeando o topo das chapadas.

Segundo Penha (2001) esses sedimentos ocupam o topo de porções remanescentes da Superfície Sul-Americana (King, 1956); sendo tal material constituído por alteritos profundos,

geoquimicamente evoluídos e com teores elevados de enriquecimento em ferro – gerando um latossolo vermelho-escuro (Valadão, 1998).

Na área da pesquisa, as coberturas do Terciário-Quaternário confundem-se com os produtos de alteração intempérica dos conglomerados e arenitos vulcânicos e vulcanosclásticos da Formação Capacete. Essas coberturas encontram-se recobertas por níveis de lateritas ferruginosas de espessura variada, podendo alcançar mais de três metros, recobrando e estruturando grandes superfícies tabulares e apresentando alterito ainda mantenedor da estrutura da rocha, o que permite individualizá-la como uma seqüência distinta.

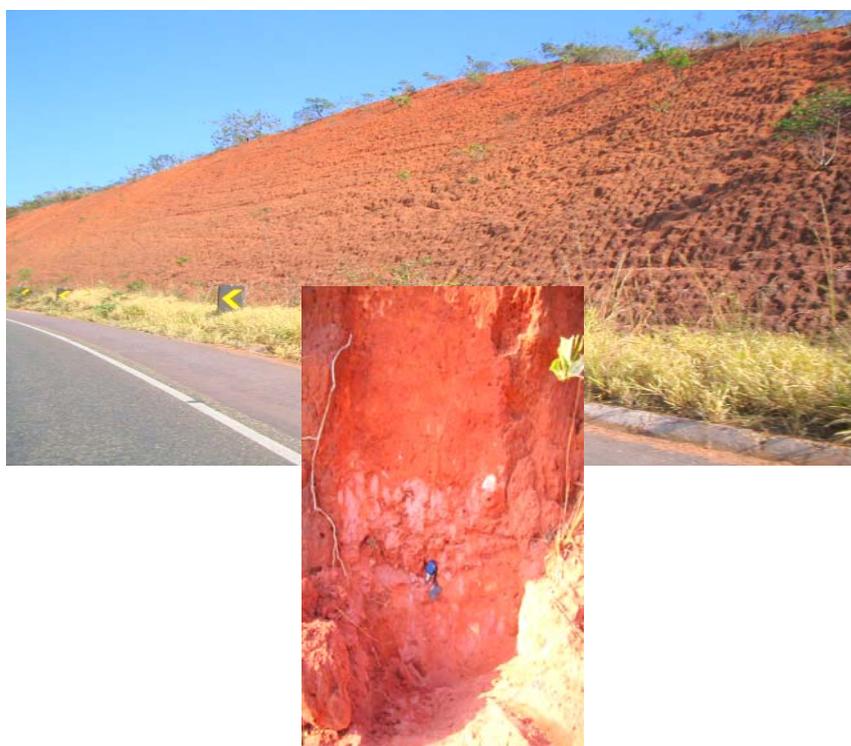


Figura 12: Visada lateral (WNW-ESE) dos alteritos profundos, avermelhados e cobertos por lateritas. Esses são originários do intemperismo das rochas vulcânicas e vulcanoclásticas do Grupo Mata da Corda, como pode ser observado na imagem inferior. BR – 365, direção a Buritizeiro.

Os aluviões recentes e sub-recentes (fig.13) são compostos por sedimentos inconsolidados, de natureza arenosa, areno-argilosa e argilo-síltica, distribuem-se amplamente ao longo dos principais rios que drenam a região, com destaque para o Rio São Francisco. O Rio do Formoso deposita esse tipo de material apenas no seu baixo curso.



Figura 13 (a e b): A foto (a) à direita, mostra os sedimentos aluvionares areno-argilo-siltosos, distribuídos ao longo da depressão do Rio do Formoso. A foto (b) à esquerda, detalha o perfil de solo aluvial apresentando horizonte escurecido sobre camada estratificada, com sedimentação de materiais finos. Fazenda Baianinho.

2.2.4 Características geomorfológicas

A área da pesquisa encontra-se diretamente influenciada pelo contexto geológico-geomorfológico regional, marcada de forma geral por um plano ligeiramente ondulado, correspondendo à Superfície Sul-Americana I – cujo processo de arquitetura se estendeu até o Plioceno Superior – e à Superfície Sul-Americana II, cuja elaboração teve início a partir do soerguimento epirogenético ocorrido no Plioceno Superior (Valadão, 1998). A arquitetura e evolução dessas superfícies deram-se a partir da ruptura das placas Sul-Americana e Africana. Optou-se neste trabalho por utilizar a mesma compartimentação para a Superfície Sul-Americana adotada por Valadão (1998).

Identificou-se na área pesquisada a Superfície Sul-Americana I e II. A primeira encontra-se recortada em uma série de chapadas, com altitudes variando entre 1000-900 m/alt, localmente denominadas: Chapadão dos Gerais, Serra do Morro Vermelho e Serra do Jatobá. A segunda, ocupando o piso de depressões interplanáltica e sublitorâneas, comprova o fato de sua gênese estar estritamente relacionada à incisão da atual rede hidrográfica.

Durante o Quaternário, a elaboração da superfície Sul-Americana, foi acompanhada por oscilações climáticas e variações eustáticas, causadas por eventos glaciais e interglaciais ocorridos nas altas latitudes. Nas baixas latitudes, esses eventos marcaram a alternância de

períodos úmidos e secos e, em algumas áreas, condições de semi-aridez (Valadão, 1998).

Apesar do atual cenário geomorfológico da área investigada estar intimamente relacionado à geodinâmica cenozóica, os eventos tectono-sedimentares ocorridos durante o Mesozóico impulsionaram profundas modificações no fragmento litosférico em que se insere a fachada oriental brasileira.

A apresentação das descrições geomorfológicas seguiu a legenda do mapa geomorfológico apresentado na Figura 14. O mapeamento teve como base cartográfica o mapa geológico elaborado pela Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM) (2003), fotografias aéreas escala 1: 60:000 (USAF 10-1964) e imagens orbitais do Satélite LANDSAT-III-1980, sensor TM 5. Apresenta-se a seguir a descrição dos principais compartimentos geomorfológicos encontrados na área da pesquisa e suas feições morfológicas correlatas.

Mapa Geomorfológico da Bacia do Rio do Formoso-MG

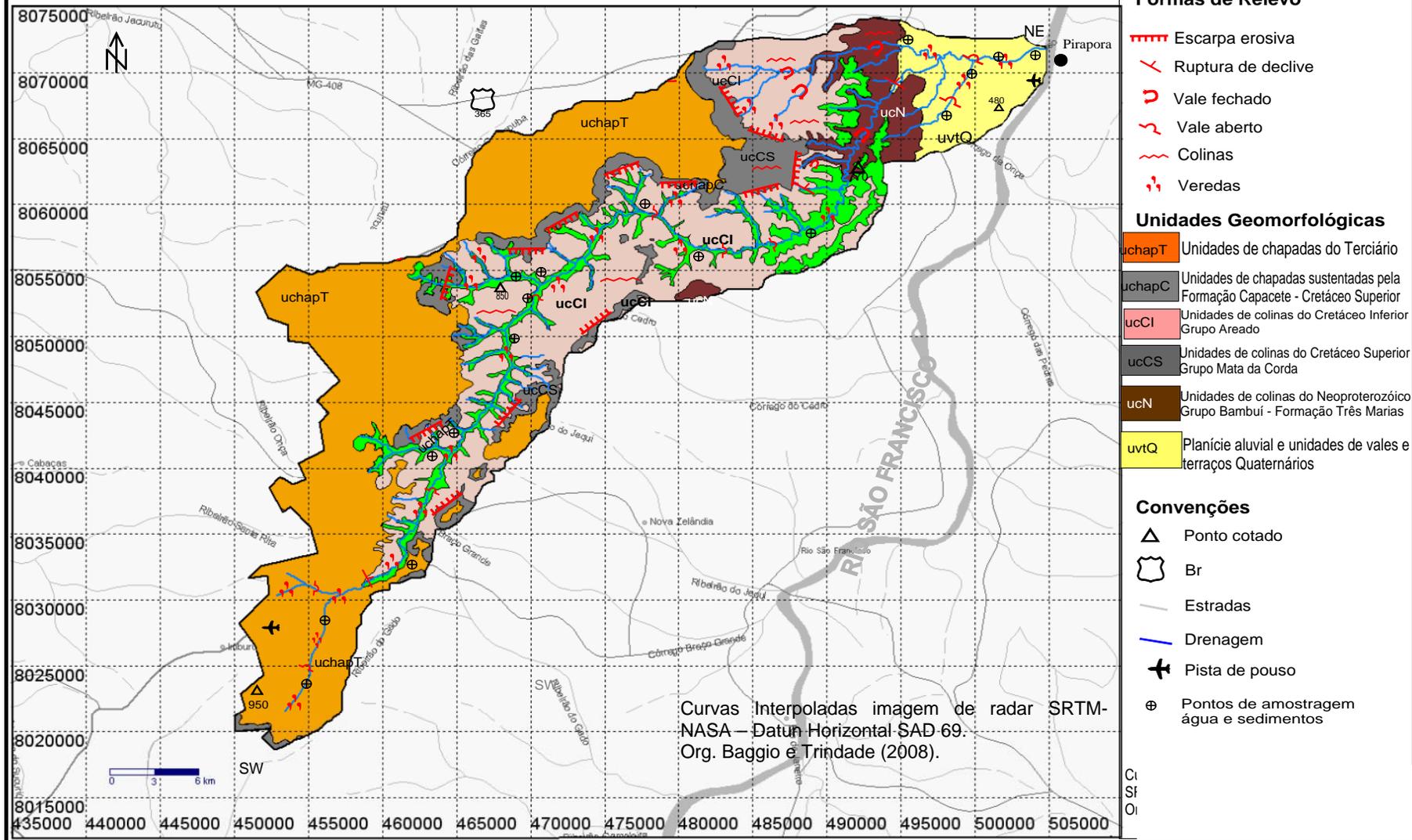


Figura 14: Mapa geomorfológico da bacia do Rio Formoso, apresentando as formas de relevo e a suas alocações em unidades geomórficas correlatas.

2.2.4.1 Superfície Tabular – Unidades de Chapadas – Cretáceo Superior

A Superfície Tabular – Unidades de Chapadas (fig.15) constitui-se num conjunto de áreas aplainadas do Terciário, de expressiva espacialização geográfica, localizado no denominado Chapadão dos Gerais. Parte integrante dos planaltos é resultante da atuação de processos de aplainamento, modificados quando da abertura das depressões interplanálticas. São áreas aplainadas, limitadas por escarpamentos erosivos e em alguns locais por vertentes íngremes.

- I) *Chapadas testemunhos de aplainamentos terciários e recobertas por cobertura detrítica:* com orientação SW-NNW, correspondem a remanescentes da Superfície Sul-Americana de King (1956), Penteado e Ranzani (1973) e, mais recentemente, Valadão (1998). Intensamente remodeladas a partir do intervalo Mioceno/Pleistoceno, suas altitudes médias variam entre 1000 a 950m/alt. Na área pesquisada é regionalmente denominada de Chapadão dos Gerais. Foram mapeadas como coberturas do Cenozóico (CPRM, 2003) e interpretadas, neste trabalho, como um subproduto de alterações intempéricas da Formação Capacete do Cretáceo Superior. Constituído por material detrítico avermelhado de consistência areno-argiloso, caulinizado e laterizado, com relictos de material vulcânico e vulcanoclástico, excedendo mais de 75 m de espessura. Apresenta topo plano, rebordo escarpado e festonado. A feição típica dos vales é em anfiteatro, recoberto por sedimentos areno-argilosos. Hidrologicamente, esse compartimento geomórfico representa importante área de recarga dos aquíferos cretáceos na área da bacia.



Figura 15: A foto mostra em último plano, a Superfície Tabular – representada pelas Unidades de Chapadas, posicionada a 900 m/alt, correspondendo aos remanescentes da Superfície Sul-americana e constituída por sedimentos da Formação Capacete. Fazenda Nova Zelândia.

II) *Chapadas sustentadas pela Formação Capacete:* (Fig.16), formam um cinturão bordejando as Chapadas Testemunhos, apresentam topo plano a ondulado e altitudes médias de 800m, com bordas escarpadas e rupturas de declive (topográfico e litológico) geralmente sustentado por sedimentos vulcanoclásticos do Grupo Mata da Corda, fornecendo elevada estabilidade à ação erosiva. Essa superfície é de grande importância hidrológica, sendo caracterizada com expressiva área de descarga dos aquíferos cretáceos e representada por nascentes e veredas de borda de escarpas, que vão alimentar os principais cursos de água da bacia hidrográfica do Rio do Formoso.



Figura 16: Vista frontal para (N) das chapadas sustentadas pela Formação Capacete. Suas bordas são escarpadas e sustentadas por sedimentos vulcanoclásticos mais resistentes. Estrada Capão Celado.

2.2.4.2 Unidades de Colinas – Cretáceo Superior e Neoproterozóico – 850-750 m/alt

São originadas a partir do escoamento superficial concentrado, esculpidas sobre os litotipos do Cretáceo Superior, Inferior e do Neoproterozóico e ocupam uma área geográfica razoável dentro da bacia. Foram compartimentadas em duas subunidades e estas se deram em função da litologia, morfologia, grau de retrabalhamento e posição topográfica:

1) *Colinas da depressão cretácea*: (fig.17), localizadas ao longo do eixo de drenagem do segmento alto/médio curso do Rio do Formoso. Apresentam-se sob a forma de colinas convexas, com altitudes médias em torno de 750 e 700 m/alt, esculpidas em rochas areníticas do Grupo Areado e Grupo Mata da Corda – Cretáceo Inferior e Superior. O primeiro Grupo apresenta colinas convexas ravinadas com rampas alongadas, constituídas por material colúvio/alúvio, e se propagam até o fundo dos vales abertos. O segundo Grupo apresenta uma seqüência de pequenos morros e cristas convexas, com rampas curtas constituídas por material coluvial e recobertas por lateritas, e se propagam até o fundo dos vales. Estes se apresentam encaixados junto à rede de drenagem, correspondendo ao nível de aplainamento denominado Superfície Mata da Corda (Baggio *et al.*, 2006).



Figura 17: Colinas convexas da depressão cretácea, esculpidas em sedimentos areníticos. Suas vertentes possuem rampas alongadas que se estendem até o fundo dos vales. Fazenda do Formoso.



Figura 18: Seqüência de morrotes esculpidos em rochas do Grupo Mata da Corda do Cretáceo Superior. Apresentam vertentes convexas com rampas curtas, recobertas por lateritas ferruginosas. Represa do Formoso.



Figura 19: Vista frontal (NW-SE) da Superfície Mata da Corda. Seus litotipos formam um cinturão sustentando as bordas das escarpas. Suas vertentes possuem rampas médias que se propagam até o fundo dos vales. BR-365 - Buritizeiro.



Figura 20: Material alterado da Formação Capacete mostrando as bolas de caulinita recobertos por uma espessa camada de Lateritas. Capão Celado – Buritizeiro.

2) *Colinas da depressão neoproterozóica*: (fig.21) localizam-se na porção intermediária da bacia, ao longo do eixo principal e secundário das principais drenagens no segmento médio/baixo curso. A depressão apresenta colinas convexas com flancos ravinados e vales encaixados, evoluídas a partir do escoamento superficial intenso. Suas altitudes variam entre 700 a 650 m/alt, esculpidas em litotipos da Formação Três Marias – Grupo Bambuí – Neoproterozóico – domínio

dos arenitos arcoseanos, siltitos e argilitos de coloração violácea.



Figura 21: Foto orientada (N) mostrando as colinas convexas da depressão Neoproterozóica, esculpidas em rochas do Grupo Bambuí – Formação Três Marias. O fluxo de água Rio do Formoso encontra-se encaixado nos vales. Fazenda Agapitto – Buritizeiro.

2.2.4.3 Planície aluvial unidades de vales e terraços quaternários.

A planície aluvial unidades de vales representa áreas sujeitas a inundações periódicas, e sua evolução encontra-se condicionada a nítidas diferenças litológicas ao longo do vale principal. Os terraços quaternários representam uma seqüência de encostas que interligam os níveis de chapadas e colinas às calhas fluviais juntamente com os terraços aluviais. Estas duas unidades geomórficas localizam-se na porção terminal da bacia – baixo curso do Rio do Formoso – e possuem boa representabilidade espacial na área. Suas altitudes médias variam entre 550 a 650 m/alt e dividem-se em três subunidades denominadas:

a) *Terraços aluviais pleistocênicos*: (fig.22) apresentam-se sob a morfologia de estreitos patamares entre as cotas altimétricas de 550 a 650 m/alt, e encontram-se bastante descaracterizados de sua forma original devido ao intenso uso do solo agrícola. Exibem seqüências de camadas de seixos e blocos arredondados, envolvidos em uma matriz argilo-silto-arenosa de cor amarela/avermelhada – quando influenciado pela Formação Três Marias – e seixos, de blocos arredondados recobertos por areias finas/médias, de cor amarelada, onde a fração arenosa prevalece.



Figura 22: Detalhe dos seixos envolvidos por uma matriz areno-argilo-siltosa. Estes formam na topografia da bacia pequenos patamares planos e resistentes. Localidade: Fazenda Morro Vermelho – Buritizeiro.

b) *Encostas e vales*: apresentam grande expressão geográfica, sendo elaborados sob litologias da Formação Três Marias e aluviões recentes e sub-recentes do Quaternário. Correspondem ao piso da depressão dos rios do Formoso e São Francisco (fig. 23 e 24, abaixo).



Figura 23: Em 1º plano: piso da Depressão do Rio do Formoso, elaborado sobre litologias diferenciadas. 2º plano: encosta elaborada sobre litologia da Formação Três Marias, mergulhando em direção à calha e embutida no nível de Unidades de Colinas. Fazenda Baianinho – Buritizeiro.



Figura 24: Vertente orientada no sentido (NW-SE), composta por material fragmentado e alterado da Formação Três Marias – Unidades de Colinas, mostrando contado discordante/erosivo com o compartimento da Depressão do Rio do Formoso, no quadrante esquerdo da foto. Fazenda Baianinho - Buritizeiro.

c) *Vales dissecados da Formação Capacete e da Formação Três Marias:* estes últimos possuem média expressão geográfica dentro da bacia, mas são marcantes na paisagem. Localizam-se na porção NNE e L da bacia. Configuram-se como vales encaixados e alinhados, preferencialmente em direção aos principais cursos d'água. São profundos, uma vez que, são influenciados pela espessura do pacote rochoso e por fatores estruturais que, acentuaram o processo de morfogênese. Já os vales dissecados da Formação Capacete se localizam na borda das escarpas da Superfície Mata da Corda, correspondendo às cabeceiras de drenagem do tipo anfiteatro. São vales rasos e pouco profundos, em função da resistência imposta pelas rochas do Grupo Mata da Corda. Suas cabeceiras de drenagem se apresentam na forma de veredas de borda de escarpa.

Através da observação, em paralelo, dos mapas geológicos e geomorfológicos, estes mostrando as principais unidades litológicas e a principais unidades de relevo, detectou-se um alto grau de correspondência entre os limites de ambas. Essas correspondências expressam a forte interdependência existente entre as características litológicas e estruturais do substrato geológico, assim como a gênese e tipologia das unidades de relevo representadas para a bacia.

As condições morfodinâmicas encontradas na bacia hidrográfica indicam certa relação entre a espacialização geográfica dos metais e os compartimentos geomórficos, estando estes últimos influenciados pelos processos de erosão, transporte e deposição.

A revisão bibliográfica mostrou como é incipiente ou quase inexistente a produção científica que versa principalmente sobre as características geomórficas e morfodinâmicas

encontradas nos compartimentos geomorfológicos e na distribuição de metais pesados. Na tentativa de se preencher esta lacuna, buscou-se fazer neste trabalho uma primeira aproximação sobre o tema.

2.2.4.4 Declividade

O mapa clinográfico foi gerado a partir das curvas de nível, na função de gerar declividade do SPRING 4.3.3, com uma grade sobre as curvas. A interpolação da imagem de radar da The Shuttle Radar Topography Mission – RSTM/NASA – possibilitou a manipulação das mesmas. O arquivo gerado possibilitou que se procedesse aos intervalos pré-estabelecidos, delimitando assim, as classes de declividades do mapa (fig. 25). Esse aplicativo cartográfico foi um importante instrumento para definição da vulnerabilidade ambiental identificada para a bacia. Foi utilizado o software Surfer 8, para a edição final da carta clinográfica. A partir da interpretação da carta foram definidas seis categorias e suas respectivas classes de declividades, que se posicionaram entre:

- a) *Muito Forte* ($>44^\circ$): correspondente às bordas das escarpas festonadas esculpidas sobre os arenitos do Grupo Mata da Corda. As classes de solos predominantes são os Neossolos, não sendo estes utilizados. A cobertura vegetal é formada por vegetação de porte arbóreo do Bioma Cerrado;
- b) *Forte* (38° a 32°): correspondente às unidades de colinas neoproterozóicas esculpidas em rochas do Grupo Bambuí. As classes de solos correspondentes são os Neossolos e Latossolos Vermelho-Amarelos, textura argilosa e Cambissolo. Uso do solo insignificante;
- c) *Classe Média* (32° a 26°): correspondente às Unidades de Chapadas modeladas esculpidas em litotipos do Grupo Areado. As classes de solos correspondentes são os Latossolos Vermelho-Amarelos, com textura argilosa, e Neossolos Quartzarênicos. São encontradas áreas destinadas às culturas de ciclo longo e monoculturas de pinus e eucaliptos;
- d) *Fraca a Muito Fraca* (8° a 2°): compartimento geomórfico Unidades de Vales e de Terraços Quaternários, formado por material aluvial, coluvial e eluvial, sendo a cobertura pedológica constituída por Latossolos Vermelho-Amarelos, Neossolos Flúvicos e Cambissolos. Uso do solo destinado a agriculturas sem manejo, silvicultura, pastagens e pecuária;
- e) *Muito Fraca* ($<2^\circ$): compartimento geomorfológico Unidades de Chapadas, constituídos predominantemente por Latossolos Vermelho-Amarelos, de textura argilosa. Uso do solo destinado à agricultura comercial irrigada de ciclo longo e às florestas homogêneas de pinus e eucaliptos.

As classes clinográficas apontam forte correlação entre os compartimentos geomórficos, litologia, pedologia e uso e ocupação dos solos; sendo fundamentais na abordagem sobre a avaliação do risco ambiental da bacia como mencionada no Capítulo 7.

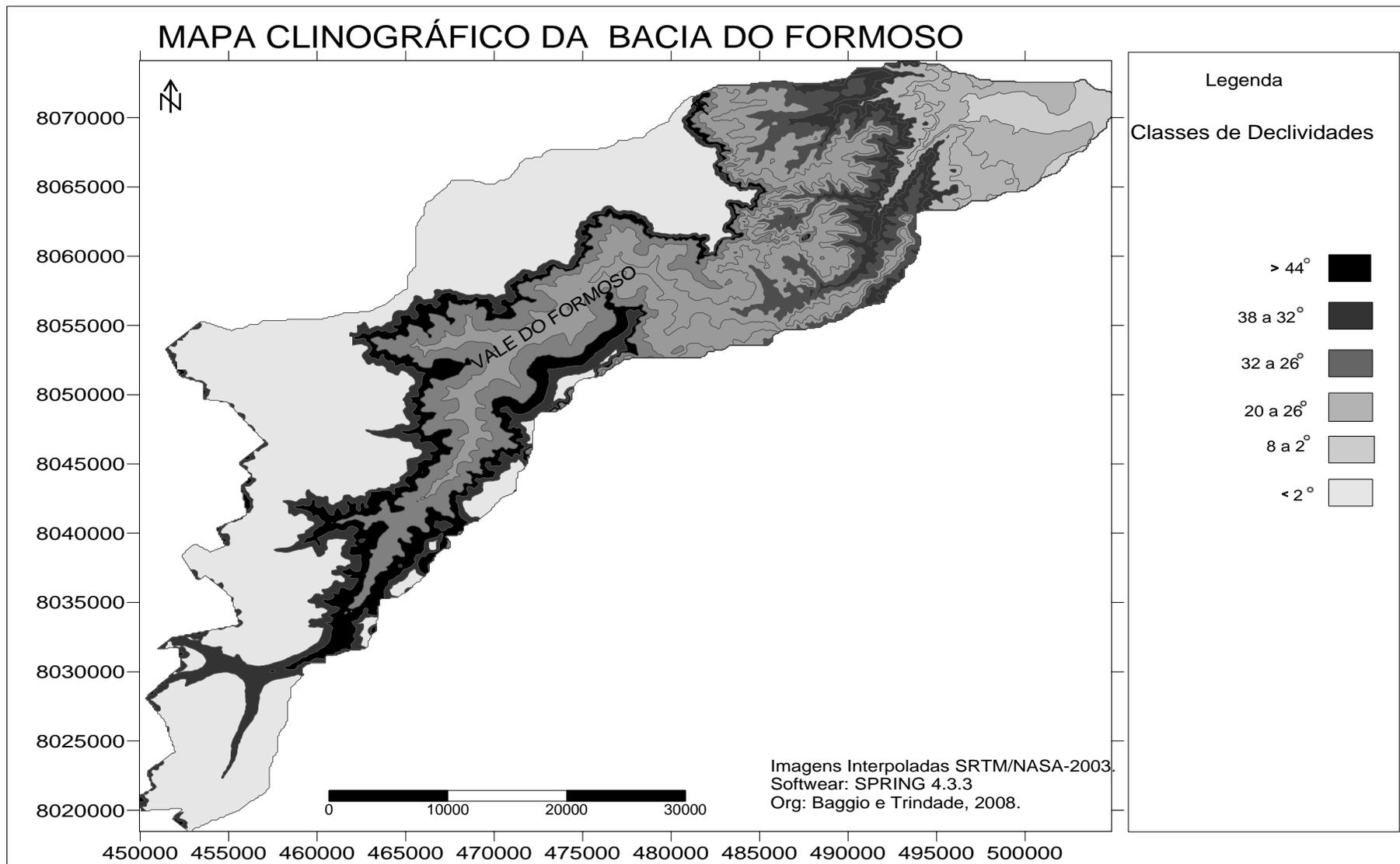


Figura 25: O mapa apresenta as seis principais classes de declividade definidas para a bacia do Rio do Formoso – MG.

2.2.4.5 Classes de dissecação

Além das classes de declividades, foi elaborada uma matriz dos índices de dissecação desenvolvida pelo projeto Radambrasil e aprimorada por Ross (1992), baseada na relação de densidade de drenagem/dimensão interfluvial média para a dissecação no plano horizontal, e nos graus de entalhamento dos canais de drenagem, para a dissecação no plano vertical (Tabela 7.3 do Anexo VII).

A classificação foi feita a partir da interpretação das imagens Geotiff - SRTM/NASA, na escala 1: 250.000, o que possibilitou uma visão espacial do relevo de toda a área da pesquisa. O SPRING 4.3.3 foi utilizado para a obtenção do cenário com o grau de dissecação, servindo de mecanismo para o tratamento, interpretação e análise das imagens de radar. O editor gráfico Surfer 8, foi utilizado para a edição final da carta de dissecação.

A obtenção das classes de dissecação foi fundamental para a elaboração da Matriz de Susceptibilidade Ambiental para a bacia do Rio do Formoso.

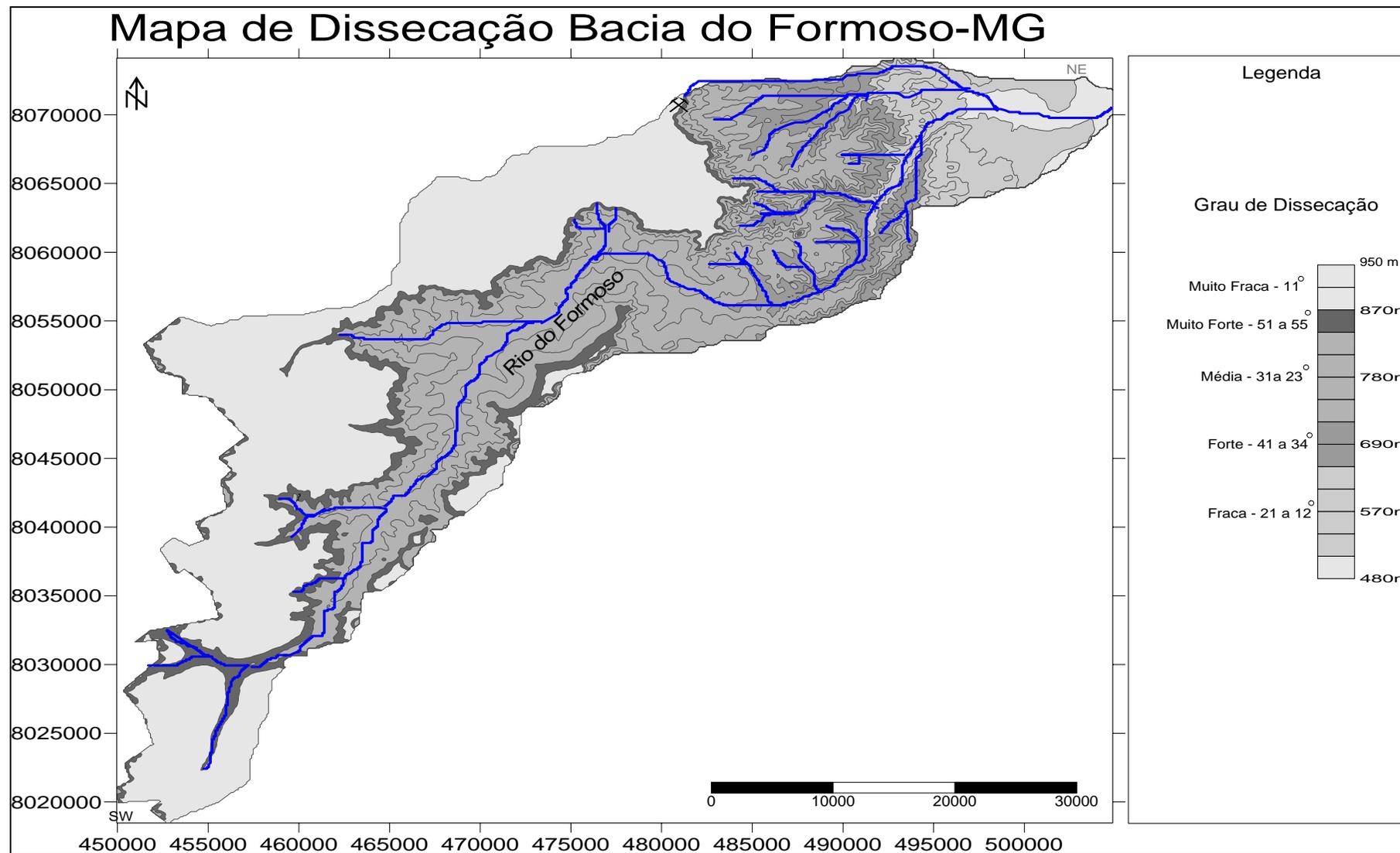


Figura 26: Mapa da bacia apresentando o grau de dissecação definido para os compartimentos geomórficos na área pesquisada. O grau de dissecação definido para a bacia, encontra-se fortemente correlacionado às estruturas geológicas e geomorfológicas presentes na área.

A partir da interpretação da imagem foram estabelecidas as classes de dissecação como descritas a seguir:

- a) *Muito Forte* (51° a 55°): correspondente às bordas das escarpas festonadas esculpidas sobre os arenitos do Grupo Mata da Corda. Essas áreas funcionam como cabeceiras de drenagem das veredas; a densidade de drenagem é significativa; as vertentes são rochosas, com rampas curtas, e as incisões são profundas nas paredes das escarpas;
- b) *Forte* (41° a 34°): correspondente às Unidades de Colinas Neoproterozóicas esculpidas em rochas do Grupo Bambuí. São locais de nascentes com alta densidade de drenagem. Suas vertentes são convexas, com rampas curtas/médias e bastante ravinadas; funcionam como corredores de escoamento das águas pluviais e seus vales são profundos e intensamente dissecados, apresentando, em alguns locais, movimentos de massas;
- c) *Média* (31° a 23°): correspondente às Unidades de Colinas Cretáceas esculpidas em rochas do Grupo Areado. Suas vertentes possuem rampas longas que se propagam em direção ao fundo do vales, que possuem desenvolvimento lateral e são pouco profundos. A drenagem se apresenta organizada e hierarquizada dentro dos vales principais e dos vales secundários;
- d) *Fraca* (21° a 12°): compartimento geomórfico Unidades de Vales e de Terraços Quaternários, formados por material aluvial, coluvial e eluvial. Área de depressão com baixo grau de declividade. Seus vales apresentam desenvolvimento lateral em forma de manjedoura, e a drenagem se unifica e meandra sobre a planície aluvial;
- e) *Muito Fraca* (12° e 11°): definida para as Unidades de Chapadas formadas por coberturas inconsolidadas do Terciário. Seus vales são expressivamente, as vertentes possuem rampas longas com baixa declividade e a densidade de drenagem é muito baixa.

As classes de dissecação apontam forte correlação com a declividade, litologia e a densidade de drenagem. Os mapas elaborados configuram-se em uma importante ferramenta cartográfica de apoio para a abordagem sobre a avaliação do risco ambiental da bacia.

2.2.5 SOLOS

Dentro de um quadro litogeomórfico definido para a bacia do rio Formoso, desenvolveu-se uma cobertura pedológica diferenciada, devido às influências do material de origem e do relevo (Baggio, 2002). O mapa Figura 27 mostra as principais classes de solos e de fragilidades definidas para a bacia.

Os Latossolos encontram-se distribuídos por todo município, com destaque para a porção SW, onde estão associados à superfície tabular denominada Chapadões dos Gerais – cotas de 900 m/alt a 1000 m/alt. São Latossolos Vermelho-Amarelos, profundos, distróficos álicos e de textura argilosa em associação com Latossolo Vermelho-Escuro álico de textura argilosa. Nos rebordos do chapadão predomina o Latossolo Vermelho-Amarelo álico de textura argilosa em associação com Cambissolo álico e Neossolo álico.

Os Neossolos Quartzarênicos são os que mais se destacam na bacia, abrangendo uma grande extensão geográfica. Essas areias são originadas dos arenitos do Grupo Areado, e suas manchas menores são geralmente separadas por solos hidromórficos.

Em cotas altimétricas de 530 m a 730 m, correspondendo às bordas dissecadas dos platôs, encontram-se manchas de solos com horizonte B câmbico; resultado de associações de Cambissolos distróficos álicos A moderado, textura média e argilosa + Neossolos distróficos álicos A fraco e moderado, fase cerrado, estando em associação com relevos ondulados.

No segmento médio curso existe uma grande mancha de Gleissolo pouco húmico álico, geralmente associado aos subsistemas de veredas.

Encontram-se sobre as unidades de colinas do Neoproterozóico e patamares rochosos, entre as cotas topográficas de 600 m/alt a 750 m/alt, os Neossolos e suas associações: solos distróficos, álicos A fraco e moderado, textura indiscriminada, + Cambissolo distrófico álico A moderado, textura argilosa e média – ambos fase campo cerrado, relevo ondulado a forte ondulado –, + Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico álico A moderado, textura argilosa, + Latossolo Vermelho-Escuro distrófico álico A fraco e moderado, textura indiscriminada – ambos fase campo/cerrado relevo ondulado e escarpado.

Ao longo dos principais eixos de drenagem – como nas depressões associadas, nas partes planas e abaciadas do relevo com encharcamento permanente ou temporário e em cotas altimétricas mais baixas (450 m a 500 m) – encontram-se solos pouco desenvolvidos. São associações de Neossolos Flúvicos eutróficos A moderado, textura indiscriminada + Planossolos indiscriminados – ambos fase florestas caducifólias formação vazante, nas quais

predominam relevo plano (superfície de aplanamento Pleistocênica – quando em áreas de depressão interplanálticas) –, + Neossolos Flúvicos indiscriminados fase campo de várzea relevo plano.

A comparação em paralelo dos mapas geológico e geomorfológico, como os de solos, mostra uma estreita correlação entre as principais unidades litológicas e de relevo com a formação e desenvolvimento da cobertura pedológica. A partir da sobreposição do mapa clinográfico com o mapa de solos e suas classes de fragilidades, percebe-se a estreita relação entre ambos, denotando uma predisposição aos processos erosivos. As interferências antropogênicas, como a retirada da cobertura vegetal, construção de estradas e plantio de monoculturas, expõem os solos aos processos erosivos, sendo eles carregados pelas águas e/ou vento em direção aos cursos de água; os resíduos metalo-orgânicos gerados nas áreas agricultáveis e incorporados aos solos comprometendo os recursos hídricos.

O mapa a seguir apresenta os pontos de amostragem das águas superficiais e dos sedimentos. Nota-se que a maioria dos pontos se encontra inserida em locais (classes de solos) cujas fragilidades se posicionam entre baixas a muito baixas (Tabela 7.2 do Anexo VII), o que, de certa forma, os qualifica como carreadores geoquímicos.

No Capítulo 4, foi feita uma abordagem mais detalhada sobre a interação dos constituintes dos solos com os metais pesados.

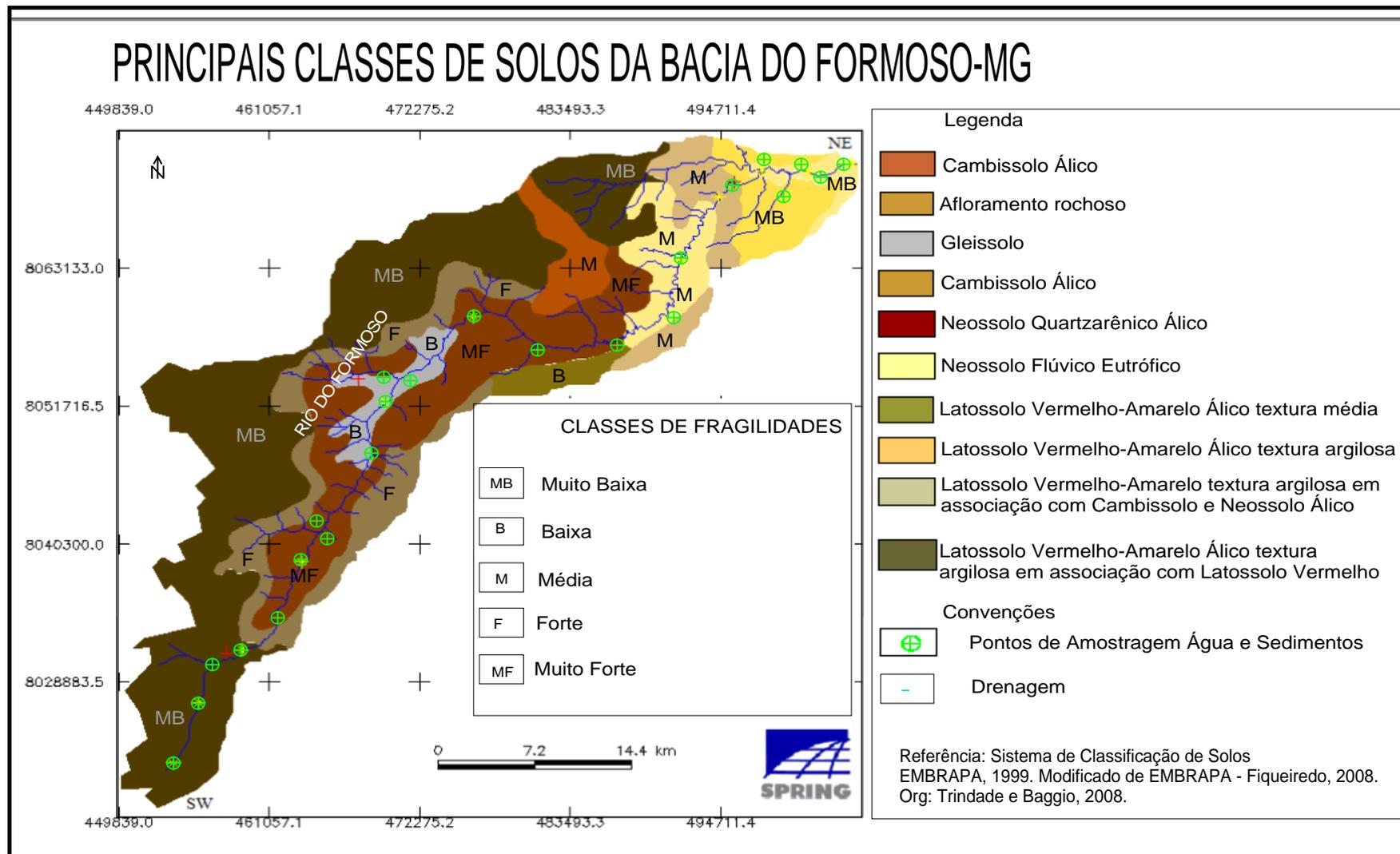


Figura 27: O mapa de solos mostra as principais classes e fragilidades de solos, identificados para a bacia do Rio do Formoso. A fragilidade dos solos tem relação direta com os fatores de ordem geológica, geomorfológica, vegetacional e o uso dos solos. Nota-se um predomínio das classes de fragilidade MB, B e M, sobre as demais classes.

2.2.6 Características hidrográficas: origem e significado da rede hidrográfica atual

Na tentativa de se entender os processos morfodinâmicos hodiernos que atuam na bacia de drenagem do Rio do Formoso, torna-se necessário compreender a dinâmica evolutiva da morfogênese imposta, ao longo do Cenozóico, à bacia hidrográfica do rio São Francisco.

Encontra-se abaixo uma síntese baseada numa linha de tempo pontuada pelos principais momentos geomorfológicos e geológicos ocorridos na fachada atlântica e no interior continental durante o Cenozóico, elaborada por Valadão (1998, p. 216), acerca da origem e significado da rede hidrográfica – especialmente da bacia hidrográfica do rio São Francisco:

- 1) "As bacias hidrográficas localizadas no interior continental e na fachada atlântica apresentam forma, orientação, dimensão e elevação média bastante diferenciadas, elementos esses responsáveis pela produção de contrastantes taxas desnudacionais. As bacias inseridas na fachada atlântica apresentam taxas desnudacionais mais elevadas e são responsáveis pelo recuo do Grande Escarpamento continente adentro. A velocidade de migração desse escarpamento foi variável ao longo do tempo geológico."
- 2) "A evolução da rede hidrográfica na fachada atlântica remota ao Cretáceo Superior (aproximadamente 90 Ma), quando teve início a sua denudação por bacias hidrográficas numerosas, pequenas e agressivas, responsável pela exumação das rochas formadas em níveis crustais profundos que compõem o escudo oriental brasileiro."
- 3) "No Terciário Inferior, a organização espacial da rede hidrográfica era substancialmente diferente daquela que se observa atualmente. O rio São Francisco ancestral se articulava à bacia do rio Parnaíba e tinha sua calha de drenagem alojada no sinformal, modelado nas rochas mesozóicas que compõem a Bacia sedimentar Sanfranciscana. A mudança de seu curso para a atual posição foi gradativa, decorrente de uma série de capturas fluviais."
- 4) "A abertura das depressões interplanálticas esteve intimamente associada com os soerguimentos epirogenéticos ocorridos ao final do Cenozóico. O rebaixamento do nível de base decorrente desses soerguimentos resultou na incisão da rede hidrográfica e na formação dos vales epigênicos. O recuo lateral dos flancos desses vales propiciou a abertura das atuais depressões em que se inserem os principais rios que drenam o interior continental e a fachada atlântica."
- 5) "A abertura das depressões interplanálticas no interior continental foi em grande parte precedida da remoção parcial ou total das coberturas mesozóicas. Essa remoção exumou o arcabouço litoestrutural proterozóico que passou a exercer papel fundamental na organização da rede hidrográfica, cujos cursos principais se instalaram ao longo de grandes descontinidades crustais."
- 6) "Em Minas Gerais, a incisão da rede hidrográfica nas rochas do Supergrupo Espinhaço, resultou na escavação de um grande número de *canyons*, além de ter promovido, localmente, a remoção dos quartzitos e a exumação do embasamento arqueano."

A partir das considerações apresentadas acima e com base em evidências de campo, pode-se inferir que a bacia do Rio do Formoso teve sua evolução morfodinâmica ligada aos principais eventos Cenozóicos ocorridos na bacia hidrográfica do Rio São Francisco.

A elaboração de um modelo geodinâmico para a bacia poderá ser objeto de trabalhos futuros. Não sendo esse o assunto central desta seção e, buscando-se concisão, formula-se a seguir algumas linhas de pensamento que poderão nortear futuras pesquisas:

- a) o nível de base local e suas implicações no perfil longitudinal do Rio do Formoso;
- b) o rebaixamento do nível de base dos principais eixos de drenagem do Rio São Francisco e do Rio das Velhas e suas implicações na dinâmica evolutiva da bacia hidrográfica do Formoso;
- c) entendimento da origem e significância das rupturas de declive ocorrentes ao longo do perfil longitudinal e em particular no segmento alto/médio curso;
- d) compreensão dos processos de erosão regressiva e capturas fluviais no desenvolvimento e arranjo da bacia de drenagem;
- e) O papel da morfogênese fluvial ao longo do perfil longitudinal do Rio do Formoso.

2.2.6.1 Localização e características da bacia de drenagem do Rio do Formoso

Geograficamente, a sub-bacia do Rio do Formoso posiciona-se na porção sudoeste do município de Buritizeiro, mais precisamente no quadrilátero delimitado pelas coordenadas de 17° 25' e 17° 56' de latitude S e 44° 56' e 45° 26' de longitude W; drenando uma área de 826 km² e se integrando à bacia hidrográfica do rio São Francisco pela margem direita.

Geológica e geomorfologicamente, a bacia encontra-se localizada na porção meridional da Bacia Sanfranciscana, dentro dos limites do Cráton do São Francisco – mais especificamente na bacia cretácea do oeste mineiro. Apresenta direção geral SW-NE, possuindo como principais unidades litológicas, da base para o topo, as seguintes seqüências: sedimentos aluviais e terraços aluviais do Quaternário (representados por vales e terraços – 600 m/alt a 470 m/alt); rochas do Grupo Bambuí (Formação Três Marias do Neoproterozóico, expressando no relevo uma morfologia de colinas e morros – 850 m/alt a 600 m/alt); arenitos do Grupo Areado Cretáceo Inferior – Formação Três Barras e do Grupo Mata da Corda Cretáceo Superior e, por fim, as coberturas do Cenozóico (coberturas indiferenciadas – 950 m/alt a 850 m/alt, conferindo ao relevo uma morfologia de chapadas).

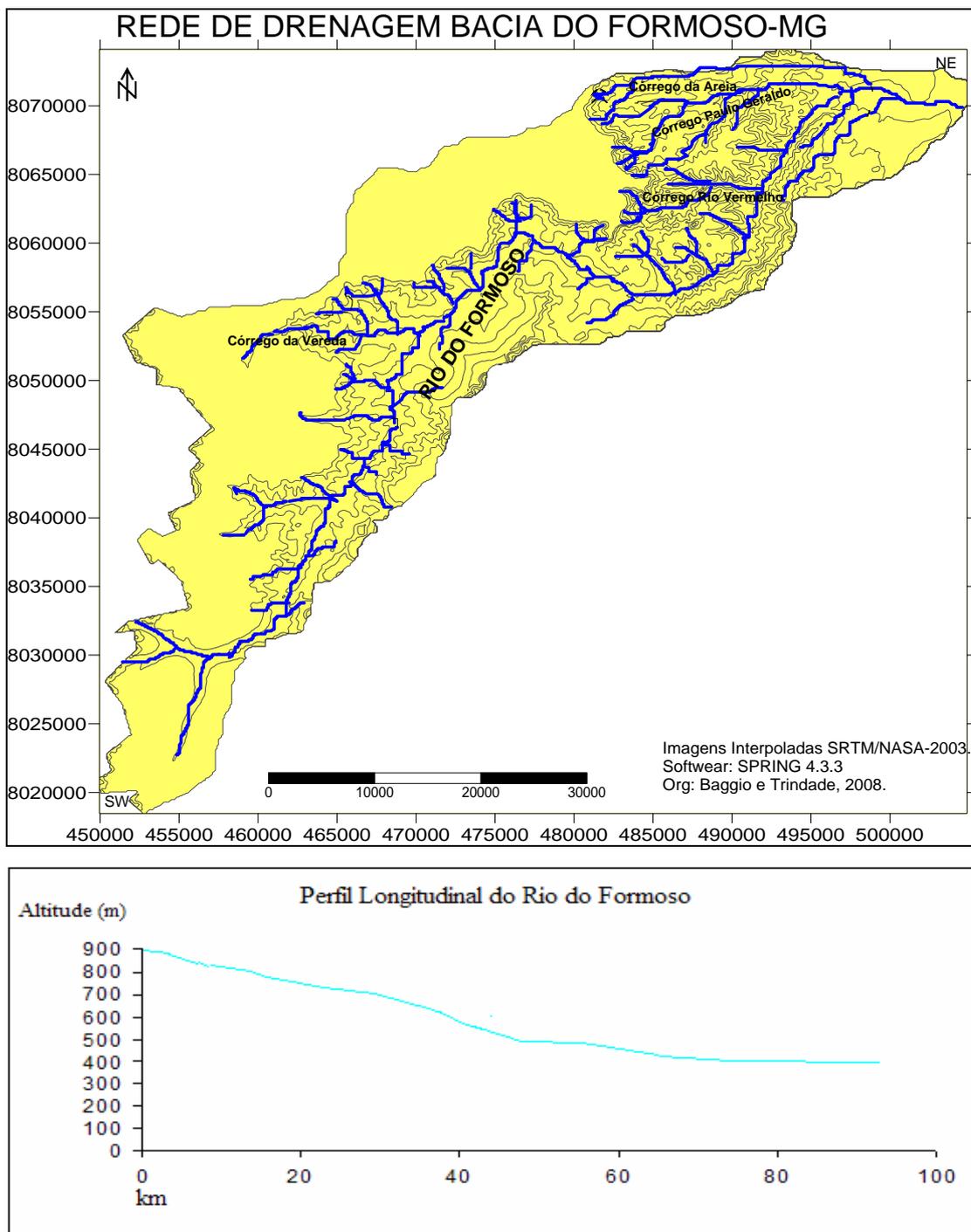


Figura 28: Mapa da rede de drenagem da bacia do Rio do Formoso, apresentando o eixo principal de drenagem orientado no sentido (SW-NE) e seus principais afluentes pela margem esquerda e direita.

O Rio do Formoso tem sua nascente localizada no Chapadão dos Gerais, mais precisamente na localidade de Imburuçu, a 911 m/alt. Sua foz, junto ao Rio São Francisco, localiza-se na Fazenda São Francisco, a 490 m/alt, percorrendo da cabeceira à foz uma distância de aproximadamente 90 km. Seu fluxo escoia inicialmente na direção nor-nordeste (NNE), até desaguar na represa da Adiflor, a 910 m/alt. A partir desse ponto, toma direção es-nordeste (ENE) até o local denominado Estrada da Fazenda. Desse ponto até a Fazenda do Formoso, seu curso permanece orientado na direção nordeste (NE) e, a partir daí, faz uma inflexão para sudeste (SE) e ruma na direção leste (L), até se aproximar do Córrego da Fazenda São Sebastião, a 755 m/alt. Retoma a direção NNE até a confluência com o Córrego Paulo Geraldo, a 650 m/alt, retomando então o rumo L, em direção à foz com o Rio São Francisco, a 490 m/alt. Seus principais afluentes, da nascente à foz, ocorrem pela margem esquerda: Córrego do Matão, Córrego da Vereda, Córrego Morro Vermelho, Córrego Paulo Geraldo e Córrego da Areia; pela margem direita o mais expressivo é o Córrego Veredinha. A bacia do Rio do Formoso apresenta, ao longo da compartimentação geomorfológica longitudinal, três segmentos, doravante denominados alto, médio e baixo curso – sendo eles diretamente influenciados pelos aspectos topográficos, litológicos, morfológicos e morfodinâmicos(Figuras:29,30,31).

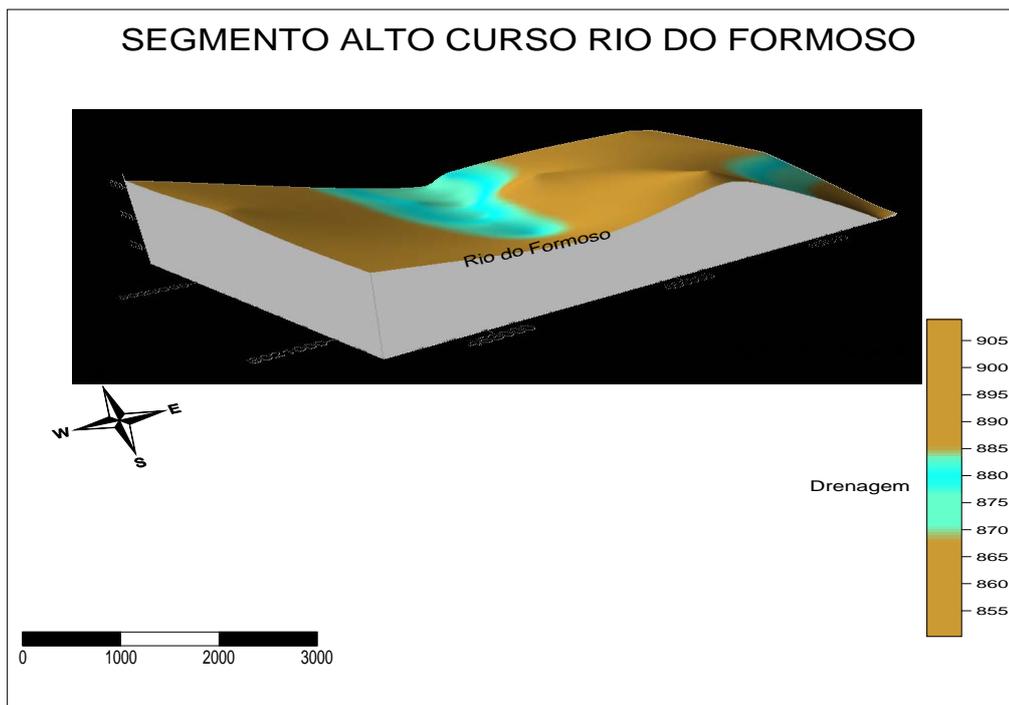


Figura 29: Modelagem em 3D do segmento alto curso do Rio do Formoso, inserido no compartimento geomorfológico Unidades de Chapadas, compostas por sedimentos retrabalhados da Formação Capacete.

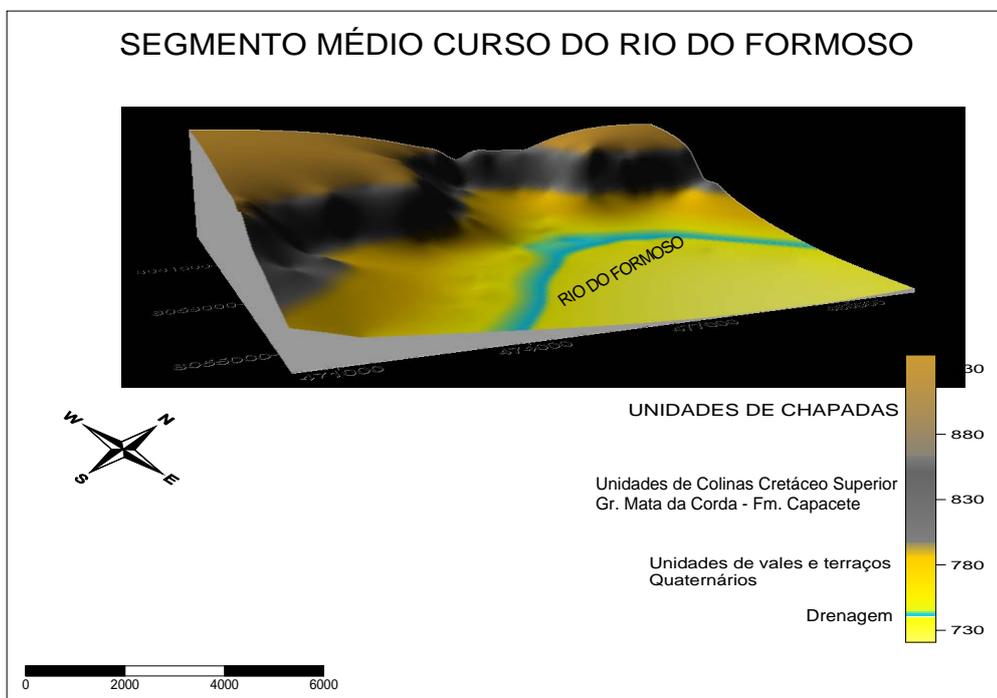


Figura 30: Modelagem em 3D do segmento médio curso do Rio do Formoso, inserido nos compartimentos geomorfológicos Unidades de Chapadas, Unidades de Colinas Cretáceas e Unidades de Encostas, Vales e Terraços Quaternários.

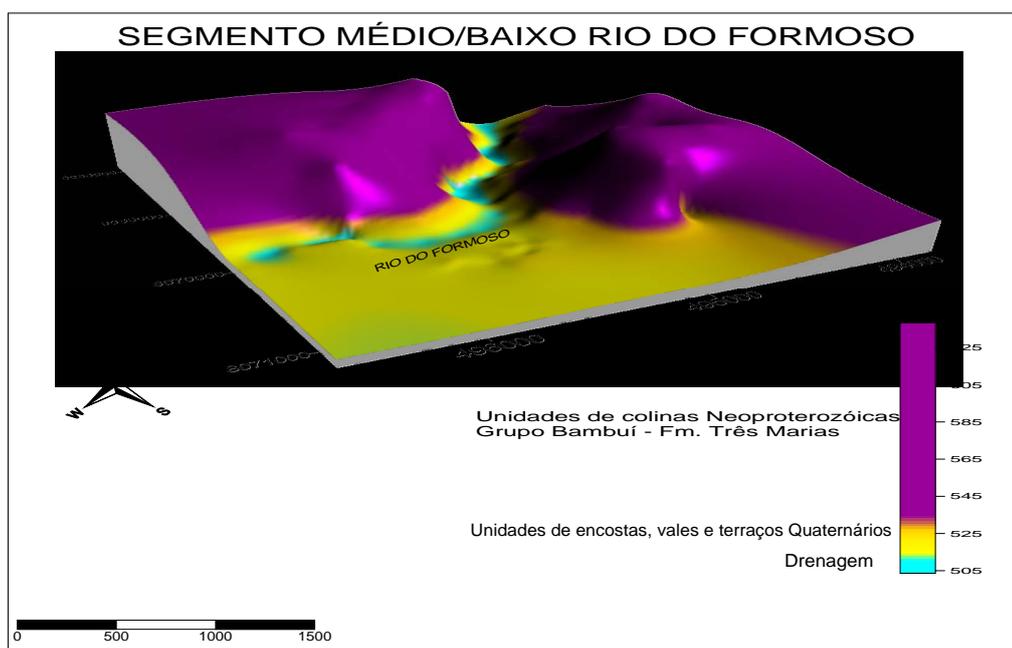


Figura 31: Modelo em 3D do segmento baixo curso do Rio do Formoso, inserido nos compartimentos geomorfológicos Unidades de Colinas Neoproterozóicas da Formação Três Marias e Unidades de Encostas, Vales e Terraços Quaternários.

2.2.6.2 Dinâmica do escoamento fluvial e tipos de fluxos

O escoamento nos canais fluviais apresenta diversas características dinâmicas que se tornam responsáveis pelas qualidades atribuídas aos processos fluviais. Do ponto de vista geomorfológico, a dinâmica do escoamento ganha significância na atuação exercida pela água sobre os sedimentos do leito fluvial, no transporte dos sedimentos, nos mecanismos deposicionais e na esculturação da topografia do leito (Christofoletti, 1977). A rede de drenagem se estrutura como as principais vias de transporte dos produtos e subprodutos elaborados pelos processos erosivos.

O Rio do Formoso pode ser classificado como um canal aberto, e seu fluxo principal é do tipo turbulento de corrente e encachoeirado. De um modo geral, o fluxo turbulento é caracterizado por uma variedade de movimentos, com muitas correntes secundárias contrárias ao fluxo principal para jusante (Christofoletti, 1977). Ao longo do canal fluvial, o fluxo variou entre o turbulento de corrente e o turbulento encachoeirado; este último ocorrendo nos trechos de velocidade mais elevada, encontrados nas corredeiras e pequenas cachoeiras localizadas, em sua grande maioria, no segmento alto/médio curso; conforme apresentado nas

figuras abaixo.

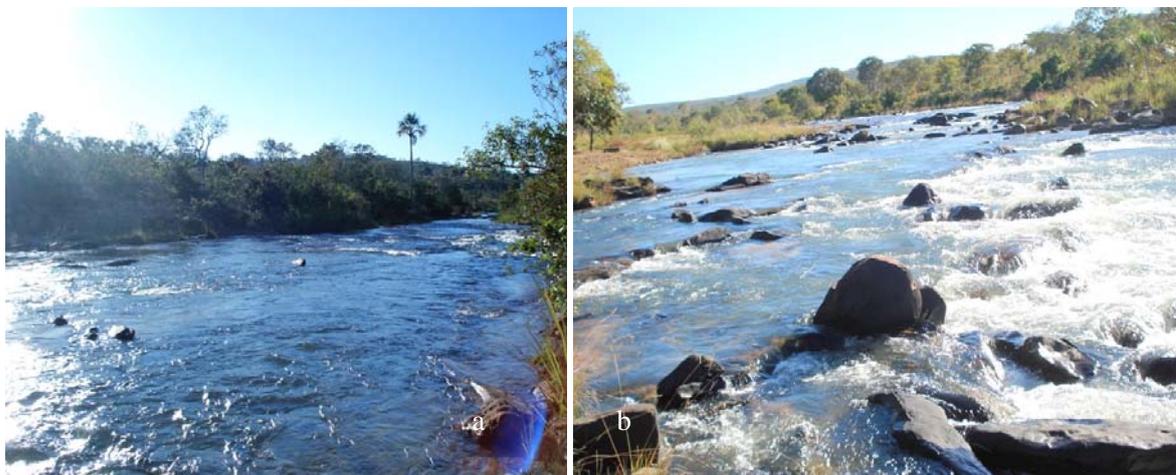


Figura 32 (a e b): As fotos apresentam os tipos de fluxos que ocorrem ao longo do perfil longitudinal do Rio do Formoso. Na foto (a), o fluxo é caracterizado como turbulento de corrente. Na foto (b), o fluxo se apresenta como turbulento encachoeirado, caracterizado por trechos de velocidades elevadas. Fazendas do Formoso e Baianinho.

2.2.6.3 Tipologia do canal e padrão de drenagem

A tipologia do canal fluvial do Rio do Formoso pode ser definida como um curso de canais únicos, podendo ser subdividido principalmente em canais retos e sinuosos, sendo os canais meandantes expressivos. As formas topográficas do canal principal e dos canais secundários apresentam-se como leitos com segmentos rochosos e leitos com segmentos aluviais, estes favorecendo a mobilidade dos sedimentos.

O canal fluvial apresenta irregularidades ao longo do seu perfil longitudinal: a topografia do leito exhibe diversos arranjos de formas, como pequenas dunas, antidunas, barras, *point bars*, entre outras. Um aspecto bastante característico correlacionado com a dinâmica do escoamento é a existência de depressões, representando os trechos de maior profundidade; seguida de parte mais rasas, correspondendo aos trechos retilíneos e oblíquos. Todas essas formas têm como motor a dinâmica e a mecânica do fluxo d'água, e são elementos inerentes à rugosidade do canal.

Outro aspecto que chama a atenção na análise do controle estrutural e da dinâmica geomorfológica diz respeito à direção preferencial do curso principal do rio, SW-NE, influenciada pelo grande Lineamento Transbrasiliano (Schobbenhaus *et al.*, 1975). Essa

tendência foi observada em outras bacias adjacentes.

Ao longo do perfil longitudinal observaram-se significativas rupturas de declives, que se apresentam na forma de corredeiras e de pequenas cachoeiras; a grande maioria encontrando-se orientada no sentido WNW-ESE e estruturando-se individualmente ou em uma seqüência de feixes escalonados ao longo do eixo de drenagem.

Algumas dessas rupturas de declives que se posicionam ao longo do canal principal e de alguns canais secundários têm estreita relação com os fatores litoestruturais locais ou até mesmo regionais presentes na área. Porém, quando esses fatores não podem explicar as diferenças topográficas entre os segmentos situados a montante e jusante, o mais plausível é relacioná-los ao fenômeno geomorfológico do rejuvenescimento.

Os aspectos morfológicos variam significativamente entre os três segmentos, fato relacionado aos diferentes litotipos, condicionamento estrutural, morfologia, morfodinâmica, condições topográficas e processos de rejuvenescimento. Apesar da estreita relação litologia e morfologia nos segmentos geomórficos definidos para a bacia, o fator litológico isoladamente não pode explicar certas diferenças geomorfológicas presentes na área de estudo.

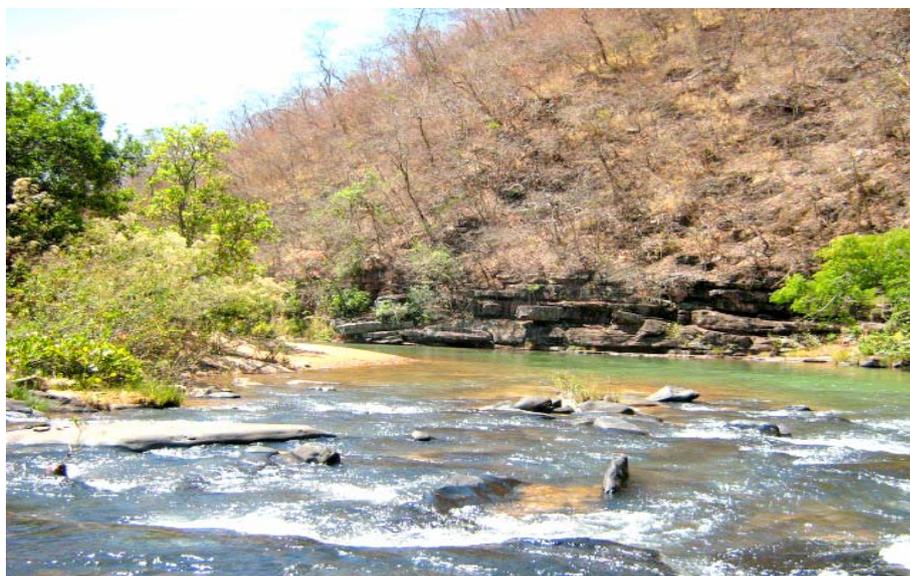


Figura 33: Vista lateral (WNW-ESE) do segmento médio curso do Rio do Formoso, mostrando as rupturas de declive, que se apresentam na forma de corredeiras, modelando o perfil longitudinal do rio. Fazenda Agapito.

O eixo principal de drenagem caracteriza-se por apresentar uma calha de 1 a 2

metros de comprimento no alto curso, de 5 a 15 m no médio curso e de 5 a 9 m no baixo curso, sendo que as profundidades médias variam em torno de 1 m. Nos cursos secundários, o diâmetro médio da calha gira em torno de 1 a 2 m e a profundidade mede cerca de 80 cm.

O fluxo de água perene pode ser explicado em razão da grande incidência de veredas no curso principal e também nos tributários. A exsudação do lençol freático, através dos sistemas de veredas, permite a manutenção do fluxo hidrológico durante todo ano.

O padrão de drenagem geral é o paralelo, com maior predomínio na margem esquerda ao longo do canal principal, em especial no segmento alto/médio curso; no segmento baixo curso o percentual diminui consideravelmente em direção à foz. Como observado na (fig. 28), o padrão paralelo é bastante evidente e encontra-se condicionado a fatores de ordem geológica (estrutura e litologia) e a fatores de ordem geomorfológica (rupturas de declive e erosão regressiva), modelando assim o perfil longitudinal.

Em relação à densidade de drenagem, a margem direita possui os menores índices, o segmento médio curso possui os maiores e o baixo curso praticamente não possui drenagens significativas.

2.2.6.4 Transporte fluvial de sedimentos

A carga detrítica nos cursos de água se constitui é formada por uma mistura de partículas de várias espécies, tamanho e formas. Embora a movimentação detrítica seja um processo fluvial importante, só pequena parcela da energia do rio é gasta no transporte da carga detrítica (Morisawa, 1968).

Uma parcela considerável da carga detrítica do Rio do Formoso é fornecida pela ação erosiva que suas águas exercem sobre as margens e o fundo do leito; todavia, a maior parcela de contribuição é fornecida pela remoção detrítica das bordas de escarpas. O fluxo e o transporte dos sedimentos fornecidos pela bacia de drenagem constituem respostas aos processos e ao estado de equilíbrio atuantes no sistema fluvial.

A dinâmica da bacia hidrográfica do Formoso é responsável pela sedimentação fluvial, que inclui os processos de remoção, transporte e sedimentação das partículas. Alguns aspectos da sedimentação fluvial, que ocorrem principalmente nos segmentos alto e baixo curso, encontram-se relacionados à remoção intensa de detritos das vertentes, cuja causa principal é a utilização das terras agrícolas. Outro fator que promove o aumento das taxas de

sedimentação é a abertura de estradas vicinais.

Como já exposto, o regime de transporte e sedimentação do rio é condicionado pela morfodinâmica de sua bacia. A montante, área mais plana da bacia, a sedimentação de materiais mais finos se faz através de um regime de baixa energia. Os poucos terraços aluvionares que ali se encontram estão entre 0,80 m a 1 m acima do nível da lâmina de água, e o material presente neles é geralmente argilo-arenoso, sem presença de material grosseiro.

A partir do segmento médio curso, a dinâmica no processo de transporte e sedimentação se caracteriza pela presença de uma porcentagem maior de material grosseiro, o que evidencia um regime de alta energia. O perfil estratigráfico e granulométrico dos terraços indica esse tipo de sedimentação; as condições morfológicas, vales estreitos, sinuosos e encaixados, condicionam a deposição; já a sedimentação de material fino é bastante escassa.

No segmento baixo curso até a foz com o Rio São Francisco, predomina a deposição de material sedimentar fino, a morfodinâmica do segmento fluvial favorecendo esse tipo de deposição. Os terraços se posicionam entre 1 a 3 m da lâmina de água e são compostos, em sua grande maioria, por material argilo-arenoso. Percebe-se ao longo do perfil longitudinal que a deposição dos sedimentos ao longo do leito menor e maior foi feita através de uma seqüência cíclica, de material fino, representando um regime de baixa energia e episódios de granulometria mais grosseira, correspondendo a um regime de alta energia.

Os perfis abertos ao longo dos segmentos fluviais demonstram, que a distribuição granulométrica, o processo de transporte e o ambiente de sedimentação são representativos das condições morfoclimáticas que aconteceram na área ao longo do Cenozóico.

Atualmente, o regime de transporte dos sedimentos varia ao longo do perfil longitudinal: no segmento alto curso a deposição se faz mais lentamente; no segmento médio curso os sedimentos se depositam num regime mais turbulento e no segmento baixo curso a deposição dos sedimentos repete o ritmo do alto curso.



Figura 34 (a, b, c): A Foto 34 (a) mostra os solos de origem aluvial e hidromórficos. O primeiro apresenta horizonte escurecido sobre camada estratificada, sendo a sedimentação de finos feita sob um regime de baixa energia. A foto 34 (b), segmento médio curso, mostra a presença de Plintossolos, que podem apresentar concentrações de elementos traços. A foto 34 (c) segmento médio curso, mostra a dinâmica no processo de transporte e sedimentação, se caracteriza pela presença de uma porcentagem maior de material grosseiro evidenciando regime de maior energia. Fazenda Agromen.

A sedimentação fluvial, que inclui os processos de remoção, transporte e de deposição das partículas, encontra-se condicionada à morfodinâmica existente ao longo do perfil longitudinal do rio.

Através da observação, em paralelo, dos mapas de unidades litoestratigráficas, geomorfológicos, hidrográficos e dos blocos diagramas, aponta-se uma correlação existente entre as características litológicas e estruturais do substrato geológico, a gênese, a morfodinâmica, a tipologia das unidades de relevo e, por conseguinte, o arranjo, morfologia, morfogênese e morfodinâmica fluvial encontrados na bacia hidrográfica do Rio do Formoso.

As condições do meio físico presentes na bacia apontam certa relação entre a

especialização geográfica dos metais e as variáveis encontradas nos compartimentos geomórficos, estes influenciados pelos processos de erosão, transporte e deposição.

Diante do apresentado nesta seção, pode-se depreender com certo grau de precisão que a distribuição e dispersão dos metais pesados ao longo do perfil longitudinal se encontram correlacionadas às características litoestruturais, geomorfológicas e à morfodinâmica atuantes na bacia de drenagem.

2.2.7 Uso e ocupação do solo

Nesta seção é feita uma descrição sucinta do uso e ocupação do solo na bacia do Formoso nos anos de 1980 e 2008, elaborada a partir de imagens orbitais geradas pelos satélites LANDSAT III e CBRES II.

O estímulo à ocupação recente dos cerrados brasileiros é resultante das políticas governamentais destinadas à modernização do setor agropecuário nacional, adquirindo novos incentivos para seu crescimento a partir da segunda metade da década de 60. Nessa década, grande parte das terras drenadas pelo Rio do Formoso foi também destinada à implantação de monoculturas de eucalipto e pinus. Inicialmente esses empreendimentos ocuparam as áreas com cotas topográficas entre 750 e 900 m/alt, predominantemente planas, na área dos Chapadões dos Gerais.

As atividades monocultoras são ampliadas a partir da década de 90, com a introdução das culturas comerciais de soja, milho, feijão e, posteriormente, o café – momento em que as áreas mais próximas às drenagens são ocupadas, ampliando o impacto sobre a vegetação nativa e veredas, seja pelo impacto indireto, devido à acentuação dos processos erosivos e assoreamento, como também pela construção de barramentos destinados à irrigação.

A comparação em paralelo das imagens geradas para o uso e ocupação do solo nos anos de 1980 (fig. 35) e 2008 (fig. 36), elaboradas a partir de imagens orbitais LANDSAT III-1980 e CBERS II-2008 e de trabalhos de campo recentes, constatou a evolução das atividades agrícolas; principalmente as monoculturas de pinus, eucaliptos, soja, milho e café.

A análise do mapa do uso do solo - 1980 mostra que as áreas plantadas com a monocultura de pinus e eucaliptos ocupavam, grandes latifúndios no chapadão (NW) e uma grande porção no interior da bacia (NE e SE). Fica claro, a grande expressão espacial da silvicultura, isso indica que houve grandes modificações na distribuição espacial do uso da

terra com esta categoria de uso. As áreas de mata ciliar/galeria e veredas ocupavam uma área relativamente considerável ao longo da bacia. As áreas de cerrado ocupavam áreas significativas na parte SW, SE e ENE da bacia destacando-se como o segundo tipo de uso, se comparado com os demais usos da terra.

O mapa de uso do solo – 2008 mostra a expansão das áreas cujas atividades são ligadas à agropecuária intensiva e extensiva e à instalação de áreas de pastagens. Observa-se, também, que as matas ciliares/galerias e as veredas tiveram um decréscimo negativo em relação às atividades de silviculturas e agropecuária. Fica evidente o desenvolvimento de grandes áreas de culturas irrigadas através de pivô central. Atualmente, tanto a agricultura comercial quanto à pecuária extensiva ocupam cada vez mais espaço na paisagem rural da bacia.

Nesse contexto de múltiplos usos dos solos e com a utilização intensiva e repetitiva de agroquímicos, tem-se intensificado a problemática ambiental da degradação dos recursos hídricos, solos, plantas e fauna na bacia hidrográfica do Rio do Formoso.

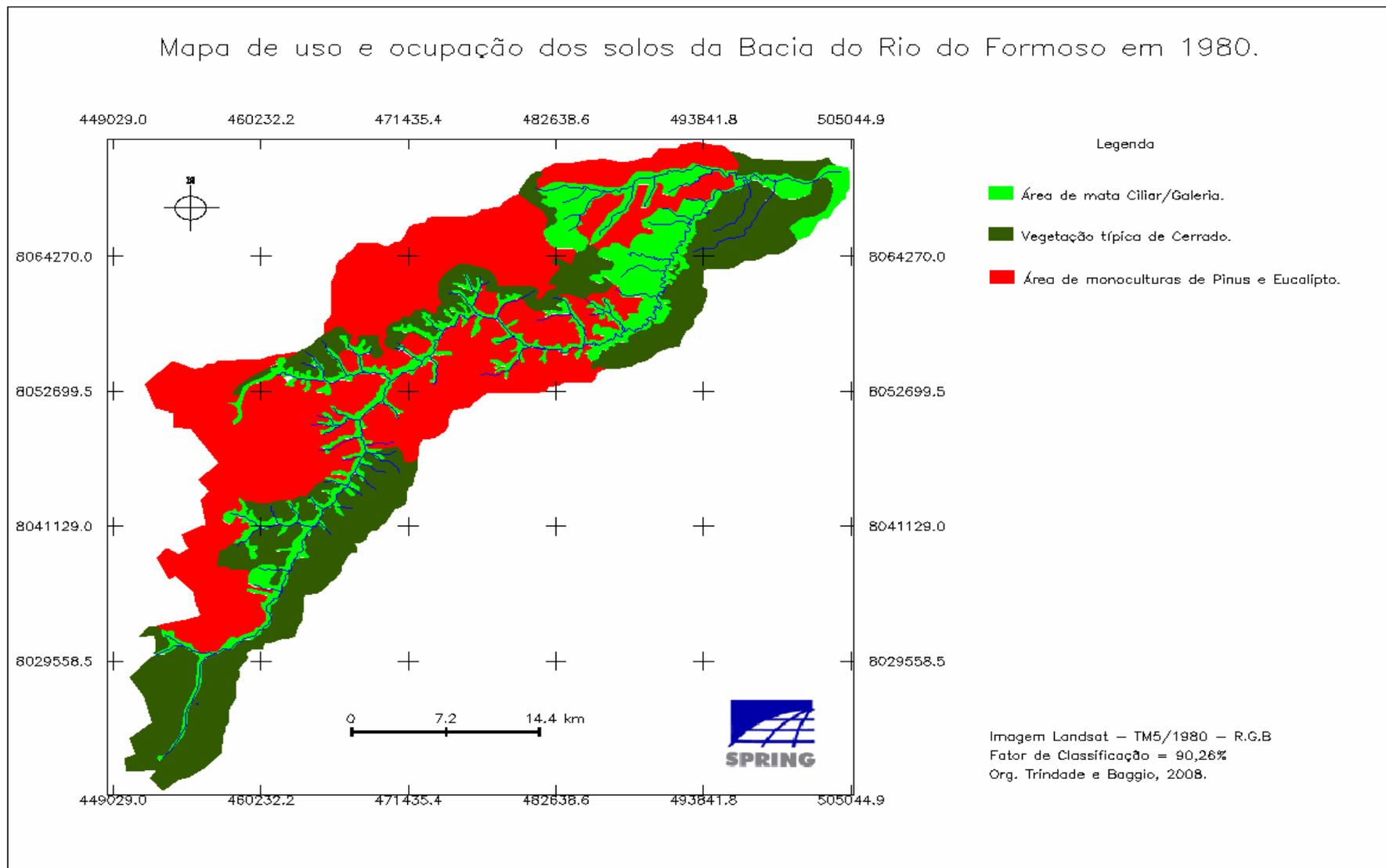


Figura 35: O mapa mostra os principais usos dos solos na década de 80. Destaque (em vermelho), para a grande área plantada com as monoculturas e pinus e eucaliptos. Nota-se que as áreas de mata ciliar/galeria e veredas ocupavam uma considerável extensão geográfica.

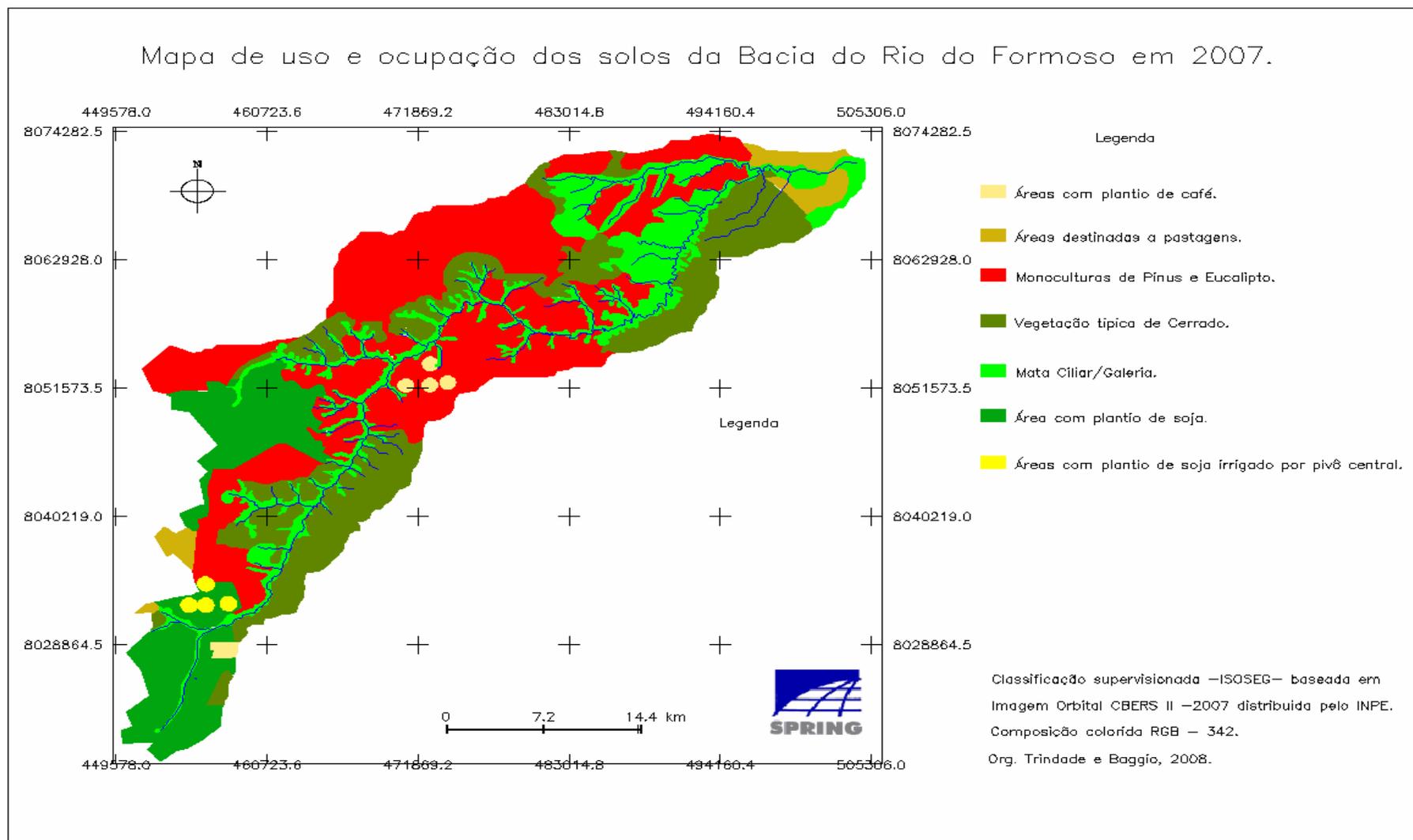


Figura 36: O mapa mostra os principais usos dos solos no ano de 2008. Nota-se a uma diminuição nas áreas com a monocultura de pinus e eucaliptos, sendo as mesmas substituídas pelas monoculturas de soja, milho e feijão. Percebe-se também, um decréscimo negativo nas áreas de matas, e um acréscimo nas áreas de pastagens, áreas com monocultura de café e soja irrigadas.

CAPÍTULO 3: METODOLOGIA, ETAPAS, MATERIAIS E TÉCNICAS DA PESQUISA

3.1 METODOLOGIA

A metodologia desenvolvida para a pesquisa buscou analisar as condições geoquímicas em que se encontram os compartimentos litosfera (litotipos) e hidrosfera (água e sedimentos), correlacionando-os com a identificação das ações humanas concentradas, denominadas como "anomalias antropogênicas", sendo contrastadas com valores de referência estabelecidos pelas Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA 344/04 e CONAMA 357/05. Almejou-se, também, analisar as anomalias naturais que ocorrem no compartimento litosfera que podem estar influenciando nas condições geoquímicas da água e dos sedimentos.

O método utilizado para a área da pesquisa se caracteriza como uma abordagem de caráter quantitativo.

O planejamento da pesquisa na área da bacia hidrográfica do rio do Formoso envolveu procedimentos específicos aplicados em metodologias para a determinação de metais pesados em água e sedimentos e para os elementos contidos nos litotipos.

Com o objetivo de nortear a pesquisa, algumas atividades foram consideradas de suma importância no planejamento do projeto metodológico, entre as quais: levantamento bibliográfico e cartográfico; planejamento das atividades para as campanhas de campo; planejamento do plano de amostragem para água e sedimentos (seleção dos pontos de amostragem em gabinete e *in situ* de parâmetros físico-químicos de qualidade e amostragem para determinação de metais), planejamento do plano de amostragem para rochas (seleção dos pontos de amostragem em gabinete, planejamento para coleta e determinação do método analítico); utilização de métodos estatísticos e programas específicos para dar suporte à interpretação e quantificação dos resultados obtidos.

3.2 METODOLOGIA E ETAPAS

Com a elaboração e formatação da proposta metodológica seguiu-se o cronograma geral estabelecido para este trabalho (Figura 38). A pesquisa foi estruturada para ser desenvolvida nos compartimentos geomórficos identificados e mapeados da bacia de drenagem, tendo como objetivo principal avaliar as condições de um sistema hídrico; pesquisando-se a origem (natural ou antropogênica), concentração, disponibilidade e a distribuição dos metais Cu, Cd, Cr, Ni, Pb, Zn, Fe, Al e Mn nas águas superficiais e nos sedimentos de fundo/corrente do rio do Formoso. Para tal utilizou-se parâmetros de suporte e análises físico-químicas dos sedimentos e da água, além da assinatura geoquímica dos vários litotipos presentes na área. A seguir, descrevem-se as três principais etapas e suas técnicas utilizadas nesta pesquisa.

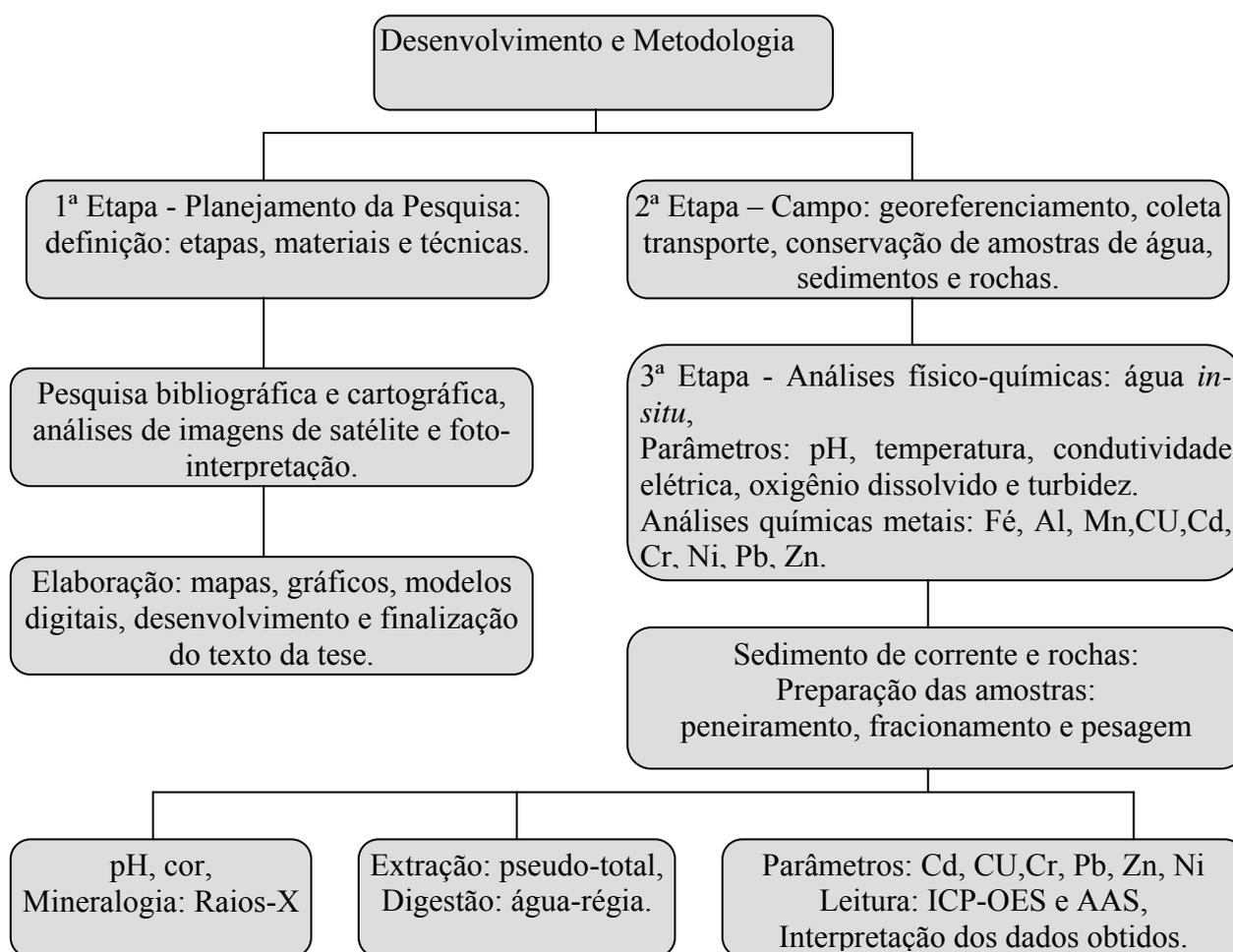


Figura 37: Esquema geral apresentando as etapas metodológicas.

3.2.1 A primeira etapa: pesquisa em gabinete – tabulação dos dados, geração e confecção dos mapas

Os levantamentos bibliográficos e cartográficos constituíram-se em uma ampla pesquisa e revisão sobre os levantamentos e estudos no que diz respeito à contaminação com metais pesados em águas superficiais e sedimentos e sobre os aspectos do meio físico, econômico e socioambiental no contexto regional e local da área pesquisada.

Foi efetuado um levantamento do material cartográfico disponível para a área de estudo. Além desse material foram utilizadas fotografias aéreas, escala 1: 60.000, resultantes do acordo Brasil/Estados Unidos – projeto USAF-AST-10 de 1964/66 e imagens orbitais do satélite LANDSAT III-1980 e CBERS-II/B-2008, o que possibilitou uma análise conjunto/espacial da área de estudo. As informações cartográficas basearam-se nas seguintes cartas topográficas: folhas SE.23-B-V-V, SE.23-V-B-VI, SE.23-X-A-IV, SE.23-V-D-II e SE.23-V-D-III, na escala de 1: 100.000, do Serviço Geográfico do Exército (SGE, primeira impressão de 1969); consultadas com o objetivo de analisar as condições topomorfológicas da área investigada. Para a descrição geológica utilizou-se como apoio os mapas elaborados pela Companhia Mineradora do Estado de Minas Gerais (COMIG) e pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) – Projeto São Francisco, na escala 1: 100.000 (impressão de 2003), com articulação das folhas SE.23-V-D-III, SE.23-X-C-I, SE.23-V-D-V e SE.23-V-D-VI.

A base cartográfica dos mapas foi elaborada através da interpolação de curvas de imagens Geotiff obtidas pela The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) na escala 1/250000 – Datum WGS 84 e distribuídas pela National Aeronautics and Space Administration (NASA). Terminada a fotointerpretação e as análises das imagens orbitais, confeccionou-se o esboço dos mapas e, de posse dos mesmos, seguiu-se para o campo com o intuito de se proceder aos ajustes finais, tais como: ajuste de escala, conferência das feições morfológicas, níveis dos litotipos, arranjos hidrográficos, ajustes dos pontos de amostragem, uso do solo e localização.

Para a execução da caracterização ambiental na área de trabalho foi elaborada uma base digital de informações, esta envolvendo o uso de cartas topográficas – como especificadas – anteriormente e imagens ETM+ do LANDSAT-III-1980, sensor TM 5, composição colorida analógica (digital) canais 3 no azul, 4 no verde e 5 no vermelho, escala 1: 100.000; bem como imagens orbitais do Satélite Sino Brasileiro de Recursos Terrestres (CBERS-2B-2008). As cartas topográficas de cobertura da área foram escaneadas, georeferenciadas e vetorizadas no Sistema Informação Geográfica (SPRING *version* 4.3.3).

Das cartas topográficas foram digitalizadas as curvas de nível, a malha rodoviária e a rede hidrográfica. O *software* SPRING foi utilizado para obtenção dos cenários naturais, geologia, geomorfologia, pedologia, declividade, classes de dissecação, vulnerabilidade ambiental e uso e ocupação dos solos da área de estudo, servindo como ferramenta para o tratamento, interpretação e análise das imagens de satélite. O editor gráfico Surfer 8, da Golden, foi utilizado para a edição final dos mapas temáticos e das figuras utilizadas durante o desenvolvimento do trabalho. Os mapas foram elaborados na escala de 1: 60.000 e inseridos nos capítulos que tratam de suas respectivas informações. A impressão final foi feita no formato A4.

Também foram elaborados três blocos diagramas em 3D, representando os segmentos alto, médio e baixo curso do rio do Formoso. Esses foram modelados a partir do programa SURFAG MAPPING PROGRAM (Surfer *version* 8.0), com o objetivo de efetuar a Modelagem Numérica do Terreno (MNT), morfologia, litologia e arranjo hidrográfico.

As informações referentes aos dados obtidos para metais pesados (valores de referência) e para os elementos menores presentes nos litotipos (valores de referência) foram dispostas em planilhas desenvolvidas no *software* Microsoft Excel e dispostas nos capítulos que tratam de suas respectivas informações.

É apresentada no Anexo III a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 1995, que dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água e diretrizes ambientais e estabelece as condições padrões de lançamento de efluentes, dentre outras providências.

No Anexo IV é apresentada a Resolução CONAMA nº 344, de 25 de março de 2004, que estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras, estando seus limites alinhados aos valores guias da Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life (CSeQGs – 2002), já que o Brasil ainda não dispõe de uma legislação específica que determine o nível máximo de metais pesados permitidos em sedimentos.

As tabelas 4, 5, 6, 7, 8 e 9, relativas aos níveis de concentração para os litotipos, tiveram como referência os valores extraídos parcialmente de Krauskopf (1976) e Bowen (1979) e foram inseridas na seção 5.9 do Capítulo 5.

Em gabinete foram planejadas as atividades de campo, com operacionalização de quatro campanhas escalonadas ao longo dos anos de 2005, 2006, 2007 e 2008: duas campanhas para coletas e amostragem de água e sedimentos, uma campanha para amostragem dos litotipos e, por fim, uma última campanha para conferência dos esboços cartográficos, ajuste de escalas e para dirimir eventuais dúvidas que surgiram ao longo do trabalho.

3.2.2 A segunda etapa: pesquisa de campo

A pesquisa de campo foi realizada seguindo procedimentos definidos na primeira etapa. Foram realizadas quatro expedições de campo com duração de cinco dias cada. Percorreu-se o curso principal do canal de drenagem e alguns tributários da nascente à foz, além de outras áreas de interesse à pesquisa. Esses procedimentos tiveram como finalidade: proceder à localização dos pontos de amostragem e georeferenciamento (Anexo IX); coleta de amostras de água e análise físico-químicas *in situ* de sedimentos e rochas; conferência dos esboços cartográficos; aferição da escala, das feições geomórficas e da posição dos litotipos e conferência do arranjo da morfologia da rede de drenagem.

3.2.3 A terceira etapa: análise de laboratório

As etapas analíticas foram realizadas nas seguintes instituições de pesquisa:

- a) Geookologische Labormethodem in der Physischen Geographie da Univesität Leipzig/Alemanha, onde se efetuou o procedimento padrão para a preparação das amostras de sedimentos para análises químicas, determinação do método extrator e a determinação por ICP-OES;
- b) Laboratório de Geoquímica Ambiental do Centro de Pesquisas Manoel Teixeira da Costa (CPMTC/IGC/UFGM), onde se prepararam as amostras de água para análises químicas e as amostras de sedimentos para análises físico-químicas, determinação do método extrator e leitura - ICP-OES;
- c) Laboratório do Serviço de Tecnologia Mineral (CDTN/CNEN), onde foram feitas as análises mineralógicas por difratometria de Raios-X pelo método do pó;
- d) Núcleo de Pesquisas Ambientais (NPA/UNIMONTES), onde se processaram a separação do sedimento da água, secagem, quarteamento, pesagem, realização do fracionamento das amostras (peneiramento) e descrição das cores dos sedimentos;
- e) Laboratório da Lakefield-Geosol Laboratórios LTDA, onde foram feitas as análises dos elementos menores presentes nos litotipos.

3.3 LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM DE SEDIMENTO DE CORRENTE E FUNDO

A seleção dos pontos de amostragem na bacia de drenagem do rio do Formoso considerou as variações na paisagem que refletissem os diferentes tipos de unidades e/ou compartimentos e suas áreas de transição: litológicas e de materiais de origem (sedimentos aluviais e terraços aluviais do Quaternário; sedimentos arenosos da Formação Chapadão do Cenozóico; arenitos do Grupo Areado Cretáceo Inferior do Grupo Mata da Corda Cretáceo Superior e rochas do Grupo Bambuí – Formação Três Marias do Neoproterozóico); compartimentos geomórficos (Unidades de Chapadas, Unidades de Colinas e Unidades de Vales e Terraços); variações topográficas (cotas altimétricas da nascente – 950 m/alt – à foz – 470 m/alt) e diferentes tipos de padrões vegetacionais ocorrentes dentro do Bioma Cerrado (veredas, mata ciliar e vegetação de várzea) o uso e ocupação do solo (agricultura comercial, pastagem, florestamento com eucaliptos). Amostraram-se pontos em locais representativos dos diferentes compartimentos geomorfológicos e suas áreas de transição, tendo como apoio a interpretação de imagens orbitais e campanhas de campo. Todos os pontos amostrados foram georeferenciados através de GPS - *Global Positioning System* conforme o Anexo II. Para o tratamento dos dados obtidos, foi utilizado o programa GTM-PRO 4.2. Os pontos foram plotados no mapa (fig 38).

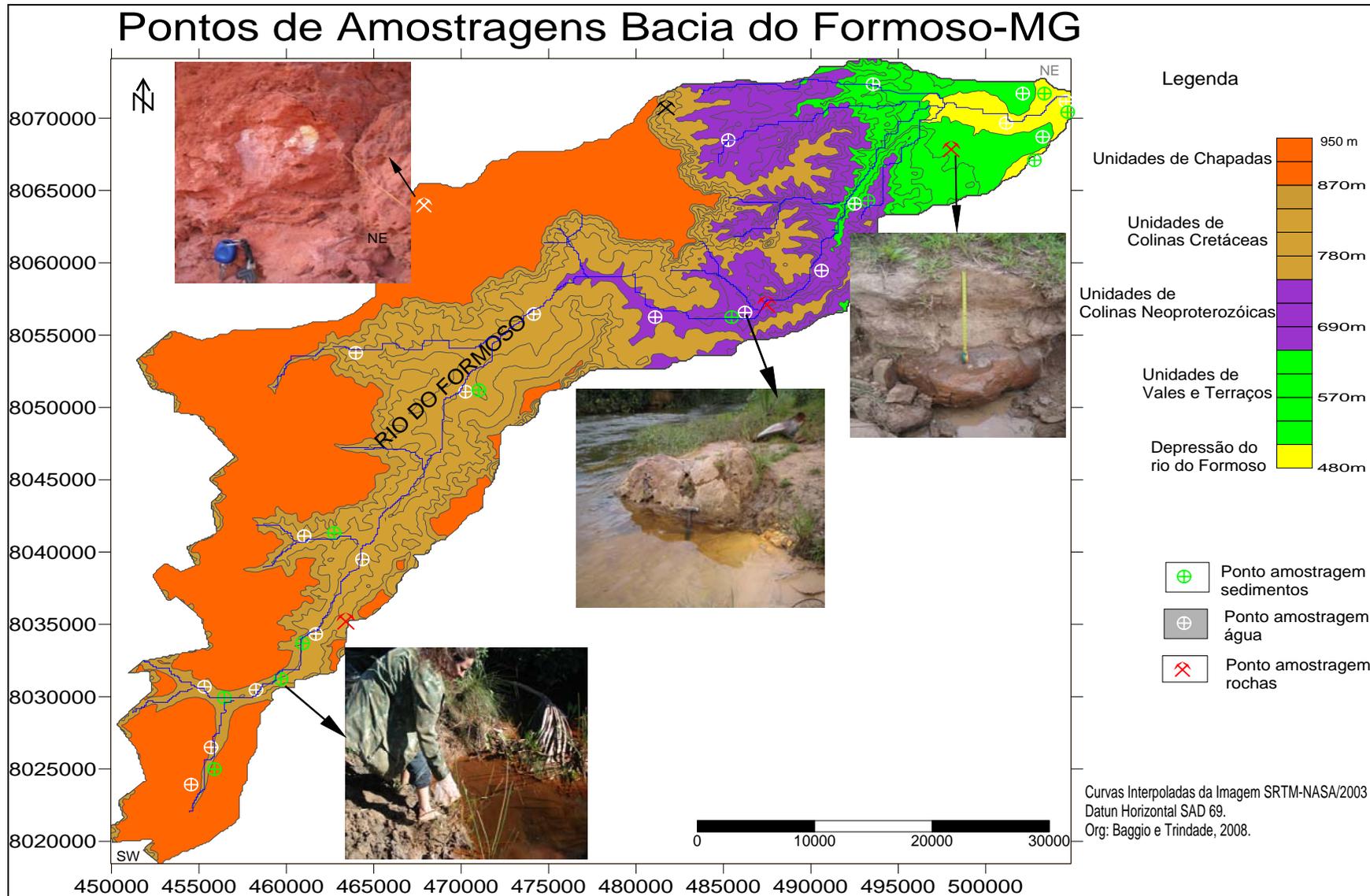


Figura 38: Mapa apresentando os locais de amostragens e os pontos de coleta de água, sedimentos e rochas na bacia do Formoso.

3.3.1 Frequência, coleta e preservação das amostras de sedimentos

A amostragem da análise de sedimentos se deu em duas etapas de campo. A primeira foi feita na 1ª quinzena do mês de fevereiro de 2006, no período final da estação chuvosa. A segunda amostragem foi feita na 2ª quinzena no mês de agosto de 2006, na estação seca, com o intuito de avaliar a influência climática na (lixiviação dos solos, entrada de poluentes orgânicos e inorgânicos com a precipitação e a capacidade de diluição do rio) No total foram coletadas onze amostras de sedimentos (para cada campanha de campo). Os sedimentos foram coletados em onze pontos de amostragem, perfazendo um total vinte e duas amostras de sedimentos de corrente/fundo, tendo como objetivos: (I) avaliar a concentração e a distribuição dos elementos: cobre (Cu), cádmio (Cd), cromo (Cr), níquel (Ni), chumbo (Pb) e zinco (Zn), baseados nos parâmetros de toxicidade potencial para o homem e a biota aquática; (II) verificar a origem natural ou antropogênica desses elementos; (III) quantificar, representar graficamente e comparar com valores orientadores estabelecidos pela CSeQGs (2002), adotados pela Resolução CONAMA nº 344/04 e (IV) descrever os teores de metais pesados presentes nos sedimentos das onze estações de amostragem.

Foram coletadas, manualmente, onze amostras de sedimentos com cerca de 1,5 kg cada. A coleta foi feita na margem esquerda e direita, afastada em uns 30 cm do leito menor e também, sobre rochas no leito, os sedimentos de fundo foram coletados manualmente por um coletor cilíndrico forjado em aço, com capacidade para 1.0 kg de sedimentos, diretamente no fundo do canal fluvial.

Utilizou-se para a coleta dos sedimentos uma pá plástica. As amostras de sedimentos que totalizaram 1,5 kg cada foram acondicionadas em sacos plásticos previamente esterilizados, identificadas, lacradas e transportadas em recipiente refrigerado até o laboratório. As amostras restantes foram acondicionadas em sacos plásticos, lacradas, identificadas e arquivadas.

3.3.2 Procedimento analítico para sedimentos

As análises físico-químicas foram realizadas nos laboratórios do CPMT/IGC/UFMG, no Geokologische Labormethodem in der Physischen Geographie da

Univesität Leipzig e no laboratório do NPA/UNIMONTES.

A técnica para coleta de sedimentos seguiu os procedimentos recomendados pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB, 1988). Após a coleta, preservação e transporte das amostras, foram desenvolvidos as seguintes etapas e procedimentos para a quantificação analítica, como mostra o esquema abaixo:

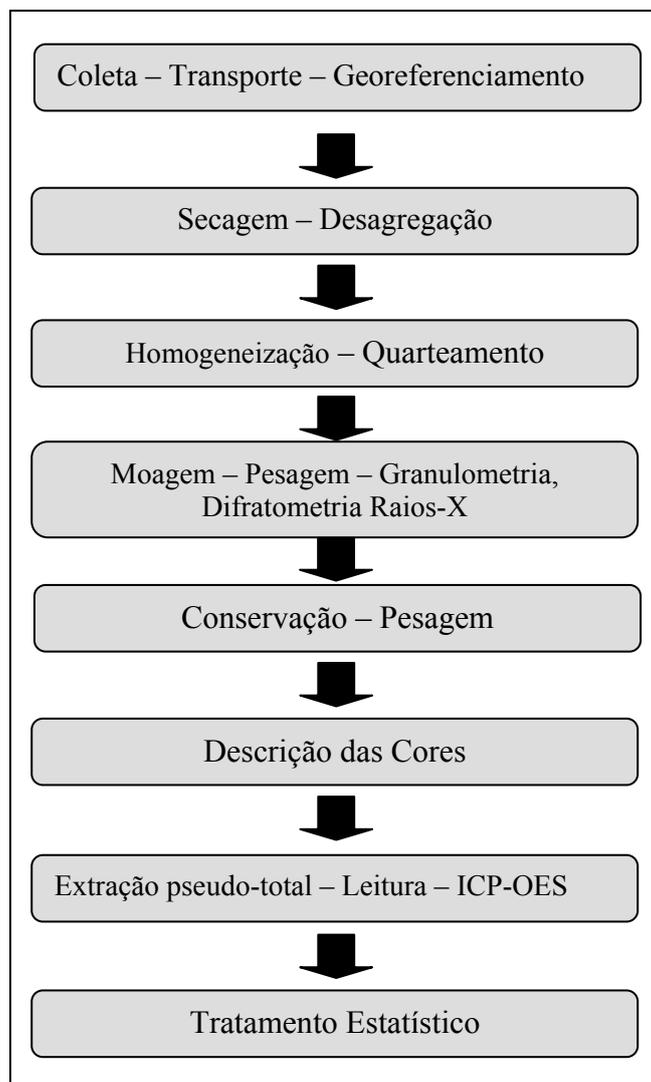


Figura 39: Esquema apresentando as principais etapas analíticas para sedimento

Inicialmente as amostras foram levadas para o NPA/UNIMONTES, onde se esperou a decantação do sedimento e posterior separação da água; sendo a mesma descartada sem perda de material sólido. Em seguida, as amostras foram colocadas em tabuleiros de plástico previamente desinfetados, depositadas sob a bancada e secadas por cinco dias à temperatura ambiente e à sombra, para não haver perdas por volatilização. Posteriormente, o material foi desagregado, sendo retirados restos de raízes, folhas e pedregulhos que não fazem parte do

sedimento. Na seqüência, as amostras foram quarteadas com espátula de aço inoxidável previamente descontaminada e homogêneas em tabuleiros plásticos desinfetados; as demais amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, lacradas, identificadas e arquivadas.

Depois de quarteadas, as amostras já homogêneas foram passadas em peneira de aço inoxidável até atingir a fração granulométrica $<0,063$ mm – a mais adequada para a determinação dos metais pesados. A escolha dessa fração está relacionada à presença de metais; principalmente na fração silto-argilosa, a mais próxima da granulometria carregada em suspensão. A fração granulométrica pesou 100 g e, após a pesagem, as amostras foram acondicionadas em recipiente plástico e identificadas.

As cores nos sedimentos foram descritas em laboratório com as amostras secas e em pó. Para tal determinação foram utilizadas as Munsell Soil Color Charts (2000), com o propósito de relacioná-las aos minerais presentes nos litotipos.

A análise mineralógica foi realizada no laboratório do CDTN/CNEN, o método utilizado foi difração de Raios-X - método do pó, por ser de uso mais amplo na determinação da estrutura cristalina. Em laboratório, as quatro amostras foram moídas e peneiradas alternadamente, obtendo-se uma fração <100 mesh, na seqüência foram misturadas e colocadas no suporte, dando prosseguimento às análises. Empregou-se um difratômetro de Raios-X de fabricação Rigaku, modelo Geigerflex, semi-automático e com tubo de raios-X de cobre. Eis as condições de operação do difratômetro de raios-X: fator de escala (8×10^3), constante de tempo (0,5 s), velocidade do registrador (40 mm/min), velocidade do goniômetro ($8^\circ 2\theta/\text{min}$), intensidade de corrente (30 mA) e tensão (40 KV). A identificação das fases cristalinas (minerais) foi obtida por comparação dos difratogramas de Raios-X das amostras com o banco de dados do ICDD – International Center for Diffraction Data / Joint Committee on Powder Diffraction Standards – JCPDS (Sets 01 – 50; 2000). Para as análises das fases cristalinas (minerais), levou-se em consideração a intensidade da principal reflexão e a comparação entre as mesmas, avaliando-se as quantidades relativas de seus teores.

As onze amostras contendo cerca 100 g (TFSA) foram acondicionadas em frascos plásticos lacrados de polietileno, seguindo as recomendações da EPA (USEPA 2001) e USGS (Shelton e Capel, 1994); etiquetadas e enviadas para o Geookologische Labormethodem da Univesität Leipzig/Alemanha e para o laboratório do CPMT/IGC/UFMG.

Em laboratório foi decidido o método extrator e, optou-se pelo ataque pseudo-total, através da digestão por água-régia. A utilização desse método foi uma solução efetiva para os elementos

analisados, além disso, disponibiliza os metais associados às fases minerais residuais representados por óxidos fortemente cristalinos e alguns silicatos com argilo-minerais (Davidson et.al, 1988; *in* Oliveira, 2007). Além disso, é um método de composição mais simples, rápido e de custo menos elevado. Praticamente a única diferença apresentada no laboratório na Alemanha, diz respeito, ao uso de um sistema fechado (microondas), oferecendo uma economia de tempo bastante substancial.

A leitura das concentrações dos metais totais Cu, Cd, Cr, Ni, Pb, Zn, Fe, Al e Mn foi feita através de *Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy* (ICP-OES) – Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado de Argônio – aparelho modelo M 4165 - Epectroflame – *Spectro* do (CPMTC/UFMG) e do (Geokologische Labormethodem in der Physischen Geographie da Univesität Leipzig). Que dispõe de recursos em seu programa que permitem que se faça uma escolha pormenorizada das linhas de emissão a serem utilizadas para cada elemento (Anexo V). Utilizou-se o método da curva analítica na determinação dos elementos, através do uso de soluções-padrão multielementares. Os resultados foram expressos em mg/kg (sedimentos) e mg/L (água), o tratamento estatístico e a parte gráfica foram tratados no *software* Microsoft Excel.

No Geokologische Labormethodem/Alemanha, o processo de extração iniciou-se com a pesagem de 1 g de TFSA. As amostras foram digeridas com uma solução de 12 mL de ácido nítrico ($\text{HNO}_3_{\text{CONC}}$), 6 mL de ácido clorídrico (HCL_{CONC}) e 0,5 mL de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) 30%; para completa oxidação, agitou-se durante 3h. Em seguida, a solução foi colocada em tubos do digestor que foram firmemente travados e introduzidos em um sistema fechado (microondas) aquecido a uma temperatura de 90°C por 20 minutos. Depois de resfriados os tubos, os mesmos foram removidos do sistema digestor e completou-se o volume com água bidestilada até a marca de 50 mL. Na seqüência, os recipientes foram misturados, esperou-se pela sedimentação da fração não digerida e procedeu-se à filtragem da solução. Foi utilizado para a leitura da absorbância o Espectrômetro de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado de Argônio – (ICP-OES), da marca Epectroflame.

No CPMTC/IGC/UFMG trabalhou-se com a fração fina, sendo a digestão por água-régia realizada com 1 g de TFSA. As amostras sofreram ataque ácido com HNO_3 e HCl concentrados, à quente. Na seqüência, os tubos de ensaio contendo as amostras foram colocados em banho de areia pré-aquecido, a uma temperatura aproximada de 90°C, por 1 hora; os mesmos foram introduzidos até o nível do líquido e a solução ficou em repouso por 24horas. Com os tubos frios, aferiu-se para 25 mL com água deionizada e, após decantar, procedeu-se à filtragem da solução. O equipamento utilizado para a leitura da concentração

dos metais foi o espectrômetro de emissão ótica com plasma indutivamente acoplado de Argônio - ICP-OES, modelo M 4165 – Epectroflame.

3.4 LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM DE ÁGUA

A seleção e coleta dos pontos de amostragem de água foram feitas ao longo do perfil longitudinal do eixo principal da drenagem e de alguns de seus tributários mais expressivos. Procurou-se observar os mesmos critérios técnicos utilizados para a coleta de sedimentos, ou seja: as variações na paisagem que refletissem os diferentes tipos de unidades litológicas e materiais de origem, os compartimentos geomórficos e suas variações topográficas, diferentes formações vegetacionais, o uso e ocupação do solo. Todos os pontos amostrados foram georeferenciados e plotados no mapa de pontos de amostragem (fig. 38).

3.4.1 Frequência, coleta e preservação das amostras de água superficial

O rio do Formoso é um afluente direto pela margem esquerda do rio São Francisco. Segundo a Resolução CONAMA nº 357/05 Capítulo 2/Secção I, suas águas são classificadas como *Classe 2*. Assim sendo, as condições e padrões de qualidade encontrados tiveram como referência essa resolução.

A amostragem, tanto para o levantamento *in situ* dos parâmetros de suporte físico-químicos quanto para as análises químicas dos metais pesados em laboratório, foi realizada na primeira quinzena do mês de julho de 2007, na estação seca; tendo sido a segunda amostragem realizada no mês de março de 2008, na estação chuvosa. Como o controle de qualidade da água não é o objetivo deste trabalho, a amostragem foi feita com um intervalo de oito meses.

A coleta e análises dos parâmetros físico-químicos foram realizadas diretamente no corpo receptor, por meio de pequenos frascos coletores. Para esse tipo de procedimento não foi necessária a preservação das amostras, pois as leituras efetuaram-se no campo.

As amostras de água bruta para as análises químicas laboratoriais foram feitas em frascos de polietileno, com capacidade volumétrica de 1,5 mL, sendo respeitados os

procedimentos básicos de coleta, preservação e tempo de validação das amostras (CETESB, 1988).

3.4.2 Levantamento dos parâmetros físico-químicos da água superficial

Antecedendo em 24 horas ao procedimento de coleta e medições dos parâmetros de suporte, procurou-se observar as condições meteorológicas, como chuvas, nebulosidade e velocidade dos ventos; com base em informações fornecidas pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CEPETC/INPE, 2007).

Os parâmetros físico-químicos não conservativos foram determinados *in situ*; para tanto, observou-se o potencial hidrogeniônico (pH) por meio de um copo coletor previamente desinfetado. As medidas foram obtidas através do microprocessor da marca Waterproff Combo. A temperatura (T), condutividade elétrica ($\mu\text{s}/\text{cm}^2$) e potencial hidrogeniônico (pH) foram realizadas por meio do medidor digital Modelo: Waterproff Combo, o oxigênio dissolvido (OD) foi obtido através do medidor Oxynen Meter Modelo: DO-5510, o parâmetro turbidez foi obtido através do Microprocessor Turbidity Meter Hi 93703.

A calibragem dos equipamentos foi realizada por meio de soluções-padrão adquiridas diretamente dos representantes das empresas de cada equipamento. Analisou-se um total de quarenta amostras de água superficial ao longo do perfil longitudinal do rio.

3.4.3 Levantamento da água superficial para análises químicas de metais pesados

A amostragem para a análise química e determinação de metais pesados seguiu os mesmos procedimentos para o levantamento dos parâmetros de suporte.

Os pontos de coleta permaneceram os mesmos e a coleta destinou-se à determinação dos teores totais dos seguintes metais: Cu, Cd, Cr, Ni, Pb, Zn, Al, Fe e Mn – por meio de análises químicas quantitativas. A coleta seguiu as normas da CETESB (1988).

As amostras de água foram coletadas a aproximadamente 10 cm da superfície, em frascos de polietileno, totalizado um volume de 1.000 mL. As amostras passaram por filtros de membrana ($0,45\mu\text{m}$), foram identificadas, preservadas em 2,5 mL de ácido nítrico HNO_3 em $\text{pH} < 2$, resfriadas a 4°C em recipiente com gelo natural e transportadas até o laboratório, como mostra o esquema abaixo.

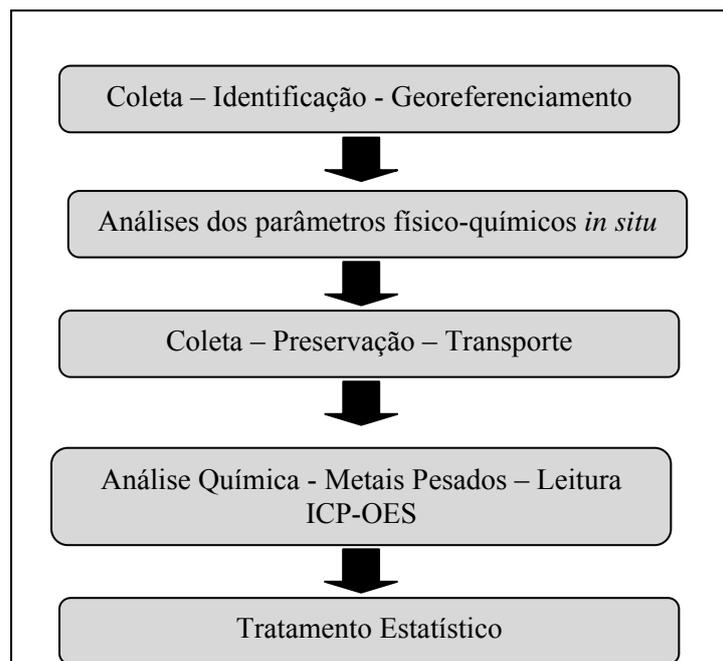


Figura 40: Esquema apresentando as principais etapas analíticas físico-químicas para água superficial

Em laboratório, a amostra com volume de 10 mL de água foi colocada em tubos do sistema digestor, sendo a seguir adicionados de 0,6 mL de solução contendo HCL e HNO₃ (2:1/v/v). Após o procedimento, as amostras ficaram por aproximadamente 6 horas no bloco digestor, a uma temperatura de 60°C.

Após a diluição, o conteúdo dos tubos foi transferido para um balão volumétrico de 25 mL, sendo o volume completado com água destilada a uma temperatura de 40°C. Na seqüência procedeu-se à filtragem da solução em filtros de fibra de vidro GFC, com 0,45 µm de porosidade. A leitura dos metais totais foi realizada por (ICP-OES), modelo M-4165 da marca Espectroflame, pertencente ao laboratório de geoquímica do CPMTIC/IGC/UFMG. Os resultados foram expressos em mg/L.

3.5 LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM DE ROCHAS

A análise dos elementos menores presentes nos minerais dos litotipos aflorantes na área da bacia teve como objetivo principal verificar a existência de algum tipo de anomalia natural que pudesse sugerir um enriquecimento dos sedimentos e da água. Após a coleta, identificação e transporte das amostras, foram desenvolvidos os procedimentos para a

quantificação analítica.

A seleção e coleta dos pontos de amostragem para rochas foram feitas na transição dos compartimentos geomórficos e nos contatos litológicos. Esse tipo de amostragem levou em consideração as variações litológicas encontradas na área, representadas no mapa geológico. A seguir apresentam-se as seguintes unidades representativas, selecionadas para análises: litotipos da Formação Chapadão do Cenozóico; arenitos do Grupo Areado Cretáceo Inferior do Grupo Mata da Corda Cretáceo Superior e rochas do Grupo Bambuí pertencentes à Formação Três Marias do Neoproterozóico.

3.5.1 Frequência, coleta e transporte das amostras de rochas

A campanha de campo para coleta de rochas ocorreu em uma única etapa no mês de setembro de 2005. Foram recolhidos aproximadamente 2 kg de rochas. Coletou-se as amostras nos afloramentos de rochas frescas ou pouco alteradas, selecionadas de forma a representar os vários litotipos existentes na área da pesquisa. Depois de coletadas e identificadas, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos lacrados com fita adesiva e enviadas para o laboratório da SGS Lake Geosol Laboratórios LTDA, onde se procedeu às análises (ANEXO VI).

3.5.2 Levantamento dos litotipos para análise dos elementos menores

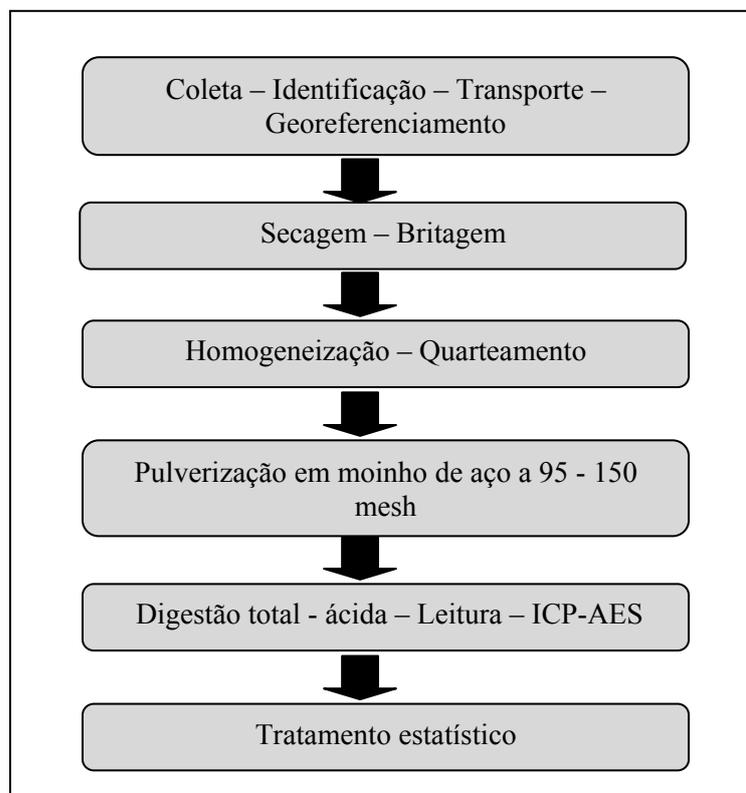


Figura 41: Esquema mostrando as principais etapas analíticas para os litotipos presentes na área da pesquisa.

Em laboratório, as amostras foram secadas a uma temperatura de 90°C, britadas a 2 mm, quarteadas e homogeneizadas; a pulverização foi feita em moinho de aço a 95% - 150 mesh. A abertura química foi realizada através de digestão ácida e a determinação dos elementos ocorreu através do aparelho de Espectrometria de Absorção Atômica (ICP-AAS), do Laboratório Lakefield da Geosol. Os resultados foram expressos em ppm. Depois de sua respectiva posse, os dados foram analisados e dispostos no Capítulo 5, seção 5.9, que discorre sobre os sedimentos.

Todos os pontos de amostragem foram georeferenciados através de GPS – *Global Positioning System* de navegação. Para o tratamento dos dados obtidos pelo GPS foi utilizado o programa GTM-PRO 4.2.

3.6 TRATAMENTO DOS DADOS ANALÍTICOS

Os resultados analíticos foram avaliados e tratados de modo a conduzir ao entendimento dos metais na água e nos sedimentos ao longo da drenagem do rio do Formoso, juntamente com os demais dados do meio físico (geologia, geomorfologia, solos, hidrografia, clima e vegetação) e os dados obtidos do meio socioeconômico (uso e ocupação do solo), foi possível fazer uma correlação objetiva e segura.

Os dados físico-químicos *in situ* das águas superficiais e as análises químicas dos metais pesados nos sedimentos de fundo/corrente e água superficial foram comparados, como já enunciado nesta seção, à lista de valores orientadores de referência nacional ou apoiados em organismos internacionais (como para o sedimento) – observando-se se os valores obtidos superaram limites de intervenção e ou prevenção. Os resultados dos dados geoquímicos encontram-se ilustrados em gráficos.

Os dados obtidos através da análise de imagens orbitais e fotorinterpretação para o meio natural (geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e hidrografia) e socioeconômico (uso do solo), foram integrados, na intenção de se gerar e armazenar uma base de dados georeferenciados que alimentassem o *software* Spring – 4.3.3. Desta forma, as informações foram disponibilizadas e tratadas, para dar início ao cruzamento de dados, que resultou na elaboração e confecção do mapa de vulnerabilidade ambiental (ANEXO VII).

CAPÍTULO 4: METAIS PESADOS NO MEIO AMBIENTE – UMA REVISÃO DA LITERATURA

4.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DOS METAIS INVESTIGADOS

A grande maioria dos 110 elementos químicos presentes na tabela periódica é de metais. Segundo Hillert (1997), no mínimo setenta elementos são de certa forma considerados metais, enquanto os outros cinco são considerados metalóides, apresentando propriedades metálicas e não metálicas. A revisão na literatura aponta certa variedade de critérios para a definição de metal pesado.

O termo *metal pesado* tem sido bastante empregado quando se refere a metais com densidade maior que $5,0 \text{ g/cm}^3$ e $6,0 \text{ g/cm}^3$ ou que possuam número atômico maior que 20 (Wild, 1993); (Malavolta, 1994); (Amarante, 1977); (Eleutério, 1997). Os *metais pesados* são, na grande maioria, metais, semimetais e até mesmo metalóides, como o selênio (Malavolta, 1994). O termo é frequentemente aplicado aos elementos Al, As, Cd, Co, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Zn e V.

Schaeffer *et al.* (2000) diz que os *metais pesados* são elementos químicos cuja massa atômica é maior que $55,855 \text{ g/mol}$ ou que tenham densidade específica maior que $5,0 \text{ g/cm}^3$. Outros autores, como Kabata-Pendias (1995), Forstner (1995) e Salomons (1995) correlacionam alguns tipos de metais pesados ao alto ou baixo grau de toxicidade. Denominados como metais tóxicos estão: Ti, U, Hg, Pb, Sb, As e Cd. Esse enquadramento é devido à função específica que cada um desses elementos químicos exerce em relação à saúde humana.

Novotnh (1995) menciona que treze metais e metalóides têm sido reconhecidos como potencialmente perigosos para a saúde humana e também para a biota aquática. Estes elementos têm sido incluídos na lista de poluentes prioritários "Priority Pollutantes List (Black List)", das agências de controle ambiental do mundo. São eles: As, Sb, Be, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Se, Ag, Th e Zn.

Presentes nas diferentes esferas terrestres e em parte dos ciclos biogeoquímicos, esses elementos químicos, que ocorrem naturalmente, denominados *metais pesados ou metais-traço*, têm sido objeto de pesquisa, tendo em vista a sua crescente presença em ambientes aquáticos, nos sedimentos e solos e em razão do conhecimento de seus efeitos

sobre a saúde animal e vegetal, haja vista os níveis de contaminação. Esses elementos ocorrem naturalmente e em proporções variáveis e decrescentes na composição das rochas ígneas, metamórficas e sedimentares, que se constituem numa fonte primária dos metais pesados para o ambiente.

A entrada dos metais pesados na água e sedimentos ocorre pelos processos naturais de intemperismo, de erosão e das atividades antropogênicas, das quais se destacam a indústria e a agricultura – principalmente a partir do século XX. O comportamento dos metais pesados entre os sedimentos e a água expressa uma relação que se define pela mobilidade desses elementos nos ambientes em que os sedimentos se destacam por se colocarem como sumidouro e fonte dos metais.

Baird (2002) aponta que os metais pesados se diferenciam dos compostos tóxicos por serem absolutamente não degradáveis, podendo se acumular nos componentes do ambiente, onde manifestam sua toxicidade. O autor destaca que os locais de fixação final dos metais são os solos e os sedimentos. Os riscos ambientais dos metais pesados devem-se a seu uso intenso, toxicidade e ampla distribuição, que é feita principalmente por via aérea ou aquática. Na água e nos sedimentos esses elementos ocorrem dissolvidos, caracterizando assim um ambiente de transição temporário.

Segundo Zambetta (2006), os metais que chegam aos corpos d'água têm o potencial de se fixar e de proceder à complexação com as partículas que compõem o sedimento, acumulando-se neste, o qual funciona como reservatório de contaminantes de baixa solubilidade e desempenha importante papel nos processos de assimilação, transporte e deposição para essas espécies químicas. O sedimento destaca-se, então, como uma fonte potencial de contaminação primária para os organismos e secundária para a coluna d'água. Ainda em relação aos sedimentos, Salomons e Forstner (1984) afirmam que se deve considerar que os metais não se distribuem de forma homogênea entre os sedimentos, podendo ser encontradas diferenças numa mesma localidade.

Quanto ao tamanho das partículas, por exemplo, as frações mais finas apresentam maiores concentrações e, nesse sentido, uma presença maior de grãos de quartzo relaciona-se com menores níveis de acumulação de metais, sendo então determinante a natureza química e física.

As fontes de origem antrópica de poluentes dividem-se entre os resíduos industriais, agrícolas e domésticos como mostra a Tabela 1. Macedo (2002) destaca que os sedimentos sempre vão conter íons de metal pesado, mas as concentrações irão variar em função da geologia local e devido às alterações antropogênicas.

TABELA 1: METAIS PESADOS E OS PROCESSOS POLUENTES

Ramo Industrial	Metais Pesados							
	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Ni	Sn	Zn
Papel								
Petroquímica								
Ind. De cloro e KOH (eletrolítica)								
Fertilizantes								
Refinarias de petróleo								
Usinas Siderúrgicas								
Ind. de metais não ferrosos								
Veículos automotores e aviões								
Vidro, cimento, cerâmica								
Ind. Têxtil								
Ind. de Couros								
Usinas Termoelétricas								
Fáb. De Borracha								
Fáb. De Baterias e eletroquímicas								
Fáb. De Tintas e corantes								
Fáb. De Plásticos e resinas								
Metalurgia (galvanização/fundição)								

Fonte: Prado Filho (1992).

Apesar do potencial poluente das fontes naturais de metais, está claro que o grande problema da contaminação advém das ações antrópicas, uma vez que tais metais estão presentes em muitos compostos usados na indústria, na Medicina e na agricultura.

A influência das atividades humanas interfere no ciclo bioquímico, alterando a forma e a intensidade do transporte ou a maneira como o metal é depositado originalmente. A intervenção humana pode ser considerada como a maior responsável pela magnitude e frequência da disposição dos metais, uma vez que a sua geração e utilização como subproduto nas atividades industriais ocorre em escalas exponenciais, gerando diversos impactos em níveis locais e globais, levando a um estresse contínuo da natureza e, conseqüentemente, a efeitos agudos e crônicos à saúde dos ecossistemas e do homem.

Dornfeld (2002) ressalta que a diferença entre a presença dos metais no ambiente por processos naturais ou antrópicos reside na magnitude do impacto, na frequência (ocasional, contínua ou intermitente) e na duração (horas, meses, anos) em que ocorre a distribuição e contaminação pelos metais, ocasionando impactos consideráveis na estrutura e funcionamento dos ecossistemas.

A contaminação por metais pode ocorrer por fontes difusas (atmosfera, deposições sólidas, lixiviação do solo – particularmente em áreas agrícolas) e pontuais (efluentes industriais, esgotos domésticos, depósitos de lixo e despejos da mineração). São essas diferenciações que indicam a contribuição de cada uma dessas fontes na contaminação dos ambientes (níveis de assimilação) e também a influência nos trabalhos de remediação

(controle das fontes); mas tanto as fontes difusas como as pontuais se comportam de forma semelhante, pois os metais são cumulativos nos sistemas.

É no meio aquático que os metais pesados podem passar por transformações químicas que os tornam mais nocivos ao ambiente, já que essas características tóxicas estão relacionadas ao pH, quantidade de carbono dissolvido e em suspensão, permitindo estabelecer reações com capacidade de remover ou potencializar a atividade biológica potencial de alguns metais. Esses conjuntos de processos (adsorção/desorção, precipitação, sedimentação e difusão) influenciam na disponibilidade dos metais – características geoquímicas que definem a capacidade de ligação dos metais nos corpos d'água, favorecendo ou não a autodepuração.

Reinfelder *et al.* (1997) destacam que o acúmulo de metais nos ecossistemas aquáticos tem despertado interesse sob vários aspectos, principalmente em relação ao destino e aos possíveis efeitos contaminantes, sua ciclagem biogeoquímica e seu comportamento/distribuição na cadeia alimentar.

Quanto à ação dos metais nos organismos vivos, por se tratar de uma classe de elementos químicos em que muitos são ou tornam-se venenosos para os seres vivos quando em altas concentrações, são elementos que possuem especificidades – pois alguns desses, em pequenas concentrações, são considerados essenciais aos seres vivos e têm importante papel no metabolismo dos organismos (processos fisiológicos), como o magnésio (Mg), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn), cobre (Cu), cobalto (Co), molibdênio (Mo), e boro (B), denominados micronutrientes, devido à pequena quantidade necessária. Alguns podem ser benéficos, como níquel (Ni) e vanádio (V); outros não têm função biológica conhecida e são geralmente tóxicos em uma grande variedade dos organismos, como o mercúrio (Hg), chumbo (Pb), cádmio (Cd), prata (Ag), alumínio (Al), arsênio (As) e estanho (Sn) – dentre os metais pesados, estão incluídos mais freqüentemente o Cu, Fe, Mn, Mo, Zn, Co, Ni, V, Al, Ag, Cd, Cr, Hg e Pb.

A toxicidade desses metais está na sua possibilidade de se interpor em processos biológicos (enzimáticos) e na sua pouca mobilidade no organismo, fazendo com que se acumulem e provoquem alterações no metabolismo (sulfeto-metal/aminoácidos-proteínas). Para levar-se em conta essa toxicidade, é fundamental considerar sua especiação ou a forma química que influenciam sua disponibilidade nos organismos interligando os vários fatores, dentre eles a fonte, a taxa de emissão, a concentração, transporte, fase de desenvolvimento e, especificamente, os processos bioquímicos de cada organismo. (Laws, 1993).

As formas insolúveis, por exemplo, passam pelo corpo humano sem causar nenhum dano. No entanto as formas mais críticas, solúveis, são as que causam doenças imediatas ou

morte, como a do óxido de arsênio e dos demais que podem passar pela membrana protetora do cérebro, pela barreira hematoencefálica ou pela membrana que protege o feto em desenvolvimento (Baird, 2002).

Uma das manifestações desses metais faz-se por intermédio das cadeias alimentares que permitem sua distribuição na biota aquática, podendo atingir o homem devido ao seu efeito cumulativo. Nesse sentido, Esteves (2002) enfatiza que as populações mais expostas à contaminação são aquelas que utilizam os ecossistemas aquáticos, receptores de efluentes de indústrias químicas de PVC, de papel e metalúrgicas; assim como de áreas agrícolas.

O pouco conhecimento da contaminação desses elementos à saúde humana dificultou a prevenção de tragédias ambientais, como a ocorrida com pescadores circundantes das cidades de Niigata e Minamata em 1956, no Japão. Após terem se alimentado com peixes da Baía de Minamata, contaminados com mercúrio, 52 desses pescadores morreram, vítimas de doenças provocadas por distúrbios neurológicos, conhecidos como “doença de Minamata”, resultante da ação do metil-mercúrio. Essa contaminação deixou conseqüência para sobreviventes e nas crianças de mães contaminadas por gerações. Os mesmos problemas foram percebidos em gatos e aves que também se alimentavam ali. A contaminação vinha desde 1939, data da instalação de uma indústria química às margens da Baía, hoje um lugar desolado e considerado área proibida.

Também no Japão, a ingestão de arroz contaminado com cádmio causou uma doença reumática conhecida como Itai-Itai. O arroz irrigado com água do rio Jintsu era a base alimentar dos habitantes da região, o que ocasionou a contaminação de gerações deles. Essas tragédias dão início a campanhas mundiais para restrição e controle da utilização e disposição final de metais pesados e a uma corrida à pesquisa dos metais pesados em nível mundial.

No Brasil há, no Pantanal Mato-grossense, um exemplo de contaminação por metais: o mercúrio utilizado na garimpagem do ouro contaminou os recursos hídricos, os peixes foram contaminados e as populações que se utilizavam desses recursos naturais foram afetadas, havendo relatos de distúrbios neurológicos. Em 2000, cerca de 90% da população de São Luiz do Tapajós – PA estava contaminada por mercúrio.

Em Minas Gerais, Macedo (2002) ressalta a pesquisa realizada por Jordão *et al.* (1999) acerca da contaminação de sedimentos por Mn, Pb e Cd, relacionando com a poluição dos efluentes industriais (siderúrgicas) contaminados por Fe, Mn, Pb, Zn e Cd, sendo que os sedimentos apresentaram contaminação por Mn, Cd, Cu, Ni e Cr. As particularidades de tais elementos referem-se, principalmente, às origens, aos usos e aos padrões de intoxicação.

Para Felleberg (1980), cada um desses metais provoca um conjunto específico de

sintomas e um quadro clínico próprio, baseados em mecanismos enzimáticos e na ação das membranas celulares, sendo comuns, em sua maioria, os efeitos cancerígenos e mutagênicos.

4.2 ESPECIFICAÇÕES DOS METAIS PESADOS INVESTIGADOS

Chumbo (Pb)

O chumbo se apresenta como um metal macio, flexível e maleável. Sua cor preferencial é o cinza-prateado; funde-se a 327,5°C; seu número atômico é 82; seu peso atômico é 207,19 e sua densidade é 11,35 g/cm³ (Malavolta, 1994). Presente na crosta terrestre e na maioria das rochas, o chumbo está bem disponível ao homem. Quando extraído na maior parte do minério galena, apresenta-se como sulfeto de chumbo (PbS); ocorrendo na anglesita, como sulfato de chumbo (PbSO₄) e carbonato de chumbo (PbCO₃).

De acordo com Malavolta (1994), as fontes naturais de chumbo (emissões vulcânicas e erosão geológica) produzem cerca de 19.000 t/ano do elemento; as antropogênicas (mineração e fundição) produzindo 400.000 t/ano.

Na crosta terrestre, a concentração média de chumbo é de 17 ppm. Em rochas ultra-basálticas a média é de 1ppm, em rochas básicas é de 6ppm e em rochas ácidas é de 24 ppm. Nas rochas sedimentares a concentração de chumbo varia de 17 a 27 ppm. (Turekian & Wedepohl, 1961).

Os principais parâmetros que influenciam a disponibilidade do chumbo no ambiente são: a textura do solo com aumento do teor de argila, o pH baixo influenciando os mecanismos de solubilidade e disponibilidade e a matéria orgânica, que é eficaz na fixação do chumbo (Malavolta, 1994).

Segundo Smith *et al.* (1995), as argilas caolinita e montimorilonita apresentam algumas características que controlam a mobilidade dos metais, apontando o seguinte grau de mobilidade Cd > Zn > Pb > Cu. Nos solos, o chumbo é afetado por processos de adsorção, troca de íons, precipitação e complexação com a matéria orgânica.

Segundo Knight e Kadlec (2000; *in* Anjos 2003), a presença do chumbo nas águas superficiais se apresenta na forma divalente Pb²⁺, formando sais e se combinando com ligantes orgânicos para formar complexos coloidais. Com medidas de pH acima de 8,5, o chumbo é solubilizado a concentrações em torno de 1 µg/L – com o aumento da solubilização

e da alcalinidade os valores de pH tendem a abaixar. O baixo transporte e a concentração do chumbo nas águas superficiais dependem do pH e do total de sais dissolvidos. O chumbo é carregado pelos rios, principalmente na forma indissolúvel de colóides ou partículas.

O uso do chumbo tem se apresentado diante de uma dualidade que se estende à maioria dos metais pesados, pois sua concentração tem crescido em algumas partes do planeta em contraposição à diminuição da sua aplicação descontrolada. Isso leva a uma redução na sua concentração ambiental, principalmente no Ocidente. Esse metal é usado em materiais para telhados, chapas, isolamentos acústicos e barreiras de proteção a Raios-X.

O problema ambiental do chumbo está nas formas dissolvidas (iônicas), o que ocorre a partir da reação com oxigênio em meio ácido – exemplo disso está no uso de soldas em latas de estanho (para alimentos) e em tubulações. Daí a recomendação de não se consumir a primeira água da torneira com esses sistemas de encanamento, devido ao seu alto teor de chumbo: é este chumbo presente na água o responsável pela maior parte da absorção no organismo, em contraposição aos alimentos.

Um dos principais problemas ocorridos no Brasil resultou do uso do Pb na gasolina (ativadas Pb), principalmente até a década de 70/80. Presente na atmosfera, o Pb deposita-se nas ruas, nos vegetais, nos campos ou na água, podendo também ser absorvidos através da pele, na forma gasosa.

Atualmente as principais fontes são cinzas de processos de fundição (indústrias), fabricação, reciclagem e venda de baterias, fumaça de cigarro, tintas e vernizes fabricados com chumbo, poeira nas imediações das estradas próximas das cidades (dos pigmentos amarelos das faixas das estradas e também nos ônibus escolares) e de componentes mecânicos e elétricos. No que diz respeito às baterias, o Pb pode ser lançado no ambiente durante o processo de reciclagem e também na disposição final no lixo urbano.

O principal problema para a saúde humana causado pelo chumbo procede provavelmente daquele presente na gasolina (da queima de combustíveis fósseis em geral), bem como daquele absorvido pelo ar e pelos alimentos presentes na água, no solo e nas frutas e vegetais – por meio dos quais entram na cadeia alimentar, onde é bioconcentrado. Uma vez no sangue, passa aos tecidos macios, como as vísceras e o cérebro, depositando-se nos ossos, onde substitui o cálcio.

No Brasil, os principais casos de contaminação por Pb ocorreram em Pernambuco, através do processo de reciclagem de baterias automotivas – caso esse denunciado ao Ministério Público em 1997; em Adrianópolis – PR, onde a contaminação se deu por resíduos de chumbo resultantes de atividades de mineração, acumulados desde 1995; próximo à cidade

de Santo Amaro-BA, onde a contaminação ocorreu por escória de chumbo e cádmio, atingindo nível epidêmico e em Bauru-SP, onde a contaminação por Pb se deu através de atividades metalúrgicas. Em todos esses casos, constatou-se a contaminação do solo, água e sedimentos, além da contaminação dos trabalhadores envolvidos nessas atividades e também da população local.

Para os solos e sedimentos, alguns países utilizam valores de intervenção. A Holanda e a Alemanha determinam para solos e sedimentos o valor de 530 mg/kg de chumbo. A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB, 2005) adota valores de 180 mg/kg para solos em áreas agrícolas; 300 mg/kg para solos em áreas residenciais e 900 mg/kg para solos em áreas industriais. Para as águas superficiais, a Resolução CONAMA 357/05 estabelece para corpos d'água Classe 2 o valor de 0,01 mg/L, que é o mesmo valor de potabilidade apresentado pela Portaria N° 518/2004 do Ministério da Saúde. O COMANA 344/04 utiliza os valores de intervenção da Canadian Council of Ministers of The Environment (2001), que estabelece valores de intervenção para TEL (Nível 1) 35 mg/kg e PEL (Nível 2) 91,3 mg/kg.

Cádmio (Cd)

Na natureza, é um elemento-traço cuja concentração na crosta terrestre varia de 0,15 a 0,20 ppm. Seu principal mineral fonte é a greenockita (CdS) e a otavita (CdCO₃). É também associado aos minerais de Zn e Pb e a rochas fosfáticas.

Possui coloração branca-prateada, é elástico e dúctil. Encontra-se no ambiente associado ao oxigênio, cloro ou enxofre. Apresenta número atômico 48, peso atômico 112,4, densidade de 8,642 g/cm³ e classifica-se como 67^o elemento em ordem de abundância (Malavolta, 1994).

A concentração média desse metal na crosta terrestre é em torno de 1 ppm. Nas rochas ígneas sua concentração é de 0,03 a 0,57 ppm, nas rochas ultrabásicas é de 0,01 a 0,6 ppm e nas rochas básicas é de 0,01 a 1,6. Nas rochas sedimentares os teores variam de 0,014 a 11 ppm (Turekian & Wedepohl, 1961).

O Cd é liberado no ar, águas e solos por meio de atividades antropogênicas. As principais fontes de contaminação são a produção de metais não ferrosos produzidos principalmente pelas indústrias automotivas na forma de pigmentos (tintas automotivas), pigmentos de plástico colorido, baterias para veículos, baterias *nicad* níquel e cádmio

(recarregáveis); além do uso na indústria fotográfica e, agroquímicas. Outra fonte está no aço laminado com cádmio.

Baird (2002) destaca que os fumantes estão duplamente expostos ao cádmio, em razão dos níveis de contaminação do solo e água usada para o cultivo das plantas de tabaco como também pela fumaça direta do cigarro.

De acordo com Smith *et al.* (1995), dependendo dos valores de pH e Eh, o Cd pode apresentar as seguintes formas de estabilidade: Cd^{2+} para $\text{pH} \leq 2$ e Eh oxidante; CdSO_4 , CdCO_3 e $\text{Cd}(\text{OH})_2$ para Eh oxidante e pH variando, respectivamente, entre 0 e 2, 8 e 14; CdS para Eh (baixo redutor) e pH variando entre 6 e 8; e Cd para Eh (alto redutor) e pH variando entre 6 e 8.

Segundo Malavolta (1994) o cádmio pode ser encontrado nos solos e sedimentos, sob as formas: trocável, redutível, carbonato, orgânica, rede cristalina e solução. Também pode ser encontrado na água, sob a forma de complexos de íons e hidratos ou como substâncias húmicas. Este elemento apresenta altas concentrações em sedimentos hidromórficos, tendo como principais mecanismos de transporte os processos de precipitação, sorção e complexação (Smith *et al.*, 1995).

Uma das principais características do cádmio, no ambiente aquático, diz respeito à sua mobilidade, sendo removido desse ambiente por precipitação, sorção da superfície mineral e complexado com a matéria orgânica.

Estudos efetuados por Malavolta (1994) em áreas contaminadas por fundição demonstram que, no perfil de solo, o Cd se apresenta relativamente imóvel.

Segundo a Who (1992), a aplicação de fertilizantes fosfatados e a deposição de Cd precipitado da atmosfera são importantes fontes desse metal em grande parte dos solos cultivados e no lodo produzido pelos esgotos.

Tavares (1990) argumenta que, nos grandes centros urbanos, o processo de incineração do lixo doméstico constitui em fonte de emissão de cádmio, provocada principalmente pela queima de material plástico. O mesmo autor também aponta que organismos como mariscos, crustáceos e cogumelos são acumuladores naturais de cádmio. Também em alguns animais domésticos, expostos à contaminação, foi constatado um aumento dos níveis de Cd no fígado e rins.

Segundo Anjos (2003), a toxicidade do Cd em resíduos é determinada pelas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) 10.005 – Lixiviação de resíduos – e ABNT 10.006 – Solubilização de resíduos; com valores respectivos de 0,5 mg/L. Para as águas superficiais a Resolução CONAMA 357/05 estabelece para os corpos d'água Classe 2 o

valor de 0,05 mg/L. No entanto, a Portaria n° 518/04 do Ministério da Saúde estabelece como potabilidade o valor de 0,005 mg/L.

Alguns países, inclusive o Brasil, têm como referência valores de intervenção para sedimentos e solos. A Holanda, por exemplo, determina para o solo e sedimento o valor de 12 mg/kg, a Alemanha determinando os mesmos valores de intervenção. A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB, 2005) adota valores de 3 mg/kg para solos em áreas agrícolas; 8 mg/kg para solos em áreas residenciais; 20 mg/kg para solos em áreas industriais. O COMANA 344/04 utiliza os valores de intervenção da CSeQGs (2002), que estabelece valores de intervenção de TEL (Nível 1) 0,6 mg/kg e PEL (Nível 2) 3,5 mg/kg.

A exposição humana ao Cd é regulada metabolicamente, estando o problema na ingestão de uma quantidade que não pode ser complexada, ficando o metal acumulado nos rins e no fígado. Mesmo não ocorrendo biomagnificação em cadeia, o Cd é um veneno cumulativo, permanecendo no organismo por décadas, o que leva à incidência de doenças nos órgãos citados e no sistema nervoso. Além do potencial cancerígeno, são possíveis efeitos mutagênicos. Estes efeitos tóxicos são ampliados quando contabilizados o período de meia-vida de 10 anos.

Cobre (Cu)

O cobre é um metal de cor avermelhada, dúctil e maleável. É um bom condutor elétrico e de calor. Seu ponto de fundição atinge os 1082°C, possui número atômico 29, peso atômico 63,546 e densidade de 8,96 g/cm³. É presente como um metal natural em várias formas minerais – dentre as principais cita-se a cuprita e malaquita.

Segundo Turekian e Wedepohl (1961), o cobre é um dos elementos mais abundantes na crosta terrestre, a sua concentração variando de 24 ppm a 55 ppm. Nas rochas ultrabásicas sua concentração média é cerca de 100 ppm; nas rochas básicas varia de 30 a 45 ppm e nas ácidas de 10 a 30 ppm. Nas rochas sedimentares varia de 4 a 45 ppm. Seu estado de valência é o Cu²⁺, podendo também assumir formas iônicas Cu⁰ e Cu⁺ (Malavolta, 1994); (Eleutério, 1997) e (Figueiredo, 2000).

Segundo Smith (1995), o cobre, juntamente com o chumbo, é considerado um metal de baixa mobilidade em função da capacidade de atenuação, proveniente da textura do solo (argilominerais) associada ao aumento do pH.

A ocorrência do cobre nas águas superficiais se dá por meio de compostos de Cu⁺,

ocorrendo na forma de complexado insolúvel com hidróxidos e ligado a carbonatos e a compostos orgânicos, podendo apresentar relativa solubilidade (Knight & Kadlec, 2000 *in* Anjos, 2003).

Pedrozo e Lima (2001) apontam a erosão e a lixiviação natural como contribuintes da liberação do cobre para o meio ambiente.

Segundo Figueiredo (2000) e Quinágua (2001), o cobre é retido no solo e sedimentos por mecanismos de adsorção e troca catiônica. Possui muita afinidade com ligantes solúveis orgânicos, responsáveis pelo aumento da sua mobilidade no solo.

Para as águas superficiais, a Resolução CONAMA nº 357/05 estabelece para corpos d'água Classe 2 o valor de 0,009 mg/L. Já a Portaria do Ministério da Saúde estabelece valores de potabilidade para o Cu 2 mg/L.

A Holanda e a Alemanha estabelecem valores de intervenção para sedimentos e solos de 190 mg/kg para Cu. A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB, 2005) adota valores de 200 mg/kg para solos em áreas agrícolas; 400 mg/kg para solos em áreas residenciais; 600 mg/kg de solos em áreas industriais. O COMANA 344/04 utiliza os valores de intervenção da CSeQGs (2002), que estabelece valores de intervenção de TEL (Nível 1) 35,7 mg/kg e PEL (Nível 2) 197 mg/kg.

Essencial para as plantas e os animais, a toxicidade do cobre está na sua exposição a altas concentrações biodisponíveis, situação na qual a bioacumulação pode ocorrer no corpo humano. O cobre se instala principalmente no fígado, nos rins, no coração e no cérebro.

A essencialidade do cobre deriva de sua presença em complexos metalorgânicos responsáveis de processos bioquímicos vitais. Deficiência de cobre pode provocar anemia, desmineralização dos ossos e danos aos tecidos musculares. No entanto, esses problemas são muito raros, já que o cobre é bem difundido em alimentos e águas. Os problemas de toxicidade por excesso de cobre são limitados a situações ambientais particulares, como áreas de mineração, metalurgia e usos de fungicidas. O uso excessivo de sulfato de cobre em agricultura pode contaminar solos, águas e produção agrícola; sendo as patologias mais comuns problemas gastrintestinais e, em escala menor, anemias hemolíticas, complicações hepato-renais – levando, em alguns casos, ao óbito.

Zinco (Zn)

O zinco, considerado o 25º elemento mais abundante na crosta terrestre, é presente em vários minerais. É um metal lustroso e dúctil, e quando aquecido se torna maleável.

Seu ponto de fundição é a 410°C, seu número atômico é 30, seu peso atômico é 65,39 e sua densidade é de 7,14 g/cm³.

É encontrado na forma livre e combinada, como ZnS (blenda), Zn CO₃ (smithsonita), ZnO (zincita) e calamina. Sua principal ocorrência vem da mineralização de sulfetos de zinco (ZnS), associada também a sulfetos de outros metais como o chumbo, cádmio, cobre e ferro (Smith, 1995).

A disponibilidade de Zn na litosfera é de cerca de 80 ppm. Nas rochas ultrabásicas, os valores são estimados em 50 ppm; nas rochas básicas, o valor encontrado é de 100 ppm. Nas rochas sedimentares o valor é de 80 ppm e nas rochas pelíticas o valor é de 120 ppm (Turekian & Wedepohl, 1961).

O zinco é encontrado nas águas superficiais como íons divalentes Zn²⁺, onde forma hidretos iônicos, carbonatos e complexado orgânico (Knight & Kadlec, 2000 *in* Anjos, 2003). Smith (1995) advoga sobre o destino do zinco nos ambientes aquático. Segundo esse autor, a sorção é o seu destino, principalmente nesses ambientes.

Segundo Eleutério (1997), o zinco é um elemento essencial e útil ao metabolismo humano. No entanto, seu papel no organismo humano ainda é pouco conhecido, tendo sido atribuído a ele funções enzimáticas, sínteses de proteínas e metabolismos de carboidratos.

As principais aplicações do zinco são nas ligas metálicas – tais como o latão (Zn-Cu) e o ferro galvanizado (Zn-Fe) –, em telhados e calhas residenciais, eletrodos (anodo) e na indústria de galvanoplastia em geral. Compostos de zinco são utilizados como sulfeto de zinco na fabricação de plástico; como cloreto de zinco em baterias; na forma de cromato de zinco, como preservativos de madeiras; na forma de carbonato de zinco, como dieta suplementar de animais e como borato de zinco, empregado na fabricação de materiais à prova de fogo (Smith, 1995) e (Petroni, 1999).

Segundo Quinágua (2001), nos solos e sedimentos, em condições de pH igual a 7,7, o ZnS se hidrolisa e é facilmente adsorvido pela argila, carbonatos e óxidos. Em condições aeróbicas o Zn²⁺ é predominantemente em pH ácido e em condições anaeróbicas forma ZnS entre pH 1 a 14.

Nas águas superficiais o Zn encontra-se ligado a ácidos fúlvicos de coloração amarelada, formando quelatos (fulvatos de zinco) sob condições de variações de pH – o que favorece o aumento da sua solubilidade e mobilidade no sistema (Kiekens, 1995; Petroni, 1999).

Para as águas superficiais, a Resolução CONAMA n°357/05 estabelece para corpos d'água Classe 2 o valor de 0,18 mg/L. Já a Portaria n° 518/04 do Ministério da Saúde

estabelece valores de potabilidade para o Zn de 5 mg/L.

A Holanda e a Alemanha estabelecem para sedimentos e solos o valor de intervenção de 720 mg/kg de zinco. A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB, 2005) adota valores de 450 mg/kg para solos em áreas agrícolas; 1000 mg/kg para solos em áreas residenciais e 2000 mg/kg para áreas industriais. O COMANA 344/04 utiliza os valores orientadores para sedimentos da CSeQGs (2002), que estabelece valores de intervenção de TEL (Nível 1) 123 mg/kg e PEL (Nível 2) 315 mg/kg.

O Zn tem papel essencial na nutrição animal, com ingestão mínima recomendada. Sua deficiência pode causar sérios problemas de saúde, como anorexia, dermatite, depressão e sintomas neuropsiquiátricos. Em contrapartida, a toxicidade/excesso pode causar distúrbios gastrintestinais e anemia.

Disposto no meio ambiente aquático, principalmente preso ao material em suspensão, a toxicidade do zinco se amplia quando combinado com outros metais nos processos de beneficiamento – como extração e concentração de zinco – e nos processos de fundição e refinação da metalurgia, bem como nos efluentes industriais.

Cromo (Cr)

O Cromo é um metal de transição duro, frágil e de coloração cinza semelhante ao aço; sendo muito resistente à corrosão. É um metal encontrado no grupo 6 (6B) da Classificação Periódica dos Elementos. Seu ponto de fundição é a 1856°C, seu número atômico é 24, seu peso atômico é de 51,9961 e sua densidade é de 7140 kg/m³.

Nas rochas ígneas a concentração do cromo varia, sendo em média de cerca de 1600 ppm nas rochas ultrabásicas, 170 ppm nas rochas básicas e de 4,1 a 22 ppm nas rochas ácidas. Nas rochas sedimentares sua concentração é de 100 a 90 ppm, dependendo do tipo de rocha (Turekian & Wedepohl, 1961)

O cromo é empregado principalmente em metalurgia, para aumentar a resistência à corrosão e dar um acabamento brilhante. É empregado também em ligas metálicas. O aço inoxidável, por exemplo, apresenta aproximadamente 8% de cromo. Utilizado no processo de cromagem, esse metal é fixado através da eletrodeposição e também em anodizado de alumínio.

Seus cromatos e óxidos são empregados em corantes e pinturas: em geral seus sais são empregados devido às suas cores variadas – exemplo disso é o seu emprego como

mordentes. O dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) é um reativo químico usado para a limpeza de materiais de vidro de laboratório e em análises volumétricas.

É comum o uso do cromo e de alguns de seus óxidos como catalisadores, como, por exemplo, na síntese do amoníaco (NH_3).

O mineral cromita ($Cr_2O_3 \cdot FeO$) é empregado em moldes para a fabricação de ladrilhos – geralmente materiais refratários.

Compostos como o dicromato de potássio $K_2Cr_2O_7$ são excelentes oxidantes enérgicos, utilizados para a limpeza de materiais de vidro de laboratório, eliminando qualquer tipo de resto orgânico que estes possam conter.

O "verde de crômio" (óxido de crômio (III) – Cr_2O_3) é um pigmento empregado em pinturas esmaltadas e na coloração de vidros. O "amarelo de cromo" (cromato de chumbo – $PbCrO_4$) também é usado como pigmento.

Não é encontrado na natureza o ácido crômico e nem o dicrômico, porém seus ânions são encontrados numa ampla variedade de compostos.

O trióxido de cromo – CrO_3 –, que deveria ser o anidrido do ácido crômico, é vendido comercialmente como "ácido crômico". O dicromato de amônio – $(NH_3) Cr_2O_7$ – é o principal material expelido dos vulcões em erupção, e constitui-se em um sólido alaranjado.

No curtimento de couros é comum empregar o denominado "curtido ao cromo", sendo este o produto de maior consumo na curtição de couros e peles, através da utilização do hidroxissulfato de cromo (III) ($Cr(OH)(SO_4)$).

Para preservar, proteger e dar durabilidade às madeiras, costuma-se utilizar substâncias químicas que se fixam à mesmas. Uma dessas substâncias é o óxido de cromo (VI) (CrO_3).

Quando no coríndon ($\alpha-Al_2O_3$) se substituem alguns íons de alumínio por íons de crômio, obtém-se o rubi, que pode ser empregado, por exemplo, em lasers.

O dióxido de cromo (CrO_2) é usado para a produção de cintas magnéticas empregadas em fitas cassetes, produzindo melhores resultados que aquelas com óxido de ferro (Fe_2O_3), devido à sua maior coercitividade.

O cromo é um elemento “essencial” para os homens e os animais. O cromo (III) tem função biológica com os complexos metalorgânicos envolvidos na síntese de insulina e no controle dos índices de colesterol e de triglicérides no sangue. Em contrapartida, nas águas, o Cr presente em solução como Cr (VI) pode causar deficiências, pois o excesso de cromo é tóxico e, no caso particular do cromo (VI), pode ser mutagênico em nível celular, podendo reagir com o DNA. Essa forma não essencial do Cr é tóxica em baixas concentrações,

podendo ocasionar patologias respiratórias, gastrintestinais, renais e hepáticas. Além disso, é constatado seu potencial carcinógeno.

A ocorrência de contaminação por Cr no Estado de Minas Gerais foi registrada na região de Juiz de Fora, Ipatinga e Ubá – todos os casos relacionados a descargas de efluente líquidos originadas dos curtumes instalados nessas regiões.

Para as águas superficiais, a resolução CONAMA n° 357/05 estabelece para corpos d'água Classe 2 o valor de 0,05 mg/L; o mesmo valor utilizado pela portaria n° 518/04 do Ministério da Saúde. Países como a Holanda e a Alemanha estabelecem para sedimentos e solos o valor de intervenção de 380 mg/kg de cromo. A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESBE, 2005) adota valores de 150 mg/kg para solos em áreas agrícolas; 300 mg/kg para solos em áreas residenciais e 400 mg/kg para solos em áreas industriais. O COMANA 344/04 utiliza os valores de intervenção para sedimentos da CSeQGs (2002), que estabelece valores de intervenção de TEL (Nível 1) 37,3 mg/kg e PEL (Nível 2) 90 mg/kg.

Níquel (Ni)

Em termos de abundância, é o 24° na crosta terrestre, sendo um metal de transição de coloração branco prateado, condutor de eletricidade e calor, dúctil e maleável – porém não pode ser laminado, polido ou forjado facilmente, apresentando certo caráter ferromagnético. É encontrado em diversos minerais, em meteoritos (formando liga metálica com o ferro) e, em princípio, existindo no núcleo da Terra.

É um elemento de transição situado no grupo 10 (8 B) da Classificação Periódica dos Elementos. Seu ponto de fundição é a 1455°C, seu número atômico é 28, sua massa atômica é de 58,6934 e sua densidade é de 8908 kg/m³.

É resistente à corrosão, só podendo ser utilizado como revestimento por eletrodeposição. O metal e algumas de suas ligas metálicas, como o metal Monel, são utilizados para manejar o flúor e alguns fluoretos, pois reage com dificuldade com estas substâncias.

Seu estado de oxidação mais comum é 2⁺, podendo apresentar outros. Tem-se observado estados de oxidação 0, 1⁺ e 3⁺ em complexos, mas estes são muito pouco característicos.

O teor de Ni encontrado nas rochas ígneas varia em média de 2000 ppm; em rochas

ultrabásicas, 130 ppm e nas rochas básicas, de 2 a 20 ppm. Os valores altos de Ni estão relacionados às rochas ricas em minerais ferromagnesianos e sulfetos. Nas rochas sedimentares, os teores variam de 2 a 68 ppm, dependendo do tipo da rocha. Nos solos, a concentração média é de 40 ppm (Turekian & Wedepohl, 1961).

O níquel aparece na forma de metal nos meteoros associados ao ferro (formando as ligas kamacita e taenita), e acredita-se que exista no núcleo da Terra junto com o mesmo metal. Combinado, é encontrado em diversos minerais, como garnierita, millerita, pentlandita e pirrotina.

As minas da Nova Caledônia, Austrália e Canadá produzem atualmente 70% do níquel consumido. Outros produtores são Cuba, Porto Rico, Rússia, China e Brasil. No Brasil, as minas estão concentradas nos estados do Pará e Goiás, sendo exploradas pelas empresas Anglo American Brasil LTDA e Companhia Vale do Rio Doce (atualmente VALE).

O níquel, assim como o vanádio, são os elementos-traço mais comuns encontrados na composição química do petróleo, em geral estando mais enriquecidos nos óleos pesados.

Na natureza são encontrados 5 isótopos estáveis: Ni-58, Ni-60, Ni-61, Ni-62 e Ni-64. Tem-se caracterizado ainda 18 radioisótopos, dos quais os mais estáveis são o Ni-59, o Ni-63 e o Ni-56, com meia-vida de 76.000 anos, 100,1 anos e 6,077 dias, respectivamente. Os demais radioisótopos com massas atômicas desde 52 uma (Ni-52) a 74 uma (Ni-74) apresentam meia-vida inferiores a 60 horas, a maioria não alcançando os 30 segundos. O níquel tem também um estado meta-estável.

O Ni-56 é produzido em grandes quantidades em supernovas de tipo II. O Ni-59 é um isótopo de vida longa obtido por cosmogênese. Este isótopo tem encontrado diversas aplicações na datação radiométricas de meteoritos e na determinação da abundância de pó extraterrestre em gelos e sedimentos. O Ni-60 é filho do Fe-60 (meia-vida de 1,5 Ma), cuja persistência no sistema solar em concentrações suficientes altas tem sido capaz de causar variações observáveis na composição isotópica do Ni-60. Deste modo, a análise da abundância de Ni-60 em materiais extraterrestres pode proporcionar informações sobre a origem do sistema solar e de sua história primordial.

O Ni é facilmente remobilizado durante a alteração e coprecipitado com óxidos de Fe e Mn. Os sais de cloreto, nitrato e sulfato de níquel são altamente solúveis. Em águas naturais aeradas, os ânions que limitam a solubilidade deste metal são os fosfatos carbonatos e hidróxidos. Nas águas que possuem pH alcalino, os compostos de Ni com hidróxidos são solúveis, mantendo a concentração de Ni²⁺. Os ácidos húmicos alteram a solubilidade e precipitação do Ni e, seus compostos são adsorvidos pela matéria orgânica.

Este material é bioacumulado por alguns organismos aquáticos, porém os teores não são significativos: em média a concentração de Ni em peixes é baixa.

A exposição ao metal níquel e seus compostos solúveis não deve superar aos 0,05 mg/cm³, medidos em níveis de níquel equivalente para uma exposição laboral de 8 horas diárias e 40 horas semanais.

O níquel tetracarbonilo (Ni(CO)₄), gerado durante o processo de obtenção do metal, é um gás extremamente tóxico.

As pessoas sensíveis podem manifestar alergias ao níquel. A quantidade de níquel admissível em produtos que podem entrar em contato com a pele está regulamentada na União Européia. Apesar disso, a revista Nature publicou em 2002 um artigo em que os pesquisadores afirmaram ter encontrado em moedas de 1 e 2 € níveis superiores aos permitidos.

Intoxicações por níquel, mesmo leves, podem causar como sintomas apatia, diarreia, dores de cabeça, febre, insônia e náuseas.

Para as águas superficiais, a Resolução CONAMA n° 357/05 estabelece para corpos d'água Classe 2 o valor de 0,025 mg/L. A Holanda e a Alemanha estabelecem para sedimentos e solos o valor de intervenção de 210 mg/kg de Ni. A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB, 2005) adota valores de 70 mg/kg para solos em áreas agrícolas; 100 mg/kg para solos em áreas residenciais e 130 mg/kg para solos em áreas industriais. O COMANA 344/04 utiliza os valores orientadores da CSeQGs (2002), que estabelece valores de intervenção TEL¹ (Nível 1) 18 mg/kg e PEL (Nível 2) 35,9 mg/kg.

¹ Baseado em concentrações totais e na probabilidade de ocorrência do efeito deletério sobre a biota, o menor limite – TEL (Threshold Effect Level) ou Nível 1 – representa a concentração abaixo da qual raramente são esperados efeitos adversos nos organismos. O maior limite – PEL (Proble Effect Level) ou Nível 2 – representa a concentração acima da qual é freqüentemente esperado o citado efeito adverso nos organismos. Na faixa entre TEL (Nível 1) e PEL (Nível 2) situam-se os valores onde ocasionalmente se espera tais efeitos. A adoção desses valores teve caráter meramente orientativo na busca de evidências da presença de contaminantes em concentrações capazes de causar efeito deletério, sobretudo com relação à toxicidade para a biota. (CONAMA, 344/2004).

4.3 METAIS PESADOS NOS SEDIMENTOS E ÁGUA SUPERFICIAL

Os sedimentos são materiais sólidos formados por grãos de minerais, fragmentos de rochas, rochas preexistentes e matéria orgânica; movidos do seu lugar de origem e transportados pela água, gelo e ou agentes antrópicos.

Para Aualiitia e Pickering (1988, *in* Anjos 2003), em águas naturais, os sedimentos se constituem predominantemente de detritos orgânicos, colóides, células vivas, como bactérias e algas, e de sólidos de origem inorgânica, como os óxidos e hidróxidos de metais, carbonatos e argilas.

Segundo Fiszman, Lacerda *et al.* (1984), a análise dos sedimentos é um procedimento utilizado como indicador da poluição por metais pesados, por integrar as descargas liberadas no meio ambiente. Ainda segundo os mesmos autores, esse tipo de prática vem sendo utilizada há bastante tempo para a investigação ambiental.

Lima (2001) ressalta que os sedimentos depositados ao longo da calha fluvial desempenham uma função extremamente importante no que diz respeito à avaliação da poluição. Os sedimentos de corrente refletem a qualidade do sistema aquático, além de detectar os contaminantes que não permanecem solúveis após o seu lançamento nas águas superficiais. Os sedimentos agem como carreadores de possíveis fontes poluidoras, como os metais pesados, que não são permanentemente fixados por eles e podem ser redistribuídos para a água através de mudanças nas condições ambientais como o pH, potencial redox e a presença de quelantes orgânicos.

Axtmann e Luoma (1991) consideram que, dentro do ambiente aquático, os sedimentos se comportam como concentradores de metais, sendo a sua amostragem uma referência nos estudos de ordem ambiental.

A análise dos metais em sedimento torna-se mais fácil por apresentar menor problema de contaminação em relação a análise dos metais em água. Diferentemente da água, que dá uma indicação do metal em determinado momento, o sedimento reflete uma cronologia da situação ambiental em determinado local, proporcionando uma melhor avaliação da contaminação em neste local (Andrade & Alves, 2006).

Os sedimentos atuam como importante fator ambiental – neles que se depositam muitos produtos químicos, em especial os metais pesados e compostos orgânicos; e a partir deles os produtos tóxicos podem ser transferidos para o organismo existente na área. A preservação e monitoramento da qualidade ambiental do sedimento é fator fundamental para o

gerenciamento global da água (Baird, 2002).

Salomons e Förstner (1984) mencionam apontam a amostragem para sedimentos como bastante útil na identificação monitoramento e controle de fontes de poluição.

Baird (2002) argumenta que a transferência de poluentes orgânicos hidrofóbicos para os organismos pode ocorrer por meio de transferência intermediária para a água intersticial, que é a água que fica retida nos microporos que compõem os sedimentos. Desse modo, os produtos orgânicos se encontram em uma situação de equilíbrio entre a adsorção e a dissolução pela água intersticial. Ainda segundo o mesmo autor, a concentração total de matéria orgânica presente nos sedimentos pode não ser uma boa medida das quantidades que estão disponíveis biologicamente, o mesmo acontecendo com os níveis de íons de metais pesados. Sedimentos diferentes, que tenham a mesma concentração total de íons de um metal pesado, podem variar de um fator de zero a dez, em termos de toxicidade para os organismos associados ao metal. Esse mecanismo pode ser explicado pela presença de sulfetos nos sedimentos, os quais controlam a disponibilidade dos metais. O cádmio e o chumbo formam sulfetos muito insolúveis CdS e PbS. Sais insolúveis são formados por níquel e por outros metais.

Segundo Xavier (2004), o solo tem a propriedade de imobilizar e depurar grande parte das impurezas nele depositadas, agindo como um filtro de poluentes. Menciona ainda o autor que, no caso de múltiplas fontes de contaminantes, a capacidade filtrante e de autodepuração é ultrapassada.

Salomons (1995), Kabata-Pendia (1995), Boulding (1995), Anjos (1998) e Meurer *et al.* (2000) argumentam que os solos e sedimentos têm se caracterizado como um obstáculo natural para os constituintes. Esse fato se deve às reações de sorção, solubilização, precipitação e complexação envolvendo o solo e o contaminante e ao controle de parâmetros como pH, Eh, textura do solo, granulometria, percentagem e tipos de minerais de argila, percentagem de matéria orgânica, CTC, óxidos e hidróxidos de Fe e Al e CaCO₃ livre.

Para Borma *et al.* (1996) a mobilidade dos metais encontra-se diretamente relacionada ao comportamento hidrogeniônico, devido ao fato de os principais processos de retenção e disponibilidade de metais serem dependentes do pH da solução do solo.

Segundo Bourg e Loch (1995, *in* Anjos 2003), os processos geoquímicos responsáveis pela retenção dos metais pesados são a sorção e a precipitação. No caso de se encontrarem dissolvidos, a complexação influencia o transporte por dispersão e advecção. Para todas as fases, as condições de pH e o Eh são variáveis *Masters* no controle dos poluentes na fase aquosa. Na interpretação desses autores, os sólidos que controlam a fixação

dos metais são os minerais argilosos, a matéria orgânica, óxidos e hidróxidos de Fe, Mn, e Al. Por sorção, baixa solubilização do sulfeto e precipitação para minerais fosfatados e carbonatados.

A grande maioria dos solos das veredas, principalmente os encontrados em áreas encharcadas, caracteriza-se pela falta de oxigênio ocasionado pelo permanente alagamento na área de envoltório. O baixo nível de oxigênio dissolvido resulta na acumulação de matéria orgânica, o que reduz as atividades dos microorganismos e da decomposição orgânica. Essas condições caracterizam os solos e os sedimentos encontrados nos compartimentos hidromórficos das áreas de veredas e também das áreas alagadas ao longo das drenagens. São solos saturados e inundados que, numa linha de tempo, desenvolveram condições anaeróbicas que favorecem o crescimento e a regeneração de vegetações hidrófitas.

Segundo (Knight & Kadlec, 2000 in Anjos 2003) os solos e sedimentos das *wetlands* – um sistema alagadiço que se assemelha às áreas alagadiças do subsistema veredas – apontam que a inundação nas zonas úmidas pode concentrar ou diluir os constituintes químicos no solo; dependendo da química das águas, da natureza física e química do solo e do entorno do ambiente.

Rodgers *et al.* (2004) mencionam que as condições de hidroformismo favorecem os principais mecanismos de remoção de poluentes nos sistemas de *wetlands*², como a sedimentação, filtração, sorção, metabolismo da vegetação, precipitação de carbonatos, coprecipitação, redução de sulfetos, hidrólises e oxidação de metais, decomposição da matéria orgânica e metabolismos microbianos. É bastante provável que esses mecanismos de remoção ocorram nos subsistemas de veredas.

Simão e Siqueira (2001) defendem que os solos mais arenosos tendem a reter menos metais – afirmativa evidenciada no presente trabalho. Ainda segundo os mesmos autores, a mobilidade dos metais no compartimento ambiental solo é variável em função da natureza do próprio metal e de seu arranjo químico. As propriedades físicas, químicas e biológicas interferem na mobilidade, sendo os cátions divalentes (Zn^{2+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Cd^{2+}) altamente hidratáveis e, geralmente, solúveis nos solos.

Ressalta-se a importância e influência que as argilas, como a montmorinólita e a matéria orgânica encontrada na área da pesquisa, têm sobre a mobilidade dos contaminantes, a última tendo a capacidade de mobilizar metais por reações de complexação ou troca catiônica

² *Wetland* é um termo genérico geralmente utilizado para definir um universo de habitats úmidos, conhecidos sob diversas denominações, como banhado, pântano, brejos, zonas alagadiças, charcos, manguezais e áreas similares, sujeitas a inundações permanentes ou periódicas e que mantém solo suficientemente saturado para o estabelecimento de plantas macrofitas e o desenvolvimento de solos hidromórficos (TINER, 1999).

e comportando-se, muitas vezes, mais eficazmente que as argilas. Isso se deve ao fato da mesma possuir uma superfície específica muito elevada ($700 \text{ m}^2/\text{g}$) (Amarante, 1997).

A atuação dos ciclos biogeoquímicos dentro das áreas de veredas, presentes em grande parte da bacia hidrográfica do Rio do Formoso, é decorrente dos processos que envolvem as interações entre a litosfera, hidrosfera, atmosfera e biosfera, como foi mostrado na Figura 1. Pode-se inferir que, na área de envoltório da vereda, os principais mecanismos que atuam nesse ambiente subaquoso são a sorção, precipitação e complexação.

Segundo Bourg e Loch (1995; *in* Anjos 2003), a água é o maior vetor de transporte de metais-traço na litosfera, na qual os sólidos presentes no solo e nas águas superficiais e subterrâneas podem conduzir expressivas quantidades de metais tóxicos, proporcionando a interação com o compartimento hidrológico e com os ciclos biogeoquímicos.

As interações entre sólido e solução no sistema são condicionadas pelo potencial hidrogeniônico (pH), potencial oxi-redução (Eh), complexos orgânicos e inorgânicos e transformações de espécies microbiológicas. Essas variáveis produzem barreiras físicas (processos de adsorção, sedimentação e infiltração), químicas (complexação e precipitação) e biológicas (associadas à translocação dos metais por membrana e caule de espécies vegetais), que atenuam o risco de contaminação a receptores (Forstner, 1995).

A adição de elementos ou compostos químicos nas águas naturais, tais como NaCl, CaSO_4 e CaF_2 , ácidos HCL, bases FeOH_3 , macronutrientes (N, P, C, O, Ca e Mg) e micronutrientes, pode causar problemas ambientais (Knight & Kadlec; 2000 *in* Anjos, 2003).

Nos sistemas aquáticos, alguns fatores podem afetar a toxicidade dos metais pesados, dentre os quais: a disposição do metal na água (dissolvido ou particulado) e a presença de outros metais ou substâncias, como a reação de íons Na^+ , C^{2+} , K^+ e Mg^{2+} , que reduz a toxicidade quando associados aos íons Pb^{2+} , Cu^{2+} e Zn^{2+} . O sistema está sujeito a um efeito contrário quando estão presentes pares de metais como Ni e Zn, Cd e Zn, Cu e Zn, Cu e Cd, os quais, quando aglutinados, são mais tóxicos do que o seriam individualmente (TOREM *et al.*, 2002).

De acordo com Bourg e Loch (1995; *in* Anjos 2003) no compartimento aquático, os metais pesados catiônicos tendem à dissolução quando as medidas de pH decrescem; enquanto com o aumento do pH ocorre a precipitação dos metais catiônicos até um certo limite, quando são novamente solubilizados.

Alguns micronutrientes podem ser denominados metais essenciais (ou benéficos aos organismos vivos). Os metais não essenciais, tóxicos ou pesados que, geralmente, não estão presentes em altas concentrações nas zonas úmidas naturais são o chumbo, o cádmio e o

cobre. Como dito anteriormente, altas concentrações de metais em efluentes industriais e domésticos podem gerar transformações bioquímicas nos micronutrientes e conduzir o sistema ao processo de biomagnificação.

4.4 ELEMENTOS DE SUPORTE

Algumas substâncias químicas têm funcionado como elementos de suporte para análises de áreas contaminadas. Isto se dá em função dos fatores que afetam a concentração de metais em solução (Anjos, 2003). Entre os elementos de suporte analisados neste trabalho cita-se o ferro, o alumínio e o manganês; tendo sido o ferro o metal mais encontrado nas águas superficiais da bacia do Rio do Formoso.

Segundo Knight e Kadlec (2000; *in* Anjos 2003), nas zonas úmidas, o ferro encontra-se presente nas águas superficiais no estado oxidado, como Fe^{2+} (íon ferroso) ou reduzido a Fe^{3+} (íon férrico).

No subsistema de veredas, a oxidação do ferro depende das condições do potencial de oxi-redução. Ainda segundo os mesmos autores, o íon férrico forma estados complexos com uma variedade de ligantes, como o hidróxido férrico $Fe(OH)_3$, o fosfato férrico $Fe(PO_4)$ ou insolúveis adsorvidos pela matéria orgânica.

Analisando as águas superficiais de uma quantidade expressiva de veredas³ da bacia do Rio do Formoso, Viana (2006) encontrou resultados idênticos aos de Anjos (2003), ou seja, bastante disponibilidade de Fe^{+2} , atingindo valores acima do permitido pela Resolução CONAMA N° 357/2005 (discutidos no Capítulo 5).

Os valores de Fe^{+2} , analisados neste trabalho, corroboram os estudos de Viana (2006) e Anjos (2003) e apontam para a existência de concentração elevada desse metal nas águas superficiais do Rio do Formoso.

Souza *et al.* (2000) mencionam que a mais importante alteração química que ocorre nos solos alagadiços é a redução de óxidos férricos Fe^{3+} a óxidos ferrosos Fe^{2+} , provocando o aumento da solubilidade desse elemento. O autor argumenta ainda que a concentração de Fe^{2+} na solução do solo aumenta até atingir um máximo, diminuindo em seguida e variando em função do pH e do teor de matéria orgânica.

De acordo com Knight e Kadlec (2000; *in* Anjos 2003), a presença do alumínio se dá

³ Veredas são depressões abertas, rasas e alongadas, com vertentes suaves e fundos planos com solos turfosos permanentemente saturados por água de exudação do lençol freático (Boaventura, 1981). As veredas são consideradas fontes perene de águas, além de servir de abrigo para os animais e aves do cerrado.

naturalmente nas águas superficiais, em pequenas e grandes concentrações, respectivamente em íons hidratados e complexados com silicatos na forma coloidal. Este elemento se encontra disponível nas águas superficiais devido à sua difusão pelas mais variadas fontes antropogênicas. Segundo ainda os mesmos autores, a solubilização do Al ocorre com a variação do pH; sendo menos solúvel quando se aproxima do pH 7. Em baixos valores de pH, aumenta a solubilidade dos íons $\text{Al}^2\text{O}_3\text{H}^{2+}$ e Al OH^{2+} , enquanto em pH alto formam-se íons HAl_2O_4 .

Viana (2006), em seu trabalho, comenta que o Al^{3+} apresentou valores dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005. Suas análises mostraram concentrações elevadas na região em que o solo é ocupado por pastagem. Nesse mesmo trabalho, em alguns pontos ao longo do Rio do Formoso, os valores encontrados para o Al violaram a Resolução CONAMA 357/2005, como será discutido no Capítulo 5.

O manganês é um elemento essencial que quimicamente apresenta comportamento similar ao ferro, sendo sua ocorrência mais rara nas águas superficiais. Nessas águas o manganês ocorre como Mn^{+4} , sendo relativamente instável para Mn^{+3} , como óxidos e hidróxidos insolúveis. Em ambientes onde predominam baixo potencial de oxi-redução e baixo pH, o manganês ocorre na forma de Mn^{2+} (Knight & Kadlec; 2000 *in* Anjos, 2003).

Os níveis de manganês encontrados por Viana (2006) não estavam alterados – os níveis de Mn estavam dentro do limite de referência estabelecida pela Resolução CONAMA 357/2005, como discutido no capítulo.

4.5 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS PARA A ÁGUA SUPERFICIAL

A interação entre a água e os sedimentos aeróbicos e anaeróbicos em áreas úmidas – no caso o subsistema veredas – está submetida a uma série de transformações biogeoquímicas das quais fazem parte o nitrogênio, o ferro, o enxofre e, por fim, o carbono (MITSCH; GOSSELINK, 1993).

Segundo os autores Knight e Kadlec (2000; *in* Anjos 2003), essas transformações encontram-se condicionadas à maior ou menor entrada de nutrientes nos sistemas; determinando variadas composições químicas para as águas nas zonas úmidas.

Em seu trabalho sobre as *wetlands*, Anjos (2003) menciona, de forma clara, como é a dinâmica de entrada e saída de água no sistema. Segundo ele, esses fatores definem o tempo em que a água fica retida nessas áreas, implicando maior ou menor interação com o meio e processando reações físico-químicas e biológicas. Estes fatos biogeoquímicos estudados pelo autor foram observados no subsistema veredas inseridas na bacia do Rio do Formoso.

A dinâmica de atuação dos parâmetros físico-químicos varia no tempo e no espaço físico de forma rápida e significativa por isso. Por isso devem ser medidos *in situ*, para a constatação de eventuais alterações que possam ocorrer (Anjos, 2003).

Os parâmetros físico-químicos investigados nas águas superficiais do Rio do Formoso foram os seguintes: temperatura da água; potencial hidrogeniônico; condutividade; oxigênio dissolvido e turbidez.

4.5.1 Temperatura – T (°C)

Segundo Vasconcelos (2004), a temperatura da água em um corpo hídrico é muito importante, pois muitas das características físicas, químicas e biológicas são diretamente afetadas pela temperatura. A fauna e flora aquáticas sobrevivem dentro de certa gama de temperaturas da água, poucas espécies podendo tolerar as mudanças externas desse parâmetro.

Segundo Piveli (1998), a temperatura da água é um importante parâmetro ambiental no controle da qualidade da água. O aumento da temperatura provoca o aumento da velocidade das reações, diminuindo a solubilidade dos gases dissolvidos na água – principalmente o oxigênio, base para a decomposição aeróbica.

4.5.2 Potencial Hidrogeniônico – pH

O nível do pH é uma medida de acidez da água. A grande maioria das formas de vida aquática tende a ser muito sensível ao pH (Vasconcelos, 2004).

Segundo Bourg e Loch (1995; *in* Anjos 2003), o pH e o Eh são considerados as principais variáveis dos processos geoquímicos para o controle da solubilização dos metais pesados.

Segundo Salomons (1995), Kabata-Pendias (1995) e Borma *et al.* (1996), o pH (concentração de H^+ nas águas) controla a precipitação dos metais por meio de sua capacidade de atacar os minerais das rochas, solos e sedimentos; induzindo a lixiviação ou solubilizando seus constituintes. A Tabela. 2 mostra um ensaio com a ordem de precipitação de alguns metais em solução diluída, com o aumento do pH.

TABELA 2: ORDEM DE PRECIPITAÇÃO DE METAIS COM AUMENTO DO pH

IONS	pH
Fe^{3+}	2
Al^{3+}	4,1
Cr^{3+}	5,3
Cu^{3+}	5,3
Fe^{2+}	5,5
Pb^{2+}	6,0
Ca^{2+}	6,7
Cd^{2+}	6,7
Co^{2+}	6,9
Zn^{2+}	7,0
Hg^{2+}	7,3
Mn^{2+}	8,5

Fonte: Dean e Bosqui (1972).

4.5.3 Oxigênio Dissolvido – OD

Segundo Piveli (1998), o oxigênio que se dissolve nas águas naturais é proveniente da atmosfera, em razão da diferença de pressão parcial. Este processo é regido pela Lei de

Henry, que define a concentração de saturação de um gás na água em função da temperatura.

Ambientalmente, o teste de OD se faz necessário para medir a quantidade de oxigênio que é necessária para o desenvolvimento da biota e dos corpos d'água. A maioria da vegetação aquática necessita de oxigênio para sua sobrevivência. A ictiofauna também apresenta de demanda de oxigênio dissolvido para seu desenvolvimento e sobrevivência; níveis baixos de OD causando a mortandade das espécies.

Knight e Kadlec (2000; *in* Anjos 2003), mencionam que as zonas úmidas naturais apresentam níveis ora altos, ora baixos de OD; em função da variação da temperatura, da quantidade de sais dissolvidos e de atividades biológicas. Os mecanismos de transporte de oxigênio nas áreas úmidas dependem da difusão do oxigênio no solo superficial em interação com as raízes da vegetação.

4.5.4 Turbidez (NTU)

Parâmetro que representa a quantidade de material em suspensão, do tipo argila, silte, matéria orgânica, entre outros. A turbidez é uma propriedade óptica que causa o espalhamento e absorção da luz, ao contrario da transmissão através do meio. A luz se dispersa em uma coluna de água devido às partículas em suspensão – se a água estiver muito turva, sua qualidade ambiental fica comprometida, pondo em risco a vida aquática (Vasconcelos, 2004).

4.5.5 Condutividade Elétrica – ($\mu\text{t/cm}$)

Segundo Branco (1991), o parâmetro condutividade é determinado pela presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions.

A condutividade elétrica mede a capacidade da água de transmitir corrente elétrica. Os totais de sais são medidos por espécies condutoras, como o cálcio, o magnésio, o potássio, o sódio e os bicarbonatos; além de nitratos e cloretos. Em geral, níveis superiores a 100 $\mu\text{S/cm}$ indicam ambientes impactados. A condutividade fornece indicações sobre modificações na composição da água; altos valores de condutividade podendo indicar características corrosivas da água (CETESB, 2007).

CAPÍTULO 5: INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS DADOS DE CAMPO E LABORATÓRIO

5.1 VALORES DETERMINADOS PARA OS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS NA ÁGUA DO RIO DO FORMOSO

Tendo como objetivo a avaliação de parâmetros físico-químicos *in situ* de suporte no compartimento de água do Rio do Formoso, foram feitas leituras dos seguintes parâmetros: temperatura da água, potencial hidrogeniônico, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e turbidez. Não sendo o monitoramento para a avaliação ambiental sistemática das águas a proposta inicial deste trabalho, as avaliações foram feitas em intervalos de oito meses. As amostras de água foram coletadas ao longo do perfil longitudinal do curso de água principal e de alguns afluentes, totalizando-se vinte amostras analisadas para cada período climático. Os pontos de amostragem foram georeferenciados e plotados (fig. 38). A Tabela 1.1, com os resultados dos parâmetros físico-químicos *in situ*, é apresentada no Anexo 1.

5.2 VALORES DO POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH)

Os resultados da variável pH na água do Rio do Formoso variou entre 4,0 e 7,0, estabelecendo a condição de águas ácidas, levemente ácidas e valores próximos à neutralidade. Os valores observados na Figura 42 da estação chuvosa apontam, como era de se esperar, para um aumento em relação à estação seca. Os pontos P5, P10, P11, P17, P18, P19, P20, P21, P22 e P23 apresentam valores entre 6,0 e 7,5 próximos ou dentro da neutralidade. Nos outros pontos os valores variam entre 5,0 e 5,5, ácidos a levemente ácidos. Na estação seca os valores dos pontos P1 a P15 permaneceram entre 4,0 e 5,0, valores esses bastante ácidos. A partir do P16 os valores de pH tenderam a um aumento, chegando próximo à neutralidade.

A Figura 42 indica certa tendência, do ponto de vista da espacialização geográfica, para os valores de pH tanto na estação seca quanto na chuvosa. Esse fato encontra-se relacionado às variáveis litológicas, pedológicas, vegetacionais e ao uso do solo presente ao longo do perfil longitudinal do rio.

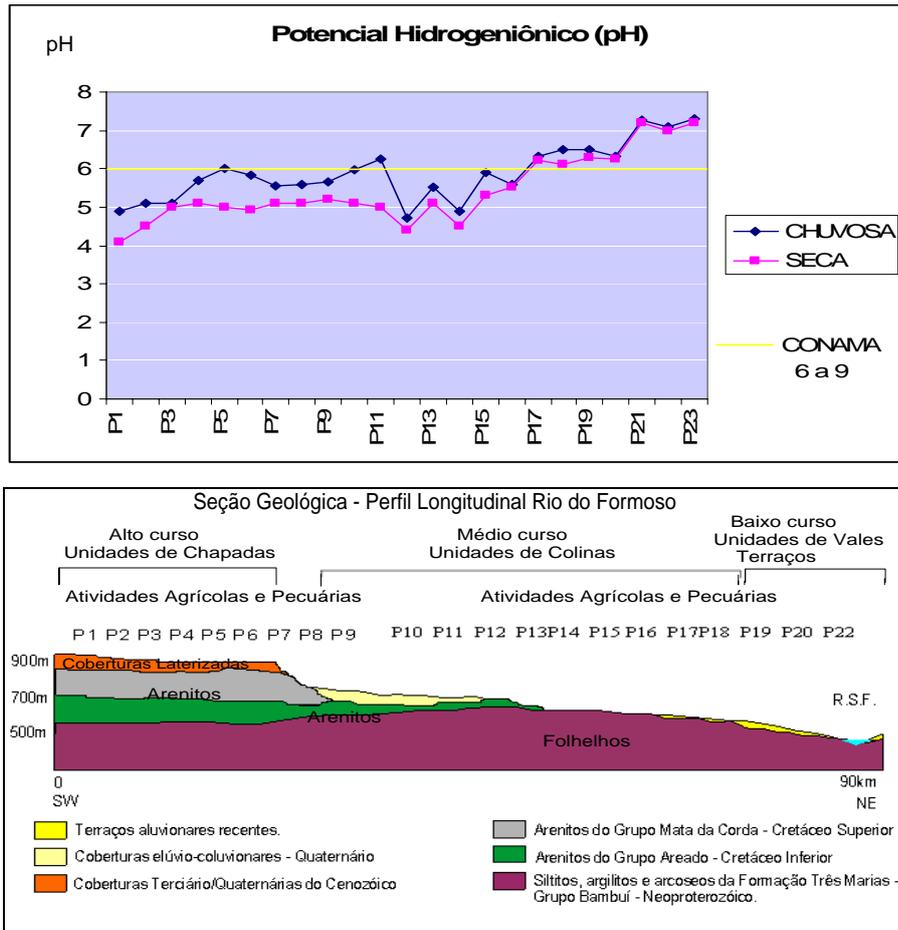


Figura 42: Mostra a influência exercida pelos litotipos nos valores de pH da água, ao longo do perfil longitudinal do Rio do Formoso. Nota-se que os pontos localizados no alto e médio curso os valores de pH são baixos e ultrapassaram o limite estabelecido pela linha amarela, a partir do médio curso, os valores tendem a um aumento.

Os valores de pH entre 4,0 e 5,5 são influenciados pela decomposição de organismos vegetacionais, principalmente os do subsistemas veredas – esses geram ácidos húmicos e fúlvicos, característica corroborada com os estudos feitos por Baird (2002) e Laybauer (1995).

Além desse fator, a variável litológica influência na acidez e alcalinidade do pH. A comparação em paralelo (fig. 42) entre os níveis de pH e a seção geológica apontam para uma correspondência entre as variações nos valores de pH em relação às unidades litológicas. Os pontos P1 a P4 apresentam valores de pH entre 4,0 e 5,0, se localizam no alto/médio curso e se encontram sob o domínio dos litotipos do Grupo Areado e Mata da Corda; tendo elementos como o Al, Fe, Zr e Ba. Esses elementos conferem à água certa acidez. Os pontos com valores de pH entre 6 e 7 localizam-se no segmento médio/baixo curso. Este segmento tem como substrato os argilitos do Grupo Bambuí e solos do tipo Argissolos eutróficos, o que

confere um caráter alcalino à água.

Como mencionado anteriormente, o pH é um importante parâmetro para a determinação da qualidade da água. Além disso, o pH (concentração de H^+ nas águas) influencia diretamente os ecossistemas aquáticos naturais e contribui para a precipitação dos metais através da sua capacidade de atacar os minerais das rochas, solos e sedimentos; induzindo a lixiviação ou solubilizando seus constituintes.

Diante dos dados obtidos para o parâmetro pH, vários pontos violaram os valores de referência estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05, art. 14, que determina valores limites entre 6,0 a 9,0. A influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos naturais dá-se diretamente devido a seus efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies (CETESB, 2007).

A Resolução CONAMA 357/05 não leva em consideração as especificidades geoambientais presentes, principalmente na coluna d'água.

5.3 OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD)

A concentração de oxigênio dissolvido na estação seca e chuvosa está representada na Figura 43. A partir do ponto P8 percebe-se que há uma certa homogeneidade na distribuição espacial do nível de oxigênio dissolvido ao longo do perfil longitudinal do rio. Ao longo da drenagem, os valores variaram entre 1,2 mg/L e 6,0 mg/L. Na estação seca (inverno), esperava-se um aumento na concentração de oxigênio dissolvido, o que não ocorreu. Isso pode ser explicado devido à vazão do rio permanecer perene ao longo do ano e à dinâmica do escoamento fluvial. O fluxo principal é do tipo turbulento de corrente e encachoeirado, como caracterizado no Capítulo 2. Essas características promovem a dissolução do oxigênio atmosférico e, além disso, o rio ao longo de todo o seu percurso nada mais é do que uma coalescência de inúmeras veredas, possuindo uma grande quantidade de organismos que fazem o uso do oxigênio nos seus processos respiratórios.

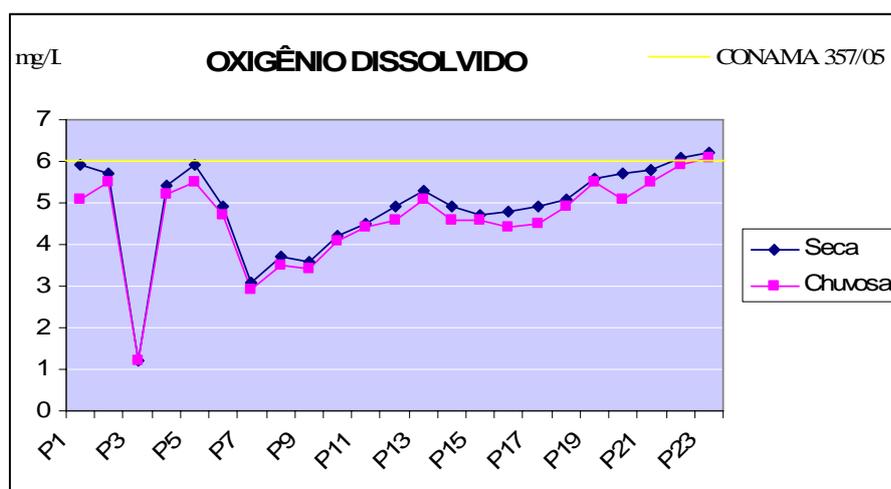


Figura 43: O gráfico mostra os valores de OD no período seco e chuvoso para as águas superficiais. Nota-se que a maioria dos pontos ultrapassou o limite estabelecido pela linha amarela, apenas os pontos localizados no baixo curso, encontram-se acima da linha como estabelece a Resolução - CONAMA 357/05.

Na estação chuvosa (verão), com aumento do fluxo de água e da temperatura, os níveis de OD, como era de se esperar, ficaram abaixo de 6 mg/L. Merece destaque o P3 cujo nível de OD é de 1,2 mg/L. Esse ponto localiza-se numa pequena cabeceira de vereda, fechada, mal drenada e apresentando grande quantidade de vegetação e organismos que fazem uso desse oxigênio.

Diante dos dados obtidos para o parâmetro OD, vários pontos violaram os valores de referência estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05, art. 14, que determina que os níveis de OD, em qualquer amostra de água, não podem ser inferiores a 6 mg/L, – mas que não leva em consideração as especificidades geoambientais presentes, principalmente no compartimento água.

5.4 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (CE)

A Figura 44 apresenta os valores de condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Os valores referentes à CE se posicionaram entre o mínimo de 0,95 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e o máximo de 12,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$, na estação chuvosa, e o mínimo de 0,78 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e o máximo de 11,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, na estação seca.

Os valores encontrados para CE se alteram conforme as variáveis (litológicas, topográficas e uso do solo) presentes nos compartimentos geomórficos drenados pelo rio.

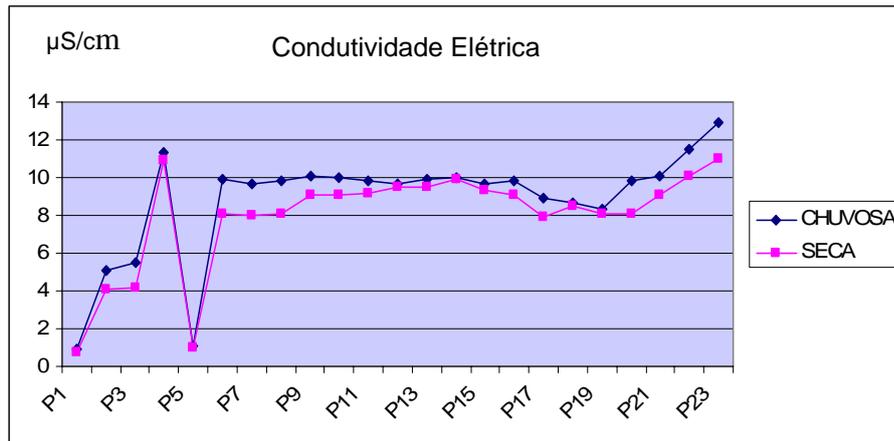


Figura 44: O gráfico aponta os valores referentes à condutividade elétrica nas duas estações climáticas. Nota-se que, na parte inicial do gráfico, os valores de Ce variaram significativamente, na parte central, os valores apresentam um padrão de distribuição homogêneo e na parte final, os valores tenderam a um aumento.

O ponto P1: 0,95 $\mu\text{S/cm}$ apresenta o valor mais baixo de CE. Este ponto localiza-se na nascente do Rio do Formoso – uma área pouca impactada, apresentando boa incidência de cobertura vegetal, onde o uso do solo é inexistente. Este local é destinado à preservação ambiental. A partir do P2: 5,1 $\mu\text{S/cm}$ ao P4: 11,3 $\mu\text{S/cm}$, os valores de CE tendem a aumentar: esses pontos estão localizados no segmento alto/médio curso, inserido no compartimento Unidade de Chapadas. O uso do solo é destinado à agricultura comercial de grãos, permanecendo intenso durante todo o ano e tendo uma movimentação significativa de material pedológico que é revolvido. Sua água drena rochas sedimentares da Formação Chapadão, susceptíveis à erosão. O carreamento da carga detrítica em direção ao curso de água aumenta a carga de sólidos dissolvidos e, por conseguinte, os valores de CE. Em P5: 1,1 $\mu\text{S/cm}$, o valor de CE decresce: esse ponto localiza-se numa cabeceira de drenagem fechada e pouco impactada.

Os P7: 9,7 $\mu\text{S/cm}$ ao P17: 8,9 $\mu\text{S/cm}$ localizam-se no compartimento médio/baixo curso, e suas águas drenam rochas do Grupo Areado e Mata da Corda. São arenitos silicificados resistentes à erosão; de morfologia plana a levemente ondulada; com a declividade pouco acentuada e cujo uso do solo é extensivo – o que de certa forma não ocasiona o carreamento de material detrítico para os cursos de água, mantendo baixa a concentração de material dissolvido.

A partir do P19 até o P23, os valores de condutividade elétrica aumentam gradativamente até atingir o valor de 12,9 $\mu\text{S/cm}$. Esses pontos localizam-se no segmento baixo curso, inserindo-se nos compartimentos geomórficos Unidades de Colinas Cretáceas,

Colinas Neoproterozóicas e Unidades de Vales e Terraços Quaternários. Representam áreas intensamente utilizadas pela agricultura comercial e pecuária, apresentando declividade média de 25% e alto grau de erodibilidade, o que gera um aumento na carga de materiais dissolvidos que são carregados em direção aos cursos de água, aumentando os valores de CE. A variável litológica também contribui para o aumento de CE: nesses pontos, o curso de água do rio drena áreas sob o domínio dos litotipos sedimentares da Formação Três Marias. Esses valores, relativamente altos em relação aos pontos anteriores, apresentam concentrações relevantes de óxidos de magnésio, cálcio e alumínio, dissolvidos na água.

Quando se compara a (fig. 44) com a (fig. 45), nota-se certa simetria na distribuição dos valores, verificando-se assim que a condutividade elétrica esta correlacionada com a quantidade de material dissolvido na água (turbidez).

Em geral, níveis superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indicam ambientes impactados negativamente. A condutividade fornece indicações sobre modificações na composição da coluna d'água: altos valores de condutividade podem indicar características corrosivas da água (CETESB, 2007). A Resolução CONAMA 357/05, art. 14, não estabelece os níveis de condutividade elétrica.

5.5 TURBIDEZ (NTU)

Os valores de turbidez (NTU), apresentados na (fig. 45), mostram uma distribuição relativamente homogênea entre as estações chuvosa e seca. Os valores variaram entre 0,95 NTU e 23,89 NTU, na estação chuvosa, e 0,51 NTU e 19,99 NTU, na estação seca. A leitura de turbidez para o P1 registrou o menor valor, o que se deve ao fato desse ponto estar localizado em uma pequena represa, cuja entrada de água se faz através de um pequeno fluxo. O fundo da represa é encascalhado, a flora aquática encontra-se em bom estado de conservação, as margens encontram-se recobertas com vegetação rasteira e o uso do solo é inexistente – tais variáveis contribuem de forma significativa para a obtenção de valores tão baixos de turbidez. Os pontos P2 a P4 apresentam valores elevados de turbidez em relação aos pontos anteriores, pois estão localizados em áreas de uso intensivo do solo, com grande quantidade solos revolvidos – estes carregados pelas águas pluviais e pelo vento em direção ao canal de drenagem, o que gera um aumento da quantidade de material em suspensão do tipo argila e silte, bem como partículas de material orgânico.

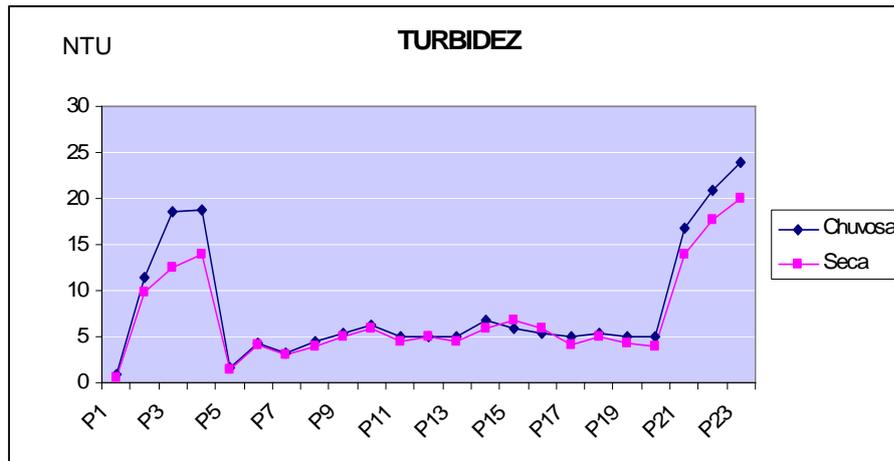


Figura 45: Os valores de turbidez apresentados no gráfico foram estabelecidos ao longo do perfil longitudinal da drenagem, durante os períodos seco e úmido. Fica evidente a similitude nos valores nos dois períodos. Percebe-se que, nos pontos iniciais os valores tendem para um aumento, na parte central do gráfico, os valores apresentam pequenas variações, voltando a aumentar, na parte final.

A partir do P7 ao P21, os valores de turbidez permanecem entre 5,0 NTU e 6,0 NTU. Isso pode estar relacionado às características da bacia de drenagem (poucos afluentes, cursos que drenam áreas no domínio dos arenitos silicificados, nascentes em veredas, vegetação ciliar preservada ao longo dos cursos dos cursos d'água). Apesar de esses pontos estarem inseridos em áreas de uso intensivo dos solos, os manejos dos mesmos obedecem a técnicas de preservação dos solos. Estas medidas de proteção diminuem a quantidade de material detrítico carregado e, conseqüentemente, a carga em suspensão.

A partir do P21: 16,83 ao P23: 23,89, os valores de turbidez aumentam consideravelmente. Esses pontos localizam-se no segmento baixo curso, em áreas de uso extensivo do solo sem nenhuma técnica de conservação. Além disso, as características do meio físico (litotipos da Formação Três Marias, presença de Argissolos, características da bacia de drenagem, densidade maior de afluentes, vegetação ciliar impactada negativamente e a presença de matéria orgânica) se interagem para determinar a elevada carga de material em suspensão, aumentando os valores de turbidez para as águas superficiais do rio.

A Resolução CONAMA 357/05, art. 14, estabelece valores limites para turbidez, valores estes que não podem ultrapassar 40 unidades nefelométrica (NTU): comparando os valores obtidos com os valores de referencia, nenhum ponto violou o limite estabelecido.

5.6 TEMPERATURA (T - C°)

A temperatura da água superficial (fig. 46) apresenta variações no inverno entre 23,5°C e 25,9°C e, no verão, entre 24,6°C e 30,1°C – como era de se esperar, já que a área encontra-se sob o domínio do clima tropical úmido-subúmido, com invernos secos e verões chuvosos. Nota-se uma distribuição relativamente homogênea da temperatura nas duas estações climáticas.

Os pontos P1: 30,1°C e P3: 33,1°C registraram temperaturas mais elevadas nas duas estações climáticas. Esses pontos encontram-se localizados em áreas onde o uso do solo se faz de maneira intensiva; além de os impactos negativos gerados nos estratos arbóreos das matas ciliares e das veredas diminuïrem o sombreamento, permitindo assim que os raios solares incidam direta e intensamente sobre a água, aquecendo-as. Além desse fator, a morfologia do canal, como já descrito no Capítulo 2, interfere no aumento da temperatura. As temperaturas mais elevadas implicam o desenvolvimento de processos biológicos, acelerando as reações bioquímicas.

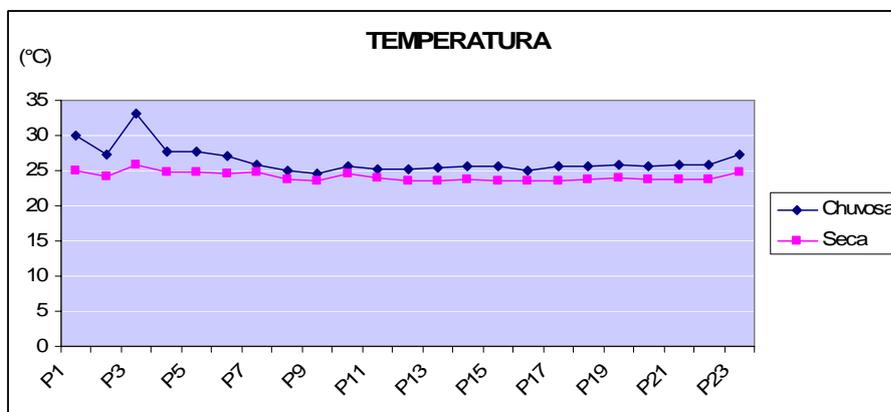


Figura 46: O histograma mostra que, de um modo geral, houve uma variação nos valores da temperatura da água, para os dois períodos climáticos avaliados. Nos pontos iniciais, os valores da temperatura tenderam a um aumento. Da parte central, até o final do gráfico, os valores obtiveram um padrão bastante homogêneo.

Do ponto P8 ao P20, a temperatura das águas permanece em torno de 25°C no verão e 23°C no inverno. Esse fato pode estar relacionado à morfologia do canal (profundidade, fluxo turbulento, velocidade, corredeiras) e ao sombreamento natural exercido pela vegetação ciliar e pelas veredas. A partir do P20 observa-se um discreto aumento na temperatura da

água. Esses pontos estão localizados no segmento baixo curso do rio, possuindo as mesmas características descritas para o P1 e P3.

A Resolução CONAMA 357/05, art. 14, não estabelece valores limites para temperatura; estabelecendo apenas valores para lançamento de efluentes, que devem ser inferiores a 40°C.

5.7 CONCENTRAÇÃO DOS METAIS PESADOS DE SUPORTE NA ÁGUA SUPERFICIAL DO RIO DO FORMOSO

As análises dos elementos ferro, alumínio e manganês têm grande significância no que diz respeito à qualidade ambiental das águas, sedimentos e solos; já que os mesmos fazem parte do processo de remoção e disponibilidade dos metais tóxicos nesses compartimentos (Tabela 1.2 do Anexo1).

5.7.1 Ferro (Fe)

A Figura 47 apresenta os valores de Ferro (mg/L) para a água superficial do rio Formoso. Os valores referentes a esse metal ficaram entre o 0,0466 mg/L e 28,312 mg/L, na estação seca, e entre 0,001 mg/L e 25,35 mg/L, na estação chuvosa. Esses valores alterados do Fe apontam elevada lixiviação: o óxido e hidróxido de ferro provenientes dos litotipos sedimentares do Grupo Areado, Mata da Corda e das coberturas laterizadas alúvio/colúviais do Terciário são liberados através do intemperismo físico-químico, o que enriquece os sedimentos, solos e as águas com esse metal. Além desse fator, os solos areno-argilosos e argilo-arenosos que compõem a cobertura pedológica ao longo do perfil longitudinal da drenagem possuem alto teor de Fe, proveniente do intemperismo dos litotipos sedimentares.

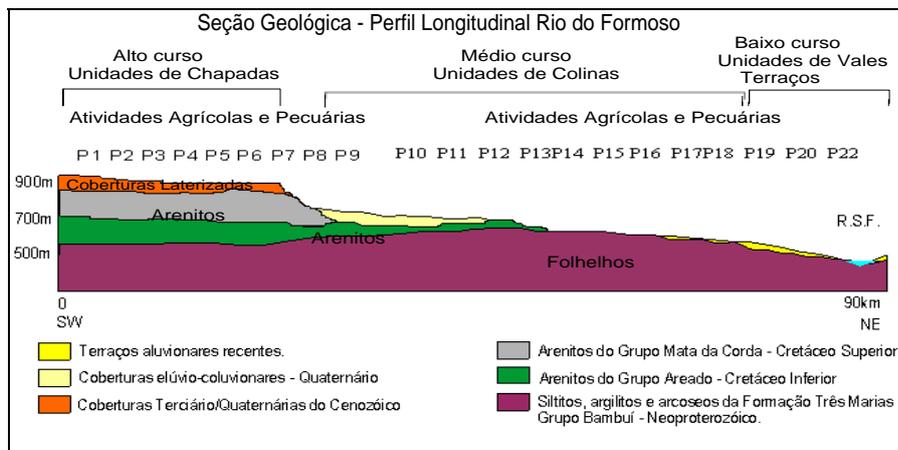
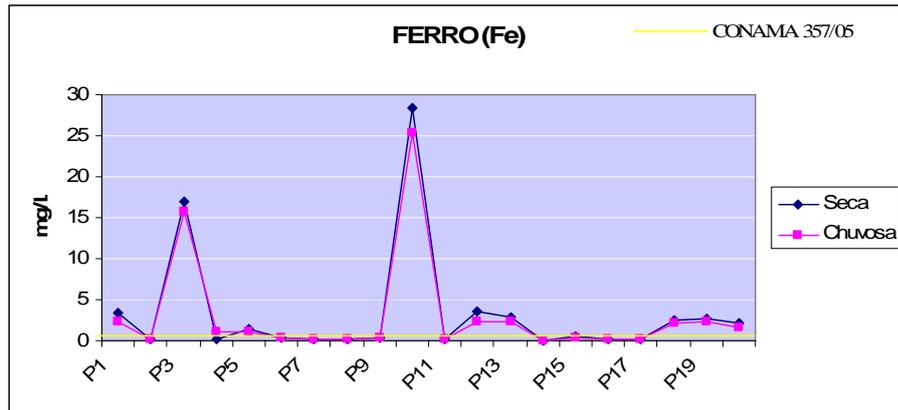


Figura 47: O gráfico mostra a distribuição do Fe dissolvido na água, às alterações nos valores estão diretamente associadas aos litotipos. A lixiviação desse metal enriquece a água ao longo do perfil longitudinal. O limite estabelecido pela linha (amarela) foi ultrapassado em praticamente todos os pontos amostrados.

A comparação em paralelo (fig. 47) aponta para uma correspondência entre variações nos níveis desse metal em relação às unidades litológicas. Os pontos que mais se destacaram para as duas estações são o P3: 17 mg/L, localizado no alto curso e sob o domínio das coberturas arenosas elúvio-coluviais e pelas coberturas elúvio-coluviais laterizadas indiferenciadas com presença; o P10: 28,312 mg/L, ponto que apresentou a mais alta concentração de Fe na água (esse ponto está localizado em *pipe* sedimentar do Grupo Areado com altas concentrações de ferro, elemento que confere às águas superficiais e subterrâneas enriquecimento com Fe^{2+}); os pontos P12: 3,6 mg/L e P13: 2,34 mg/L, localizados no segmento médio curso (segmento ainda pertencente ao domínio das rochas sedimentares do Grupo Areado, o que confere à água um caráter ferroso) e os pontos P18: 19,22 mg/L a P20: 1,5 mg/L, localizados sob os argilitos do Grupo Bambuí com altos teores de óxido de ferro.

A Resolução CONAMA 357/05, art. 14, estabelece valores limites para o elemento

ferro dissolvido, que não devem ultrapassar 0,3 mg/L Fe. Tendo como referência essa resolução, 60% dos pontos violaram o limite estabelecido. Ressalta-se que este órgão ambiental não leva em consideração as variáveis litológicas presentes nos compartimentos do meio físico.

5.7.2 Alumínio (Al)

A Figura 48 mostra a distribuição dos valores de alumínio (mg/L). Os valores referentes a esse metal se posicionaram entre o mínimo de 0,004 mg/L no ponto 2 e o máximo de 2,9 mg/L no ponto 3 para a estação chuvosa, que apresentou, como era de se esperar, os maiores valores de lixiviação de alumínio.

O P1: 0,4 mg/L, P3: 2,9 mg/L, P10: 1,4 mg/L e o P20: 0,2 mg/L foram os pontos que apresentaram os maiores valores de Al na água; nos outros pontos os valores não ultrapassaram 0,04 mg/L e 0,03 mg/L nos dois períodos climáticos. A disponibilidade do Al, que é liberado para o meio através de intemperismo físico e químico, é proveniente dos litotipos do Grupo Areado e Mata da Corda do Cretáceo, das coberturas laterizadas alúvio/coluviais do Terciário e da Formação Três Marias – Grupo Bambuí do Neoproterozóico. A comparação em paralelo (fig 48) mostra uma correspondência entre variações nos níveis desse metal em relação às unidades litológicas e os compartimentos geomórficos.

Os solos areno-argilosos e argilo-arenosos que compõem a cobertura pedológica ao longo do perfil longitudinal do rio possuem um elevado teor de alumínio – sedimentos esses carregados e intemperizados das rochas sedimentares ricas nestes elementos, como mencionado anteriormente. Os sedimentos são carregados em direção ao curso d'água, enriquecendo-as com alumínio. Esses pontos se localizam em áreas de uso intensivo do solo com agricultura e pastagens. Comparando-se os resultados obtidos para o Al neste trabalho com os de Viana (2006), nota-se que houve um aumento dos níveis desse metal na água do Rio do Formoso.

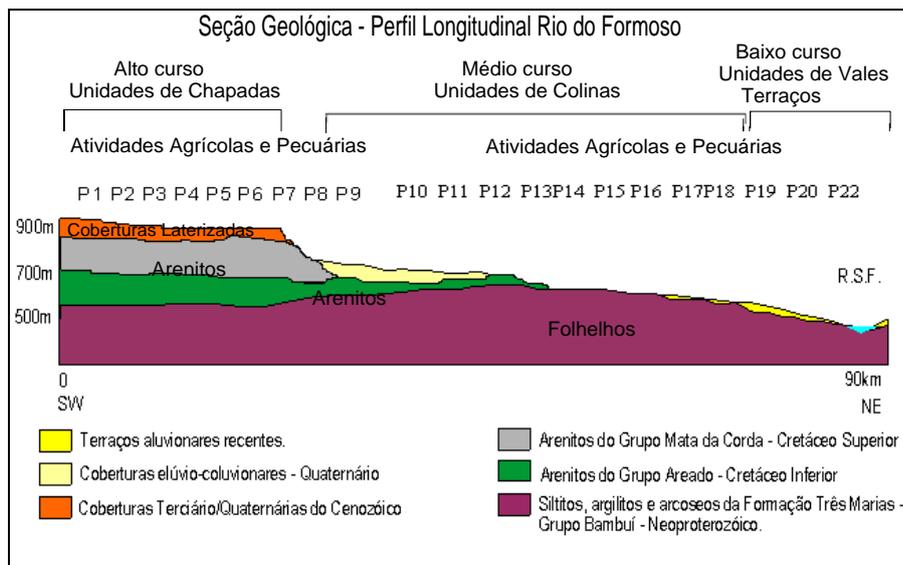
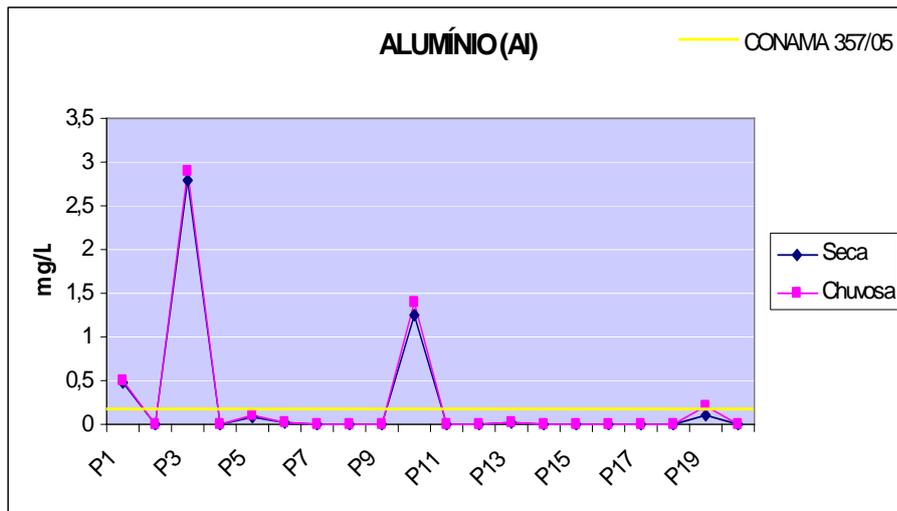


Figura 48: O histograma aponta que os valores de Al se mostram alterados nos pontos localizados no alto curso. Percebe-se uma correlação entre os pontos onde os valores se encontram alterada e os compartimentos litológicos/geomórficos.

A Resolução CONAMA 357/05, art. 14, estabelece valores limites para o alumínio dissolvido que não devem ultrapassar 0,1 mg/L. Tendo como referência essa resolução, os pontos P1, P3 e P10 violaram o limite estabelecido. Ressalta-se que este órgão ambiental não leva em consideração as variáveis naturais e antropogênicas presentes nos compartimentos ambientais.

5.7.3 Manganês (Mn)

A Figura 49 mostra a distribuição dos valores de manganês (mg/L). Os valores referentes a esse metal se situaram entre o mínimo de 0,061 mg/L em P1 e o máximo 0,112 mg/L em P18, na estação chuvosa, a qual apresentou os maiores valores de lixiviação para este metal. Dentre todos os pontos, o P18: 0,112 mg/L, apresentou o maior valor de Mn disponível na água. A presença desse metal, que é liberado para o meio através de intemperismo físico-químico, é proveniente dos litotipos da Formação Três Marias – Grupo Bambuí do Neoproterozóico. A comparação em paralelo (fig 49), representando os níveis de Mn e o perfil geológico, aponta para uma correspondência entre variações nos níveis desse metal em relação às unidades litológicas.

O P18 localiza-se no segmento baixo curso do rio, sendo a cobertura pedológica composta por Argissolos da Formação Três Marias, com teores relativamente elevados de Mn. Os sedimentos são carreados em direção ao curso d'água, enriquecendo-a com esse metal.

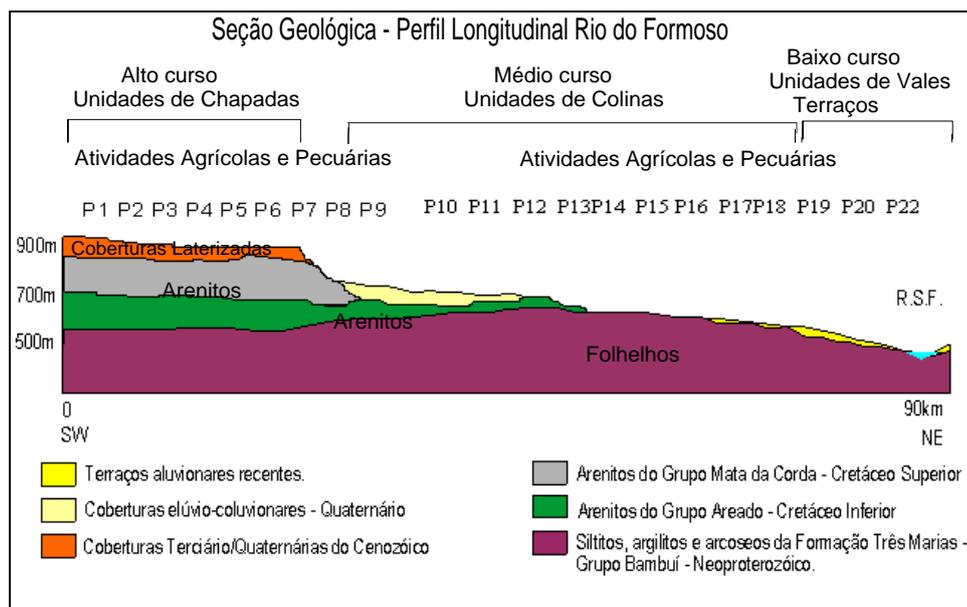
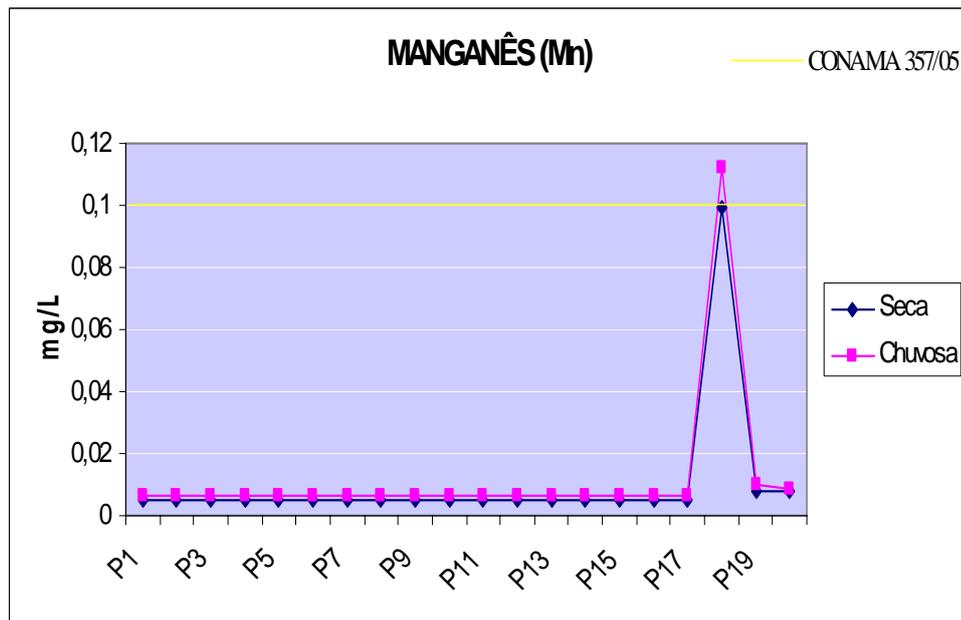


Figura 49: O gráfico mostra que os valores de Mn permanecem padrão em praticamente todos os pontos, o único ponto, que ultrapassou o limite estabelecido pela linha amarela foi o P18. Nota-se uma correlação entre esse ponto e o substrato litopedológico que, possui valores elevados de Mn.

A Resolução CONAMA 357/05, art. 14, estabelece valores limites para manganês total, que não devem ultrapassar 0,1 mg/L. Tendo como referência essa resolução, o ponto P18: 0,112 mg/L, pode ter violado o limite estabelecido. Ressalta-se que este órgão ambiental não leva em consideração as variáveis litológicas presentes nos compartimentos geoambientais.

5.8 CONCENTRAÇÃO DE METAIS PESADOS NA ÁGUA SUPERFICIAL DO RIO DO FORMOSO

As amostras de água bruta foram coletadas ao longo do perfil longitudinal do curso de água principal e de alguns afluentes. Foram coletadas vinte amostras de água por campanha de campo, totalizando quarenta amostras recolhidas. Buscou-se amostras nos mesmos pontos e nas duas estações climáticas, inverno e verão, correspondendo ao período chuvoso e seco. As análises químicas foram executadas no Laboratório de Geoquímica do CPMTC/IGC/UFMG, determinação por ICP-OES (Tabela 1.2. do Anexo 1).

5.8.1 Cobre (Cu)

A partir da análise da Figura 50, nota-se a concentração dos teores de cobre para os vinte pontos amostrados. Os valores obtidos corresponderam a um mínimo de 0,003 mg/L e máximo de 0,005 mg/L, na estação seca; e mínimo de 0,003 mg/L e máximo de 0,0055 mg/L, na estação chuvosa. Os valores observados na (fig. 50) em relação à estação chuvosa apontam para um discreto aumento em comparação à estação seca. Nota-se uma distribuição relativamente homogênea dos valores de Cu nas duas estações climáticas.

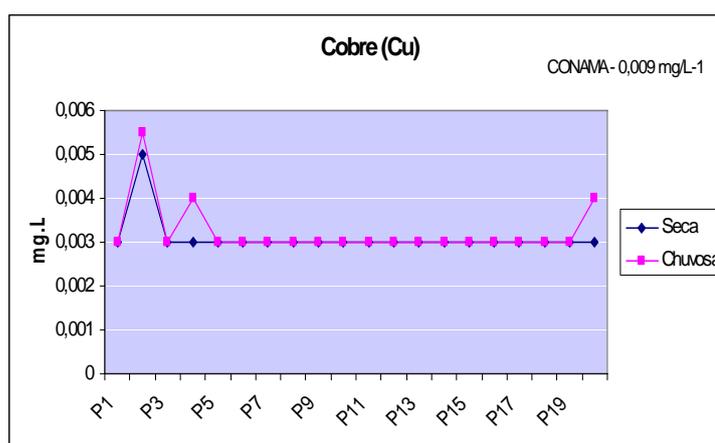


Figura 50: O gráfico mostra a concentração e a distribuição de Cu na água, nenhum dos pontos amostrados ultrapassou o limite estabelecido que é de 0,009 mg/L. Percebe-se que os valores de Cu variaram na estação chuvosa (parte inicial do gráfico), obtendo na sequência (parte central), um padrão nos valores bastante homogêneo.

Nota-se que nos P2, P4 e P20 (estação chuvosa) a concentração de cobre nas águas superficiais apontou para uma razoável lixiviação e/ou solubilização de compostos metalo-orgânicos. Estes apresentaram uma tendência de aumento em relação aos outros pontos entre 30% e 70%, tendo um comportamento semelhante ao observado nos sedimentos. Os pontos P2 e P4 estão localizados no segmento alto curso pertencente aos compartimentos geomórficos Unidades de Chapadas, tendo como substrato rochoso os arenitos do Grupo Areados e Mata da Corda; além das coberturas do Cenozóico. O canal fluvial possui baixa declividade e velocidade das águas, favorecendo assim menor resistência ao transporte desse material contendo cobre. Esses pontos encontram-se inseridos dentro da área de influência direta da agricultura comercial, na qual se faz o uso intensivo de agroquímicos. Os componentes ativos desses agrotóxicos são integrados por metais pesados, sendo que o uso de sais de cobre tem elevado os níveis de contaminação dos solos. A partir do P5 ao P19, as concentrações obtidas para as duas estações climáticas foram de 0,003 mg/L. No P20 a concentração de Cu tornou a aumentar: esse ponto encontra-se totalmente inserido no segmento baixo curso, área de uso intensivo do solo agrícola e de pastagens com grande incremento de Cu. Esse ponto encontra-se próximo à foz com o rio São Francisco e apresenta declividade e velocidade relativamente baixas; a topografia do leito apresentando pequenas ondulações e seu curso tornando-se meandrante ao longo da planície aluvial, o que facilita a deposição de sedimentos contendo Cu transportado de áreas a montante. Ao longo desse segmento o Rio do Formoso praticamente não recebe nenhuma outra drenagem significativa, o que faz com que o sedimento não sofra transporte e conseqüentemente é liberado para a água.

O aumento nas concentrações de Cu na água está associado à alta erodibilidade dos solos, ao intenso uso e exposição aos fungicidas contendo oxicloreto de cobre (Ramexane 850 - PM), bactericida contendo óxido cuproso (Cobre Sandoz - BR), especificado no (Anexo VIII). Houve também relatos de danos à saúde humana.

Além desses fatores de ordem antropogênica, a tipologia do canal fluvial exerce uma forte influência na distribuição e concentração desse metal. Como foi dito acima, existe uma correspondência entre a concentração de Cu na água e nos sedimentos, o que corrobora os trabalhos de Bubb e Lester (1994) sobre a adsorção dos metais pesados pelos sedimentos em suspensão, como o óxido de ferro e o manganês; além da matéria orgânica e argilas, que transferem esses elementos da água para os sedimentos, tornando-os pouco disponíveis, como registrado no gráfico (fig. 50).

No que diz respeito ao pH, esse parâmetro tem grande influência sobre os processos

que envolvem a disponibilidade dos metais, sendo a maioria desses últimos insolúvel em água com pH neutro ou básico. Os valores de pH na água superficial variaram entre 4,0 e 7,0, estabelecendo condição de águas ácidas, levemente ácidas e valores próximos à neutralidade. A condição de acidez favorece a adsorção de Cu nas águas superficiais.

Como verificado no gráfico (fig. 50), nenhum dos pontos amostrados violou os valores orientadores estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05. Entretanto, esses pontos merecem atenção especial, já que os mesmos correlacionam-se com os pontos em que a concentração de Cu nos sedimentos de corrente encontram-se aumentadas.

5.8.2 Cádmio (Cd)

A Figura 51 apresenta a concentração total de cádmio. Os valores obtidos foram um mínimo de 0,0008 mg/L e máximo de 0,0012 mg/L, na estação seca, e mínimo de 0,0008 mg/L e máximo de 0,001 mg/L, na estação chuvosa, como era de se esperar. Os valores para a estação seca superaram os da estação chuvosa nos pontos P3, P7 e P8; nos outros pontos, mantém-se o padrão de 0,0008 mg/L.

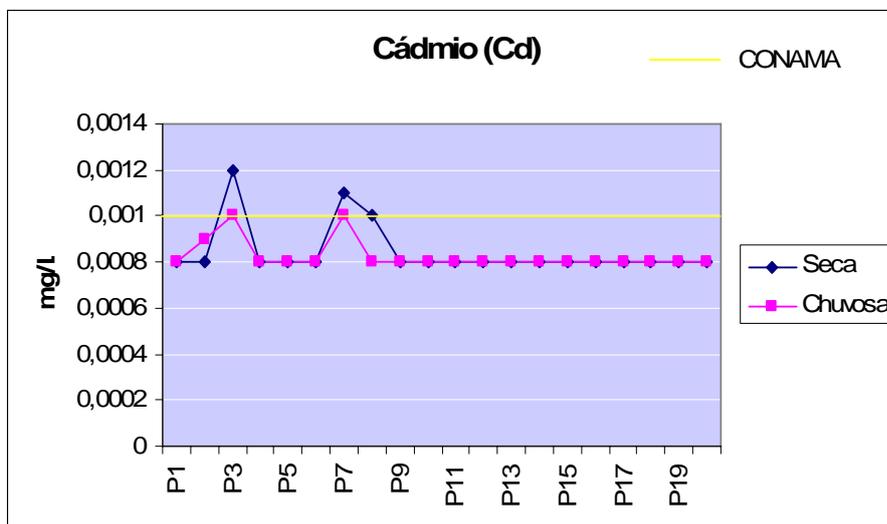


Figura 51: A linha amarela no gráfico mostra que, os valores de Cd foram ultrapassados no período seco (pontos descritos abaixo), nos outros pontos, manteve-se o padrão em menor concentração.

A análise da Figura 51 mostra que os pontos P2, P3, P7 e P8, nos dois períodos climáticos, tiveram um aumento na concentração de Cd na águas superficial, havendo tendência em relação aos outros pontos entre 50% e 40%.

Esta relativa lixiviação e/ou solubilização tem um comportamento semelhante ao do metal cobre, como descrito anteriormente. No que diz respeito aos sedimentos enriquecidos com Cd, observou-se um comportamento bastante semelhante. Para não se tornar repetitivo, esses pontos amostrados possuem as mesmas características descritas anteriormente para o elemento cobre.

Em relação ao pH, os pontos com maiores disponibilidades encontram-se localizados em ambientes ácidos a levemente ácidos, apresentando, assim, média mobilidade para Cd.

Como pode ser visto na (fig.51), a linha amarela representa os valores limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05: os pontos P3, P7 e P8 ultrapassaram os valores de tolerância estabelecidos por essa resolução. Ressalta-se que os valores não detectados não refletem rigorosamente a concentração existente de cádmio, mas indicam a sua presença em baixos teores.

Enfatizado no Capítulo 4, o cádmio é um elemento químico com alto poder toxicológico para os seres vivos e a biota, apresentando grande mobilidade na água, podendo ser transportado pelo fluxo de água por mais de 30 km. Dependendo das condições hidrodinâmicas encontradas, essa distância pode alcançar mais de 50 km – como é o caso do Rio do Formoso, que, entre os pontos P3 a P7, chega a mais de 30 km de distância. Presente nos fertilizantes fosfatados, logo após sua aplicação, o Cd é transportado e depositado nos solos e sedimentos, permanecendo disponível aos ecossistemas aquáticos por longo tempo, já que não é biodegradável.

Os pontos que apresentaram alterações em relação aos teores totais de Cd deverão ser monitorados com atenção, já que os mesmos se encontram localizados em áreas de recarga dos aquíferos cretáceos, áreas de exudação do lençol freático, veredas, lagoas e barragens; onde se faz o uso da pesca e dessedentação de animais. Esses pontos deverão ser monitorados com atenção especial, para que possa ser traçado um plano que estabeleça periodicidade para as análises físicas e químicas das águas superficiais e subterrâneas, sedimentos de corrente e plantas.

5.8.3 Cromo (Cr)

A Figura 52 apresenta os valores totais de cromo para a água superficial. Os valores referentes a esse metal se posicionaram entre 0,049 mg/L, na estação seca, e 0,052 mg/L, na estação chuvosa. Nota-se um aumento nos valores de Cr na estação chuvosa, devido ao carreamento através das águas pluviais de material pedológico – disponível nas áreas agricultáveis – contendo resíduos metalo-orgânicos gerados pelos insumos agroquímicos. Apesar do maior aporte do curso d' água, esta não foi capaz de provocar a mobilização do metal – comportamento que pode ser avaliado pelo maior *input* desses resíduos.

O único ponto que está em desacordo com a Resolução CONAMA 357/05 é o P2: 0,052 mg/L: nesse ponto houve um aumento na ordem de 9% em relação ao valor de referência.

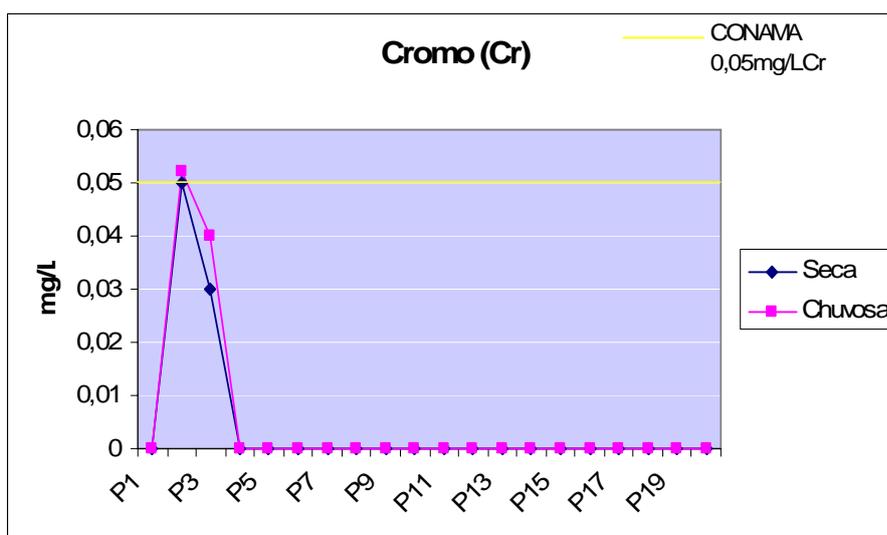


Figura 52: Visualiza-se no gráfico que, apenas em um ponto o valor de Cr na água ultrapassou o valor orientador (linha amarela), no entanto, existe concentração desse metal no restante dos pontos.

Cabe ressaltar que as concentrações obtidas para o P3: de 0,04 mg/L (estação chuvosa) e de 0,03 mg/L (estação seca) encontram-se próximas ao valor de referência estabelecido pela Resolução 357/05. Nos demais pontos a concentração permaneceu padrão. Não houve valores detectados para os demais pontos; porém, estes valores não detectados não refletem rigorosamente a concentração existente do elemento analisado, mas indicam que o metal encontra-se presente em baixa concentração.

Os pontos acima mencionados localizam-se em áreas onde os valores de pH

encontram-se entre 5,0 e 5,5, gerando condições ambientais levemente ácidas, o que potencializa a mobilidade de Cr. Em relação aos outros pontos, há uma tendência à neutralidade; e como o cromo possui baixa mobilidade em ambiente ácidos e neutros, essa correlação se torna marcante.

O aumento apresentado nos teores totais de Cr para a água superficial está associado ao incremento de fertilizantes, pesticidas, inseticidas, herbicidas e fungicidas, contendo anidrito crômico, ácido crômico, óxido crômico, trióxido de cromo e cloreto de zinco cromatado; utilizados no plantio de grãos e preservação de madeiras. Os resíduos metal-orgânicos secos e/ou pulverizados são transportados pelo ar, pela água de irrigação e depositados nos solos, quando são disponibilizados para a água superficial e para o sedimento de corrente.

Assim como para o cobre e o cádmio, os mesmos cuidados devem ser tomados em relação ao metal cromo, ou seja, monitoramento dos recursos hídricos e da biota aquática.

5.8.4 Níquel (Ni)

Observando as concentrações totais de níquel (fig. 53) na água superficial dos vinte pontos amostrados, nota-se que os valores referentes a esse metal ficaram entre o mínimo de 0,0171 mg/L e o máximo de 0,0174 mg/L – mantendo-se esse padrão para os dois períodos climáticos (úmido e seco).

Nota-se um discreto aumento dos valores de Ni em relação ao período chuvoso, devido ao carreamento, através das águas pluviais, de material pedológico disponível nas áreas agricultáveis, contendo resíduos minerais e orgânicos e não sendo diluído pelas águas do Rio do Formoso.

Percebe-se que há uma homogeneidade na distribuição espacial da concentração de níquel ao longo de todo o perfil longitudinal do rio.

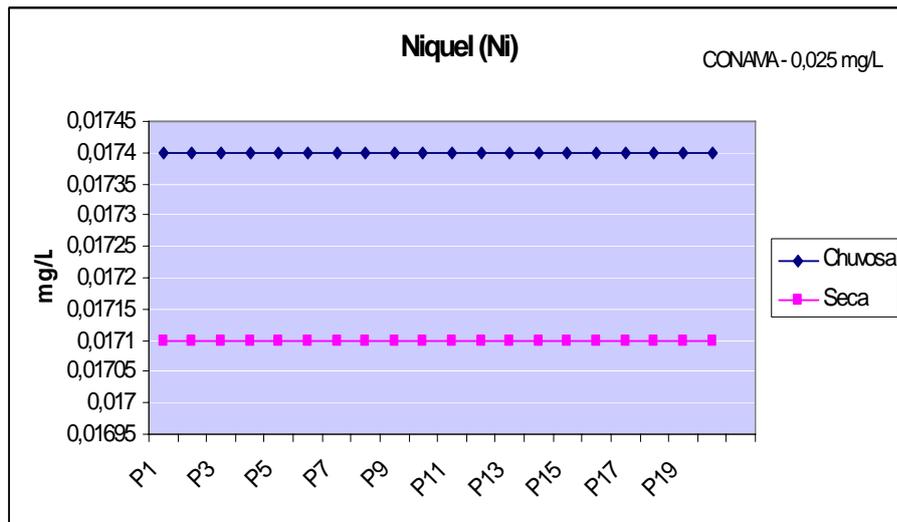


Figura 53: O gráfico apresenta a distribuição e concentração de Ni na água, nota-se uma distribuição bastante homogênea nos dois períodos climáticos. Percebe-se que, em todos os pontos amostrados existe concentração desse metal, nos dois períodos amostrados.

Nenhum dos vinte pontos amostrados violou o valor orientador estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05, que é de 0,025 mg/L. Ressalta-se que os valores não detectados não refletem rigorosamente a concentração existente do níquel, mas indicam que sua concentração é baixa.

Tendo como referência a Resolução 357/05 e 344/04, os valores obtidos de Ni na água superficial e no sedimento de corrente/fundo não foram violados; porém, quando se processa uma análise pontual, percebe-se um comportamento dissímil ao observado quanto ao sedimento, pois esse possui valores significativamente mais elevados em relação aos valores obtidos para a água superficial.

O níquel é um metal com alta mobilidade em ambientes ácidos. Observou-se neste trabalho que os pontos onde as condições da água são de ácidas a levemente ácidas, o Ni apresentou certa mobilidade; entretanto, quando o ambiente torna-se neutro/alcalino (baixo curso) a mobilidade não se alterou. Isso pode ser devido à intensa lixiviação dos fertilizantes utilizados nas áreas agricultáveis que, de certa forma, se sobrepõem ao parâmetro hidrogeniônico. Os solos impregnados com resíduos metalo-orgânicos são transportados pelas águas pluviais e/ou pelo vento, em direção aos cursos de água, enriquecendo-as com níquel.

5.8.5 Chumbo (Pb)

A concentração de chumbo (fig.54), nos vinte pontos amostrados manteve abaixo de 0,05 mg/L (limite de sensibilidade do aparelho), valor este encontrado nos dois períodos climáticos (seco e chuvoso). A mesma homogeneidade na distribuição espacial descrita para o metal Ni foi observada para Pb.

As concentrações obtidas ficaram abaixo do limite estabelecido pela Resolução 357/05, que é de 0,1 mg/L para as águas enquadradas na Classe II – como é o caso do Rio do Formoso. Os valores não detectados não refletem rigorosamente a concentração existente do elemento analisado, mas indicam sua presença em baixos teores.

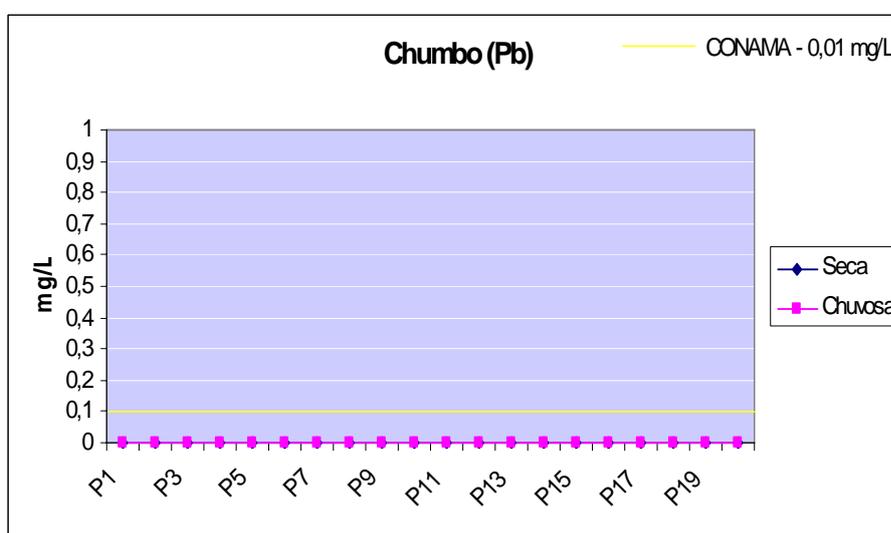


Figura 54: Nota-se no gráfico que o limite de referência para Pb na água não foi ultrapassado. Os valores mantiveram um mesmo padrão, para os dois períodos amostrados.

O chumbo é um metal tóxico e bioacumulativo, podendo ser incorporado ao material de superfície ou na cobertura dos sedimentos. A maior parte do chumbo fica retida nos sedimentos, e muito pouco é transportado nas águas superficiais ou subterrâneas (Oliveira, 2006). Esse fato foi constatado neste trabalho: as concentrações de Pb nos sedimentos de corrente foram altas, praticamente atingindo o limite estabelecido pela Resolução 344/04.

Diante das concentrações obtidas para o chumbo, principalmente no que se refere ao sedimento; e sabendo do seu poder tóxico, esses pontos devem ser monitorados com o objetivo de mapear geoquimicamente sua distribuição e concentração no tempo e espaço, tendo como linha base os dados obtidos neste trabalho.

5.8.6 Zinco (Zn)

Os valores de zinco (fig. 55) mostram a concentração dos teores totais para os vinte pontos amostrados: os valores obtidos para todos os pontos nos dois períodos climáticos foi de 0,0003 mg/L, que é o limite de detecção do aparelho.

Em todos os pontos amostrados a concentração de Zn encontra-se abaixo do limite orientador estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05, que é de 0,18 mg/L. Cabe ressaltar, mais uma vez, que os valores não detectados de Zn não traduzem sua ausência, mas indicam sua presença, em baixa concentração ao longo do perfil longitudinal.

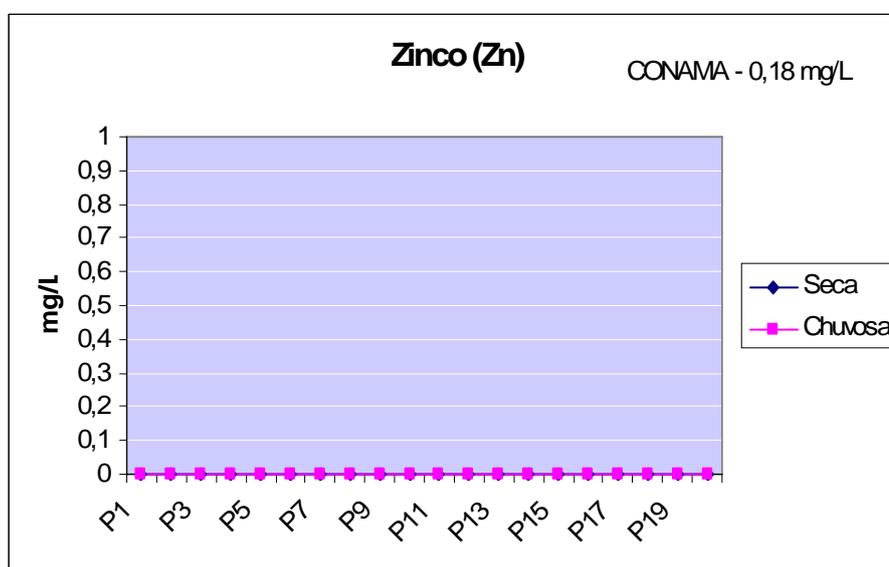


Figura 55: O gráfico mostra que os valores de Zn, mantiveram um mesmo padrão de valores, nos dois períodos climáticos. Nenhum dos pontos amostrados para Zn na água, ultrapassou o limite recomendado pela legislação CONAMA 357/05.

Os teores totais de zinco nas amostras de água apresentaram valores abaixo do preconizado pela Resolução 357/05, apresentando um comportamento diferente do observado quanto aos sedimentos (fig. 61).

No que diz respeito à mobilidade do zinco em meios ácidos, ele apresenta propriedades similares às descritas para o metal níquel.

Apesar do teor total de zinco se encontrar abaixo do valor orientador para a água superficial, todos os pontos amostrados deverão ser monitorados com atenção, pois, se encontram localizados em áreas, cujas classes de predisposição ao risco ambiental vão de muito alta a alta (Capítulo 7).

5.9 DADOS ANALÍTICOS SOBRE A CONCENTRAÇÃO DE METAIS PESADOS NO SEDIMENTO DE CORRENTE E FUNDO DO RIO DO FORMOSO – PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Como já mencionado anteriormente, o material orgânico e inorgânico nos sedimentos de corrente e fundo é, um importante meio de se diagnosticar o grau de poluição em que se encontra esse compartimento.

A origem e a presença dos metais nos sedimentos podem advir de duas fontes: as de origem natural (geológicos, mineralógicos, hidrológicos e biológicos) e as que têm origem na ação do homem (uso do solo, atividades industriais e urbanas, etc...).

Buscou-se neste trabalho analisar, avaliar e quantificar a disponibilidade ambiental dos seguintes metais pesados: Cu, Cr, Pb, Zn e Cd (Tabela 1.3 do Anexo 1).

Os sedimentos de corrente e fundo foram coletados em onze pontos de amostragem, perfazendo um total de onze amostras. A seleção dos pontos de amostragem na bacia de drenagem do Rio do Formoso considerou as variações na paisagem que refletissem os diferentes tipos de unidades e/ou compartimentos e suas áreas de transição.

O método de extrator utilizado foi digestão ácida por ataque parcial, esse método mostrou-se bastante eficaz por reduzir os problemas de interferências, a leitura foi feita através de ICP-OES (Capítulo 3 da Seção 3.3.2).

Até o presente estudo, o Brasil e o estado de Minas Gerais não possuem uma legislação específica que determine o nível máximo de metais permitidos em sedimentos – a legislação brasileira vigente é apenas para água. Utilizou-se neste trabalho os valores orientadores para sedimentos estabelecidos pela Resolução CONAMA 344/04, que teve como referência a CS e QGs (2002).

5.9.1 Características dos sedimentos

Os sedimentos coletados nos onze pontos de amostragem, ao longo do perfil longitudinal, apresentaram particularidades físicas e químicas relativas ao seu local de coleta, em razão da litologia, pedologia, compartimento geomórfico e uso dos solos.

5.9.2 Cor dos sedimentos

Segundo Suguio (1980), a cor dos sedimentos pode ser primária (singenética) ou secundária (epigenética). A cor primária é a existente na época do soterramento dos sedimentos, sendo a secundária resultante do processo de mudanças ocorridas pós-soterramento. Além da composição das rochas e dos corantes principais, vários outros fatores influenciam na cor final. As cores nos sedimentos foram descritas com as amostras secas e em pó, utilizando para tal determinação as *Munsell Soil Color Charts* (2000). As cores dos sedimentos, nos pontos amostrados, mantiveram uma tendência entre 2.5 YR e 5 YR – tons que vão do amarelo/avermelhado ao amarelo. As cores encontram-se relacionadas aos hidróxidos de ferro Fe(OH), principalmente à goethita FeO(OH), hematita Fe₂O₃ e à magnetita Fe₃O₄; encontradas nos principais litotipos presentes na área e nas principais classes de solos.

5.9.3 Composição mineralógica

A composição mineralógica dos sedimentos de corrente e fundo do Rio do Formoso é constituída pelo grupo dos seguintes minerais terrígenos: (Quartzo >60%), minerais de argila (caolinita entre 3% a 20%), mica-grossa (moscovita <3%), feldspatos (microclina 3% a 5%), minerais acessórios pesados (anatásio, goethita, hematita e magnetita entre 3% a 5%) e minerais químicos e autigênicos representados pelos sulfatos (gipsita 3% a 20%), como mostra a Tabela 3.

Percebeu-se que na fração fina <100 (mesh), houve uma predominância em porcentagem do SiO₂, seguido do Al, Fe, TiO₂ e elementos menores.

TABELA 3: COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DAS AMOSTRAS DE SEDIMENTO DE CORRENTE

Amostras/Locais	Minerais Identificados			
	Predominante (>60%)	Maior (<20%)	Menor (<5%)	Minoritário (<3%)
Alto curso P – 01 P – 02 – 03	Quartzo	Caolinita Gipsita	Anatásio	Goethita Hematita Magnetita
Alto/médio P – 04 - P – 05	Quartzo	-	Caolinita Microclina	Anatásio Goethita Hematita Magnetita
Médio/baixo P – 06 - P– 07	Quartzo	-	Caolinita	Anatásio Gipsita Microclina Magnetita
Baixo curso P – 08 FF/ FFII / RSF	Quartzo	-	Caolinita Microclina	Anatásio Gipsita Moscovita Magnetita

Fonte: Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (2008).

Os resultados mineralógicos obtidos para os sedimentos através da difratometria de Raios-X, juntamente com as análises dos litotipos Anexo VI, confirmaram a maior quantidade em porcentagem de quartzo, seguindo do alumínio, ferro, anatásio e elementos menores, na fração fina.

O quartzo (SiO_2), como era de se esperar, foi o mineral com maior predominância em todas as mostras, sua ocorrência pode estar associada ao retrabalhamento dos arenitos (Grupo Areado e Mata da Corda) que compõem a parte superior da coluna estratigráfica e, dos arenitos (Grupo Bambuí – Fm: Três Marias) parte inferior da coluna estratigráfica (fig. 6).

O Al, ocorre principalmente da caolinita $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ e da moscovita $\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$, estando associado, aos arenitos da Fm. Chapadão, Fm. Três Barras e Fm. Três Marias, de grande expressão geográfica na área.

O Fe, encontra-se sob a forma de goethita $\text{FeO}(\text{OH})$, hematita Fe_2O_3 e magnetita Fe_3O_4 , sua origem encontra-se associada aos litotipos do Grupo Areado e Mata da Corda e aos litotipos da Fm. Três Marias, que compõem o substrato rochoso da bacia.

O anatásio TiO_2 está associado à presença de brechas lapilíticas limitadas por tufos maciços do Grupo Mata da Corda, e por fim, os elementos menores presentes nos litotipos.

5.9.4 Valores do Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH dos sedimentos nos onze pontos de coleta variou entre 4,9 a 6,5 – valores comuns em áreas continentais, com predominância de condições ácidas a levemente ácidas.

5.10 CONCENTRAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DOS METAIS PESADOS SELECIONADOS EM AMOSTRAS DE SEDIMENTO

5.10.1 Cobre

A Figura 56 apresenta a concentração dos teores totais de cobre para os onze pontos amostrados. Os valores obtidos foram: mínimo de 0,068 mg/kg e máximo de 12,87 mg/kg, na estação chuvosa, e mínimo 0,051 mg/kg e máximo de 12,75 mg/kg, na estação seca. Os valores observados para a estação chuvosa apontam, como era de se esperar, para um discreto aumento em relação à estação seca. Nota-se uma distribuição relativamente homogênea dos valores de Cu nas duas estações climáticas.

Como pode ser verificado na (fig.56) nenhum dos pontos amostrados violou os valores orientadores estabelecidos pela Resolução CONAMA 344/04.

A concentração dos teores de Cu presentes nos litotipos Arenitos e Argilitos contidos na Tabela 4 demonstra que esses se encontram abaixo dos valores de referência para Arenito Médio e Folhelho Médio extraídos de Bowen (1979) e Krauskopf (1976). Todavia, os valores não detectados não refletem rigorosamente a concentração existente desse elemento, mas indicam que sua concentração é baixa.

Nota-se que entre o P3 e o P4 os valores de Cu tendem a um discreto aumento – exceção feita para P2: 10,08 mg/kg, que apresenta um aumento de mais de 50% em relação à média dos pontos anteriores. Os pontos citados acima se localizam no segmento alto curso do Rio do Formoso, pertencente ao compartimento geomórfico Unidades de Chapadas e tendo como substrato rochoso os arenitos do Grupo Areados e Mata da Corda; além das coberturas do Cenozóico.

O canal fluvial entre o P1 e o P4 possui baixa declividade e velocidade das águas, favorecendo assim menor resistência ao transporte. Além disso, a topografia do leito apresenta pequenas ondulações, o que facilita a deposição dos sedimentos contendo cobre.

Esses pontos encontram-se inseridos dentro da área de influência direta do plantio de soja.

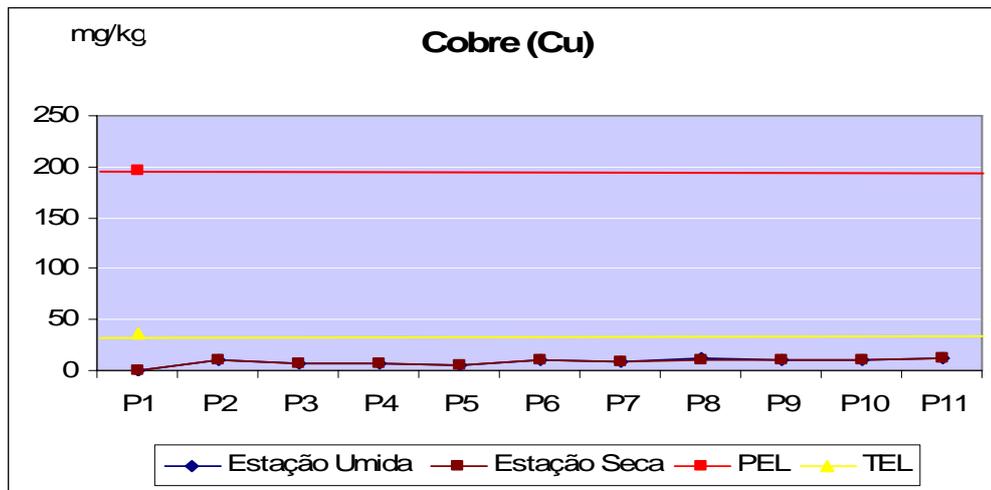


Figura 56: O gráfico mostra a concentração e a distribuição de Cu no sedimento, ao longo do perfil longitudinal do rio. Em nenhum dos pontos amostrados, os valores ultrapassaram a linha amarela para Probable Effect Level – PEL: 197 mg/kg (linha vermelha) e Threshold Effect Level – TEL: 35,7 mg/kg (linha amarela). Nota-se a correlação entre o aumento nos teores e os compartimentos geomórficos, onde as atividades agrícolas são intensas.

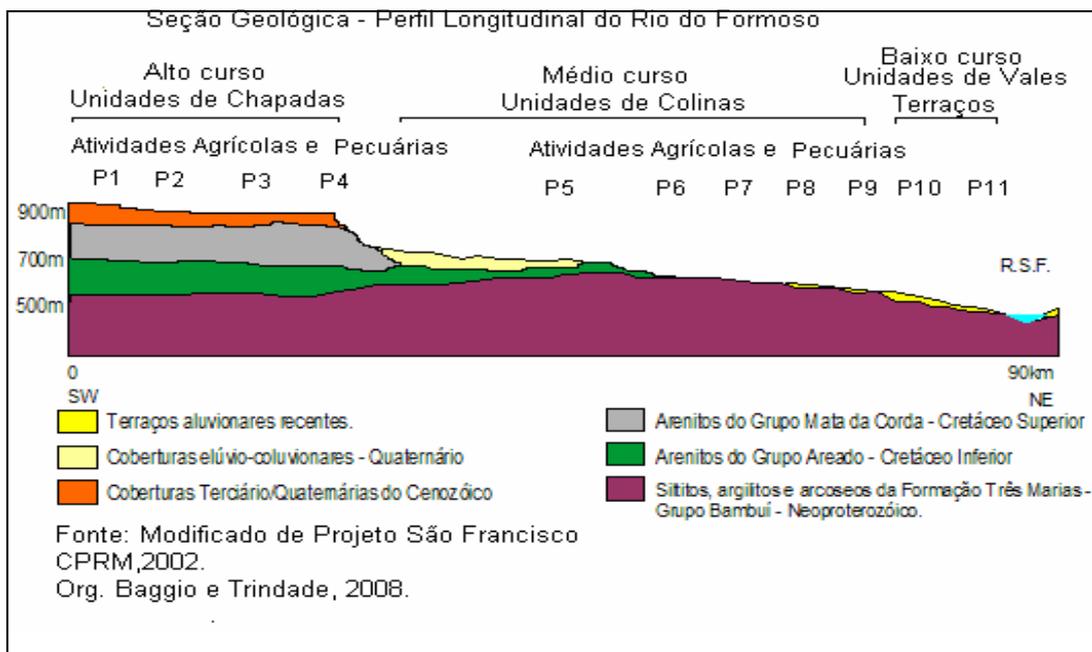


TABELA 4: VALORES DE REFERÊNCIA E CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE COBRE CONTIDOS NOS LITOTIPOS.

VALORES REFERÊNCIA – Cu - LITOTIPOS ARENITOS E FOLHELHOS			
Elemento Cu	Referência – Bowen, (1979) e Krauskopf, (1976).	Concentração observada	Padrão – litotipos Rio do Formoso
Arenitos	30 ppm	3,096 ppm	*NE
Folhelhos	39 ppm	13 ppm	NE

* Não enriquecimento

Assim como a água superficial, o aumento nas concentrações de Cu está associado à erodibilidade dos solos, ao uso intenso de fungicidas contendo principalmente oxiclreto de cobre (Ramexane 850 - PM), bactericida contendo óxido cuproso (Cobre Sandoz - BR); além de resíduos orgânicos, como especificado no (Anexo VIII). Segundo Gimeno e García *et. al.* (1996), os agrotóxicos contendo arsenatos de cobre, zinco e chumbo contaminam as partículas de solos que são carregados pelas águas pluviais em direção ao leito do rio, as quais, dessorvidas, elevam os teores de metais pesados nos sedimentos de corrente.

Em relação ao P5: 4,79 mg/kg – ponto de menor concentração –, percebe-se uma diminuição nos teores de Cu. Esse fato é devido à interseção com uma drenagem secundária de fluxo relativamente turbulento que chega até o canal principal pela margem esquerda. Esta se apresenta com um fluxo de água bastante considerável, sendo a topografia do leito levemente ondulada, com presença de rochas, o que dificulta o acúmulo de sedimentos. A ruptura no gradiente faz com que as partículas de solos contendo Cu sejam transportadas em direção à desembocadura, que se acumulem em áreas abaciadas ao longo da drenagem ou que fiquem aprisionadas em armadilhas naturais dentro do leito. Esse ponto também marca a transição entre os compartimentos Unidades de Chapadas e Unidades de Colinas, apresentando um desnível altimétrico em torno de 43 m e uma distância entre os pontos de 16 km. A topografia do leito, associada à declividade e à velocidade das águas, dificulta a deposição dos sedimentos.

O teor de cobre aumenta em P6: 11,28 mg/kg. Esse ponto encontra-se localizado no compartimento Unidades de Colinas, cujo substrato rochoso são os litotipos areníticos da Formação Três Marias, apresentando colinas convexo-côncavas ravinadas, funcionando principalmente na época das chuvas como corredores de transporte de sedimento contendo Cu e proveniente das áreas agrícolas situadas a montante. A topografia do leito apresenta-se suavemente ondulada. A declividade e a velocidade do fluxo diminuem favorecendo a deposição dos sedimentos contendo Cu.

Já em P7, o teor de Cu diminui em relação a P6. O P7, está inserido no contato litológico entre o Grupo Bambuí e os aluviões e terraços aluviais do Cenozóico, apresentando uma diferença de altitude de 43 metros. Nesse local, o leito apresenta-se rochoso; o fluxo de água passa de laminar para turbulento e o curso torna-se encaixado por mais de 10 km, apresentando, neste segmento, formação de níveis estruturais escalonados corredeiras, dificultando a deposição dos sedimentos. Os pontos P8 a P11 possuem valores médios de teores totais de cobre em torno de 11,28 mg/kg, aumentando em relação a P7. Ambos se encontram totalmente inseridos no segmento baixo curso e apresentam desnível em torno de

26 m; sendo a distância entre os pontos de 9,9 km. O baixo curso do Rio do Formoso, até a foz com o rio São Francisco, apresenta declividade e velocidade relativamente baixas, a topografia do leito apresenta pequenas ondulações e seu curso torna-se meandrante ao longo da planície aluvial – o que facilita a deposição de sedimentos contendo Cu transportado de áreas a montante. Ao longo desse segmento, o Rio do Formoso praticamente não recebe nenhuma outra drenagem significativa, o que faz com que os sedimentos não sofram transporte.

Quando se observa individualmente o teor de Cu para o P8: 11,81 mg/kg e P11: 12,87 mg/kg – os mais elevados de todas as estações amostradas –, vemos que esses pontos se encontram localizados em uma área com uso intensivo do solo agrícola. Nessa área de alta produtividade se faz o uso intenso de pesticidas, herbicidas, praguicidas, fertilizantes e resíduos orgânicos contendo arsenatos de cobre. Isso, segundo Kabata-Pendias e Pendias (1984), Alloway (1990) e Blume e Brummer (1991), contribui para a contaminação dos solos e, conseqüentemente, dos sedimentos.

O pH é um parâmetro de grande influência sobre os processos que envolvem a disponibilidade dos metais; sendo a maioria dos metais insolúveis em água com pH neutro ou básico. Os valores de pH nas águas superficiais variaram entre 4,0 e 7,0; estabelecendo condição de águas ácidas, levemente ácidas e valores próximos à neutralidade. Essa condição de acidez favorece a adsorção dos metais aos sedimentos.

A análise dos dados apresentados na Tabela 4 mostra que teor do elemento Cu presente nos litotipos Arenitos e Argilitos encontra-se abaixo dos valores (Arenito Médio e Folhelho Médio). Portanto, não há enriquecimento desse metal para os sedimentos.

Apesar dos teores totais de cobre (fig. 56) se encontrarem abaixo do valor orientador para sedimentos, os mesmos deverão ser monitorados com atenção, já que estão localizados entre a nascente e a foz do Rio do Formoso – áreas frágeis do ponto de vista geoambiental.

As transformações ambientais geradas pela crescente expansão da agricultura comercial de soja, café, algodão e das monoculturas de eucaliptos e pinus – associada à fragilidade física e biológica dos ambientes encontrados na bacia de drenagem – requerem atenção especial. É indispensável a adoção de um programa de monitoramento ambiental – principalmente no que diz respeito aos recursos hídricos – envolvendo o apoio dos órgãos da administração municipal e dos programas técnicos específicos. O objetivo de um programa dessa natureza é o de minimizar os impactos ambientais negativos – o que não será alcançado sem conseqüências sobre a limitação dos lucros dos agroempreendedores.

5.10.2 Cádmio

Os valores de cádmio tabulados na Figura 57 apresentam a concentração dos teores totais deste metal para os onze pontos amostrados. Os valores obtidos foram o mínimo de 0,01 mg/kg e o máximo de 1,221 mg/kg, na estação chuvosa, e o mínimo 0,001 mg/kg e máximo 1,126 mg/kg⁻¹, na estação seca. Os valores observados no gráfico (fig. 57) para a estação chuvosa apontam, como era de se esperar, para um discreto aumento em relação à estação seca. Nota-se uma distribuição relativamente homogênea dos valores de Cd nas duas estações climáticas.

Como pode ser visualizado na (fig. 57), os pontos P1 e P3 violaram em mais de 100% os valores orientadores estabelecidos pela Resolução CONAMA 344/04 para TEL, que é de 0,6 mg/kg⁻¹. Esses pontos localizam-se no compartimento geomorfológico Unidades de Chapadas, onde o uso do solo agrícola se faz de maneira intensiva. Em relação aos outros pontos, nenhum violou os valores orientadores proposto pelo CONAMA 344/04. O aumento apresentado nos teores totais de Cd para os sedimentos, principalmente nos pontos P1 e P3, está diretamente associado ao incremento de agroquímicos utilizados no plantio de grãos.

A análise dos dados apresentados na Tabela 5 mostra que, o teor do elemento Cd presente nos litotipos Arenitos e Argilitos encontra-se abaixo dos valores (Arenito Médio e Folhelho Médio). Portanto, não há enriquecimento desse metal para os sedimentos.

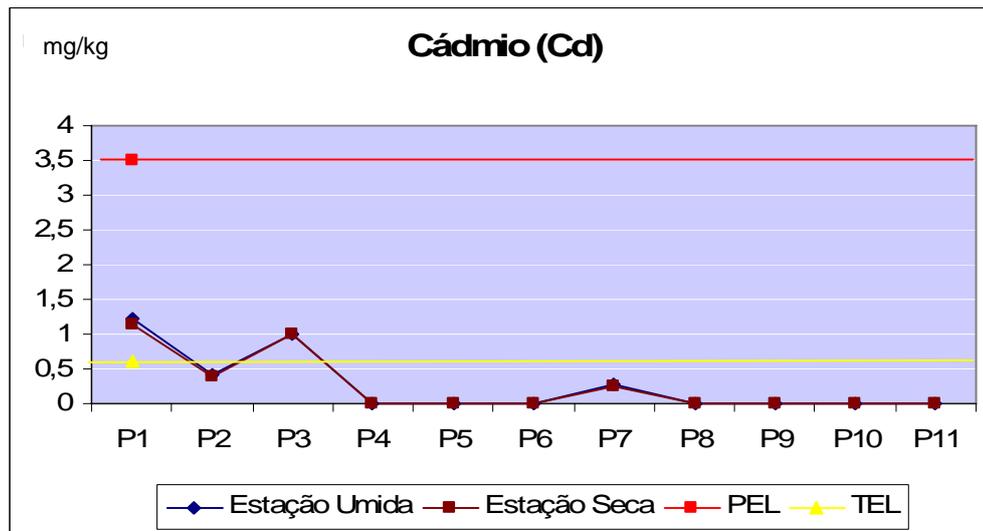


Figura 57: Nota-se no gráfico que a concentração de Cd no sedimento ultrapassou em alguns pontos a linha amarela estabelecida para TEL: 0,6 mg/kg, nos dois períodos amostrados. No restante dos pontos, os valores variaram e/ou mantiveram um padrão. A comparação em paralelo, entre o gráfico e o perfil abaixo, aponta para uma certa correlação entre o aumento na concentração de Cd e o uso dos solos, que ocorrem nas unidades geomórficas.

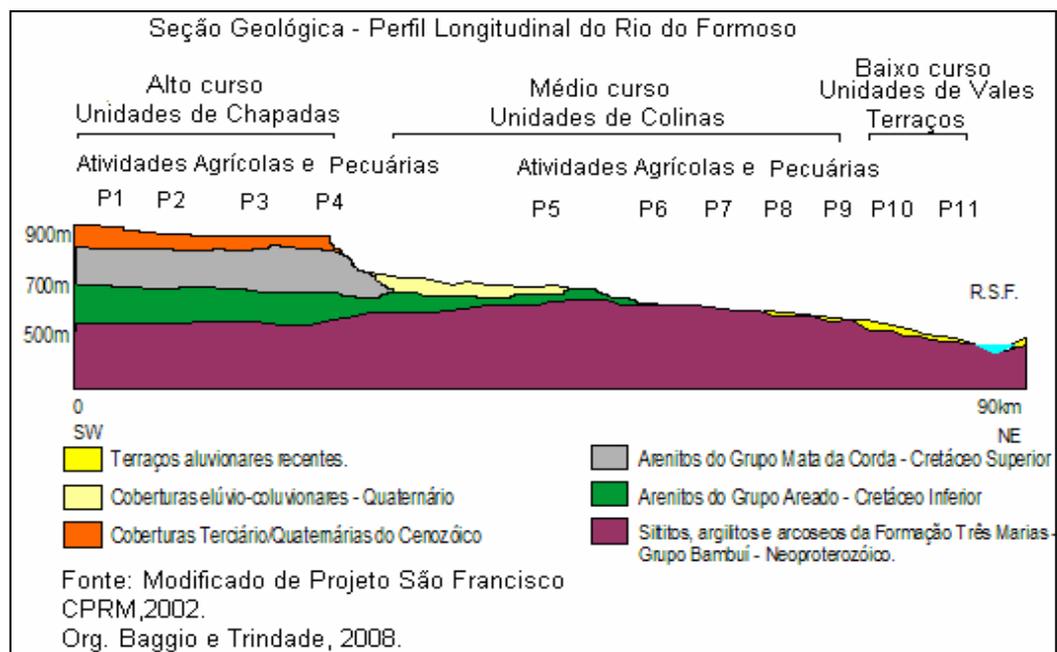


TABELA 5: VALORES DE REFERÊNCIA E CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE CÁDMIO CONTIDOS NOS LITOTIPOS.

VALORES REFERÊNCIA – Cd - LITOTIPOS ARENITOS E FOLHELHOS			
Elemento Cd	Referência – Bowen, (1979) e Krauskopf, (1976).	Concentração observada	Padrão – litotipos Rio do Formoso
Arenitos	0,05 ppm	<0,01 ppm	*NE
Folhelhos	0,22 ppm	<0,01 ppm	NE

* Não enriquecimento

Os pontos que apresentaram alterações em relação os teores totais de cádmio deverão ser monitorados com atenção, pois se encontram localizados em áreas bastante frágeis do ponto de vista geoambiental – representadas pelas Unidades de Chapadas – que funcionam como áreas de recarga dos aquíferos cretáceos; sendo de grande importância hidrológica para a bacia hidrográfica.

5.10.3 Cromo

A Figura 58 apresenta a concentração dos teores totais de cromo nos onze pontos amostrados. Os valores obtidos foram: mínimo de 0,1539 mg/kg e máximo de 64,00 mg/kg, na estação chuvosa, e mínimo de 0,1858 mg/kg e máximo de 63,25 mg/kg, no período seco. Nota-se um discreto aumento nos valores de Cr na estação chuvosa, devido ao carreamento, através das águas pluviais, de material pedológico contendo resíduos metalo-orgânicos, disponíveis nas áreas agricultáveis.

Os pontos P2 e P3 alcançaram valores acima do recomendado pela Resolução CONAMA 344/04 – diante dos dados obtidos, pode-se afirmar que houve contaminação nos sedimentos de corrente/fundo para cromo. Esses pontos localizam-se no compartimento geomorfológico Unidades de Chapadas (cujas características físicas são as mesmas já descritas para o metal Cu). Cabe ressaltar que o ponto P2: 64,00 mg/kg, apresentou um aumento significativo de mais de 69% em relação ao valor de referência TEL, que é de 37,3 mg/kg. Em relação aos pontos P4 a P11, os teores de Cr se encontram abaixo do valor de referência estabelecido pela Resolução 344/04 – não havendo até o presente momento, portanto, descumprimento da legislação. O aumento apresentado nos teores totais de Cr nos sedimentos de corrente pode estar associado a sua utilização como agente ativo das tintas, que são utilizadas na preservação do madeirame, empregado na construção de cercas, galpões e nas casas. Além disso, a intensa utilização de agroquímicos contendo anidrido crômico, ácido crômico, óxido crômico e trióxido de cromo; utilizados no plantio de grãos. Os resíduos metalo-orgânicos secos e/ou pulverizados são transportados pelo ar e pela água de irrigação e depositados nos solos, quando são disponibilizados para a água superficial e para os sedimentos de corrente.

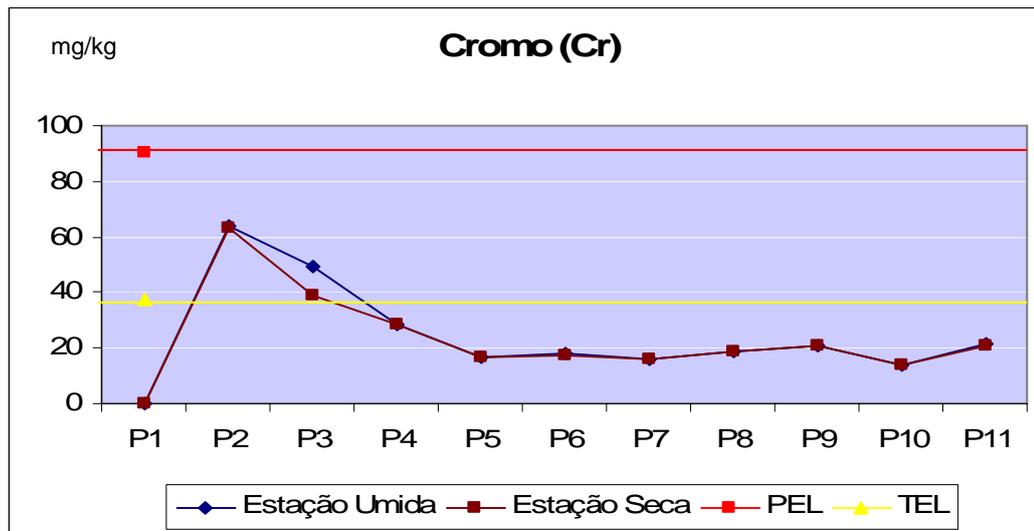


Figura 58: O gráfico aponta que a concentração de Cr nos sedimentos ultrapassou em (P2 e P3) o limite estabelecido pela linha amarela para TEL: 37,3 mg/kg. No restante dos pontos, a concentração de Cr não violou o limite estabelecido, no entanto, os valores se encontram muito próximo. A comparação em paralelo das figuras mostra uma forte correlação entre os fatores litogeomórficos e o enriquecimento de Cr para os sedimentos.

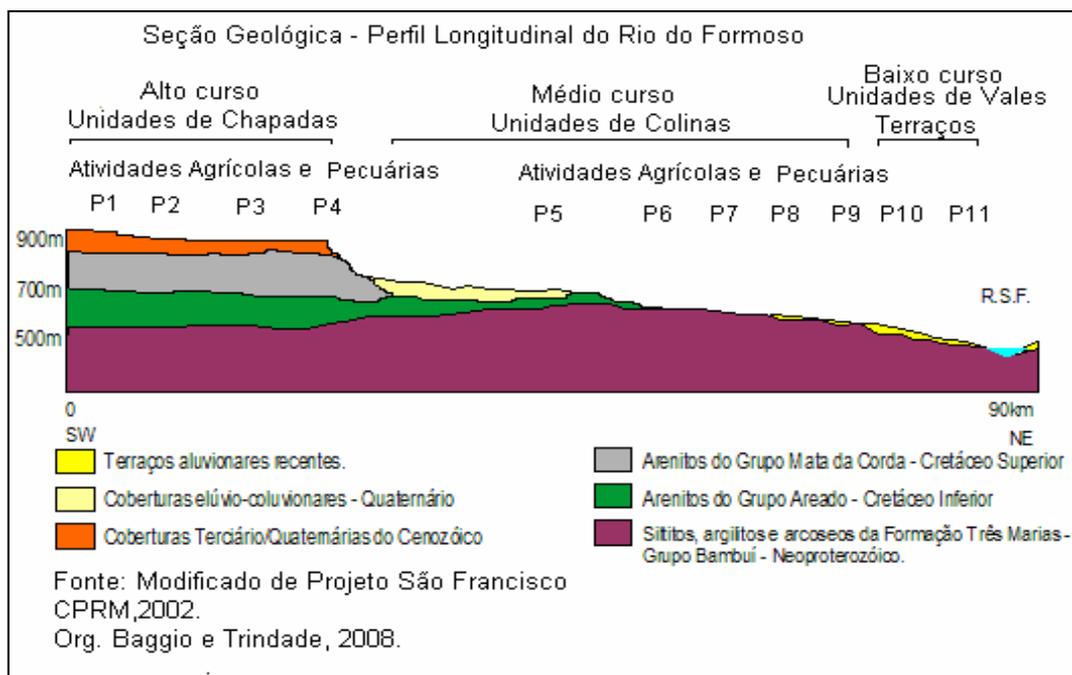


TABELA 6: VALORES DE REFERÊNCIA E CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE CROMO CONTIDOS NOS LITOTIPOS.

VALORES REFERÊNCIA – Cr - LITOTIPOS ARENITOS E FOLHELHOS			
Elemento Cr	Referência: Bowen, (1979) e Krauskopf, (1976).	Concentração observada	Padrão – litotipos Rio do Formoso
Arenitos	35 ppm	8,288 ppm	*NE
Folhelhos	90 ppm	89 ppm	NE

* NE: Não enriquecimento

Os dados apresentados na Tabela 6 para o elemento cromo presente nos litotipos arenitos e argilitos mostram que esses elementos se encontram abaixo dos valores de referência estabelecidos por Bowen (1979) e Krauskopf (1976); não havendo enriquecimento de Cr em relação a esses litotipos. No entanto, como as concentrações obtidas para os argilitos se encontram praticamente no limite de referência, entende-se que haja enriquecimento de cromo para os sedimentos – principalmente em P8, P9, e P11 – cujo substrato é constituído pelos argilitos da Formação Três Marias, que é liberado para o meio, através do intemperismo físico-químico. Diante da assinatura geoquímica para o elemento cromo presente nos sedimentos, confirma-se a afirmativa sobre a contribuição natural desse elemento para o meio aquático.

Os pontos que apresentaram alterações em relação os teores totais de Cr, deverão ser monitorados com atenção, pois, estão situados em áreas cujas classes de vulnerabilidade ambiental se posicionam entre muito altas e altas, o que se traduz, em um ambiente natural bastante frágil.

5.10.4 Níquel

A observação dos valores de níquel (fig. 59) dos onze pontos amostrados indica que o valor obtido foi o mínimo de 0,051 mg/kg, na estação chuvosa (verão), e máximo de 12,00 mg/kg, na estação seca (inverno). Os valores de níquel na estação chuvosa tiveram um discreto aumento em relação à estação seca, já que na estação chuvosa existe uma maior contribuição de material detrítico transportado pelas águas pluviais até as drenagens.

Nenhum dos onze pontos amostrados violou os valores orientadores estabelecidos pela Resolução CONAMA 344/04 para PEL: 35,9 mg/kg e para TEL: 18,00 mg/kg.

O gráfico (fig. 59) mostra elevação nos teores totais para os pontos P2: 12,02 mg/kg e P4: 11,98 mg/kg. Esses pontos estão localizados no alto curso, área em que o uso e ocupação do solo são destinados à monocultura comercial da soja e café. Nessa área faz-se uso intensivo de agroquímicos, o que ocasiona o aumento nos teores totais de níquel. Em relação ao P5: 2,55 mg/kg, percebe-se uma diminuição nos teores desse metal. Esse fato é devido à interseção com uma drenagem secundária de fluxo relativamente turbulento, que chega até o canal principal pela margem esquerda. Esta se apresenta com um fluxo de água bastante considerável; a topografia do leito levemente ondulada e com presença de rochas, o

que dificulta o acúmulo de sedimentos. A ruptura no gradiente faz com que as partículas de solos contendo Ni sejam transportadas em direção à desembocadura ou se acumulem em áreas abaciadas ao longo da bacia drenagem. O P5 também marca a transição entre compartimentos geomórficos e litológicos. A topografia do leito, associada à declividade e à velocidade da água, dificulta a deposição dos sedimentos contendo níquel.

A Tabela 7, para o elemento níquel presente nos litotipos argilitos, indica valores abaixo dos de referência extraídos de Bowen (1979) e Krauskopf (1976) para o Folhelho Médio. Portanto, não há enriquecimento de níquel para os sedimentos de corrente.

Quando se compara o gráfico (fig. 59) com o perfil geológico, nota-se que os pontos P2, P4 e P6 (pontos com as maiores concentrações) se encontram inseridos sobre o substrato arenítico do Grupo Areado e Mata da Corda, cuja concentração observada (Tabela 7) foi de 54 ppm, o que ultrapassa em mais de 500% o valor de referência estabelecido por Bowen (1979) e Krauskopf (1976), que é de 9 ppm. Essa concentração extremamente alta do elemento níquel sustenta a afirmativa sobre a contribuição natural de origem litológica no enriquecimento dos sedimentos. A liberação desse elemento menor no compartimento sedimentos se faz, principalmente, pelos processos de lixiviação química exercidos pelas águas meteóricas nas rochas. No que diz respeito aos folhelhos, a concentração observada encontra-se abaixo dos valores de referência. Apesar dos onze pontos amostrados não violarem os valores orientadores para níquel, esses deverão ser monitorados com atenção, já que estão localizados em áreas ambientalmente vulneráveis, como descrito no Capítulo 7.

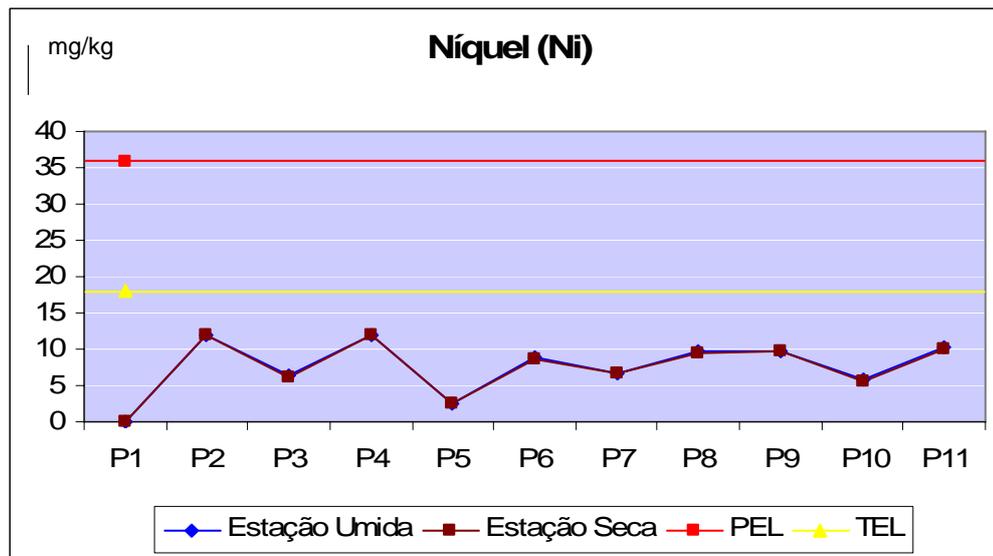


Figura 59: Como pode ser visualizado no gráfico, nenhum dos onze pontos amostrados para sedimentos ultrapassaram os limites estabelecidos para PEL: 35,9 mg/kg (linha vermelha) e TEL: 18 mg/kg (linha amarela). Nota-se que os valores variaram ao longo do perfil longitudinal do rio, influenciados por fatores de ordem natural e antrópica.

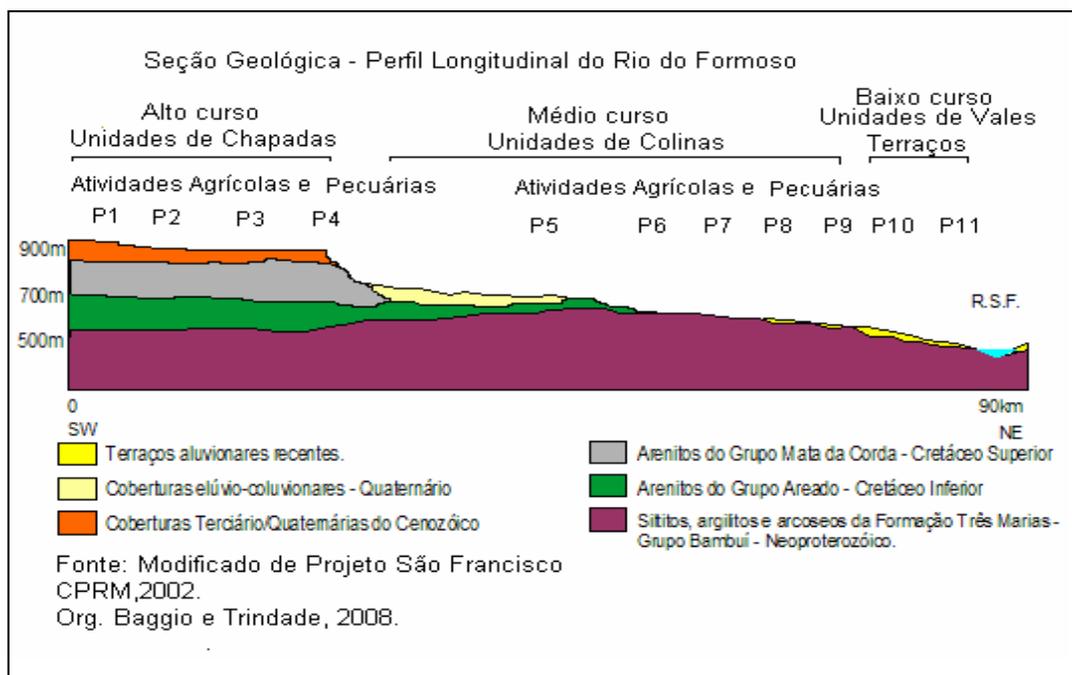


TABELA 7: VALORES DE REFERÊNCIA E CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE NÍQUEL CONTIDOS NOS LITOTIPOS.

VALORES REFERÊNCIA – Ni - LITOTIPOS ARENITOS E FOLHELHOS			
Elemento Ni	Referência: Bowen, (1979) e Krauskopf, (1976).	Concentração observada	Padrão – litotipos Rio do Formoso
Arenitos	9 ppm	54 ppm	*E
Folhelhos	68 ppm	19 ppm	NE

* E: enriquecimento – NE: não enriquecimento

5.10.5 Chumbo

Observando-se os valores do chumbo nos 11 pontos amostrados (fig. 60), percebe-se que a concentração dos teores totais desse metal foi a mínima de 0,083 mg/kg e a máxima de 25,99 mg/kg, na estação chuvosa, e a mínima de 0,081 mg/kg e a máxima de 27,75 mg/kg, na estação seca. Os valores de chumbo na estação chuvosa tiveram um aumento pouco expressivo em relação à estação seca, quase imperceptível quando representado graficamente (fig. 60).

Comparando os valores obtidos com os níveis de referência estabelecidos pelo CONAMA 344/04, percebe-se que nenhuma das onze estações de amostragem violou os valores de PEL: 91,3 mg/kg e TEL: 35,00 mg/kg.

A análise dos dados apresentados na Tabela 8, para o elemento Pb presente nos litotipos arenitos e argilitos, mostra que seus valores se encontram abaixo dos referenciados para Arenito Médio e Folhelho Médio extraídos de Bowen (1979) e Krauskopf (1976). Porém, os dados apresentados para os arenitos mostram que a concentração de Pb 8,9 ppm, se encontra muito próximo ao valor de referência, que é de 10 ppm – do que se infere que haja enriquecimento de Pb para os sedimentos. A assinatura geoquímica encontrada para Pb nos pontos P2, P3, P4 e P5 tem uma forte correlação com presença dos litotipos areníticos do Grupo Areado e do Grupo Mata da Corda, que formam o substrato rochoso da área. A liberação de traços desse metal nos sedimentos é feita através do intemperismo químico/físico sofrido pelas rochas a partir do contato com as águas pluviais. A lixiviação de Pb a partir das águas pluviais e do sistema hídrico libera traços desse metal pesado no compartimento hidrosfera, reforçando a afirmativa sobre a contribuição natural (geológica) desse elemento para o compartimento sedimento de corrente. Além, da contribuição natural através dos litotipos, existe a contribuição antropogênica, ocasionada pelos resíduos metalo-orgânicos gerados pela agricultura comercial. Os componentes ativos de alguns agrotóxicos contendo sais de arsenatos de Pb e, lixiviados pelas águas pluviais, enriquece os sedimentos com esse metal.

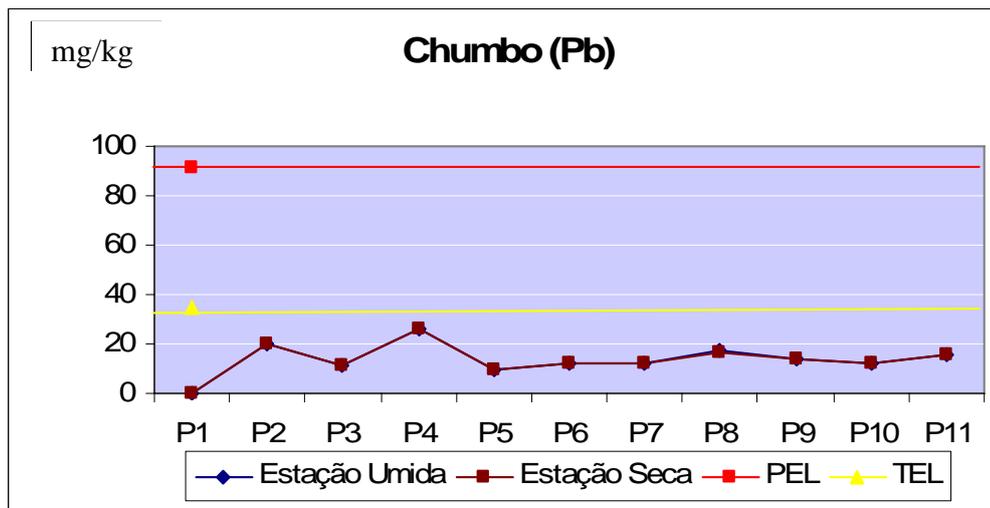


Figura 60: Percebe-se através do gráfico, que os valores de Pb para os sedimentos de corrente não ultrapassaram os limites estabelecidos para TEL: 35,00 mg/kg, no entanto, se encontram muito próximos do limite (P2 e P4). A concentração de Pb obtida para os litotipos arenitos aponta um enriquecimento desse metal para os sedimentos.

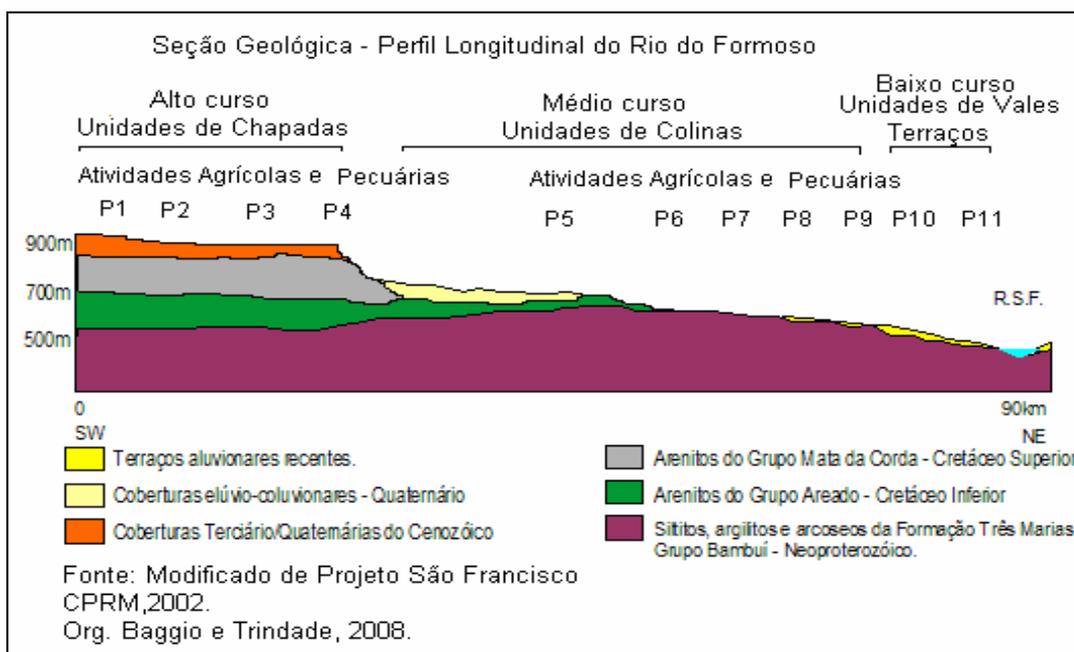


TABELA 8: VALORES DE REFERÊNCIA E CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE CHUMBO CONTIDOS NOS LITOTIPOS.

VALORES REFERÊNCIA – Pb – LITOTIPOS ARENITOS E FOLHELHOS			
Elemento Pb	Referência: Bowen, (1979) e Krauskopf, (1976).	Concentração observada	Padrão – litotipos Rio do Formoso
Arenitos	10 ppm	8,9 ppm	*NE
Folhelhos	23 ppm	10 ppm	NE

*Não enriquecimento

Como descrito anteriormente em relação às estações que não apresentaram níveis de concentração acima do preconizado pelo órgão ambiental, esses pontos deverão ser monitorados com atenção, já que estão localizados entre a nascente e a foz, em áreas, cujas classes de vulnerabilidade ambiental estão classificadas com muito alta e alta. Como enfatizado no Capítulo 7.

5.10.6 Zinco

A Figura 61 apresenta a concentração dos teores totais de zinco nos onze pontos amostrados. Os valores obtidos foram o mínimo de 0,2368 mg/kg e máximo de 13,08 mg/kg, no período chuvoso, e mínimo de 0,0081 mg/kg e máximo de 13,00 mg/kg, na estação seca. Nota-se através do histograma (fig. 61) que o aumento dos valores desse elemento nos dois períodos climáticos é pouco significativo.

Nenhum dos onze pontos amostrados violou os valores de referência estabelecidos pela Resolução CONAMA 344/04.

A análise do gráfico (fig. 61) aponta elevação no valor de Zn para o ponto P2: 9,87 mg/kg, inserido no segmento alto curso em áreas destinadas ao plantio comercial de grãos; onde se faz o uso intensivo de fertilizantes, inseticidas e herbicidas fosfatados; além do uso de corretivos de solos contendo zinco e agrotóxicos, cujo componente ativo contém sais de Zn (Kiekens, 1990). O P5: 4,81 mg/kg, com baixa concentração de zinco, está localizado na interseção com uma drenagem secundária de fluxo relativamente turbulento, que chega até o canal principal pela margem esquerda. O fluxo de água é bastante considerável e turbulento e o leito é rochoso, dificultando o acúmulo de sedimentos.

Houve um aumento estatístico significativo entre o P5 e a média entre os pontos P8 a P11 em mais de 120%. Essa alteração nos teores totais de Zn pode estar associada ao uso e ocupação do solo que acontece nessa porção da bacia, inserida no baixo curso – área destinada à agricultura comercial, pastagens, agroindústria e bovinocultura intensiva.

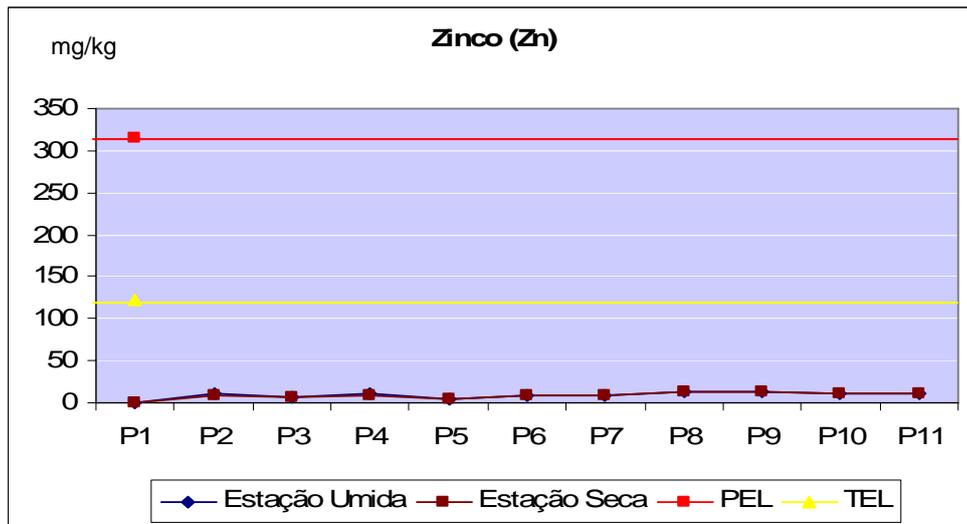


Figura 61: O gráfico mostra os teores totais de zinco nos sedimentos das onze estações de amostragem. Nenhum dos onze pontos ultrapassou o valor orientador para PEL: 315 mg/kg (linha vermelha) e TEL: 123 mg/kg (linha amarela). Fica evidente a correlação entre os pontos onde os teores encontram aumentados, e os compartimentos envolvidos.

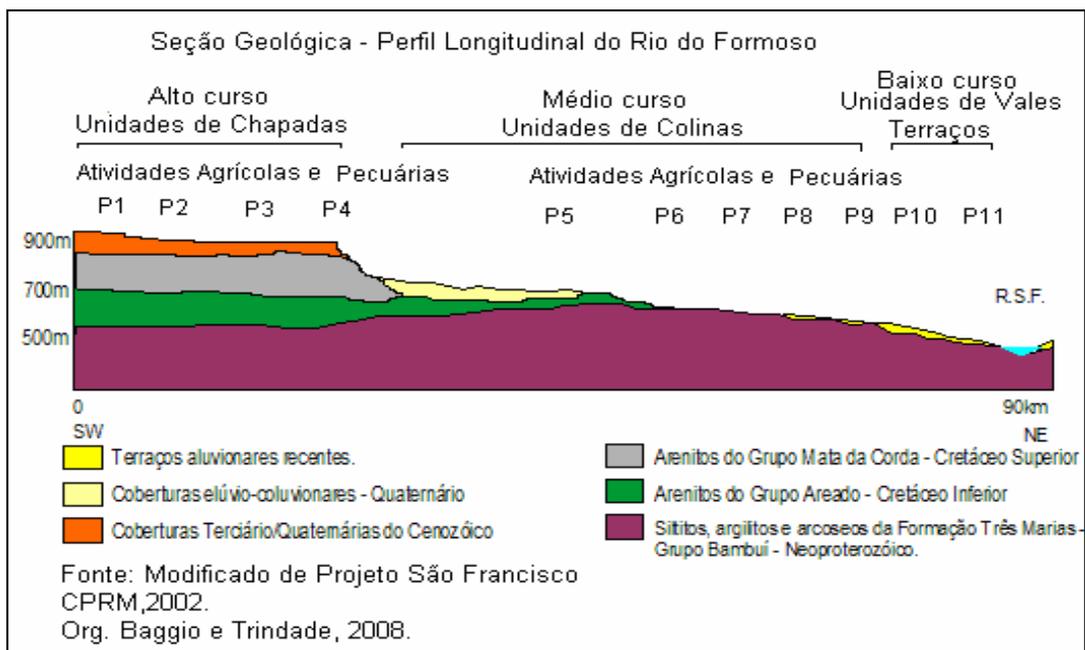


TABELA 9: VALORES DE REFERÊNCIA E CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE ZINCO CONTIDOS NOS LITOTIPOS

VALORES REFERÊNCIA – Zn – LITOTIPOS ARENITOS E FOLHELHOS			
Elemento	Referência: Bowen, (1979) e Krauskopf, (1976).	Concentração observada	Padrão – litotipos Rio do Formoso
Zn			
Arenitos	30 ppm	54,01 ppm	*E
Folhelhos	120 ppm	32,06 ppm	NE

* E: enriquecimento – NE: não enriquecimento

A análise dos dados apresentados na Tabela 9 mostrou que a concentração detectada de zinco nas rochas areníticas foi de 54,01 ppm, ultrapassando em mais de 80% o valor de referência estabelecido por Bowen (1979) e Krauskopf (1976) para os Arenitos Médios, que é de 30 ppm. Portanto, há enriquecimento dos sedimentos para esse metal. A assinatura geoquímica encontrada para Zn nos sedimentos dos pontos P8 e P9 está correlacionada à presença dos litotipos sedimentares pertencentes à Formação Três Marias. No que diz respeito aos folhelhos, as concentrações obtidas estão abaixo dos valores de referência.

Apesar dos teores totais de zinco se encontrarem abaixo do valor orientador para sedimentos, todos os pontos amostrados deverão ser monitorados com atenção, pois se encontram localizados em áreas, ambientalmente vulneráveis.

CAPÍTULO 6: RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 AVALIAÇÃO DA AMOSTRAGEM PARA A ÁGUA SUPERFICIAL

Enfatizada anteriormente no Capítulo 4, a água funciona como o principal vetor de transporte dos metais pesados e de suporte. Esse transporte acontece normalmente, através das águas pluviais.

Outro fator também importante é a interação entre as águas fluviais e o lençol freático. Nos processos desta interface participam, também, os sedimentos com altos teores de metais pesados e com alta possibilidade de troca de íons, formando cadeias de "filtragem".

Com relação aos valores de pH obtidos nos pontos de amostragem ao longo do Rio do Formoso, houve variação de 4 a 7, o que estabelece condições de águas ácidas, levemente ácidas e valores próximos à neutralidade. Isto pode ser explicado pela relativa conservação da vegetação ciliar e aquática, disponibilizando certa quantidade de CO₂ derivado das atividades bacterianas que favorecem a decomposição de organismos oriundos da vegetação aquática, gerando ácidos húmicos e fúlvicos e ocasionando, assim, a diminuição do pH. A maior ou menor dissolução do CO₂ depende diretamente da pluviosidade: quanto menor a quantidade de chuvas maior a disponibilidade de CO₂, implicando maior acidez das águas superficiais.

Constatou-se, neste trabalho, que os mecanismos que controlam o pH da água se encontram correlacionados às variáveis litológicas (ácidas e/ou alcalinas), vegetacionais (através de sua decomposição e conseqüente geração de ácidos húmicos e fúlvicos) e antrópicas (aplicação de insumos químicos). Isso foi observado na linha representada pelo pH, cujo aumento nos valores se posiciona de montante para jusante do perfil longitudinal do rio.

Os valores de pH obtidos neste trabalho são bastante similares aos encontrados por Viana (2006) na água do Rio do Formoso.

Devido à falta de dados climáticos sistemáticos, não foi possível, neste trabalho, a coleta e quantificação de índices pluviométricos mensais. No entanto, de uma forma geral, verifica-se a existência de uma época do ano marcada por altos índices pluviométricos, coincidindo com o verão, e uma época mais seca, correspondendo ao inverno, onde os índices pluviométricos diminuem. Ressalta-se que as características do meio físico (topografia) e geográfico (extensão territorial) condicionam as características pluviométricas e térmicas – principalmente na porção SW da bacia.

O Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Buritizeiro (SAAE), numa primeira tentativa (sem aplicação de metodologia científica adequada), tentou correlacionar o volume de chuva local (ponto de coleta instalado dentro do SAAE) durante dois meses (verão e inverno) ao pH: foi verificada tendência crescente e uma discreta variação de 6,7 a 7,2, demonstrando que a água da chuva tende para a neutralidade.

Outro importante elemento de suporte analisado foi a condutividade elétrica. Apesar de nenhum ponto apresentar valores superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, em alguns pontos os valores de Ce encontram-se altos. Esse fato está relacionado à presença de óxido de alumínio, magnésio e cálcio dissolvidos na coluna de água. Outro fator que pode estar contribuindo para o aumento da condutividade está relacionado à função competitiva que exerce o ferro e o manganês nos sedimentos; provocando, assim, o deslocamento do cálcio e do magnésio para a solução – constatação essa também observada por Lima (2001).

A Figura 62 mostra certa similitude dos valores de CE e NTU. Verifica-se assim que a condutividade elétrica está relacionada com quantidade de sais dissolvido na água.

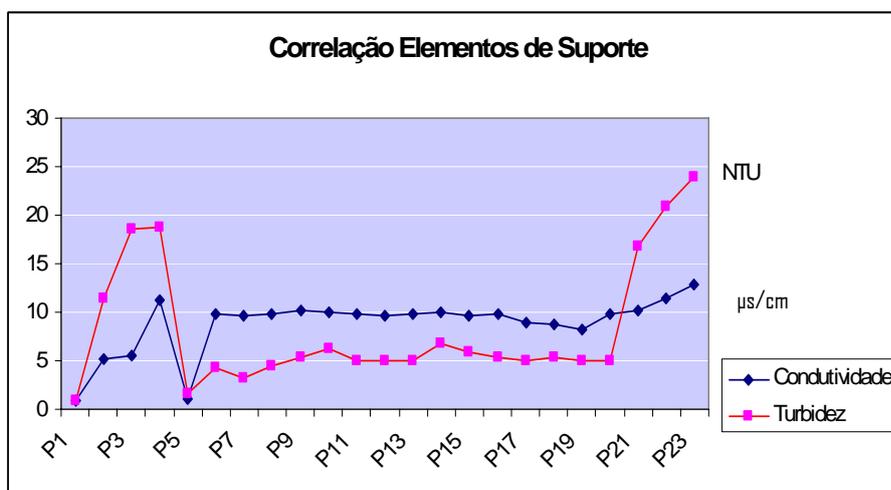


Figura 62: O gráfico mostra uma forte correlação entre a condutividade elétrica e a turbidez das amostras de água superficial do Rio do Formoso.

A temperatura e o oxigênio dissolvido são elementos de suporte na análise da qualidade ambiental das águas: as temperaturas mais elevadas implicam o desenvolvimento de processos biológicos, acelerando as reações bioquímicas. A temperatura média da água ficou em torno dos 25°C, e a concentração de oxigênio dissolvido variou entre 1,2 mg/L e 6,0 mg/L. No que diz respeito à legislação ambiental, os níveis de oxigênio dissolvido na água superficial violou, em alguns pontos, os valores orientadores estabelecidos pela Resolução

CONAMA 357/05. Em relação à temperatura, o CONAMA 357/05 não autoriza esse parâmetro, estabelecendo apenas valores para lançamento de efluente, que devem ser inferiores a 40°C.

A Figura 63 aponta, de modo geral, para uma correlação entre os valores de temperatura e a quantidade de oxigênio dissolvido na água. Em P4, o aumento da temperatura implicou a diminuição acentuada nos níveis de OD. Entre P6 a P12, embora se esperasse, com a redução dos níveis de temperatura da água, um aumento da concentração do oxigênio dissolvido, isso não ocorreu, devido às variáveis climáticas e à morfologia do canal fluvial. A partir do P14 a P19, como esperado, os níveis de OD tendem a um aumento. Do P20 a P23 houve um discreto aumento nas temperaturas; porém, contrariando o esperado, a concentração de oxigênio dissolvido aumentou. Esse fato tem relação com o fluxo que passa a ser laminar (dispersando menores quantidades de O₂ para a atmosfera), presença de tributários e inexistência de vegetação aquática.

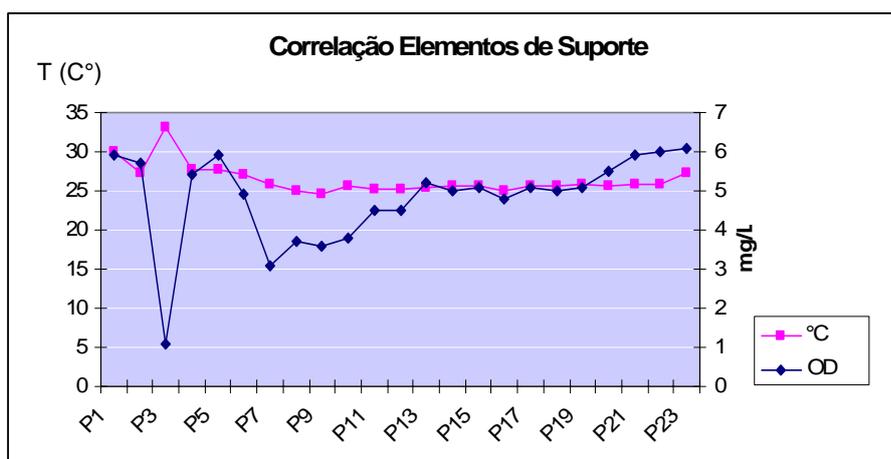


Figura 63: O gráfico aponta a correlação entre os elementos de suporte (qualidade da água) T e OD para a água superficial do Rio do Formoso. Nota-se à esquerda do gráfico, que o aumento da T implicou na diminuição dos níveis de OD, quando a T diminui, o nível de OD aumenta, como pode ser visualizado na parte final do gráfico.

Nota-se que o aumento da temperatura implica, de certa forma, a diminuição da concentração de oxigênio dissolvido. Entretanto, as características climáticas e da morfologia do canal fluvial influenciam diretamente essa relação.

No que se refere aos elementos de suporte Fe, Al, Mn e pH (fig. 64), percebe-se uma tendência à similitude entre si. A percepção dessa situação no comportamento dos metais de suporte em relação às suas concentrações nos leva a inferir quanto ao enriquecimento natural,

proveniente da liberação dos metais contidos nos litotipos para a coluna de água. Entre os três metais avaliados, o ferro merece posição de destaque. Esse metal foi encontrado, na água, no estado oxidado Fe^{2+} e/ou reduzido Fe^{3+} , apresentando, em alguns pontos, concentrações extremamente altas – mesmo em ambiente neutro e/ou alcalino. O mesmo comportamento foi observado no alumínio: este se mostrou bastante lixiviado, principalmente em ambiente neutro a alcalino. O manganês, por sua vez, apresentou concentrações relativamente mais baixas que os outros dois metais; porém, em presença de um ambiente alcalino, sua concentração aumentou consideravelmente na estação chuvosa – violando, inclusive, os valores de referência estabelecidos pela legislação ambiental. Em relação ao pH, representado pelos pontos em vermelho, notou-se uma tendência ao aumento dos valores de montante para jusante (ao longo canal fluvial). Nos locais em que os valores de pH encontram-se baixos, observa-se uma maior disponibilidade dos metais, corroborando assim os estudos de Dornifeld (2002).

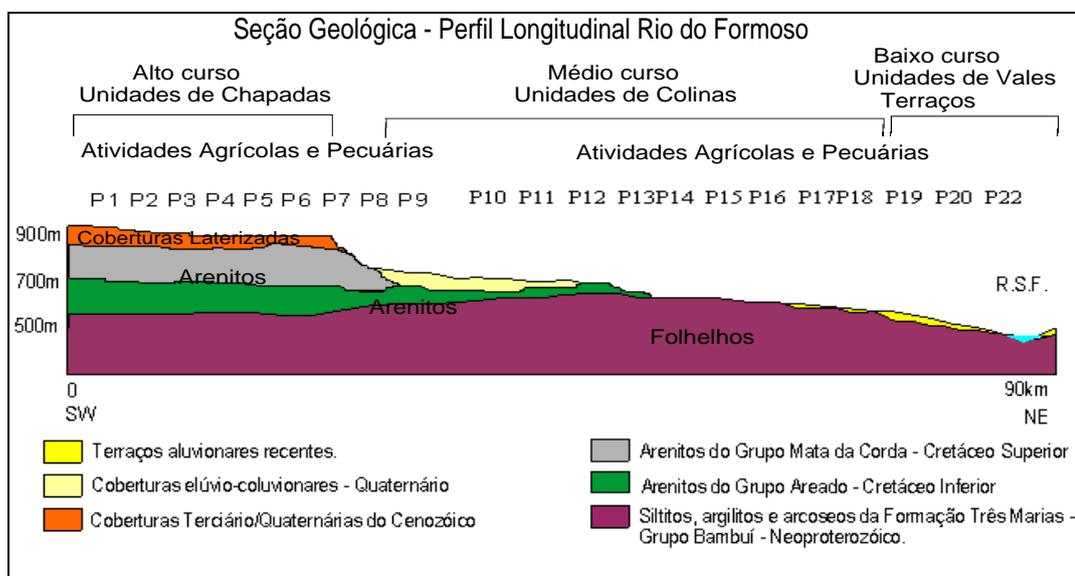
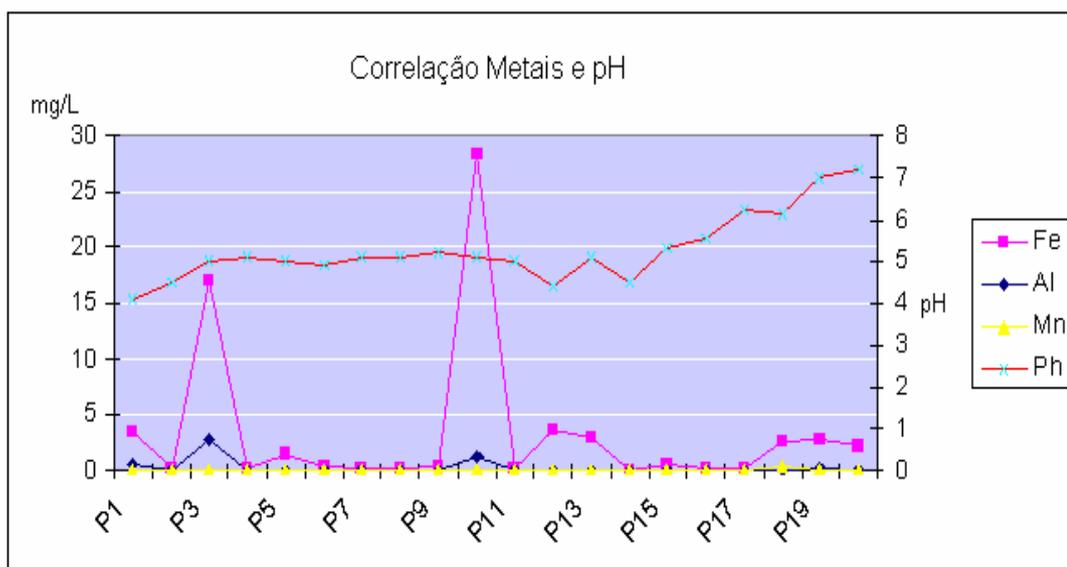


Figura 64: O gráfico aponta a correlação existente entre os elementos de suporte Fe, Al e Mn o pH e os litotipos. Nota-se que, os valores baixos e altos de pH favorecem na solubilidade dos metais. Os valores elevados desses metais na água têm como relação direta a lixiviação dos litotipos que compõem a seção geológica.

Comparando os valores encontrados para as águas superficiais neste estudo com os resultados dos trabalhos de Lundhamer (1991), Lima (2001), Mozeto (2003), Viar^a (2006), Oliveira (2006) e Ribeiro (2007), realizados na região, observa-se que, de maneira geral, os teores dos metais Fe, Al e Mn encontram-se bastante similares. Essa constatação é relacionada à presença desses metais nos litotipos que compõem o substrato rochoso da área, esses liberados para os compartimentos hidrosfera e pedosfera através do intemperismo físico e

químico e pela interferência antropogênica, gerada pelas atividades agropecuárias na bacia do Formoso.

Os metais pesados analisados cobre, cádmio, cromo, níquel, chumbo e zinco da água superficial, representados na Figura 65 e comparados com os valores de referência estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05, apresentaram níveis de concentração que estão em conformidade e, concentrações que se encontram em desacordo com a legislação ambiental vigente.

A Figura 65 aponta para uma forte correlação entre os seis metais analisado, esta se tornando mais evidente quando os valores de pH são mais baixos. Ficou evidente que o potencial hidrogeniônico é um mecanismo que controla a alta ou baixa solubilidade dos metais pesados na água.

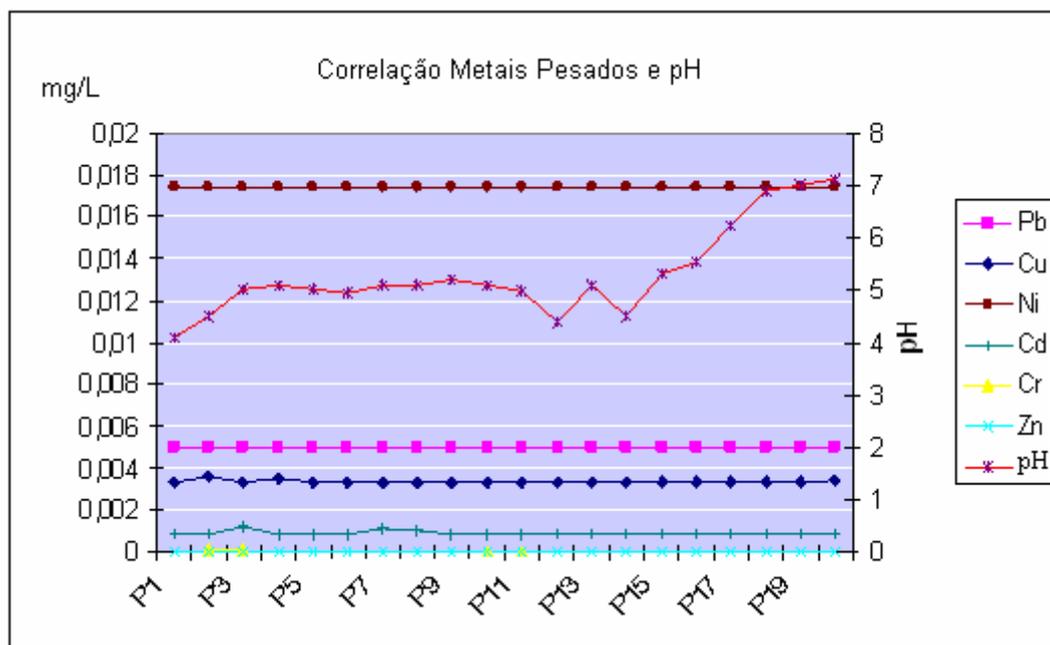


Figura 65: O gráfico aponta a correlação existente entre os metais pesados com o pH. Percebe-se que, nos pontos onde os valores de pH são baixos a uma alta solubilidade dos metais, quando os valores de pH tendem para um aumento, a solubilidade diminui.

Fazendo uma avaliação geral dos metais pesados analisados na água superficial, os dados apresentados revelaram que alguns dos metais tiveram concentrações altas, baixas e valores não detectados pelo aparelho. Entretanto, os valores não detectados não significam que não haja concentração desses elementos, mas que sua concentração é baixa. Os pontos com as mais altas concentrações estão localizados nas áreas em que o uso do solo se faz de maneira intensiva. Esses pontos recebem diretamente os resíduos orgânicos e inorgânicos

gerados pela agricultura comercial, que são transportados pelo vento e/ou águas pluviais em direção ao curso d'água. Os pontos em que as concentrações dos metais são mais baixas ou não detectadas localizam-se a partir do médio/baixo curso. Ressalta-se que até os pontos mais afastados da área de influência direta dos empreendimentos agrícolas apresentaram traços de metais pesados; demonstrando que esses elementos são transportados na forma solúvel por distâncias consideráveis, antes de se precipitarem junto com o sedimento.

Ficou evidente a correlação entre as variáveis litopedológicas, tipologia do canal fluvial e hidrodinâmica da bacia com a distribuição, transporte e solubilidade dos metais pesados ao longo do perfil longitudinal da drenagem.

Os resultados obtidos confirmaram a existência de metais pesados e/ou traços desses elementos na água. A presença dos metais ferro, alumínio, manganês, cádmio, cromo, cobre, zinco, níquel e chumbo no compartimento água é advinda, principalmente, da contribuição gerada pelas interferências antropogênicas e de uma contribuição natural de ordem geológica.

Não sendo objetivo da pesquisa proceder a uma avaliação estatística por meio de programas específicos, correlações através de matrizes e outros aplicativos; procurou-se utilizar os dados obtidos para a montagem de tabelas e respectivos tratamentos gráficos, adequados aos objetivos a serem alcançados por este trabalho.

O cádmio apresentou concentrações acima do limite recomendado pela Resolução CONAMA 357/05, ultrapassando em mais de 49% o valor estabelecido, que é de 0,001 mg/L. Os pontos que apresentaram altas concentrações de Cd encontram-se localizados entre o alto e o médio curso, locais onde o uso do solo é intensamente utilizado. Nos demais pontos, inseridos entre o médio e o baixo curso, as concentrações obtidas foram baixas e mantiveram o padrão. Constatou-se, então, violação nos pontos P3, P7 e P8; não havendo violação nos demais pontos. No entanto, nos outros pontos, o valor encontrado revela-se muito próximo do valor orientador. Como era de se esperar, os maiores valores de Cd foram obtidos na estação seca, devido ao menor potencial de diluição que ocorre na coluna de água neste período. Em relação ao pH, os pontos com maiores disponibilidades para Cd encontram-se localizados em ambientes ácidos a levemente ácidos, apresentando, assim, média mobilidade para o metal avaliado. Os teores totais de Cd obtidos neste trabalho na água superficial apontam valores significativamente elevados, tendo apresentado um comportamento semelhante ao observado quanto aos sedimentos – mostrando, assim, que esse metal está sendo acumulado nesse compartimento.

É válido relembrar que o cádmio, um elemento químico com alto poder toxicológico

para os seres vivos e a biota apresentou grande mobilidade na água ao longo do perfil longitudinal e foi transportado pelo fluxo de água por mais de 30 km, devido às condições hidrodinâmicas da drenagem. Os pontos que apresentaram alterações em relação os teores totais de Cd deverão ser monitorados com atenção, já que os mesmos se encontram localizados em áreas de recarga dos aquíferos cretáceos, áreas de exudação do lençol freático, veredas, lagoas e barragens, onde se faz o uso da pesca e dessedentação de animais.

O cobre, apesar de não violar os limites de referência, encontra-se muito próximo disso. Os pontos onde as concentrações se encontram elevadas são praticamente os mesmos apresentados para o cádmio, localizados no segmento alto/médio curso. Além desses pontos, o ponto P20, localizado no baixo curso, área de intensa atividade agropecuária, apresentou valores alterados. No restante dos pontos, os valores se mantiveram estáveis. Uma observação de relevância em relação ao cobre diz respeito à estação climática (verão): as concentrações mais altas foram obtidas no período chuvoso e o maior aporte de diluição na coluna de água não foi capaz de provocar a mobilização do metal – comportamento que pode ser avaliado pelo maior *input* de resíduos orgânicos e minerais gerados pelas atividades agropecuárias.

Assim como para o cádmio, as águas superficiais indicam valores elevados de cobre. Comportamento semelhante foi observado quanto aos sedimentos, podendo uma fração significativa desse metal estar sendo acumulada nos sedimentos de corrente/fundo, como constatado nesta pesquisa. Os valores de pH nesses pontos variaram entre 4,0 e 5,0. Essa condição de acidez favorece a adsorção de Cu na água superficial. A morfologia do canal fluvial e a hidrodinâmica da bacia se posicionaram como mecanismos que influenciaram a distribuição e a concentração de Cu ao longo do perfil longitudinal. Tornou-se evidente a relação existente entre a contribuição natural gerada pelas variáveis litopedológicas, presentes nos compartimentos geomorfológicos, e a contribuição antrópica gerada a partir da agricultura e agropecuária intensiva. Esses pontos deverão ser monitorados com atenção especial, para que possa ser traçado um plano que estabeleça periodicidade para análises físicas e químicas das águas, sedimentos e plantas.

O cromo apresentou valores acima do limite preconizado pela Resolução CONAMA 357/05 em apenas um único ponto, o P2. No entanto, o valor obtido para o P3 encontra-se muito próximo ao valor orientador. Para os demais pontos, não houve valores detectados para Cr. Porém, esses valores não detectados não refletem rigorosamente a concentração existente desse elemento, mas indicam que sua concentração é baixa. Assim como para os outros metais pesados analisados e descritos anteriormente, os pontos onde as concentrações de Cr se

encontram elevadas são praticamente os mesmos, ou seja, estão no compartimento Unidades de Chapadas, local de intensa atividade agrícola.

Os pontos onde a concentração de cromo é elevada encontram-se inseridos em locais onde os valores de pH na coluna de água se posicionam entre 4,5 e 5,0, gerando condições de águas ácidas a levemente ácidas, o que potencializa a mobilidade de Cr. Em relação aos outros pontos, o pH tende para a neutralidade: como o cromo possui baixa mobilidade em ambientes ácidos e neutros, essa correlação torna-se marcante. Além do pH, a tipologia e a hidrodinâmica da bacia atuaram como mecanismos que influenciaram na distribuição e concentração desse metal ao longo do perfil longitudinal. A constatação de traços de cromo na coluna d'água demanda atenção especial, já que os mesmos se inserem em áreas ambientalmente vulneráveis. Também ficou evidente a relação existente entre a contribuição natural gerada pelas variáveis litopedológicas, presentes nos compartimentos geomorfológicos, e as interferências antropogênicas geradas a partir da agricultura e agropecuária intensiva.

Observando as concentrações totais de níquel da água nos vinte pontos amostrados, percebe-se que os valores referentes a esse metal se posicionaram entre o mínimo de 0,0171 mg/L e o máximo de 0,0174 mg/L, no período seco e no chuvoso. Houve um discreto aumento nos valores de Ni em relação ao período chuvoso, devido ao carreamento através das águas pluviais de material pedológico – disponível nas áreas agricultáveis – contendo resíduos metalorgânicos não sendo diluídos pelas águas. Em todos os pontos, os valores se encontram dentro do limite recomendado pela Resolução CONAMA 357/05, que é de 0,025 mg/L. No entanto, quando se processou a uma análise pontual, notou-se um comportamento dissímil ao observado quanto aos sedimentos; podendo parte desse metal estar sendo acumulada nesse compartimento. Constatou-se que nos pontos em que as condições das águas são ácidas (alto curso), o Ni apresentaram certa mobilidade; entretanto, quando o ambiente torna-se neutro/alcalino (médio/baixo curso), a mobilidade não se alterou. Isso pode ser devido à intensa lixiviação dos fertilizantes utilizados nas áreas agricultáveis, que de certa forma se sobrepõem ao parâmetro hidrogeniônico. Os solos impregnados com resíduos metalorgânicos são transportados pelas águas pluviais e/ou vento em direção aos cursos d'água, enriquecendo-os. Dessa forma, esses locais deverão ser monitorados com atenção especial, para que se possa traçar um plano que estabeleça periodicidade para as análises físicas e químicas das águas, sedimentos e plantas.

O chumbo apresentou valor $<0,005$ mg/L nos vinte pontos amostrados para águas

superficiais, e manteve esse padrão de valor nos dois períodos de amostragem: o seco e o chuvoso. As concentrações obtidas ficaram abaixo do limite estabelecido pela Resolução 357/05, que é de 0,01 mg/L para as águas classificadas na Classe II – como é o caso do Rio do Formoso. Apesar de nenhum dos pontos ter violado os valores orientadores, a existência de chumbo nas águas superficiais, mesmo em baixas concentrações, é um fato relevante diante dos efeitos tóxicos desse metal para os ecossistemas aquáticos e a saúde humana – tendo em vista que uma fração considerável do chumbo ficou retida nos sedimentos, como foi constatado nesta pesquisa.

Os valores encontrados para o metal pesado zinco, em todos os pontos de amostragem, foi <0,0003 mg/L, este padrão se mantendo nas duas estações climáticas. A concentração obtida desse metal ficou abaixo dos valores orientadores estabelecidos pela Resolução CONAMA357/05, que especifica o valor limite de 0,18 mg/L para os corpos de água Classe II, como foi classificado o Rio do Formoso. Sendo assim, nenhum dos pontos amostrados violou essa resolução. Todavia, os valores não detectados para Zn não traduzem a sua não existência, mas indicam que sua concentração é baixa. A concentração obtida de Zn na água é muito baixa, tendo um comportamento dissímil ao observado nos sedimentos de corrente/fundo.

Diante dos dados obtidos nesta investigação geoquímica, todos os oito metais pesados avaliados estão presentes nas águas superficiais. As concentrações detectadas ficaram entre altas e baixas. Os valores não detectados para alguns dos elementos não implicam a sua ausência, mas que sua concentração é baixa. Diante da vulnerabilidade ambiental dos geoambientes envolvidos, descrita anteriormente, essas áreas deverão ser monitoradas com atenção especial, para que possa se traçar um plano que estabeleça periodicidade nas análises físicas e químicas das águas, sedimentos e plantas.

6.2 AVALIAÇÃO DA AMOSTRAGEM PARA O SEDIMENTO DE CORRENTE E FUNDO

Nesta seção foi discutido o resultado obtido para o sedimento de corrente/fundo do Rio do Formoso. Estudou-se o comportamento geoquímico dos metais pesados Cu, Cr, Cd, Ni, Pb e Zn, os mais adequados no tocante ao uso e ocupação do solo na área da pesquisa. O propósito deste estudo foi o de determinar o nível de concentração, a variação dos teores ao

longo do perfil longitudinal, a correlação entre a fração granulométrica e com a composição mineralógica obtidas nos sedimentos e, a correlação entre a concentração dos metais e os fatores de ordem antrópica e natural. Finalmente procedeu-se à comparação dos dados com os valores orientadores estabelecidos pela Resolução CONAMA 344/04 para os sedimentos de corrente/fundo da drenagem. Não foi objeto deste trabalho, proceder a uma avaliação através da análise numérica e estatística, sobre o grau de poluição desses metais para os sedimentos.

Como discutido no Capítulo 3, foram analisadas onze amostras de sedimentos ao longo da drenagem principal. A amostragem foi feita em duas etapas correspondente às estações climáticas verão e inverno e os resultados das análises físicas e químicas foram tabulados e representados graficamente.

Fazendo uma avaliação geral dos metais pesados analisados nos sedimentos de corrente/fundo, os dados apresentados revelaram que alguns dos metais analisados tiveram concentrações altas, baixas e valores não detectados. No entanto, os valores não detectados não significam que estes elementos não estejam presentes, mas que sua concentração é baixa. Os pontos com as mais altas concentrações estão localizados nas áreas de influência direta dos empreendimentos agropecuários. Esses locais recebem diretamente os resíduos metalorgânicos gerados por esses empreendimentos que são transportados pelo vento e pelas águas pluviais em direção aos cursos d'água. Os pontos em que as concentrações dos metais são mais baixas ou não foram detectadas localizam-se, preferencialmente, a partir do segmento médio e baixo curso do rio. Ressalta-se, mais uma vez, que até os pontos mais afastados da área de influência direta apresentaram traços desses metais pesados.

Ficou evidente que a fração fina (argilosa) dos sedimentos foi a mais propícia no que se refere aos carreadores geoquímicos ativos de origem antrópica e natural – encontrados nos compartimentos geomórficos e, conseqüentemente, obtendo a maior concentração de metais pesados.

De um modo geral, todos os metais pesados avaliados nos sedimentos mostram um enriquecimento natural ao longo do perfil longitudinal, sendo a fonte principal os elementos menores contidos nos litotipos que compõem o substrato rochoso, e que são liberados para o meio através do intemperismo físico e químico.

As características morfológicas do canal fluvial e a hidrodinâmica da bacia, funcionaram como um importante mecanismo para a distribuição e transporte dos metais junto aos sedimentos.

Os resultados obtidos confirmaram a existência de metais pesados e/ou traços desses

elementos nos sedimentos de corrente/fundo. A presença desses metais no compartimento sedimento possui uma forte contribuição, gerada pelas interferências antropogênicas e por uma contribuição natural de ordem geológica.

A Figura 65 aponta para uma forte correlação entre os seis metais analisados. Ficou evidente que o potencial hidrogeniônico é um mecanismo que controla a alta ou baixa mobilidade dos metais pesados. Percebe-se a forte correlação existente entre os compartimentos geomórficos e o perfil geológico, influenciando na distribuição dos metais ao longo do perfil longitudinal do rio.

O pH dos sedimentos nos onze pontos de coleta variou entre 4,9 a 6,5 – valores comuns em áreas continentais, com predominância de condições ácidas a levemente ácidas.

As cores nos sedimentos nos pontos amostrados mantiveram uma tendência entre o YR e Y, tons que vão do amarelo/avermelhado ao amarelo. As cores encontram-se relacionadas aos seguintes minerais: goethita: FeO(OH) , hematita: Fe_2O_3 , magnetita: Fe_3O_4 , identificados nos principais litotipos presentes na área pesquisada.

Em relação à composição mineralógica dos sedimentos, constatou-se que o mineral terrígeno predominante é quartzo. Em volumes menores seguem os outros minerais de argila, acessórios pesados e os minerais químicos e autigênicos. A presença de minerais de argila como a caolinita, sugere que, em alguns pontos amostrados, pode ocorrer maior ou menor troca de elementos do sedimento para a coluna de água. Percebeu-se que na fração fina houve uma predominância em porcentagem do SiO_2 seguido do Al, Fe, TiO_2 e elementos menores.

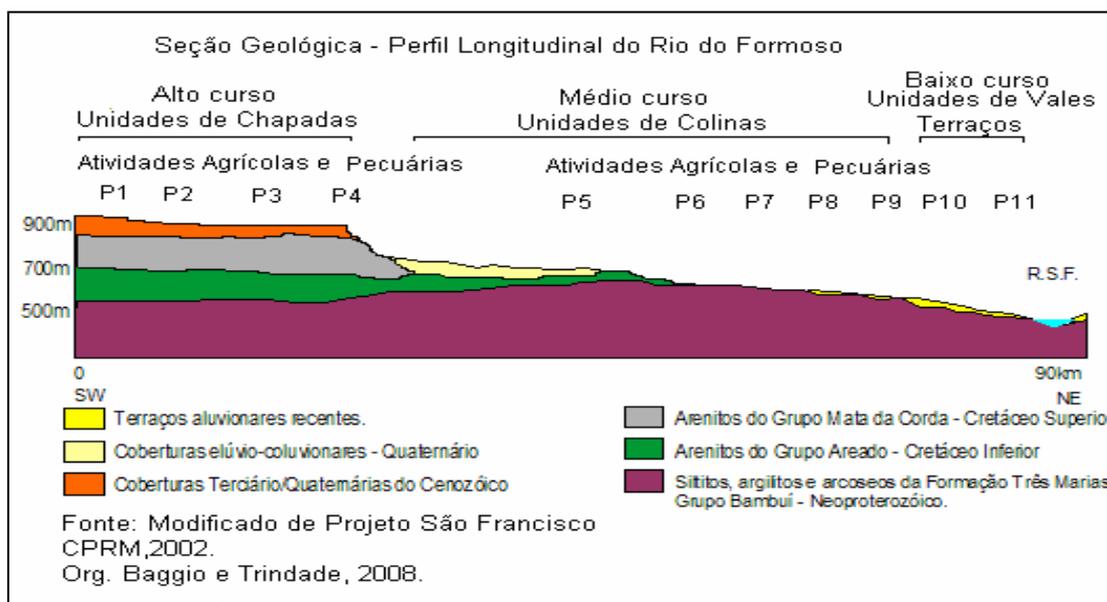
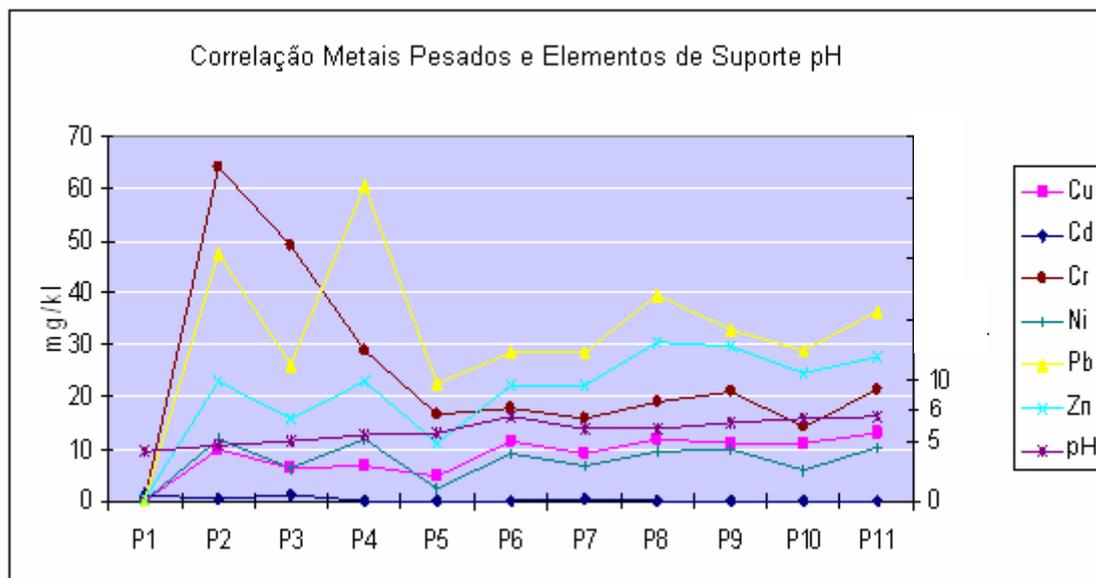


Figura 66: A figura mostra a significativa correlação entre os seis metais pesados analisados e a seção geológica montada para o perfil longitudinal do Rio do Formoso. Nota-se que os teores elevados desses metais encontram-se localizados nos compartimentos alto, médio e baixo curso do rio, locais onde a contribuição natural e as interferências antropogênicas se fazem presentes.

Mesmo não violando os valores orientadores estabelecidos pela Resolução CONAMA 344/04, o cobre esteve presente nos onze pontos amostrados. A distribuição desse metal foi influenciada pela tipologia do canal e morfodinâmica da bacia. Os pontos onde as concentrações são altas encontram-se inseridos na área de influência direta dos grandes empreendimentos agropecuários; fato que pode ser explicado pelo processo de *runoff* nas áreas rurais, transportando os resíduos minerais e orgânicos gerados por essas atividades. A condição de acidez da água superficial favoreceu a adsorção dos metais junto aos sedimentos.

A concentração dos teores de Cu presentes nos litotipos Arenitos e Argilitos demonstra que não está havendo enriquecimento significativo por esse metal junto aos sedimentos. Entretanto, os valores não detectados não refletem rigorosamente a concentração existente desse elemento, mas indicam que sua concentração é baixa. Esses pontos deverão ser monitorados com atenção especial, para que possa ser traçado um plano que estabeleça periodicidade para análises físicas e químicas das águas, sedimentos e plantas.

O cádmio apresentou altas concentrações em dois pontos amostrados. Esses pontos encontram-se inseridos no alto curso, cujas características já foram descritas. Nos demais pontos, as concentrações ficaram abaixo dos limites preconizados pela Resolução CONAMA 344/04 para TEL e PEL. Ressalta-se mais uma vez que, mesmo não sendo detectado, o metal encontra-se presente em baixas concentrações. Esses pontos são praticamente os mesmos já descritos para Cu. O aumento apresentado nos teores totais de cádmio tem uma forte contribuição antrópica. No que diz respeito ao enriquecimento de metais nas rochas, esse é muito discreto; porém, a assinatura geoquímica encontra-se presente em todos os pontos avaliados. A distribuição de Cd ao longo do perfil longitudinal está diretamente condicionada aos aspectos morfológicos e hidrodinâmicos presentes na bacia hidrográfica. Como enfatizado anteriormente para o cromo, esses pontos merecem ser observados com atenção, pois os mesmos se localizam em geoambientes vulneráveis.

O Cromo violou, em dois pontos, os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 344/04 – suas concentrações são altas, principalmente nos pontos caracterizados anteriormente. Nos demais pontos, houve uma diminuição dos teores; no entanto, os valores encontram-se muito próximos do limite de TEL. Ao se analisar os dados do elemento Cr presente nos litotipos Arenitos e Argilitos, constata-se que se encontram abaixo dos valores de referência estabelecidos por Bowen, (1979) e Krauskopf (1976); não havendo enriquecimento de Cr em relação a esses litotipos. No que diz respeito ao litotipo argilito, este se encontra praticamente no limite de referência. Entende-se que haja enriquecimento de Cr junto aos sedimentos e que os pontos enriquecidos com Cr se localizam no baixo curso, cujo substrato são os argilitos da Formação Três Marias, que são liberados para o meio através do intemperismo físico e químico. A presença da assinatura geoquímica de Cr confirma a afirmativa sobre a contribuição natural desse elemento para o compartimento sedimento. Diante dos dados químicos obtidos e do conhecimento do meio natural gerado para a bacia, pôde-se inferir, com precisão, que as concentrações referentes a esse metal pesado provêm de duas fontes: a primeira de ordem antropogênica e a segunda de ordem natural (geológica).

No que se refere ao níquel, nenhum dos onze pontos amostrados ultrapassou os limites estabelecidos pelo CONAMA 344/04 para TEL e PEL. No entanto, todos os valores encontram-se próximo aos valores limite de TEL. Para que se evitem repetições, apontam-se, para o níquel, as mesmas características apresentadas para os metais Cd, Cr e Cu; ou seja, geomorfologia fluvial, elemento de suporte pH e atividades antrópicas que lhe são relacionadas.

Comparando os valores obtidos com os níveis de referência estabelecidos pelo CONAMA 344/04 para o chumbo, nenhum dos onze pontos de amostragem ultrapassou os valores de PEL e TEL; pois em todos os pontos o padrão foi $<0,005$ mg/kg, no que se refere à liberação de Pb presente nos litotipos Arenitos e Argilitos, estes apresentam valores abaixo dos de referência. Porém, os dados apresentados para os arenitos demonstram que a concentração de Pb se encontra muito próxima do valor limite; o que permite se inferir que há enriquecimento de chumbo junto aos sedimentos de corrente/fundo. A assinatura geoquímica foi identificada para o Pb junto aos sedimentos. A lixiviação de Pb a partir dos sedimentos libera traços desse metal pesado no compartimento hidrosfera, reforçando a idéia da contribuição natural desse metal para o compartimento sedimentos.

O zinco não violou os valores de referência estabelecidos pela Resolução CONAMA 344/04 para TEL e PEL. Mesmo não sendo detectado, esse metal esteve presente em baixas concentrações ao longo do perfil longitudinal, ou seja, nos onze pontos de amostragem. Os pontos onde as concentrações foram detectadas encontram-se no segmento alto curso, cujas características de uso do solo já foram descritas.

A análise dos litotipos mostrou que a concentração detectada para zinco nas rochas areníticas ultrapassou em mais de 80% o valor de referência para os Arenitos Médios; portanto, há enriquecimento dos sedimentos em relação a esse metal. A assinatura geoquímica encontrada para Zn junto aos sedimentos está ligada à presença dos litotipos sedimentares pertencentes à Formação Três Marias, reforçando, assim, a idéia da contribuição natural do Zn para a distribuição de metais pesados, como mencionado anteriormente em relação aos outros metais avaliados. Diante dos resultados físicos e químicos apresentados para a água superficial e para os sedimentos de corrente/fundo, um programa de monitoramento e gerenciamento ambiental principalmente para os recursos hídricos superficiais e subterrâneos, deverá ser implantado com urgência. A implantação do plano diretor associado ao zoneamento ambiental, priorizando a proteção das nascentes e veredas, torna-se de fundamental importância para a proteção e manutenção dos ecossistemas envolvidos.

CAPÍTULO7: DETERMINAÇÃO E AVALIAÇÃO À PREDISPOSIÇÃO AO RISCO AMBIENTAL NA BACIA DO RIO DO FORMOSO

7.1 A BACIA DO RIO FORMOSO

A bacia hidrográfica do rio do Formoso, inserida totalmente no Bioma Cerrado, vem sendo utilizada, com a chegada dos grandes grupos capitalistas agrícolas, na década de 60, por imensos latifúndios que introduziram a monocultura de pinus e eucaliptos. Para dar lugar a estes grandes empreendimentos, o cerrado foi praticamente extinto, e quase toda sua fitomassa foi substituída, num primeiro momento, pelas florestas energéticas de pinus e eucalipto e, num segundo momento, pela monocultura de soja, milho, feijão, café e algodão, além da pecuária.

Geologicamente, a área pesquisada encontra-se localizada na borda meridional da Bacia Sanfranciscana, dentro dos limites do Cráton do São Francisco – mais especificamente na Bacia Cretácea do Oeste Mineiro. O substrato rochoso é composto por litologias do Grupo Bambuí, Grupos Areado e Mata da Corda e pelas coberturas terciárias do Cenozóico. Do ponto de vista hidrogeológico, a bacia do Formoso é muito bem servida, contando com duas unidades hidrogeológicas de grande espacialização geográfica: a dos aquíferos cretáceos formados pelos litotipos areníticos da Formação Três Barras do Cretáceo Inferior, com porosidade em torno de 5 a 30% e significativa permeabilidade; e a dos aquíferos fraturados do Bambuí, representados pela Formação Três Marias.

A bacia foi compartimentada em três unidades principais: (i) Unidades de Chapadas; (ii) Unidades de Colinas do Cretáceo e do Neoproterozóico; e (iii) Unidades de Vales e Terraços Fluviais. Estas unidades apresentam características morfológicas, morfodinâmicas, hidrológicas, biogeográficas e de uso e ocupação dos solos diferenciados.

A pressão exercida sobre os recursos naturais e ambientais da bacia tem provocado uma sucessão negativa de impactos ambientais. Torna-se necessária a imediata intervenção, através de medidas que possam evitar e minimizar esses impactos impostos ao meio natural.

Os levantamentos gerados a partir deste trabalho para a bacia disponibilizaram mapas temáticos do quadro natural, que foram utilizados como ferramentas de apoio para a interpretação geoambiental da área. Essa integração espacial, que representa associações de processos naturais e socioeconômicos, foi alocada às percepções sobre a predisposição ao

risco dos ambientes envolvidos. A análise da paisagem encontra sua conclusão lógica na representação cartográfica. As cartas elaboradas (geomorfologia, unidades litoestratigráficas, hidrografia, classes de solos e uso dos solos), permitiram, de maneira objetiva, proceder-se à interpretação do meio natural.

A partir da elaboração e da interpretação das cartas do meio natural, avaliou-se as condições de fragilidade dos ambientes naturais identificados na bacia, seguindo os conceitos de Unidades Ecodinâmicas Estáveis e Unidades Ecodinâmicas Instáveis, formulados por Tricard (1997).

A integração lógica dos dados levantados, juntamente com o conhecimento prévio do meio físico, natural, biótico, ambiental e socioeconômico, foram integrados para gerar e armazenar uma base de dados georeferenciados *software* Spring 4.3.3; possibilitando com isso uma análise sistemática de cada elemento envolvido (Anexo VII). Desta forma, as informações foram disponibilizadas e tratadas para dar início ao cruzamento estatístico o que, resultou na elaboração e confecção do mapa de predisposição ao risco de contaminação para metais pesados e da matriz de susceptibilidade ambiental, apresentados na Figura 67 e na Tabela 10.

Apresenta-se, a seguir, a matriz de susceptibilidade ambiental proposta para a Bacia do Rio do Formoso. Observou-se que os *inputs* gerados pelas intervenções antropogênicas desencadearam uma série de processos de degradação ambiental – alguns de caráter irreversível; elevando, assim, o potencial de vulnerabilidade.

As classes de predisposição ao risco de contaminação para os metais pesados detectados na bacia do Rio do Formoso, poderá auxiliar os gestores municipais na elaboração de um plano de gerenciamento e monitoramento dos recursos hídricos.

TABELA 10: MATRIZ DE SUSCEPTIBILIDADE AMBIENTAL

Classes de Declividades Categorias %	Compartimentos Geomórficos Classe de Dissecação	Litologia	Classes de Fragilidade dos Tipos de Solos	Uso dos Solos	Graus de Proteção por tipo de cobertura Vegetal	Problemática Ambiental	Vulnerabilidade
M F > 30	Rebordos Escarpados (MF 51 a 55) Unidades de Colinas Neoproterozóicas	Arenitos Grupo Areado e Mata da Corda Arcóseos, siltitos e argilitos da Fm Três Marias	Neossolos (MF) Neossolos (MF);	Sem usos significativos	Formações arbustivas naturais do bioma cerrado (A) Solo exposto em estradas vicinais, queimadas, terraplenagens (MB)	Queimadas, Extrativismo vegetal.	Baixa
Forte a Média 20 a 30% e 12 a 20%	Unidades de Colinas (F a M 45 a 23)	Arenitos Cretáceos	Latossolos Vermelho-Amarelo textura argilosa (MB*); Gleissolos (B)	Culturas comerciais de café, soja, milho e algodão; Pecuária extensiva com exposição de solos	Culturas irrigadas de ciclo curto com solo exposto (B); Fragmentos de vegetação nativa, veredas (A); culturas irrigadas de ciclo curto sem práticas conservacionistas, áreas desmatadas e queimadas recentes, solo exposto ao longo de caminhos e estradas (MB)	Queimadas, desmatamentos desordenados em áreas de veredas e matas nativas para a produção de carvão; Contaminações por metais pesados em águas superficiais e sedimentos de corrente; processos erosivos acelerados; Barramentos; Assoreamento de corpos hídricos; Agressões a fauna e flora.	Alta
Muito Fraca até 6%	Unidades de Chapadas	Coberturas Terciárias	Latossolos Vermelho-Amarelo textura argilosa (MB)	Culturas de ciclo longo de baixa densidade (café, algodão) como solo exposto entre ruas, culturas de ciclo curto (café, milho, feijão) com cultivos em curva de nível.	Culturas irrigadas de ciclo curto com solo exposto (B); culturas irrigadas de ciclo curto sem práticas conservacionistas, áreas desmatadas e queimadas recentes, solo exposto ao longo de caminhos e estradas (MB).	Uso intensivo de agroquímicos; contaminações por metais pesados em águas superficiais e sedimentos de corrente; processos erosivos acelerados; Barramentos; Assoreamento de corpos hídricos; Agressões a fauna e flora.	Muito Alta

<p>Forte a Média 20 a 30% e 12 a 20%</p>	<p>Unidades de colinas Cretáceas (F a M 45 a 23)</p>	<p>Arenitos Cretáceos</p>	<p>Latossolos Vermelho-Amarelo textura argilosa (MB*); Gleissolos (B)</p>	<p>Culturas comerciais de café, soja, milho e algodão; Pecuária extensiva com exposição de solos.</p>	<p>Culturas irrigadas de ciclo curto com solo exposto (B); Fragmentos de vegetação nativa, veredas (A); culturas irrigadas de ciclo curto sem práticas conservacionistas, áreas desmatadas e queimadas recentes, solo exposto ao longo de caminhos e estradas (MB)</p>	<p>Queimadas, desmatamentos desordenados em áreas de veredas e matas nativas para a produção de carvão; Contaminações por metais pesados em águas superficiais e sedimentos de corrente; processos erosivos acelerados; Barramentos; Assoreamento de corpos hídricos; Agressões a fauna e flora.</p>	<p>Alta</p>
<p>Muito Fraca até 6%</p>	<p>Áreas de Depressões</p>	<p>Sedimentos Fluviais; seixos, matriz areno/argilosa</p>	<p>Neossolos Quartzarênicos (F) Latossolo Vermelho-Amarelo, Podzólico textura média argilosa (M)</p>	<p>Pecuária extensiva com exposição de solos</p>			

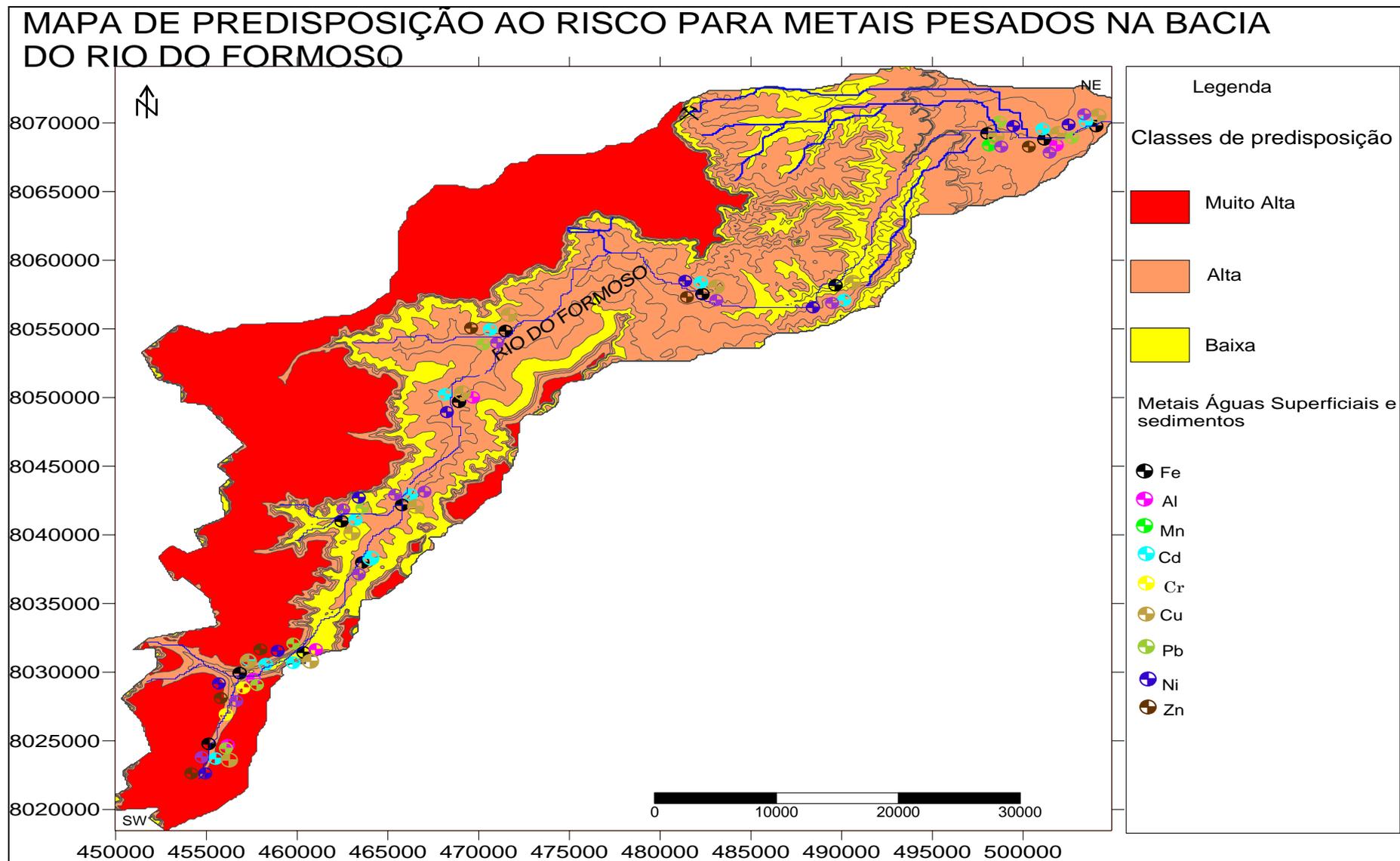


Figura 67: O Mapa apresenta a distribuição das classes com o maior potencial de predisposição ao risco de contaminação para os metais pesados detectados na bacia do Rio do Formoso.

Com base na análise da Figura 67 e da Tabela 10, pôde-se perceber uma forte relação entre as variáveis que compõem as classes de predisposição ao risco ambiental. As áreas com as menores pressões antrópicas compreendem as porções de menor predisposição ao risco ambiental. Essas áreas coincidem com as bordas de escarpas, ocupando uma área de aproximadamente de 194,3 km², como apresentado na (Tabela 10). As áreas de predisposição ao risco ambiental alta são representadas pelas que sofreram pressão antrópica e econômica relativa – ocupando uma área de 399,32 km², estas aparecem distribuídas nos compartimentos geomorfológicos Unidades de Colinas e Unidades de Vales e Terraços Aluviais. Como era de se esperar, as regiões com predisposição ao risco ambiental muito alta foram representadas por aquelas áreas sob intensa influência antropogênica, localizadas, em sua totalidade, no compartimento Unidades de Chapadas. Esse compartimento tem alta sensibilidade geoambiental, com risco constate de impactos ambientais negativos decorrentes de atividades agrícolas, apresentando concentrações significativas de metais pesados nas águas superficiais e, principalmente, nos sedimentos de corrente. Esta classe exerce maior pressão sobre os geoambientes identificados para esse compartimento e, no conjunto engloba uma área aproximada de 226 km².

As análises mostraram que, salvo os compartimentos de borda de escarpas e o de Unidades de Colinas Neoproterozóica, todos os outros estão sofrendo uma alta pressão antrópica. Esses tipos de intervenções, associados à fragilidade ambiental dos geoambientes naturais, influenciam diretamente na dinâmica das vertentes, na dinâmica hidrológica e na dos processos naturais. Essas áreas devem ser utilizadas com prudência: a fragilidade do meio natural, associada ao manejo inadequado dos recursos naturais da bacia é, sem dúvida alguma a principal causa da degradação ambiental.

CAPÍTULO 8: CONCLUSÕES

Atualmente, os estudos sobre a contaminação por metais pesados nas águas e nos sedimentos estão se tornando mais sistemáticos. Esta constatação decorre da valoração que os recursos hídricos estão tendo no cenário mundial. A importância ambiental, social e de preservação têm pressionado o país, os estados e os municípios no que diz respeito à sua conservação. A qualidade ambiental dos recursos hídricos não é um tema que se discute mais em nível federal, mas em nível mundial, e sua cobrança torna-se cada vez maior – principalmente nos países em desenvolvimento, como o Brasil, possuidor de uma das maiores bacias hidrográficas do planeta. Entretanto, o desconhecimento por parte dos órgãos ambientais federais, estaduais e municipais sobre as qualidades e potencialidades dos indicadores geoquímicos é evidente no Brasil.

A partir dos dados, análises e discussões, apresentados ao longo dos capítulos, esta seção esboça algumas considerações acerca daqueles aspectos que nos parecem de fundamental importância. Esses aspectos referem-se, particularmente: aos teores de metais pesados encontrados nas águas superficiais e nos sedimentos de corrente/fundo; sua distribuição; sua origem natural e antrópica; aos parâmetros físico-químicos de suporte influenciaram na disponibilidade dos contaminantes; à relação entre os aspectos do meio natural, em especial a tipologia do canal e a morfodinâmica da bacia em relação a distribuição dos metais pesados no compartimento água e sedimentos; e, por fim, à proposta do modelo de vulnerabilidade ambiental da bacia.

As condições de pH ácidos, levemente ácidos e valores próximos à neutralidade, favoreceram a precipitação dos metais, principalmente nos sedimentos de corrente/fundo, comportando como um parâmetro controlador. Os valores do potencial hidrogeniônico nas águas encontram-se correlacionados às variáveis litológicas (ácidas e/ou alcalinas), vegetacionais (através de sua decomposição e conseqüente geração de ácidos húmicos e fúlvicos) e antrópicas (aplicação de insumos químicos). Isso foi observado na linha do gráfico que representa o pH, cujo aumento nos valores se posicionam de SW para NE do perfil longitudinal do rio do Formoso. Ficou evidente a similitude entre os valores de condutividade elétrica e a turbidez, verificando-se, assim, que a condutividade elétrica está correlacionada à quantidade de material

dissolvido na água. Constatou-se que o aumento da temperatura implica, de certa forma, a diminuição da concentração de oxigênio dissolvido; entretanto, as características climáticas e da morfologia do canal fluvial influenciam diretamente nessa relação.

Ficou evidente a correlação entre os metais de suporte Fe, Al, Mn e a percepção dessa situação no comportamento dos metais de suporte em relação às suas concentrações. A presença desses elementos na coluna d' água mostra um enriquecimento natural ao longo do perfil longitudinal, cujas fontes principais são os litotipos.

As análises químicas dos metais pesados nas águas superficiais demonstram que o cádmio e o cromo são os elementos cujas concentrações violaram a resolução CONAMA 357/05; quanto aos outros metais – cobre, zinco, chumbo e níquel –, os níveis de concentração não violaram essa resolução. Entretanto, os níveis de concentrações desses metais demandam atenção, pois para alguns metais os níveis de concentração encontram-se muito próximos dos valores de referência.

Constatou-se a forte correlação entre os seis metais analisados, tornando-se mais evidente quando os valores de pH são baixos. Os pontos com as mais altas concentrações estão localizados nas áreas agricultáveis. Constatou-se que até os pontos mais afastados da área de influência direta dos empreendimentos agrícolas apresentaram traços de metais pesados, demonstrando que esses elementos são transportados na forma solúvel por distâncias consideráveis, antes de se precipitarem junto com o sedimento.

É perceptível a correlação entre as variáveis litopedológicas, tipologia do canal fluvial e hidrodinâmica da bacia com a distribuição e transporte dos metais pesados ao longo do perfil longitudinal do rio do Formoso.

Os níveis de concentração de cádmio, cromo, cobre, zinco, níquel e chumbo no compartimento água são advindos, principalmente, da contribuição gerada pelas interferências antropogênicas e de uma contribuição natural de ordem geológica.

As análises químicas dos metais pesados nos sedimentos de corrente/fundo demonstraram que a fração argilosa está retendo concentrações muito elevadas, principalmente no cádmio e cromo – esses metais violaram a Resolução CONAMA 344/04 para sedimentos. Os outros elementos analisados – chumbo, zinco, níquel e cobre – apresentaram concentrações dentro do limite preconizado por essa resolução; entretanto, demandam atenção especial, pois para esses metais os níveis de concentração se encontram próximos dos limites recomendados. A

fração argilosa dos sedimentos é a principal parcela dos carreadores geoquímicos ativos, tanto de ordem natural quanto antropogênicas.

De um modo geral, todos os seis metais avaliados para os sedimentos mostram um enriquecimento natural ao longo do perfil longitudinal, tendo como fonte principal os elementos menores contidos nos litotipos que compõem os substratos rochosos, sendo liberados naturalmente para o meio através do intemperismo físico e químico. Constatou-se que o mineral predominante é o quartzo; a presença de minerais de argila, como a caolinita, sugere que em alguns pontos amostrados pode ocorrer maior ou menor troca de elementos do sedimento para a coluna de água.

As características morfológicas do canal fluvial e a hidrodinâmica da bacia funcionaram como um importante mecanismo para a distribuição e transporte dos metais junto aos sedimentos.

Os resultados obtidos confirmaram a concentração de metais pesados e/ou traços desses elementos nos sedimentos de corrente/fundo do rio. A disponibilidade desses metais no compartimento sedimento é resultado direto dos resíduos metal-orgânicos gerados pela agricultura comercial. Em menor percentual, existe um enriquecimento de ordem natural, advindo dos litotipos que compõem o substrato rochoso na área da bacia.

Diante dos resultados físicos e químicos apresentados para as águas superficiais e para os sedimentos de corrente/fundo, é sugerido que se implante um programa de monitoramento para todos os metais pesados analisados, inclusive para os parâmetros de suporte. Esse monitoramento deverá voltar-se, principalmente, para os recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Ficou demonstrado o potencial de risco que se impõe aos geoambientes e inclusive à saúde humana. O grau de vulnerabilidade dos ambientes naturais que compõem a bacia ficou demonstrado através da carta de vulnerabilidade ambiental.

Os mapas do meio natural e de uso e ocupação dos solos, gerados neste trabalho, foram fundamentais para a elaboração do modelo proposto para a matriz de susceptibilidade, uma vez que contemplam todas as variáveis envolvidas nos compartimentos geomórficos. A carta de predisposição ao risco ambiental proposta para a bacia neste trabalho, revela-se como uma ferramenta de suporte extremamente importante no que diz respeito ao conhecimento sobre o estado de fragilidade ambiental em que esta se encontra. A carta é, portanto, instrumento necessário para a elaboração de planos de manejo, controle e monitoramento ambiental. Além do mais, ela possibilitou que se conhecessem as reais condições ambientais em que se encontram os

geoambientes, em especial, os compartimentos água superficial e sedimentos de corrente.

As várias interferências antrópicas têm provocado uma série de impactos negativos ao meio ambiente: a retirada da cobertura vegetal; a construção de estradas vicinais que expõem os solos aos processos erosivos; as partículas de solos contaminados pelos resíduos metalorgânicos derivados da agricultura, que são transportadas pelo escoamento superficial e pelo vento, indo em direção aos cursos de água e, conseqüentemente, poluindo-os.

Conclui-se que a bacia do rio do Formoso é um ambiente natural potencialmente frágil. Os vários tipos de interferências antropogênicas, em especial a agricultura comercial, contribuíram de forma marcante para a sua degradação ambiental. Os recursos hídricos e os ambientes aquáticos foram os mais afetados.

A contribuição deste trabalho foi apresentar, pela primeira vez, uma avaliação das condições geoquímicas em que se encontram as águas superficiais e os sedimentos e das principais rotas de contaminações provenientes dos resíduos químicos e orgânicos gerados pelas atividades agropecuárias – já que a bacia do Formoso é economicamente essencial para o desenvolvimento do município de Buritizeiro. Outra contribuição deste trabalho, não menos importante, foi a constatação de como a tipologia do canal fluvial e a morfodinâmica da bacia influenciaram na distribuição dos metais pesados ao longo do perfil longitudinal do rio. É importante ressaltar que os estudos que discorrem sobre esse tema são praticamente inexistentes; e essa primeira aproximação confirmou essa expectativa. Por fim, o trabalho gerou vários mapas temáticos do meio natural e de uso dos solos, além de uma caracterização pormenorizada do meio físico e socioeconômico, que poderão ser utilizados como ferramentas de apoio na elaboração dos planos de monitoramento e manejo dos recursos naturais e na elaboração do plano diretor, entre outros; servindo também à comunidade em geral.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB` SABER, A. N. 1971. A organização natural das paisagens inter e subtropicais brasileiras. In: Simpósio do Cerrado, 3, 1971, São Paulo: Blücher/ed. USP, 1971.
- ALKMIM, F. F.; BRITO NEVES, B. B.; CASTRO ALVES, J.A. 1993. Arcabouço tectônico do Cráton do São Francisco – Uma Revisão. In: DOMINGUEZ, J.M.L.; MISI, A. (ed.) O Cráton do São Francisco. Salvador, SBG/Núcleo BA/SE, p. 45-62.
- ALLOWAY, B. J. & AYRES, D. C. 1997. Chemical Principles of Environmental Pollution, 2 ed. Ed. Chapman & Hall, New York.
- ALLOWAY, B. J. 1990. Soil processes and the behavior of metals. In: ALLOWAY, B.J. (Ed.). Heavy metals in soil. Glasgow: Blackie and Son, p.7-27.
- AMARANTE, A. 1997. Comportamento geoquímico de metais pesados em sedimentos argilosos da Bacia de São Paulo – estudo de caso. Suzano-SP. São Paulo, 1997. 98 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo – USP. São Paulo.
- ANA – Agência Nacional de Águas, 2005. Águas Subterrâneas. Superintendência de Informações Hidrogeológicas (SIH). Brasília.
- ANDRADRE, R. S. G.; ANDRADE, M. R.; ALVES, J.P.H. 2006. Determinação de Pb e Cu do Estuário do Rio Japarutuba – SE. I Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte e Nordeste de Educação Tecnológica Natal-RN. 2006.
- ANJOS, J. A. S. A. 1998. Estratégia para remediação de um sítio contaminado por metais pesados: estudo de caso. São Paulo, 1998. 157 p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP. São Paulo.
- ANJOS, J. A. S. A. 2003. Avaliação da Eficiência de uma zona alagadiça (wetland) no controle da poluição por metais pesados: O caso da Plumbum de Santo Amaro da Purificação/BA. 2003. 238 p. Tese de (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP. São Paulo.
- AUALIITIA, T. U. & PICKERING, W. F. 1988. Sediment Analysis – Liability of Selectively Extracted Fractions; Talanta; 35 (7); p. 559-566.
- AXTMANN, E. V., & LUOMA, S. N. 1991. Large-scale distribution of metal contamination in the fine-grained sediments of the Clark Fork River, Montana, U.S.A. Applied Geochemistry, 6: 75- 88, E.V., and S.N. Luoma. 1991. Large-scale distribution of metal contamination in the fine-grained sediments of the Clark Fork River, Montana, U.S.A. Applied Geochemistry, 6: p.75- 88.
- BAGGIO, H. F. 2002. Alterações na paisagem natural e agrícola do município de Buritizeiro – MG: implicações do plantio generalizado de pinus e eucaliptos no meio ambiente físico, biológico e socioeconômico. 2002. 149 p. Dissertação (Mestrado em Geografia).

Instituto de Geociências - Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Belo Horizonte.

- BAGGIO, H. F.; HORN, A. H.; TRINDADE, W. M.; RIBEIRO, E. V. 2006. O Grupo Mata da Corda na Bacia Hidrográfica do Rio do Formoso e suas Feições Morfológicas Correlata. VI Simpósio Nacional de Geomorfologia Regional - Conference on Geomorphology.
- BAIRD, C. 2002. Química Ambiental – Bookman, 2 Ed. Porto Alegre. 622 p.
- BLUMER, II. P.; BRUMER, G. 1991. Prediction of heavy metal behavior in soil by means of simple field tests. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, San Diego, v. 22, p. 166-174.
- BOAVENTURA, R. S. 1981. Características geomorfológicas. In: CETEC. Plano de desenvolvimento integrado do Noroeste Mineiro: recursos naturais. Belo Horizonte. (Publicações Técnicas).
- BORMA, R. P.; EHRLICH, M.; BARBOSA, M. C.; COSTA, F.J.C. 1996. Estudo sobre a mobilidade de metais pesados em solos argilosos. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 8., Rio de Janeiro, 1996. Anais. SBG, v. 1. p. 611.
- BOULDING, J. R. 1995. Practical handbook of soil, vadose zone, and ground-water contamination: assessment, prevention and remediation. New York, CRC Press, 1995. Cap. 3. p. 118-156.
- BOURG, A. C. M.; LOCH, J. P. G. 1995. Mobilization of Heavy Metals as affected by pH and redox conditions. In: SOLMONS, W.; STIGLIANI, W.M. Biogeodynamics of the pollutants in soil and sediments – Risk Assessment of Delayed and Non-Linear Responses. Berlin, Springer, 1995. p. 87-100.
- BUBB, J. M., LESTER, J. N. 1994. Anthropogenic Heavy Metal Inputs to Lowland River Systems, a case study: the river Stour, U.K. *Water, Air and Soil Pollution*, Dordrecht, v.78, p. 279-296, 1994.
- BOWEN, J. M. H. 1979. Environmental Chemistry of the Elements. London, Academic Press, 1979, 273 p.
- BRAGA, C. 2002. Introdução à Engenharia Ambiental. São Paulo: Prentice Hall, 2002. In: Simpósio do Cerrado. São Paulo: Brasil.
- BRAGA, L. L. 2007. Avaliação do Impacto Ambiental de um Beneficiamento de Fe e Si, Várzea da Palma, MG, Brasil – Distribuição e Transporte dos Contaminantes. 2007. 81 p. Dissertação (Mestrado em Geologia). Instituto de Geociências - Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Belo Horizonte.
- BRANCO, S. M. A. 1991. Água e o Homem. In: Porto, L.R., org. Hidrologia ambiental. São Paulo. EPUSP/ABRH, 1991. P. 3 – 25.

- CANADIAN SEDIMENT QUALITY GUIDELINES FOR THE PROTECTION OF AQUATIC LIFE. 2002. Canadian Environmental Quality Guidelines 2002. Disponível em <http://www.ec.gc.ca/ceqg-rcqe/English/Ceqg/Sediment/default.cfm>.
- CASTRO, P. T. A. & DARDENNE, M. A. 2000. The sedimentology, stratigraphy and tectonic context on the São Francisco Supergroup at the southwestern domain of the São Francisco Cráton, Brazil. *Rev. Bras. Geociências*, 30 (3): p. 439-441.
- CASTRO, P. T. A. 1997. Os conglomerados da borda SW do Cráton do São Francisco junto à porção S da Faixa Brasília: Sedimentologia e relações estratigráficas com as rochas do Grupo Bambuí. 1997. 264 p. Tese (Doutorado em Geologia) - Inst. De Geociências, Universidade de Brasília – UNB. Brasília.
- CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. 1980. Estudo de Metais Pesados no Estado de Minas Gerais. Relatório Final. Belo Horizonte. 151 p.
- CETEC e COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental. 1986. Diagnóstico Ambiental de Minas Gerais: o meio natural, recursos hídricos. Belo Horizonte, CETEC/COPAM, 2v.
- CETESB. 1988. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Qualidade das Águas. Guia de Coleta e Preservação de amostra de água. 1. ed. São Paulo. 149 p.
- CETESB. 2007. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Qualidade das Águas. São Paulo: Disponível em <http://www.cetesb.gov.br>.
- CHANG, H. K.;MIRANDA, F. P.; MAGALHÃES, L.; ALKMIM, F. F. 1988. Considerações sobre a evolução tectônica da Bacia do São Francisco. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 35, Belém, Anais, 5: p. 2076-2090.
- CHIAVEGATTO, J. R. S. 1992. Análise estratigráfica das seqüências tempestística da Formação Três Marias (Proterozóico Superior), na porção meridional da Bacia do São Francisco. 1992. 216 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Dep. de Geologia - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP. Ouro Preto.
- CHRISTOFOLETTI, A. 1977. A mecânica do transporte fluvial. *Geomorfologia*, (51): p. 1-42, IGUSP, 1977.
- COMIG – Companhia Mineradora de Minas Gerais e CPRM – Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais. 2003. Mapa Geológico das Folhas (SE.23-V-D-III, SE.23-X-C-I, SE.23-V-D-V, SE.23-V-D-VI). Projeto São Francisco. Escala 1: 100.000. Belo Horizonte.
- CONAMA, 2004. Conselho Nacional do Meio Ambiente - Resolução CONAMA nº 344, de 25 de março de 2004. Disponível em <http://www.mma.gov.br/conama>.
- CONAMA, 2005. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Disponível em <http://www.mma.gov.br/conama>.

- COPAM 1986. Deliberação Normativa “Minas Gerais” Diário Oficial do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: 13-15. COPAM 1987. Parecer técnico relativo ao auto de infração no 004/87 lavrado contra a Cia. Mineira de Metais, localizada em Três Marias. Belo Horizonte: 130 p.
- COSTA, L. A. M.; ANGEIRAS, A. G. 1971. Tectonic zoning in the Epi-Baykalian of the Central Brasil. An. Acad. Bras. Ciências, 41(40): 641 p.
- CPRM - Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil. 2003. Projeto São Francisco, 2003.
- DARDENNE, M. A. 2000. The Brasília Fold Belt. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A., Campos, D.A. (ed). Tectonic evolution of South America. Rio de Janeiro, SBG, p. 231-263.
- DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO (D.O.U). 2004. Ministério da Saúde, portaria nº 518 de 25 de Março de 2004 (publicada 30 de Março de 2004).
- DORNFELD. C. B. 2002. Utilização de análises liminológicas, bioensaios de toxicidade e macroinvertebrados bentônicos para diagnostico ambiental no reservatório de Salto Grande (Americana – SP). 2002. 149 p. Tese (Doutorado) Departamento da Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/ USP. São Paulo.
- ELEUTÉRIO, L. 1997. Diagnóstico da Situação Ambiental da Cabeceira na Bacia do Rio Doce, M.G., no âmbito das contaminações por metais pesados em sedimentos de fundo. 1997. 154 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, Ouro Preto.
- ESTEVES, F. A. 2002. Fundamentos de Liminologia. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Interciência.
- FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE MINAS GERAIS – FAPEMIG. 2007. (Processo 11858/07).
- FELLEMBERG, G. 1980. Introdução aos Problemas da Poluição Ambiental. Pedagógicas e Universitárias Ltda. 191 p.
- FIGUEIREDO, B. R. 2000. Minerais e ambiente. Campinas, ABDR, 2000. p. 117-125.
- FISZAN, M.; PFEIFFER, W. C.; LACERDA, L. D. 1984. Comparison of methods used for extraction and geochemical distribution of heavy metals in bottom sediments from Sepetiba bay, RJ. Environmental Technology Letters, London, v.5, p. 567-575.
- FORSTNER, U. 1995. Contaminated Aquatic Sediments and Waste Sites: Geochemical Engineering Solution. In: SOLOMONS, W.; FORSTNER, U. Heavy Metals: Problems and Solution. Berlin, Springer, 1995. p. 237-256.
- GIMENO-GARCÍA, E.; ANDREU, V.; BOLUDAR. 1996. Heavy metals incidence in the application of inorganic fertilizers and pesticides to rice farming soils. Environmental Pollution, Killington, v. 92, n.1. p. 19-25.

- HILLERT, M. 1997. What is a metal and what is a heavy metal?. (Disponível www.icme.com) International Council on Metals and Environment. Newsletter, v. 5, n.4, p.7, 1997.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais. Pesquisa e Desenvolvimento. São José dos Campos: Governo Federal. Disponível em <http://www.inpe.gov.br>. Data de acesso: 2007.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 2005. Geografia do Brasil – Região Sudeste. Rio de Janeiro, 2005.
- INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS - IEF. 2005. Mapeamento da Cobertura Vegetal e Uso do Solo do Estado de Minas Gerais.
- INTERNATIONAL CENTER FOR DIFFRACTION DATA / Joint Committee on Powder Diffraction Standards – JCPDS. 2000. p. 01– 50.
- JORDÃO, C. P.; PERREIRA, J. L.; GOUVEIA L. C.; PEREIRA, J. C.; BRUNE, W.1990. Contaminação de sedimentos fluviais por metais pesados nas proximidades de uma indústria metalúrgica em Minas Gerais. Química Brasil. v 4, p. 9-15.
- KABATA-PENDIAS, A. 1995. Agricultural problems related to excessive trace metal contents of soil. In: SOLOMONS, W. et al. Heavy metals: problems and solution. Berlin, Springer, 1995. p. 3-18.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. 1984. Trace elements in soil and plants. Boca Raton: CRC, 315 p.
- KIEKENS, L. Z. 1995. Heavy metals in soils. In: Alloway, B. J. (Ed). Glasgow: Black and Son, 1990. p. 261-277.
- KNIGHT, R. L.; KADLEC, R. H. 2000. Constructed treatment wetland – a global technology. In: Water 21 – Magazine of International Water Association. London, IWA p. 112 – 118.
- KING, L.C. 1956. A Geomorfologia do Brasil Oriental. Separata da Revista Brasileira de Geografia N.º - Ano XVIII – ABR/JUN. 1956. Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro de Geografia.
- KRAUSKOPF, K, B. 1976. Introduction to geochemistry. New York, McGraw-Hill. 721 p.
- LADEIRA, E. A; BRITO, O. E. A. de. 1968. Contribuição a Geologia do Planalto do Mata da Corda. In: SBG, Congresso Brasileiro Geologia, 22. Belo Horizonte, Anais, p. 181-199, 1968.
- LAWAS, E. A. 1993. Aquatic Pollution. An Introductory text. Second ed. John Wiley and Sons. Inc., New York.

- LAYBAUER, L. 1995. Análise de Transferência de Metais Pesados em Água e Sedimentos Fluviais na Região de Minas de Camapuã, R.S. 1995. 164 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre.
- LIMA, M. J. 2001. Avaliação de metais e elementos-traço em águas e sedimentos das bacias hidrográficas dos rios Mogi-Guaçu e Prado, São Paulo. 2001. 210 p. Dissertação (Mestrado em Química). Comissão nacional de energia nuclear instituto de pesquisas energéticas e nucleares – IPEN. São Paulo.
- LUNDHAMER, S. 1991. Erfassung der Kontamination an Metallen im Flusswasser des São Francisco bei Três Marias, Brasilien. Tese de Diploma, Fachhochschule München, inédito: 74 p.
- MACEDO, J. A. B. 2002. Introdução a Química Ambiental; Química, Ambiente e Sociedade. Juiz de Fora: Jorge Macedo. 487 p.
- MALAVOLTA, E. 1994. Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados, mito, mistificação e fatos. São Paulo, Produquímica, 153 p.
- MARTINS-NETO, M. A. & ALKMIM, F. F. 2001. Estratigrafia e evolução tectônica das bacias neoproterozóicas do paleocontinente São Francisco e suas margens: registros da quebra de Rodínea e colagem de Gondwana. In: Pinto, C.P. & MARTINS-NETO, M.A. (ed) Bacia do São Francisco: geologia e recursos naturais. Belo Horizonte, SBG/Núcleo MG, p. 31-54.
- MESTRINHO, S. S. P. Contaminação das águas subterrâneas. Salvador, SBG/UFBA, 1997. 63p.
- MEURER, E. J.; BASSANI, C. A.; SELBACH, P. A. 2000. Poluentes dos solos e do ambiente. In: MEURER, E.J. Fundamentos de química dos solos. Porto Alegre, Gênese, 2000. p. 151-174.
- MITSCH, W. J.; GOSSELINK, J. G. Wetland. New York, Van Nostrand Reinhold, 1993. 2ª Edição. 772 p.
- MORISAWA, M. 1968. Streams: their dynamics and morphology. MacGraw-Hill, New York, 175 p, 1968.
- MOZETO, A. A. 2003. Diagnóstico Preliminar de Contaminação Ambiental por Metais na Área de Influência da VM na Bacia do Rio São Francisco, Região de Três Marias (MG). Laboratório de Biogeoquímica Ambiental – DQ – UFSCar/ São Carlos, SP.
- MUNSELL SOIL COLOR CHARTS. 2000. Little Britain Road, New Windsor, NY. Washable Edition New York.
- NOVOTNH, V. 1995. Diffuse Sources of Pollution by Toxic Metal and Impact on Receiving Water. In SOLOMONS, W., FORSTNER, U. Heavy Metals. Problems and solutions. Berlin. Springer, 1995. p. 33 – 53.

- OLIVEIRA, R. M. & HEINRICH, H. A. 2006. Comparação da concentração de metais pesados nas águas do Rio São Francisco em Três Marias, desde 1991 até hoje, relacionando a atuação da CMM - Três Marias. Belo Horizonte. GEONOMOS (2006) 14 (1,2): p. 55-63.
- OLIVEIRA, R. M. 2007. Investigação da Contaminação por Metais Pesados da Água e do Sedimento de Corrente nas Margens do Rio São Francisco e Tributários, a Jusante da CEMIG, no Município de Três Marias-MG. 149 p. Dissertação (Doutorado em Geologia). Instituto de Geociências - Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Belo Horizonte.
- PEDROZO, M. F. M.; LIMA, I. V. 2001. Ecotoxicologia do cobre e seus compostos. Salvador. Centro de Recursos Ambientais. 2001. 128 p.
- PENHA, U. C. 2001. Geologia dos Conglomerados da Serra da água Fria e dos depósitos diamantíferos de Jequitaiá, MG. 2001. 148 p. Tese (Doutorado em Geologia) Universidade Estadual Paulista – UEP. Rio Claro. São Paulo.
- PENTEADO, M. M. & RANZANI, G. 1973. Relatório de viagem ao Vale do rio São Francisco. Geomorfologia, São Paulo. USP, Instituto de Geografia, 1973 (Publicação 40: 1-44).
- PETRONI, S. L. G. 1999. Estudo de adsorção de zinco e cádmio em turfa. Potencialidade de utilização de um bioadsorvedor natural em sistema de tratamento de efluente. 1999. 99 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo – USP. São Paulo.
- PIVELE, R. P. Qualidade das águas. São Paulo. Escola Politécnica/ EPUSP, Universidade de São Paulo, 1998. 217 p. (Notas de aula, PHD 5010-2/2 – Caracterização da qualidade da água).
- PRADO FILHO, J. F. 1992. Ciências do Ambiente: Ecologia, Degradação e Proteção Ambiental. Dpto. de Engenharia Gerencial e Economia, Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP. Minas Gerais.
- QUINÁGLIA, G. A. 2001. Estabelecimento de um protocolo analítico de preparação de amostras de solo para a determinação de metais e sua aplicação em um estudo de caso, 2001. 164 p. Dissertação (Mestrado) Universidade de São Paulo – USP. São Paulo.
- REINFELDER, J. R., WANG, W. X, LUOMA, S. N., and FISHER, N. S. 1997. Assimilation efficiencies and turnover rates of trace elements in marine bivalves: a comparison of oysters, clams, and mussels. Mar. Biol. 129: p. 443-452.
- RIBEIRO, E. V. 2007. Níveis de contaminação por metais pesados em águas superficiais do Rio São Francisco em Pirapora e sua relação com as atividades industriais. 2007. 101 p. (Monografia) - Departamento de Geografia. Universidade Estadual de Montes Claros – UNIMONTES. Minas Gerais.
- RODGERS, Jr., J. H.; DICKSON, G. W.; DILLON, T.; DORN, P. B.; FARMER, J. E.; GEARHEART, R. A.; HALL, J. F.; Mc FARLAND, B.; NELSON, M.K.; NIX, P.; RICHARDSON, C. J.; TIERNY, D. P. 1999. Workgroup V Synopsis: constructed

wetland a as risk mitigation alternative. In: Ecotoxicology and risk assessment for wetland. Anaconda, 1999. Proceedings. p. 315-342.

ROSS, J. L. S. 1992. O Registro Cartográfico dos Fatos Geomórficos e a Questão da Taxonomia do Relevo, in Revista do Depto. Geografia – FFLCH-USP N°6, São Paulo: 17-30.

SALOMONS, W. & FORSTNER, U. 1984. Metals in the hydrocycle. Springer-Verlag, Berlin, 349 p.

SALOMONS, W. 1995. Long-term strategies for handling contaminated sites end large-scale areas. In: SALOMONS, W, et al. Biogeodynamics of pollutants in soil and sediments: risk assessments of delayed and non-linear responses. Berlin, Springer, 1995. p. 1 – 52.

SCHAEFFER, C. E. et al. 2000. Elementos da Paisagem e a gestão da qualidade ambiental. Informe Agropecuário. v 21, n 2002, p. 20-44. Jan/Fev. 2000.

SCHOBENHAUS, C. (coord.) 1975. Carta geológica do Brasil ao Milionésimo; Folha Goiás (SD. 22). Brasília –DF, MME/DGM/DNPM. 114 p.

SEER, H. J.; MORAES, L. C. de; FOGAÇA, A. C. C. 1989. Roteiro Geológico para a Região de Lagoa Formosa-Chumbo-Carmo do Paraíba-MG. 58 p. (Boletim SBG-MG, n° 9).

SGARBI, G. N. C. 1991. Arenitos Eólicos da Formação Areado (Bacia Cretácea do São Francisco): Caracterização diagênese e aspectos. Revista Brasileira de Geociências. 21(4): p. 342-354.

SGARBI, G. N. C. 2001. Bacia Sanfranciscana: o registro do fanerozóico da bacia do São Francisco. In: PINTO, C. P.; MARTINS-NETO, M. Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais. Belo Horizonte. SBG-MG. p. 93-138.

SGARBI, G. N. C. Geologia da Formação Areado, Cretáceo Médio a Inferior da Bacia do São Francisco, oeste do Estado de Minas Gerais. 1989. 324 p. Dissertação (Mestrado) - Inst. de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro.

SGARBI, G. N. C.; LADEIRA, E. A. 1995. Ventifactos of cretaceous Proterozoic unconformity in the Alto do Paranaíba region, west of Minas Gerais state, Brazil. Geociências, 14(1): p. 119-151.

SGQ – GEOSOL LABORATÓRIOS LDTA. 2006. Análise dos elementos menores nos litotipos da Bacia do Formoso. 2006. Certificado de Análises. SGL Report: SG 5002-SEP/06.

SHELTON, L. R., CAPEL, P. D. 1994. Guidelines for collecting and processing sample of stream bed sediments for analysis of trace elements and organic contaminants for the National Water-Quality Assessment Program. U.S. Geological Survey, Open-File Report. p. 94-458, Sacramento, California.

- SIMÃO, J. B. P. & SIQUEIRA, J. O. 2001. Solos Contaminados por Metais Pesados: Características, implicações e Remediação. In: Informe Agropecuário. Belo Horizonte. V. 22. N 210. 2001. p. 18-265.
- SKINNER, B.J. 1986. Earth Resources – Prentice-Hall, Thirol. Edition. 116 p.
- SMITH, L. A.; MEANS, J. L.; CHEN, A.; ALLEMAN, B.; CHAPMAN, C. C.; TIXIER, Jr.; BRAUNING, S. E.; GAVASKAR, A. R.; ROYER, M. D. 1995. Remedial options for metals-contaminated sites. New York. CRC Press, 1995. p. 17-33.
- SOUZA, R. O.; CAMARGO, F. A. O.; VAHL, L. C. 2000. Solos alagados. In: MEURER, E. J. Fundamentos de Química do Solo. Porto Alegre. Gênese, 2000, p. 127-149.
- SOUZA, V. P. 2001. Formação da barreira geoquímica para abatimentos de drenagem ácida de pilhas de estéril piritoso. São Paulo, 2001. 143 p. Tese (Doutorado). Escola Politécnica – Universidade de São Paulo.
- SUGUIO, K. Rochas Sedimentares: propriedades, gênese, importância econômica. São Paulo: Ed. 1980. 500 p. Editora Edgard Blücher. 1980. SP.
- TAVARES, T. M. 1990. Avaliação de efeitos das emissões de Cádmi e Chumbo em Santo Amaro da Purificação – BA. São Paulo. 1990. 271 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo – USP. São Paulo.
- TECNOLOGIA EM PLANEJAMENTO EM PROJETOS AMBIENTAIS – TECPLAM. 2005. Implantação de projeto agrícola na Fazenda do Formoso. 2005. Pirapora.
- TILLER, K. G. 1989. Heavy metal in soil and their environmental significance. In: TILLER, K.G. Advances in soil science. New York: Springer, 1989. v.9, p. 113-114.
- TINER, R. W. 1999. Wetland Indicators: A Guid to Wetland Identification, Delineation, Classification, and mapping. Boca Raton, Lewis Publischer, 1999. 392 p.
- TOREM, M. L.; CUNHA, F. O.; CASQUEIRA, R. G. 2002. Remoção de metais tóxicos e pesados por eletroflotação. Saneamento Ambiental, São Paulo, 2002. n. 85, Mar/abr, p. 46-61.
- TRICART, J. 1997. Ecodinâmica – FIBGE/SUPREN, Rio de Janeiro, 97 p.
- TRINDADE, W. M. 2007. Condicionantes Litoestruturais na Origem e Desenvolvimento de Processos Erosivos e Arenização na Bacia do Rio do Formoso-MG. 2007. 97p. (Monografia) - Departamento de Geografia. Universidade Estadual de Montes Claros – UNIMONTES. Minas Gerais.
- TUREKIAN, K. K. & WEDEPOHL, K. H. 1961. Distribution of the elements in some major units of the Earths crust. The Geological Society of America Bulletin. USA. Volume: 72, N°. 2. p 175-192.

- UHLEIN, A.; FANTINEL, L. M.; BATISTA, M. C.; LIMA, O. N. B. 2003. Contribuição à estratigrafia do Grupo Bambuí em Minas Gerais. In: SBG/Núcleo MG, Simpósio de Geologia de Minas Gerais, 12. Ouro Preto, Anais, CD rom (1 vol).
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS – UFLA. 2005. Inventário Florestal de Minas Gerais. Setor de Geoprocessamento e Análises de Imagens – LEMAC. UFLA. 2005.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency). 2001. Methods for Collection, Storage and Manipulation of sediments for chemical and toxicological analyses: Technical Manual. EPA – 823-B-01-002. Washington DC. Disponível em <http://www.epa.gov/waterscience/cs/guidelines>.
- VALADÃO, R. C. 1998. Evolução de Longo-Termo do Relevo do Brasil Oriental (Denudação, Superfícies de Aplanamento e Soerguimento Crustais). 1998. 242 p. Tese (Doutorado) - Inst de Geociências. Universidade Federal da Bahia – UFB. Salvador.
- VALERIANO, C. M. 1992. Evolução tectônica da extremidade meridional da Faixa Brasília região da Represa de Furnas, sudoeste de Minas Gerais. 1992. 192 p. Tese (Doutorado) - Inst. de Geociências, Universidade de São Paulo – USP. São Paulo.
- VASCONCELOS, F. M. 2004. Amostragem e Análise Ambiental de Água. Sociedade Mineira de Engenheiros Agrônomos – SMEA, Belo Horizonte, 62 p.
- VARGA, M. 1977. Introdução à mecânica de solos. São Paulo, Mcgraw-Hill do Brasil, 1977. p. 26-27.
- VELLOSO, A. C. X., RAMALHO, J. G. O., SOBRINHO, N. M. A. 2000. Contaminação da Microbacia de Caetés com Metais Pesados pelo Uso de Agroquímicos. Pesquisa. Agropecuária, Brasília, v.35, n.7, p.1289-1303, jul. 2000.
- VIANA, V. M. F. C. 2006. Estudo Geológico Ambiental das Veredas do Rio do Formoso no Município de Buritizeiro-MG. 2006. 71 p. Dissertação (Mestrado em Geologia)-Instituto de Geociências – Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Belo Horizonte.
- WHO. WORLD HEALTH ORGANIZATION. 1992. Cadmium. Geneva: WHO: Environmental health criteria 134 p.
- WILD, A. 1993. Soils and the environment: introduction. New York, Cambridge University, 1993. p. 189-210.
- XAVIER, L. L. 2004. Análise de risco de risco ambiental em cenários de contaminação de solos: uma avaliação metodológica comparativa. 2004. 250 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Belo Horizonte.
- ZAMBETTA, P. M. A. 2006. Espécies químicas inorgânicas (Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb e Sn) no sedimento e nos sólidos em suspensão do rio Corumbataí, SP. 2006. Tese (Doutorado) - Universidade do Estado de São Paulo – USP. São Paulo.

ANEXO I

TABELAS COM RESULTADOS GEOQUÍMICOS DAS AMOSTRAS DE ÁGUA E SEDIMENTOS COLETAS NA ÁREA PESQUISADA

TABELA 1.1 – PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS IN SITU

TABELA 1.2 - ANÁLISE GEOQUÍMICA PARA ÁGUA

TABELA 1.3 – ANÁLISE GEOQUÍMICA PARA SEDIMENTO

TABELA 1.1 - PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS "IN SITU"

Pontos	Temperatura		pH		Condutividade		Turbidez	
	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa
P1	24,9	30,1	4,1	4,9	0,78	0,95	0,51	0,95
P2	24,1	27,3	4,5	5,1	4,1	5,1	9,89	11,42
P3	25,9	33,1	5	5,1	4,2	5,5	12,48	18,66
P4	24,8	27,7	5,1	5,7	10,9	11,3	13,98	18,78
P5	24,7	27,8	5	6	1	1,1	1,46	1,54
P6	24,5	27,1	4,93	5,82	8,1	9,9	4,05	4,21
P7	24,7	25,9	5,1	5,54	8	9,7	2,99	3,28
P8	23,7	24,9	5,1	5,6	8,1	9,8	4,01	4,44
P9	23,6	24,6	5,2	5,67	9,1	10,1	4,96	5,28
P10	24,6	25,7	5,1	5,98	9,1	10	5,88	6,27
P11	23,9	25,3	4,99	6,25	9,2	9,8	4,4	5,05
P12	23,5	25,2	4,4	4,7	9,5	9,7	4,97	5,02
P13	23,6	25,5	5,1	5,52	9,5	9,9	4,52	4,93
P14	23,7	25,7	4,5	4,9	9,9	10	5,97	6,74
P15	23,5	25,7	5,3	5,9	9,3	9,7	6,72	5,97
P16	23,6	24,9	5,52	5,6	9,1	9,8	5,97	5,29
P17	23,5	25,7	6,23	6,33	7,9	8,9	4,08	4,92
P18	23,8	25,6	6,1	6,5	8,5	8,7	4,99	5,27
P19	23,9	25,8	6,3	6,5	8,1	8,3	4,29	4,97
P20	23,7	25,7	6,24	6,32	8,1	9,8	3,99	4,99

TABELA 1.2 - ANÁLISES GEOQUÍMICAS PARA ÁGUA								
Pontos	Ferro (Fe)		Cádmio (Cd)		Cobre (Cu)		Manganês (Mn)	
	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa
P1	3,347	2,234	0,0008	0,0008	0,0033	0,0033	0,0029	0,0032
P2	0,1417	0,1278	0,0008	0,0009	0,0035	0,0036	0,0029	0,0032
P3	17,01	15,785	0,0012	0,001	0,0033	0,0033	0,0029	0,0032
P4	0,1278	0,989	0,0008	0,0008	0,0034	0,0035	0,0029	0,0032
P5	1,384	1,125	0,0008	0,0008	0,0033	0,0033	0,0119	0,0125
P6	0,3514	0,3121	0,0008	0,0008	0,0033	0,0033	0,0029	0,0032
P7	0,2139	0,154	0,0011	0,001	0,0033	0,0033	0,0029	0,0032
P8	0,1844	0,2113	0,001	0,0008	0,0033	0,0033	0,0029	0,0032
P9	0,3771	0,313	0,0008	0,0008	0,0033	0,0033	0,0029	0,0032
P10	28,312	25,35	0,0008	0,0008	0,0033	0,0033	0,0102	0,0103
P11	0,2324	0,198	0,0008	0,0008	0,0033	0,0033	0,0029	0,0032
P12	3,602	2,234	0,0008	0,0008	0,0033	0,0033	0,0029	0,0032
P13	2,886	2,345	0,0008	0,0008	0,0033	0,0033	0,0029	0,0032
P14	0,0466	0,001	0,0008	0,0008	0,0033	0,0033	0,0029	0,0032
P15	0,5233	0,4267	0,0008	0,0008	0,0033	0,0033	0,0043	0,0049
P16	0,2188	0,198	0,0008	0,0008	0,0033	0,0033	0,0029	0,0032
P17	0,2042	0,187	0,0008	0,0008	0,0033	0,0033	0,0029	0,0032
P18	2,579	2,231	0,0008	0,0008	0,0033	0,0033	0,0029	0,0032
P19	2,755	2,256	0,0008	0,0008	0,0033	0,0033	0,0029	0,0032
P20	2,189	1,589	0,0008	0,0008	0,0033	0,0034	0,09	0,1

TABELA 1.2 - ANÁLISES GEOQUÍMICAS PARA ÁGUA								
Pontos	Alumínio (Al)		Níquel (Ni)		Zinco (Zn)		Cromo	
	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa
P1	0,4688	0,4999	0,0171	0,0174	<0,0003	<0,0003	0	0
P2	0,0003	0,0004	0,0171	0,0174	<0,0003	<0,0003	0,04	0,05
P3	2,789	2,899	0,0171	0,0174	<0,0003	<0,0003	0,03	0,03
P4	0,0003	0,0004	0,0171	0,0174	<0,0003	<0,0003	0	0
P5	0,0789	0,0995	0,0171	0,0174	<0,0003	<0,0003	0	0
P6	0,0133	0,0236	0,0171	0,0174	<0,0003	<0,0003	0	0
P7	0,0003	0,0004	0,0171	0,0174	<0,0003	<0,0003	0	0
P8	0,0003	0,0004	0,0171	0,0174	<0,0003	<0,0003	0	0
P9	0,0003	0,0004	0,0171	0,0174	<0,0003	<0,0003	0	0
P10	1,248	1,389	0,0171	0,0174	<0,0003	<0,0003	0	0
P11	0,0003	0,0004	0,0171	0,0174	<0,0003	<0,0003	0,004	0,0012
P12	0,0003	0,0004	0,0171	0,0174	<0,0003	<0,0003	0	0
P13	0,0172	0,0184	0,0171	0,0174	<0,0003	<0,0003	0	0
P14	0,0003	0,0004	0,0171	0,0174	<0,0003	<0,0003	0	0
P15	0,0003	0,0004	0,0171	0,0174	<0,0003	<0,0003	0	0
P16	0,0003	0,0004	0,0171	0,0174	<0,0003	<0,0003	0	0
P17	0,0003	0,0004	0,0171	0,0174	<0,0003	<0,0003	0	0
P18	0,0003	0,0004	0,0171	0,0174	<0,0003	<0,0003	0	0
P19	0,1	0,2	0,0171	0,0174	<0,0003	<0,0003	0	0
P20	0,0003	0,0004	0,0171	0,0174	<0,0003	<0,0003	0	0

TABELA 1.3 - ANÁLISES GEOQUÍMICAS PARA SEDIMENTOS

Pontos	Cobre (Cu)		Cádmio (Cd)		Cromo (Cr)		Níquel (Ni)		Chumbo (Pb)		Zinco (Zn)	
	Est.	Est.	Est.	Est.	Est.	Est.	Est.	Est.	Est.	Est.	Est.	
	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca
P1	0,068	0,051	1,221	1,126	0,1539	0,1858	0,055	0,051	0,083	0,081	0,2368	0,2125
P2	10,08	10	0,41	0,38	64	63,25	12,02	12	20,38	20,25	9,87	9,5
P3	6,21	6,13	1,01	1	49,01	38,75	6,35	6	11,16	11,13	6,77	6,68
P4	6,73	6,63	0,002	0	28,69	28,63	11,98	11,88	25,99	25,75	9,88	9,38
P5	4,79	4,63	0,001	0	16,58	16,38	2,55	2,38	9,58	9,38	4,81	4,75
P6	11,28	11	0,001	0	17,99	17,38	8,98	8,75	12,18	12,13	9,49	9,38
P7	9,18	9,13	0,29	0,25	15,77	15,63	6,77	6,63	12,19	12,13	9,48	9,38
P8	11,81	11,25	0	0	18,89	18,75	9,68	9,38	16,98	16,88	13,08	13
P9	11,01	10,5	0	0	20,77	20,5	9,66	9,63	14,01	14	12,7	12,63
P10	10,99	10,63	0,01	0	14,18	14	5,78	5,63	12,39	12,38	10,5	10,38
P11	12,87	12,75	0,012	0,012	21,21	21	10,18	10,13	15,59	15,5	11,79	11,75

ANEXO II

TABELA COM COORDENADAS DOS PONTOS AMOSTRADOS

TABELA 2 - COORDENADAS DOS PONTOS AMOSTRADOS

TABELA 2 - COORDENADA UTM DOS PONTOS AMOSTRADO PARA SEDIMENTOS,
ÁGUA E ROCHAS

Pontos	E – ZONE 23K	N
P1	455499	8025463
P2	456816	8027867
P3	456788	8029331
P4	455433	8031186
P5	459132	8031225
P6	458641	8031016
P7	462134	8034918
P8	462294	8041126
P9	465893	8044373
P10	470901	8046381
P11	468090	8050309
P12	469041	8054919
P13	471335	8051575
P14	474943	8057666
P15	481671	8057030
P16	485614	8057144
P17	490869	8064618
P18	495869	8073873
P19	494607	8072220
P20	496388	8070233

ANEXO III

Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA
RESOLUÇÃO Nº 357/2005



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA

RESOLUÇÃO Nº 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005

Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

O **CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA**, no uso das competências que lhe são conferidas pelos arts. 6º, inciso II e 8º, inciso VII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto nº 99.274, de 6 de junho de 1990 e suas alterações, tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno, e

Considerando a vigência da Resolução CONAMA nº 274, de 29 de novembro de 2000, que dispõe sobre a balneabilidade;

Considerando o art. 9º, inciso I, da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional dos Recursos Hídricos, e demais normas aplicáveis à matéria;

Considerando que a água integra as preocupações do desenvolvimento sustentável, baseado nos princípios da função ecológica da propriedade, da prevenção, da precaução, do poluidor-pagador, do usuário-pagador e da integração, bem como no reconhecimento de valor intrínseco à natureza;

Considerando que a Constituição Federal e a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, visam controlar o lançamento no meio ambiente de poluentes, proibindo o lançamento em níveis nocivos ou perigosos para os seres humanos e outras formas de vida;

Considerando que o enquadramento expressa metas finais a serem alcançadas, podendo ser fixadas metas progressivas intermediárias, obrigatórias, visando a sua efetivação;

Considerando os termos da Convenção de Estocolmo, que trata dos Poluentes Orgânicos Persistentes-POPs, ratificada pelo Decreto Legislativo nº 204, de 7 de maio de 2004;

Considerando ser a classificação das águas doces, salobras e salinas essencial à defesa de seus níveis de qualidade, avaliados por condições e padrões específicos, de modo a assegurar seus usos preponderantes;

Considerando que o enquadramento dos corpos de água deve estar baseado não necessariamente no seu estado atual, mas nos níveis de qualidade que deveriam possuir para atender às necessidades da comunidade;

Considerando que a saúde e o bem-estar humano, bem como o equilíbrio ecológico aquático, não devem ser afetados pela deterioração da qualidade das águas;

Considerando a necessidade de se criar instrumentos para avaliar a evolução da qualidade das águas, em relação às classes estabelecidas no enquadramento, de forma a facilitar a fixação e controle de metas visando atingir gradativamente os objetivos propostos;

Considerando a necessidade de se reformular a classificação existente, para melhor distribuir os usos das águas, melhor especificar as condições e padrões de qualidade requeridos, sem prejuízo de posterior aperfeiçoamento; e

Considerando que o controle da poluição está diretamente relacionado com a proteção da saúde, garantia do meio ambiente ecologicamente equilibrado e a melhoria da qualidade de vida, levando em conta os usos prioritários e classes de qualidade ambiental exigidos para um determinado corpo de água; resolve:

CAPÍTULO II

DA CLASSIFICAÇÃO DOS CORPOS DE ÁGUA

Art.3º As águas doces, salobras e salinas do Território Nacional são classificadas, segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes, em treze classes de qualidade.

Parágrafo único. As águas de melhor qualidade podem ser aproveitadas em uso menos exigente, desde que este não prejudique a qualidade da água, atendidos outros requisitos pertinentes.

Seção I
Das Águas Doces

Art. 4º As águas doces são classificadas em:

I - classe especial: águas destinadas:

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

II - classe 1: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;
- d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e
- e) à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

III - classe 2: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;
- d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e
- e) à aqüicultura e à atividade de pesca.

IV - classe 3: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;
- b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
- c) à pesca amadora;
- d) à recreação de contato secundário; e
- e) à dessedentação de animais.

V - classe 4: águas que podem ser destinadas:

- a) à navegação; e
- b) à harmonia paisagística.

CAPÍTULO III
DAS CONDIÇÕES E PADRÕES DE QUALIDADE DAS ÁGUAS

Seção I

Das Disposições Gerais

Art. 7º Os padrões de qualidade das águas determinados nesta Resolução estabelecem limites individuais para cada substância em cada classe.

Parágrafo único. Eventuais interações entre substâncias, especificadas ou não nesta Resolução, não poderão conferir às águas características capazes de causar efeitos letais ou alteração de comportamento, reprodução ou fisiologia da vida, bem como de restringir os usos preponderantes previstos, ressalvado o disposto no § 3º do art. 34, desta Resolução.

Art. 8º O conjunto de parâmetros de qualidade de água selecionado para subsidiar a proposta de enquadramento deverá ser monitorado periodicamente pelo Poder Público.

§ 1º Também deverão ser monitorados os parâmetros para os quais haja suspeita da sua presença ou não conformidade.

§ 2º Os resultados do monitoramento deverão ser analisados estatisticamente e as incertezas de medição consideradas.

§ 3º A qualidade dos ambientes aquáticos poderá ser avaliada por indicadores biológicos, quando apropriado, utilizando-se organismos e/ou comunidades aquáticas.

§ 4º As possíveis interações entre as substâncias e a presença de contaminantes não listados nesta Resolução, passíveis de causar danos aos seres vivos, deverão ser investigadas utilizando-se ensaios ecotoxicológicos, toxicológicos, ou outros métodos cientificamente reconhecidos.

§ 5º Na hipótese dos estudos referidos no parágrafo anterior tornarem-se necessários em decorrência da atuação de empreendedores identificados, as despesas da investigação correrão as suas expensas.

§ 6º Para corpos de água salobras continentais, onde a salinidade não se dê por influência direta marinha, os valores dos grupos químicos de nitrogênio e fósforo serão os estabelecidos nas classes correspondentes de água doce.

Art. 9º A análise e avaliação dos valores dos parâmetros de qualidade de água de que trata esta Resolução serão realizadas pelo Poder Público, podendo ser utilizado laboratório próprio, conveniado ou contratado, que deverá adotar os procedimentos de controle de qualidade analítica necessários ao atendimento das condições exigíveis.

§ 1º Os laboratórios dos órgãos competentes deverão estruturar-se para atenderem ao disposto nesta Resolução.

§ 2º Nos casos onde a metodologia analítica disponível for insuficiente para quantificar as concentrações dessas substâncias nas águas, os sedimentos e/ou biota aquática poderão ser investigados quanto à presença eventual dessas substâncias.

Art. 10. Os valores máximos estabelecidos para os parâmetros relacionados em cada uma das classes de enquadramento deverão ser obedecidos nas condições de vazão de referência.

§ 1º Os limites de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), estabelecidos para as águas doces de classes 2 e 3, poderão ser elevados, caso o estudo da capacidade de autodepuração do corpo receptor demonstre que as concentrações mínimas de oxigênio dissolvido (OD) previstas não serão desobedecidas, nas condições de vazão de referência, com exceção da zona de mistura.

§ 2º Os valores máximos admissíveis dos parâmetros relativos às formas químicas de nitrogênio e fósforo, nas condições de vazão de referência, poderão ser alterados em decorrência de condições naturais, ou quando estudos ambientais específicos, que considerem também a poluição difusa, comprovem que esses novos limites não acarretarão prejuízos para os usos previstos no enquadramento do corpo de água.

§ 3º Para águas doces de classes 1 e 2, quando o nitrogênio for fator limitante para eutrofização, nas condições estabelecidas pelo órgão ambiental competente, o valor de nitrogênio total (após oxidação) não deverá ultrapassar 1,27 mg/L para ambientes lênticos e 2,18 mg/L para ambientes lóticos, na vazão de referência.

§ 4º O disposto nos §§ 2º e 3º não se aplica às baías de águas salinas ou salobras, ou outros corpos de água em que não seja aplicável a vazão de referência, para os quais deverão ser elaborados estudos específicos sobre a dispersão e assimilação de poluentes no meio hídrico.

Art. 11. O Poder Público poderá, a qualquer momento, acrescentar outras condições e padrões de qualidade, para um determinado corpo de água, ou torná-los mais restritivos, tendo em vista as condições locais, mediante fundamentação técnica.

Art. 12. O Poder Público poderá estabelecer restrições e medidas adicionais, de caráter excepcional e temporário, quando a vazão do corpo de água estiver abaixo da vazão de referência.

Art. 13. Nas águas de classe especial deverão ser mantidas as condições naturais do corpo de água.

TABELA II - CLASSE 1 - ÁGUAS DOCES	
PADRÕES PARA CORPOS DE ÁGUA ONDE HAJA PESCA OU CULTIVO DE ORGANISMOS PARA FINS DE CONSUMO INTENSIVO	
PARÂMETROS INORGÂNICOS	VALOR MÁXIMO
Arsênio total	0,14 µg/L As
PARÂMETROS ORGÂNICOS	VALOR MÁXIMO
Benzidina	0,0002 µg/L
Benzo(a)antraceno	0,018 µg/L
Benzo(a)pireno	0,018 µg/L
Benzo(b)fluoranteno	0,018 µg/L
Benzo(k)fluoranteno	0,018 µg/L
Criseno	0,018 µg/L
Dibenzo(a,h)antraceno	0,018 µg/L
3,3-Diclorobenzidina	0,028 µg/L
Heptacloro epóxido + Heptacloro	0,000039 µg/L
Hexaclorobenzeno	0,00029 µg/L
Indeno(1,2,3-cd)pireno	0,018 µg/L
PCBs - Bifenilas policloradas	0,000064 µg/L
Pentaclorofenol	3,0 µg/L
Tetracloroeto de carbono	1,6 µg/L
Tetracloroeteno	3,3 µg/L
Toxafeno	0,00028 µg/L
2,4,6-triclorofenol	2,4 µg/L

Art 15. Aplicam-se às águas doces de classe 2 as condições e padrões da classe 1 previstos no artigo anterior, à exceção do seguinte:

I - não será permitida a presença de corantes provenientes de fontes antrópicas que não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencionais;

II - coliformes termotolerantes: para uso de recreação de contato primário deverá ser obedecida a Resolução CONAMA nº 274, de 2000. Para os demais usos, não deverá ser excedido um limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 (seis) amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. A *E. coli* poderá ser

determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente;

III - cor verdadeira: até 75 mg Pt/L;

IV - turbidez: até 100 UNT;

V - DBO 5 dias a 20°C até 5 mg/L O₂;

VI - OD, em qualquer amostra, não inferior a 5 mg/L O₂;

VII - clorofila *a*: até 30 µg/L;

VIII - densidade de cianobactérias: até 50000 cel/mL ou 5 mm³/L; e,

IX - fósforo total:

a) até 0,030 mg/L, em ambientes lênticos; e,

b) até 0,050 mg/L, em ambientes intermediários, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lêntico.

ANEXO IV

Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA

RESOLUÇÃO Nº 344/2004



Ministério do Meio Ambiente
Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA

Resolução nº 344, de 25 de março de 2004

Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras, e dá outras providências.

Publicada no DOU de 07/05/04

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA, no uso de suas competências previstas na Lei n o 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto n o 99.274, de 6 de julho de 1990, e tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno, anexo à Portaria n o 499, de 18 de dezembro de 2002, e

Considerando o disposto na Convenção sobre Prevenção da Poluição Marinha por Alijamento de Resíduos e Outras Matérias (Convenção de Londres - LC/72), promulgada pelo Decreto n o 87.566, de 16 de setembro de 1982, e suas alterações, que prevê em seu art. 2 o que as partes contratantes adotarão, segundo suas possibilidades científicas, técnicas e econômicas, medidas eficazes, individual e coletivamente, para impedir a contaminação do mar causado pelo alijamento de resíduos;

Considerando o disposto no art. 30 da Lei n o 9.966, de 28 de abril de 2000, que estabelece que o alijamento de resíduos e outras matérias em águas sob jurisdição nacional deverá obedecer às condições previstas na Convenção de Londres promulgada pelo Decreto n o 87.566, de 1982, e suas alterações;

Considerando a necessidade da realização de atividades de dragagem para garantir a implantação e a operação de portos e terminais portuários, e as condições de navegabilidade de corpos hídricos;

Considerando que a atividade de dragagem sujeita-se a licenciamento ambiental, nos termos da Resolução CONAMA n o 237, de 12 de dezembro de 1997, e, quando couber, da Resolução CONAMA n o 001, de 23 de janeiro de 1986, com base em estudos ambientais e obrigatoriedade de monitoramento da atividade;

Considerando a necessidade de subsidiar e harmonizar a atuação dos órgãos ambientais competentes, no que se refere ao processo de licenciamento ambiental das atividades de dragagem, resolve:

Art. 1º Estabelecer as diretrizes gerais e procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado visando ao gerenciamento de sua disposição em águas jurisdicionais brasileiras.

§ 1º Para efeito de classificação do material a ser dragado para disposição em terra, o mesmo deverá ser comparado aos valores orientadores estabelecidos para solos pela norma da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental-CETESB, "Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo", publicado no Diário Oficial da União; Empresarial; São Paulo, 111 (203), sexta-feira, 26 de outubro de 2001, até que sejam estabelecidos os valores orientadores nacionais pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA;

§ 2º Caso o material a ser dragado não atenda aos valores ferenciados no § 1º, deverão ser selecionadas alternativas de disposição autorizadas pelo órgão ambiental competente.

Art. 2º Para efeito desta Resolução são adotadas as seguintes definições:

I - material dragado: material retirado ou deslocado do leito dos corpos d'água decorrente da atividade de dragagem, desde que esse material não constitua bem mineral;

II - órgão ambiental competente: órgão ambiental de proteção e controle ambiental do poder executivo federal, estadual ou municipal, integrante do Sistema Nacional do Meio Ambiente-SISNAMA, responsável pelo licenciamento ambiental, no âmbito de suas competências;

III - disposição final do material dragado: local onde serão colocados os materiais resultantes das atividades de dragagem, onde possam permanecer por tempo indeterminado, em seu estado natural ou transformado em material adequado a essa permanência, de forma a não prejudicar a segurança da navegação, não causar danos ao meio ambiente ou à saúde humana;

IV - águas jurisdicionais brasileiras:

a) águas interiores:

1. águas compreendidas entre a costa e a linha de base reta, a partir de onde se mede o mar territorial;

2. águas dos portos;

3. águas das baías;

4. águas dos rios e de suas desembocaduras;

5. águas dos lagos, das lagoas e dos canais;

6. águas entre os baixios a descoberto e a costa;

b) águas marítimas:

1. águas abrangidas por uma faixa de doze milhas marítimas de largura, medidas a partir da linha de base reta e da linha de baixamar, tal como indicada nas cartas náuticas de grande escala, que constituem o mar territorial;

2. águas abrangidas por uma faixa que se estende das doze às duzentas milhas marítimas, contadas a partir das linhas de base que servem para medir o mar territorial, que constituem a zona econômica exclusiva; e

3. águas sobrejacentes à plataforma continental, quando esta ultrapassar os limites da zona econômica exclusiva.

V - eutrofização: processo natural de enriquecimento por nitrogênio e fósforo em lagos, represas, rios ou estuários e, conseqüentemente, da produção orgânica; nos casos onde houver impactos ambientais decorrentes de processos antrópicos, há uma aceleração significativa do processo natural, com prejuízos à beleza cênica, à qualidade ambiental e à biota aquática.

Art. 3º Para efeito de classificação do material a ser dragado, são definidos critérios de qualidade, a partir de dois níveis, conforme procedimentos estabelecidos no Anexo desta Resolução:

I - nível 1: limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos à biota.

II - nível 2: limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso à biota.

§ 1º Os critérios de qualidade fundamentam-se na comparação dos resultados da caracterização do material a ser dragado, com os valores orientadores previstos na TABELA III do Anexo desta Resolução, a fim de orientar o gerenciamento da disposição do material dragado no procedimento de licenciamento ambiental.

§ 2º É dispensado de classificação prévia o material oriundo de dragagens realizadas para atendimento a casos de emergência ou calamidade pública, decretadas oficialmente.

§ 3º É dispensado de classificação para disposição em águas marítimas, o material a ser dragado no mar, em estuários e em baías com volume dragado igual ou inferior a 100.000 m³, desde que todas as amostras coletadas apresentem porcentagem de areia igual ou superior a 90%.

§ 4º É dispensado de classificação para disposição em águas jurisdicionais brasileiras, o material a ser dragado em rios ou em lagoas com volume dragado igual ou inferior a 10.000 m³, desde que todas as amostras coletadas apresentem porcentagem de areia igual ou superior a 90%.

Art. 4º Para subsidiar o acompanhamento do processo de eutrofização em áreas de disposição sujeitas a esse processo, a caracterização do material a ser dragado deve incluir as determinações de carbono orgânico e nutrientes previstas na TABELA IV do Anexo desta Resolução.

Parágrafo único. Os valores de referência da TABELA IV não serão utilizados para classificação do material a ser dragado, mas tão somente como fator contribuinte para o gerenciamento da área de disposição.

Art. 5º Para a classificação do material a ser dragado, os dados obtidos na amostragem de sedimentos deverão ser apresentados em forma de tabelas, com os dados brutos e sua interpretação, sendo que as amostras de cada estação deverão ser analisadas individualmente e coletadas em quantidade suficiente para efeito de contraprova, cujas análises serão realizadas a critério do órgão ambiental competente.

I - as estações de coleta deverão ser identificadas e georeferenciadas por sistema de coordenadas geográficas, especificando o sistema geodésico de referência.

II - as metodologias empregadas na coleta de amostras de sedimentos deverão ser propostas pelo empreendedor e aprovadas pelo órgão ambiental competente.

III - as análises químicas deverão contemplar rastreabilidade analítica, validação e consistência analítica dos dados, cartas controle, (elaboradas com faixas de concentração significativamente próximas daquelas esperadas nas matrizes sólidas), e ensaios com amostras de sedimento certificadas, a fim de comprovar a exatidão dos resultados por meio de ensaios paralelos.

IV - as amostras certificadas que não contenham os analitos de interesse (por exemplo, compostos orgânicos), os ensaios deverão ser realizados por adição padrão ou adição de reforço ("spike"), de maneira que fique garantido um grau de recuperação aceitável para determinação desses compostos na matriz. Os limites de detecção praticados deverão ser inferiores ao nível 1, da TABELA III do Anexo a esta Resolução, para cada composto estudado.

V - a metodologia analítica para a extração dos metais das amostras consistirá em ataque com ácido nítrico concentrado e aquecimento por microondas, ou metodologia similar a ser estabelecida pelo órgão ambiental competente.

Parágrafo único. O órgão ambiental competente estabelecerá previamente a metodologia de preservação das contraprovas.

Art. 6º As análises físicas, químicas e biológicas previstas nesta Resolução deverão ser realizadas em laboratórios que possuam esses processos de análises credenciados pelo Instituto Nacional de Metrologia-INMETRO, ou em laboratório qualificados ou aceitos pelo órgão ambiental competente licenciador.

Parágrafo único. Os laboratórios deverão ter sistema de controle de qualidade analítica implementado, observados os procedimentos estabelecidos nesta Resolução.

Art. 7º O material a ser dragado poderá ser disposto em águas jurisdicionais brasileiras, de acordo com os seguintes critérios a serem observados no processo de licenciamento ambiental:

I - não necessitará de estudos complementares para sua caracterização:

a) material composto por areia grossa, cascalho ou seixo em fração igual ou superior a 50%, ou

b) material cuja concentração de poluentes for menor ou igual ao nível 1, ou

c) material cuja concentração de metais, exceto mercúrio, cádmio, chumbo ou arsênio, estiver entre os níveis 1 e 2, ou

d) material cuja concentração de Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos-PAHs do Grupo B estiver entre os níveis 1 e 2 e a somatória das concentrações de todos os PAHs estiver abaixo do valor correspondente a soma de PAHs.

II - o material cuja concentração de qualquer dos poluentes exceda o nível 2 somente poderá ser disposto mediante prévia comprovação técnico-científica e monitoramento do processo e da área de disposição, de modo que a biota desta área não sofra efeitos adversos superiores àqueles esperados para o nível 1, não sendo aceitas técnicas que considerem, como princípio de disposição, a diluição ou a difusão dos sedimentos do material dragado.

III - o material cuja concentração de mercúrio, cádmio, chumbo ou arsênio, ou de PAHs do Grupo A estiver entre os níveis 1 e 2, ou se a somatória das concentrações de todos os PAHs estiver acima do valor correspondente a soma de PAHs, deverá ser submetido a ensaios ecotoxicológicos, entre outros testes que venham a ser exigidos pelo órgão ambiental competente ou propostos pelo empreendedor, de modo a enquadrá-lo nos critérios previstos nos incisos I e II deste artigo.

Art. 8º Os autores de estudos e laudos técnicos são considerados peritos para fins do artigo 342, caput, do Decreto-Lei no 2.848, de 7 de dezembro de 1940 - Código Penal.

Art. 9º Esta Resolução será revisada em até cinco anos, contados a partir da data de publicação esta Resolução, objetivando o estabelecimento de valores orientadores nacionais para a classificação do material a ser dragado.

Art. 10. O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis-IBAMA deverá normatizar a forma de apresentação dos dados gerados para classificação do material dragado, monitoramento das áreas de dragagem e de disposição, de modo que os dados gerados pelos órgãos ambientais competentes sejam comparados, quando da revisão desta Resolução.

Art 11. Aplicam-se as disposições do art. 19 da Resolução CONAMA no 237, de 1997 às licenças ambientais em vigor, devendo a eventual renovação obedecer integralmente ao disposto nesta Resolução.

Art 12. O enquadramento dos laboratórios aos aspectos técnicos relacionados aos incisos III e IV do art. 5º desta Resolução, dar-se-á no período transitório de até dois anos, contados a partir da publicação desta Resolução.

Art. 13. A caracterização ecotoxicológica prevista no inciso III do art. 7, desta Resolução poderá, sem prejuízo das outras exigências e condições previstas nesta Resolução e nas demais normas aplicáveis, ser dispensada pelos órgãos ambientais competentes, por período improrrogável de até dois anos, contados a partir da publicação desta Resolução, permitindo-se a disposição deste material em águas jurisdicionais brasileiras, desde que cumpridas as seguintes condições:

I - o local de disposição seja monitorado de forma a verificar a existência de danos à biota advindos de poluentes presentes no material disposto, segundo procedimentos estabelecidos pelo órgão ambiental competente, com apresentação de relatórios periódicos;

II - o local de disposição tenha recebido, nos últimos três anos, volume igual ou superior de material dragado de mesma origem e com características físicas e químicas equivalentes, resultante de dragagens periódicas, e que a disposição do material dragado não tenha produzido evidências de impactos significativos por poluentes ao meio ambiente no local de disposição.

Art 14. Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

MARINA SILVA

PRESIDENTE DO CONAMA

ANEXO

1 - COLETA DE AMOSTRAS DE SEDIMENTO

Consiste em caracterizar a seção horizontal e vertical da área de dragagem, a partir de coleta de amostras de sedimentos que representem os materiais a serem dragados.

A distribuição espacial das amostras de sedimento deve ser representativa da dimensão da área e do volume a ser dragado. As profundidades das coletas das amostras devem ser representativas do perfil (cota) a ser dragado.

A TABELA I fornece o número de estações de coleta a serem estabelecidas.

TABELA I

NÚMERO MÍNIMO DE AMOSTRAS PARA A CARACTERIZAÇÃO DE SEDIMENTOS*

VOLUME A SER DRAGADO (m ³)	NÚMERO DE AMOSTRAS **
Até 25.000	3
Entre 25.000 e 100.000	4 a 6
Entre 100.000 e 500.000	7 a 15
Entre 500.000 e 2.000.000	16 a 30
Acima de 2.000.000	10 extras por 1 milhão de m ³

* Referência: The Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic ("OSPAR Convention") was opened for signature at the Ministerial Meeting of the Oslo and Paris Commissions in Paris on 22 September 1992. * O número de amostras poderá variar em função das características ambientais da área a ser dragada; esse número será determinado pelo órgão ambiental competente licenciador.

A TABELA I não se aplica para rios e hidrovias, nos quais as estações deverão ser dispostas a uma distância máxima de quinhentos metros entre si nos trechos a serem dragados, medida no sentido longitudinal, independentemente do volume a ser dragado.

2 - ANÁLISES LABORATORIAIS

O programa de investigação laboratorial (ensaios) do material a ser dragado deverá ser desenvolvido em três etapas, a saber:

1 a ETAPA - CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

As características físicas básicas incluem a quantidade de material a ser dragado, a distribuição granulométrica e o peso específico dos sólidos.

TABELA II - CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS SEDIMENTOS*

CLASSIFICAÇÃO	Phi (ϕ)**	(mm)
Areia muito grossa	-1 a 0	2 a 1
Areia grossa	0 a 1	1 a 0,5
Areia média	1 a 2	0,5 a 0,25
Areia fina	2 a 3	0,25 a 0,125
Areia muito fina	3 a 4	0,125 a 0,062
Silte	4 a 8	0,062 a 0,00394
Argila	8 a 12	0,00394 a 0,0002

* Referência: Escala Granulométrica de Wentworth, 1922. ** Phi () corresponde à unidade de medida do diâmetro da partícula do sedimento, cuja equivalência em milímetros (mm) é apresentada na coluna 3 da TABELA II.

2ª ETAPA - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA

A caracterização química deve determinar as concentrações de poluentes no sedimento, na fração total. O detalhamento dar-se-á de acordo com as fontes de poluição preexistentes na área do empreendimento e será determinado pelo órgão ambiental competente, de acordo com os níveis de classificação do material a ser dragado, previstos na TABELA III.

As substâncias não listadas na referida tabela, quando necessária a sua investigação, terão seus valores orientadores previamente estabelecidos pelo órgão ambiental competente.

Existindo dados sobre valores basais (valores naturais reconhecidos pelo órgão ambiental competente) de uma determinada região, estes deverão prevalecer sobre os valores da TABELA III sempre que se apresentarem mais elevados.

TABELA III - NÍVEIS DE CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL A SER DRAGADO

POLUENTES		NÍVEIS DE CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL A SER DRAGADO (em unidade de material seco)				
		ÁGUA DOCE		ÁGUA SALINA SALOBRA		
		NÍVEL 1	NÍVEL 2	NÍVEL 3	NÍVEL 4	
Metais Pesados e Arsênio (mg/kg)	Arsênio (As)	5,9 ¹	17 ¹	8,2 ²	70 ²	
	Cádmio (Cd)	0,6 ¹	3,5 ¹	1,2 ²	9,6 ²	
	Chumbo (Pb)	35 ¹	91,3 ¹	46,7 ²	218 ²	
	Cobre (Cu)	35,7 ¹	197 ¹	34 ²	270 ²	
	Cromo (Cr)	37,3 ¹	90 ¹	81 ²	370 ²	
	Mercúrio (Hg)	0,17 ¹	0,486 ¹	0,15 ²	0,71 ²	
	Níquel (Ni)	18 ³	35,9 ³	20,9 ²	51,6 ²	
Zinco (Zn)	123 ¹	315 ¹	150 ²	410 ²		
Pesticidas organo-clorados (µg/kg)	BHC (Alfa-BHC)	--	--	0,32 ³	0,99 ³	
	BHC (Beta-BHC)	--	--	0,32 ³	0,99 ³	
	BHC (Delta-BHC)	--	--	0,32 ³	0,99 ³	
	BHC (Gama-BHC/Lindano)	0,94 ¹	1,38 ¹	0,32 ³	0,99 ³	
	Clordano (Alfa)	--	--	2,26 ³	4,79 ³	
	Clordano (Gama)	--	--	2,26 ³	4,79 ³	
	DDD	3,54 ¹	8,51 ¹	1,22 ¹	7,81 ¹	
	DDE	1,42 ¹	6,75 ¹	2,07 ¹	374 ¹	
	DDT	1,19 ¹	4,77 ¹	1,19 ¹	4,77 ¹	
Endrin		2,85 ¹	6,67 ¹	0,71 ¹	4,3 ¹	
		2,67 ¹	62,4 ¹	2,67 ¹	62,4 ¹	
PCBs (µg/kg)	Bifenilas Policloradas - Totais		34,1 ¹	277 ¹	22,7 ²	180 ²
Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos PAHs (µg/kg)	GRUPO A	Benzo(a)antraceno	31,7 ¹	385 ¹	74,8 ¹	693 ¹
		Benzo(a)pireno	31,9 ¹	782 ¹	88,8 ¹	763 ¹
		Criseno	57,1 ¹	862 ¹	108 ¹	846 ¹
		Dibenzo(a,b)antraceno	622 ¹	135 ¹	6,22 ¹	135 ¹
	GRUPO B	Acenoleno	6,71 ¹	88,9 ¹	16 ²	500 ²
		Acenafieno	5,87 ¹	128 ¹	44 ²	640 ²
		Antraceno	46,9 ¹	245 ¹	85,3 ²	1100 ²
		Fenantreno	41,9 ¹	515 ¹	240 ²	1500 ²
		Fluoranteno	111 ¹	2355 ¹	600 ²	5100 ²
		Fluoreno	21,2 ¹	144 ¹	19 ²	540 ²
		2-Metilnftaleno	20,2 ¹	201 ¹	70 ¹	670 ¹
		Nftaleno	34,6 ¹	391 ¹	160 ²	2100 ²
		Pireno	53 ¹	875 ¹	665 ²	2600 ²
		Soma# de PAHs		1000		3000

considerando os 13 compostos avaliados.

Os valores orientadores, adotados na TABELA III, têm como referência as seguintes publicações oficiais canadenses e norte-americanas:

1 ENVIRONMENTAL CANADA. Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. Canadian Environmental Quality Guidelines - Summary Tables, atualizado em 2002.

2 Long, E.R., MacDonald, D.D., Smith, S.L. & Calder F.D. (1995). Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management* 19 (1): 81-97.

3 FDEP (1994). Approach to the Assessment of Sediment Quality in Florida Coastal Waters. Vol. I. Development and Evaluation of Sediment Quality Assessment Guidelines. Prepared for Florida Department of Environmental Protection - FDEP, Office of Water Policy, Tallahassee, FL, by MacDonald Environmental Sciences Ltd., Ladysmith, British Columbia. 1994.

Quando da caracterização química, devem ser realizadas, ainda, determinações de carbono orgânico total (COT), nitrogênio Kjeldahl total e fósforo total do material a ser dragado, para subsidiar o gerenciamento na área de disposição.

TABELA IV - VALORES ORIENTADORES PARA CARBONO ORGÂNICO TOTAL E NUTRIENTES

Parâmetros	VALOR ALERTA
CARBONO ORGÂNICO TOTAL (%)	10
NITROGÊNIO KJELDAHL TOTAL (mg/kg)	4.800
FÓSFORO TOTAL (mg/kg)	2.000

VALOR ALERTA - valor acima do qual representa possibilidade de causar prejuízos ao ambiente na área de disposição. A critério do órgão ambiental competente, o COT poderá ser substituído pelo teor de matéria orgânica. Ficam excluídos de comparação com a presente caracterização, os valores oriundos de ambientes naturalmente enriquecidos por matéria orgânica e nutrientes, como manguezais. 3 a ETAPA - CARACTERIZAÇÃO ECOTOXICOLÓGICA

A caracterização ecotoxicológica deve ser realizada em complementação à caracterização física e química, com a finalidade de avaliar os impactos potenciais à vida aquática, no local proposto para a disposição do material dragado.

Os ensaios e os tipos de amostras (sedimentos totais, ou suas frações - elutriato, água intersticial, interface água-sedimento) a serem analisadas serão determinados pelo órgão ambiental competente.

Para a interpretação dos resultados, os ensaios ecotoxicológicos deverão ser acompanhados da determinação de nitrogênio amoniacal, na fração aquosa, e correspondente concentração de amônia não ionizada, bem como dos dados referentes ao pH, temperatura, salinidade e oxigênio dissolvido.

Os resultados analíticos deverão ser encaminhados juntamente com a carta controle atualizada da sensibilidade dos organismos-teste. Também deverá ser enviado o resultado do teste com substância de referência, realizada na época dos ensaios com as amostras de sedimento.

ANEXO V

TABELA COM CONDIÇÕES DE OPERALIZAÇÃO DO APARELHO – ICP-OES

TABELA 5.1 - CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO APARELHO - VARIAN TECHTRON

TABELA 5.2 - CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO APARELHO - SEPECTRO FLAME -
SPECTRO

TABELA 5.1 - CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO APARELHO VARIAN – TECHTRON - AA 875

Elemento	λ (Å)	Faixa de Trabalho (ppm)	Limite de detecção (ppm)
Al	3 093	40 - 200	0,04
Cd	2 288	0,5 - 2	0,0006
Cr	3 579	2 - 8	0,005
Cu	3 247	2 - 8	0,003
Zn	2 136	0,4 – 1,6	0,002
Ni	2 320	3 - 12	0,008
Pb	2 170	5 - 20	0,02
Fe	2 483	2,5 - 10	0,005
Mn	2 795	1 - 4	0,003

Fonte: CPMT/UFMG (2007).

TABELA 5.2 - CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO EQUIPAMENTO SPECTRO FLAME - M 4165/91

Elemento	λ (Å)	Faixa de Trabalho (ppm)	Limite de detecção (ppm)
Al	167,083	1-1200	0,2
Cd	226,502	4-1200	0,8
Cr	284,325	44-1200	8,8
Cu	324,754	3-1200	0,7
Zn	213,856	3-1200	0,6
Ni	352,454	26-1200	5,2
Pb	168,220	16-1200	3,2
Fe	261,187	10-1200	2,1
Mn	257,610	1 - 1200	0,2

Fonte: Geokologische Labormethodem (2006).

ANEXO VI

TABELA COM ANÁLISES GEOQUÍMICAS ELEMENTOS MENORES

TABELA 6.1 – ELEMENTOS MENORES PRESENTES NOS LITOTIPOS



SGS GEOSOL LABORATÓRIOS LTDA.

Rua São Vicente, 255B - Belo Horizonte - MG

Bairro Olhos d'Água - Cep: 30.390-570

Fone: (31) 2122-0022 - Fax: (31) 2122-0023

Quinta-feira, 28 de setembro de 2006

Data rec. : 04 setembro 2006

SGL Report : SG5002-SEP06

Ref. Cliente : Pedido 30/08/06

Tabela 6.1- ELEMENTOS MENORES PRESENTES NOS LITOTIPOS

Sample	Cd (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Mn (%)
Argilitos	<0,01	89	13	2,4	0,22
Arenitos	<0,01	8,288	3.096	0,91	<0,01
Três Marias	<3	42	8.4	2.9	0.15
Mata da Corda	<3	11	<3	0.70	<0,01
Chapadão	<3	28	<3	1.3	<0,01

Sample	Zn	Pb	Al (%)	Mg (%)	Ni (ppm)
Argilitos	32.06	10	>10	0,18	19
Arenitos	54.01	8,9	0,27	<0,01	54
Três Marias	50.01	9.9	5.7	0.31	50
Mata da Corda	0.70	<8	0.36	<0,01	<3
Chapadão	1.3	<8	1.6	<0,01	<3

Fonte: GSQ (2006).

ANEXO VII

TABELAS

TABELA 7.1: USO DOS SOLOS E O TIPO DE COBERTURA VEGETAL ASSOCIADA

TABELA 7.2: CLASSE E FRAGILIDADE DO TIPOS DE SOLOS

TABELA 7.3: CLASSE DE DECLIVIDADE E DE DISSECAÇÃO NOS
COMPARTIMENTOS

TABELA 7.1: USO DOS SOLOS E O TIPO DE COBERTURA VEGETAL ASSOCIADA

Muito Alta	Veredas, Matas Ciliares/Galeria, Mata Seca, Cerradão
Alta	Formações arbustivas naturais do Bioma Cerrado e suas fitofisionomias. Mata homogênea de pinus e eucaliptos densa. Cultivos de ciclo longo.
Média	Cultivos de ciclo longo em curvas de nível (café) forrageiras entre ruas. Pastagens com baixo pisoteio. Silvicultura de eucaliptos sem subbosques.
Baixa	Culturas de ciclo longo de baixa densidade (café, algodão) como solo exposto entre ruas, culturas de ciclo curto (café, milho, feijão) com cultivos em curva de nível.
Muito Baixa	Áreas desmatadas e queimadas (carvoejamento), solo exposto gradeado, ao longo de estradas vicinais, trilhas, caminhos, terraplenagens, culturas de ciclos curtos sem práticas conservacionistas. Extrativismo vegetal.

TABELA 7.2: CLASSES E FRAGILIDADE DOS TIPOS DE SOLOS

Classes de Fragilidades	Tipos de Solos
Muito Baixa	Latossolo Vermelho-Amarelo textura argilosa.
Baixa	Latossolo Vermelho-Amarelo textura média argilosa e Gleissolos.
Média	Latossolo Vermelho-Amarelo, Podzólico textura média argilosa.
Forte	Podzólico textura média arenosas e Cambissolos.
Muito Forte	Neossolos, Neossolos Quartzarênico Álico.

TABELA 7.3: CLASSE DE DECLIVIDADE E DE DISSECAÇÃO NOS COMPARTIMENTOS GEOMORFOLÓGICOS.

Classes de Declividades	%	Classes de Dissecação	Compartimentos Geomórficos
Muito Fraca	até 6%	11	Depressão
Fraca	6 a 12%	21 a 23	Unidades de Chapadas
Média	12 a 20%	31 a 23	Unidades de Colinas Cretáceas
Forte	20 a 30%	31 a 34	Unidades de Colinas Neoproterozóicas
Muito Forte	acima de 30%	51 a 55	Bordas de Escarpas

ANEXO VIII

TABELAS TABELA COM AS ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DOS AGROTÓXICOS

TABELA 7.4: FUNGICIDA INORGÂNICO UTILIZADO NAS MONOCULTURAS DE CAFÉ, SOJA, MILHO E FEIJÃO

TABELA 7.5: FUNGICIDA INORGÂNICO UTILIZADOS NAS MONOCULTURAS DE CAFÉ E SOJA

TABELA 7.6: INSETICIDAS ORGANOFOSFORADO UTILIZADO NAS CULTURAS DE CAFÉ, SOJA, MILHO E FEIJÃO

Tabela 7.7: INSETICIDA ORGANOFOSFORADO UTILIZADO NAS CULTURAS DE CAFÉ, SOJA, MILHO E FEIJÃO

TABELA 7.4: FUNGICIDA INORGÂNICO UTILIZADO NAS MONOCULTURAS DE CAFÉ, SOJA, MILHO E FEIJÃO

Marca Comercial: <input type="text" value="Ramexane 850 PM"/>	Nº Registro MAPA: 3228188
Registrante: Sipcam Agro S.A.	
Classe(s): Fungicida -	Formulação: WP - Pó Molhável
Ingrediente Ativo: oxiclureto de cobre	Concentração de IA: 850 g/kg
Grupo Químico: inorgânico	
Modo de Ação: De contato	Modo de Aplicação: Terrestre
Modalidade de Emprego: (Foliar)	Restrição UF:
Corrosivo: Sim	Inflamável: Não
Classificação Toxicológica: IV - tóxico	Classificação Ambiental: * - Registro Decreto 24.114/34

Fonte: Tecplam (2007).

TABELA 7.5: FUNGICIDA INORGÂNICO UTILIZADO NAS MONOCULTURAS DE CAFÉ E SOJA

Marca Comercial: <input type="text" value="Cobre Sandoz BR"/>	Nº Registro MAPA: 1788789
Registrante: Syngenta Proteção de Cultivos Ltda.	
Classe(s): Bactericida - Fungicida -	Formulação: WP - Pó Molhável
Ingrediente Ativo: óxido cuproso	Concentração de IA: 560 g/kg
Grupo Químico: inorgânico	
Modo de Ação: De contato	Modo de Aplicação: Terrestre
Modalidade de Emprego: (Foliar)	Restrição UF:
Corrosivo: Sim	Inflamável: Não
Classificação Toxicológica: IV - tóxico	Classificação Ambiental: * - Registro Decreto 24.114/34

Fonte: Tecplam (2007).

TABELA 7.6: INSETICIDA ORGANOFOSFORADO UTILIZADO NAS CULTURAS DE CAFÉ, SOJA, MILHO E FEIJÃO

Marca Comercial: <input type="text" value="Lorsban 10 G"/>	Nº Registro MAPA: 00897
Registrante: Dow AgroSciences Industrial Ltda.	
Classe(s): Inseticida -	Formulação: GR - Granulado
Ingrediente Ativo: clorpirifós	Concentração de IA: 100 g/kg
Grupo Químico: organofosforado	
Modo de Ação: De contato e ingestão	Modo de Aplicação: Terrestre
Modalidade de Emprego: (Solo)	Restrição UF:
Corrosivo: Sim	Inflamável: Não
Classificação Toxicológica: IV - Pouco tóxico	Classificação Ambiental: II - Produto muito perigoso

Fonte: Tecplam (2005).

Tabela 7.7: INSETICIDA ORGANOFOSFORADO UTILIZADO NAS CULTURAS DE CAFÉ, SOJA, MILHO E FEIJÃO

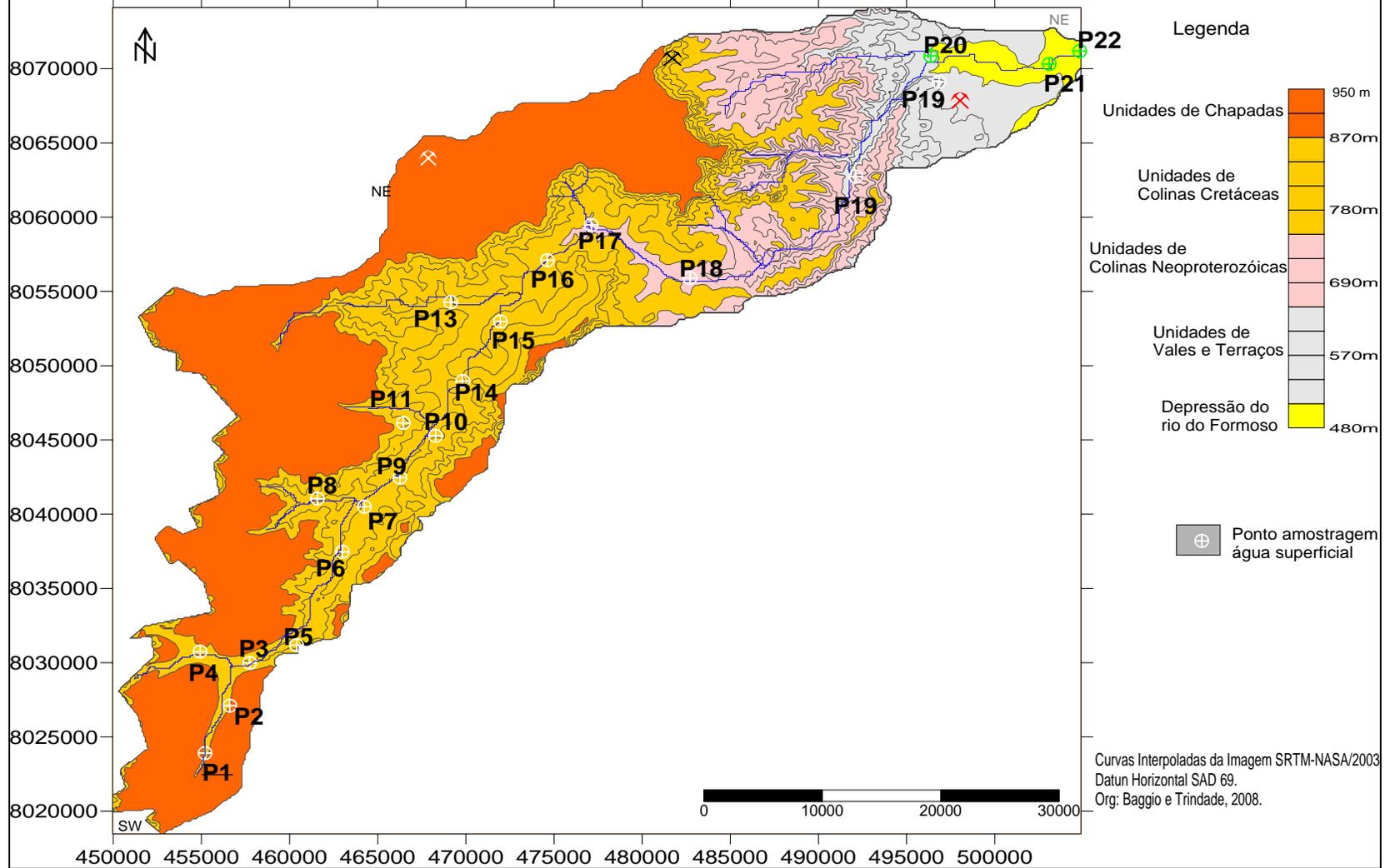
Marca Comercial: <input type="text" value="Taron BR"/>	Nº Registro MAPA: 00498393
Registrante: Bayer CropScience Ltda.	
Classe(s): Acaricida - Inseticida -	Formulação: SL - Concentrado Solúvel
Ingrediente Ativo: metamidofós	Concentração de IA: 600 g/L
Grupo Químico: organofosforado	
Modo de Ação: Sistêmico de contato e ingestão	Modo de Aplicação: Terrestre
Modalidade de Emprego: (Foliar)	Restrição UF:
Corrosivo: Não	Inflamável: 1A
Classificação Toxicológica: II - Altamente tóxico	Classificação Ambiental: II - Produto muito perigoso

Fonte: Tecplam (2005).

ANEXO IX

MAPAS COM OS PONTOS DE AMOSTRAGENS
GEOREFERENCIADOS PARA ÁGUA SUPERFICIAL,
SEDIMENTO DE CORRENTE E ROCHAS

Pontos de Amostragens Água Superficial



Pontos de Amostragens Sedimentos e Rochas

