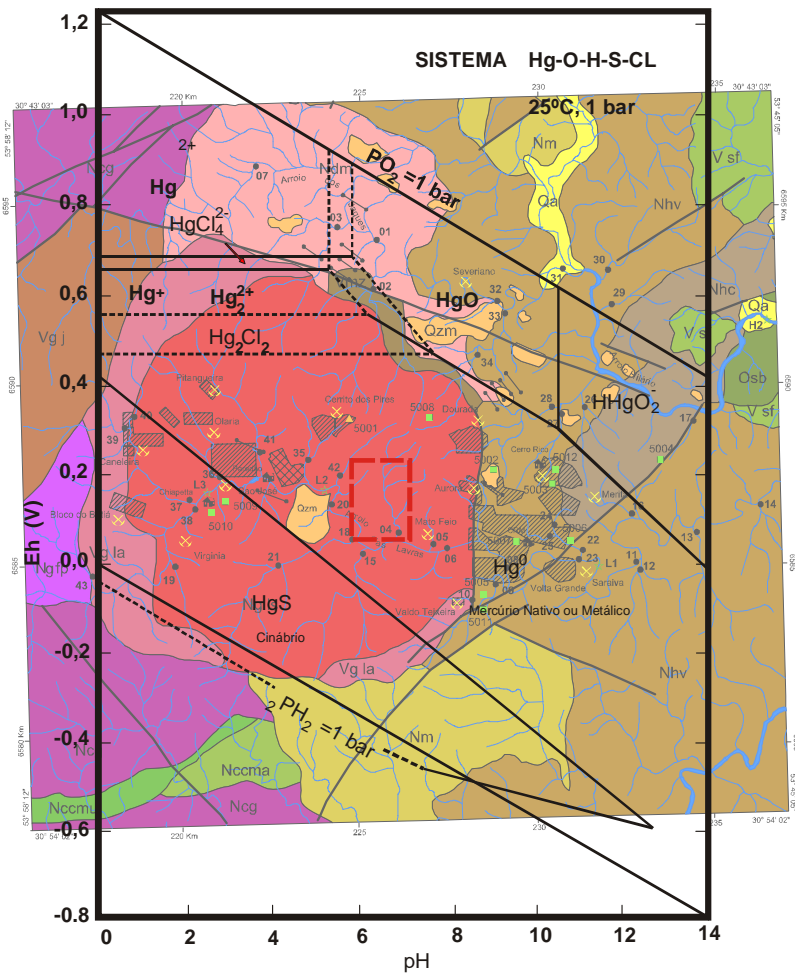


MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA  
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL  
COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM  
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL

MERCÚRIO ANTRÓPICO E OUTROS ELEMENTOS  
EM DRENAGENS ASSOCIADAS ÀS MINERAÇÕES AURÍFERAS  
DE LAVRAS DO SUL



PROGRAMA NACIONAL DE PESQUISA EM GEOQUÍMICA AMBIENTAL  
E GEOLOGIA MÉDICA - PGAGEM

Convênio de Cooperação e Apoio Técnico-Científico  
CPRM/FEPAM

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**  
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL  
CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL

**GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**  
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE  
FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ  
ROESSLER – FEPAM  
Diretoria Técnica  
Departamento de Qualidade Ambienta

**MERCÚRIO ANTRÓPICO E OUTROS ELEMENTOS EM  
DRENAGENS**  
**ASSOCIADAS ÀS MINERAÇÕES AURÍFERAS DE LAVRAS DO SUL**  
CONVÊNIO DE COOPERAÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA CPRM/FEPAM

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**  
EDSON LOBÃO  
Ministro

**SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E  
TRANSFORMAÇÃO MINERAL**  
CLÁUDIO SCLIAR  
Secretário

**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM**  
AGAMENON SÉRGIO LUCAS DANTAS  
Diretor-Presidente

MANOEL BARRETTO DA ROCHA NETO  
Diretor de Geologia e Recursos Minerais

JOSÉ RIBEIRO MENDES  
Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial

FERNANDO PEREIRA DE CARVALHO  
Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento

EDUARDO SANTA HELENA  
Diretor de Administração e Finanças Interino

CÁSSIO ROBERTO DA SILVA  
Chefe do Departamento de Gestão Territorial

JOSÉ ALCIDES FONSECA FERREIRA  
Superintendente Regional de Porto Alegre

GEÓL. NORBERTO LESSA DIAS  
Gerente de Recursos Minerais

GEÓL. JOSÉ LEONARDO SILVA ANDRIOTTI  
Gerente de Rel. Institucionais e Desenvolvimento

ENG. ANDRÉA DE OLIVEIRA GERMANO  
Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial

GEÓL. EDUARDO CAMOZZATO  
Supervisor de Recursos Minerais

GEÓL. CARLOS ANTONIO GRAZIA  
Chefe do Projeto

**GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**  
YEDA CRUSIUS  
Governadora

CARLOS OTAVIANO BRENNER DE MORAES  
Secretário do Meio Ambiente

**FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO  
AMBIENTAL**  
**HENRIQUE LUIZ ROESSLER – FEPAM**  
ANA PELLINI  
Diretora-Presidenta

MARIA ELISA DOS SANTOS ROSA  
Diretora Técnica

TUPY JOSÉ FEIJÓ NETO  
Diretor Administrativo

MANOEL EDUARDO DE MIRANDA MARCOS  
Chefe do Departamento de Qualidade Ambiental

NINA ROSA LAGES  
Chefe do Serviço da Região do Guaíba

GEÓL. MARIA HELOISA DEGRAZIA PESTANA  
Pesquisadora

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**  
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL  
CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL

**GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**  
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE  
FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER – FEPAM  
Diretoria Técnica  
Departamento de Qualidade Ambiental

**PROGRAMA NACIONAL DE PESQUISA EM GEOQUÍMICA  
AMBIENTAL E GEOLOGIA MÉDICA - PGAGEM**

**MERCÚRIO ANTRÓPICO E OUTROS ELEMENTOS  
EM DRENAGENS ASSOCIADAS ÀS MINERAÇÕES AURÍFERAS  
DE LAVRAS DO SUL**

*Carlos Antonio Grazia*  
*Maria Heloisa Degrazia Pestana*

Porto Alegre, 2008

# **PROJETO MERCÚRIO ANTRÓPICO E OUTROS ELEMENTOS EM DRENAGENS ASSOCIADAS ÀS MINERAÇÕES AURÍFERAS DE LAVRAS DO SUL**

PROGRAMA NACIONAL DE PESQUISA EM GEOQUÍMICA AMBIENTAL E  
GEOLOGIA MÉDICA - PGAGEM

## **Ficha Catalográfica**

G785 GRAZIA, CARLOS A.

Mercúrio antrópico e outros elementos em drenagens associadas às minerações auríferas de Lavras do Sul. Carlos A. Grazia; Maria Heloisa D. Pestana. – Porto Alegre: CPRM, 2008. (Convênio CPRM/FEPAM-RS)

62 p. : il;

Programa Nacional de Pesquisa em Geoquímica Ambiental e Geologia Médica - PGAGEM

1. Geologia Médica – Rio Grande do Sul. 2. Geoquímica Ambiental – Rio Grande do Sul. 3. Mineração de Ouro 4. Mercúrio. I. Pestana, Maria Heloisa D. II. Título

CDD 550.289816 CDU 550.289(816.5)

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**  
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL  
CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL

**GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**  
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE  
FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER – FEPAM  
Diretoria Técnica  
Departamento de Qualidade Ambiental

**MERCÚRIO ANTRÓPICO E OUTROS ELEMENTOS EM DRENAGENS  
ASSOCIADAS ÀS MINERAÇÕES AURÍFERAS DE LAVRAS DO SUL**  
CONVÊNIO DE COOPERAÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA CPRM/FEPAM-RS

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**  
EDSON LOBÃO  
Ministro

**SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E  
TRANSFORMAÇÃO MINERAL**  
CLÁUDIO SCLIAR  
Secretário

**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM**  
AGAMENON SÉRGIO LUCAS DANTAS  
Diretor-Presidente

MANOEL BARRETTO DA ROCHA NETO  
Diretor de Geologia e Recursos Minerais

JOSÉ RIBEIRO MENDES  
Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial

FERNANDO PEREIRA DE CARVALHO  
Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento

EDUARDO SANTA HELENA  
Diretor de Administração e Finanças Interino

CÁSSIO ROBERTO DA SILVA  
Chefe do Departamento de Gestão Territorial

JOSÉ ALCIDES FONSECA FERREIRA  
Superintendente Regional de Porto Alegre

GEÓL. NORBERTO LESSA DIAS  
Gerente de Recursos Minerais

GEÓL. JOSÉ LEONARDO SILVA ANDRIOTTI  
Gerente de Rel. Institucionais e Desenvolvimento

ENG. ANDRÉA DE OLIVEIRA GERMANO  
Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial

GEÓL. EDUARDO CAMOZZATO  
Supervisor de Recursos Minerais

GEÓL. CARLOS ANTONIO GRAZIA  
Chefe do Projeto

**GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**  
YEDA CRUSIUS  
Governadora

CARLOS OTAVIANO BRENNER DE MORAES  
Secretário do Meio Ambiente

**FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL  
HENRIQUE LUIZ ROESSLER – FEPAM**  
ANA PELLINI  
Diretora-Presidenta

MARIA ELISA DOS SANTOS ROSA  
Diretora Técnica

TUPY JOSÉ FEIJÓ NETO  
Diretor Administrativo

MANOEL EDUARDO DE MIRANDA MARCOS  
Chefe do Departamento de Qualidade Ambiental

NINA ROSA LAGES  
Chefe do Serviço da Região do Guaíba

GEÓL. MARIA HELOISA DEGRAZIA PESTANA  
Pesquisadora

**MINISTERIO DE MINAS E ENERGIA**  
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL  
CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL  
PROGRAMA NACIONAL DE PESQUISA EM GEOQUÍMICA AMBIENTAL E  
GEOLOGIA MÉDICA - PGAGEM

**EQUIPE EXECUTORA**

Geól. Carlos Antonio Grazia - CPRM  
Geól. Maria Heloisa Degrazia Pestana - FEPAM

**APOIO TÉCNICO**

Téc. Mineração Odilon Correa  
Apoio de campo

Prospector Floro de Menezes Filho  
Preparação de amostras

Álvaro Belotto Perini  
Cartografia e digitalização

Bibliot. Ana Lúcia Borges F. Coelho  
Estag. bibliot. Leonise Verzoni Gonzales  
Pesquisa bibliográfica

Geól. Luís Edmundo Giffoni  
Diagramação/edição

Geól. Fernanda Gonçalves da Cunha (DEGET)  
Revisão de texto

**The Scientific Mind**

*"A mind nimble and versatile enough to catch the resemblances of things, which is the chief point, and at the same time steady enough to fit and discern their subtle differences..."*

*Francis Bacon  
1561 - 1626*

**A mente científica**

*"Uma mente ágil e versátil o suficiente para captar as semelhanças das coisas, que é o ponto principal, e, ao mesmo tempo, estável o suficiente para discernir e ajustar as suas sutis diferenças ..."*

*Francis Bacon  
1561 - 1626*

## **Agradecimentos**

À Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM – e à Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – FEPAM, pelo apoio institucional recebido.

Ao Analista de Sistema Luis Afonso Müller pela presteza dispensada nos momentos de “blackout” na área de informática.

Ao colega Geólogo Luis Fernando Fontes Albuquerque pela revisão preliminar do texto desse relatório bem como pelas sugestões adicionais para o seu aprimoramento.

À Professora Dra. Jandyra Maria Guimarães Fachel do Núcleo de Apoio a Estatística - NAE - da UFRGS pelas sugestões dos testes estatísticos mais adequados aos dados do Projeto.

A todos que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a conclusão deste trabalho.

*Os Autores*



## **APRESENTAÇÃO**

A Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM, ao se institucionalizar como o Serviço Geológico do Brasil, assumiu formalmente como sua missão a geração, processamento e divulgação de informações sobre recursos minerais, hídricos e da gestão territorial.

Para tanto, a CPRM desenvolve diversos programas de atuação, procurando cobrir todas as áreas do conhecimento geocientífico. O Programa Nacional de Geoquímica Ambiental e Geologia Médica – PGAGEM, coordenado pelo Departamento de Gestão Territorial - DEGET, tem por finalidade obter, tratar e difundir os resultados das investigações efetuadas no campo da geoquímica ambiental e repassar estes para os órgãos responsáveis pela saúde pública e ambiental.

O Projeto Mercúrio Antrópico e Outros Elementos em Drenagens Associadas às Minerações Auríferas de Lavras do Sul vinculado ao PGAGEM, teve a execução efetuada por Convênio de Cooperação e Apoio Técnico-Científico entre a CPRM e a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – FEPAM.

O Relatório Final do Projeto ora apresentado engloba também resultados publicados em quatro trabalhos anteriores nos anos de 2005 e 2006, sendo três em Congressos (Internacionais e Nacional) e um capítulo do Livro "Geologia Médica no Brasil".

Espera-se que as interpretações dos resultados analíticos de solos, sedimentos de corrente e águas superficiais do Projeto sejam de auxílio no diagnóstico de problemas ambientais e metalogenéticos da região de Lavras do Sul.

**Geól. Cássio Roberto da Silva  
DEGET - CPRM**



## SUMÁRIO

Resumo .....	11
Abstract .....	12
<b>1 Introdução .....</b>	<b>13</b>
1.1 Objetivos .....	13
1.2 Localização e acesso à área de estudo .....	13
1.3 Aspectos fisiográficos .....	13
1.4 Aspectos sócio-demográficos .....	14
1.5 Histórico da mineração .....	14
<b>2 Propriedades Físico-Químicas do Mercúrio .....</b>	<b>15</b>
<b>3 Geologia .....</b>	<b>17</b>
3.1 Introdução .....	17
3.2 Complexo Cambaí .....	17
3.3 Formação Maricá .....	17
3.4 Formação Hilário .....	17
3.5 Complexo Granítico Lavras do Sul .....	17
3.6 Formação Santa Fé .....	19
3.7 Formação Santa Bárbara .....	19
3.8 Coberturas Cenozóicas .....	19
<b>4 Materiais e Métodos .....</b>	<b>20</b>
4.1 Planejamento da amostragem .....	20
4.2 Amostragem de solos .....	20
4.3 Amostragem de sedimentos de corrente e águas superficiais .....	20
4.4 Preparação das amostras de solos e sedimentos de corrente .....	21
4.5 Duplicatas de campo de laboratório e siglas das amostras .....	21
4.6 Amostra de referência .....	21
4.7 Análises .....	21
4.8 Avaliação estatística .....	22
<b>5 Interpretação dos resultados .....</b>	<b>23</b>
5.1 Solos .....	23
5.1.1 Solos com teores de <i>background</i> .....	23
5.1.2 Salbanda argilosa de veio aurífero .....	24
5.1.3 Solo para avaliação da dispersão junto a veio mineralizado .....	24
5.1.4 Solos contaminados antropicamente .....	24
5.1.5 Conclusões sobre solos .....	24
5.2 Sedimentos de corrente .....	26
5.2.1 Avaliação estatística de sedimentos de corrente .....	26
5.2.2 Amostras anômalas .....	26
5.2.3 Comentários relacionados aos elementos As-Cd-Zn-Pb-Cu-Hg-Ni-Au .....	26
5.2.3.1 Arsênio Área granítica .....	26
5.2.3.2 Arsênio Área andesítica .....	30
5.2.3.3 Cádmio e Zinco Área granítica .....	30
5.2.3.4 Cádmio e Zinco Área andesítica .....	32
5.2.3.5 Chumbo Área granítica .....	32
5.2.3.6 Chumbo Área andesítica .....	32
5.2.3.7 Cobre Área granítica .....	38
5.2.3.8 Cobre Área andesítica .....	38
5.2.3.9 Mercúrio .....	38
5.2.3.9.1 Área granítica .....	38
5.2.3.9.2 Área andesítica .....	38
5.2.3.10 Níquel Área granítica .....	41
5.2.3.11 Níquel Área andesítica .....	41
5.2.3.12 Ouro Área granítica .....	42
5.2.3.13 Ouro Área andesítica .....	42
5.2.4 Valores limiares relacionados à Resolução CONAMA 344-04 .....	42
5.2.5 Avaliação consolidada metalogenética e ambiental .....	45
5.2.6 Classificação dos tipos de concentrações anômalas quanto à origem .....	45
5.2.6.1 Concentrações naturais .....	47
5.2.6.2 Concentrações originadas por rejeitos dos desmontes mineiros .....	48
5.2.6.3 Concentrações originadas por beneficiamento de minério nos moinhos .....	48
5.2.6.4 Concentrações de origem antrópica mista .....	48
5.2.7 Conclusões para sedimentos de corrente .....	50
5.3 Águas superficiais .....	50
5.3.1 Avaliação estatística .....	50
5.3.2 Resultados: amostras com valores anômalos ou elevados .....	50
5.3.2.1 Área granítica .....	50
5.3.2.2 Área andesítica .....	54
5.3.3 Discussão .....	54
5.3.4 Conclusões sobre águas superficiais .....	57
<b>6 Considerações finais .....</b>	<b>58</b>
<b>7 Referências .....</b>	<b>59</b>

**Lista de Figuras**

Figura 1 - Localização da área de trabalho .....	13
Figura 2 - Mapa Geológico com estações de amostragens .....	18
Figura 3 - Dendrograma de amostras de solos de Lavras do Sul .....	23
Figura 4 - Dendrograma de amostras de sedimentos de corrente da área com granitos de Lavras do Sul com as respectivos símbolos por grupo de amostras.....	30
Figura 5 - Dendrograma de amostras de sedimentos de corrente da área com andesitos de Lavras do Sul .....	30
Figura 6 - Mapa de localização dos símbolos identificadores dos grupos de amostras dos dendrogramas das figuras 4 e 5 com estações de amostragens .....	31
Figura 7 - Dendrograma de elementos de sedimentos de corrente da área granítica de Lavras do Sul .....	32
Figura 8 - Dendrograma de elementos de sedimentos de corrente da área andesítica de Lavras do Sul .....	32
Figura 9 - Mapa de valores maiores que os respectivos limiares de As, Au, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn em sedimentos de corrente .....	33
Figura 10 - Mapa de distribuição dos teores de As ( $\mu\text{g/g}$ ) .....	34
Figura 11 - Mapa de distribuição dos teores de Cd ( $\mu\text{g/g}$ ) .....	35
Figura 12 - Mapa de distribuição dos teores de Zn ( $\mu\text{g/g}$ ) .....	36
Figura 13 - Mapa de distribuição dos teores de Pb ( $\mu\text{g/g}$ ) .....	37
Figura 14 - Mapa de distribuição dos teores de Cu ( $\mu\text{g/g}$ ) .....	39
Figura 15 - Mapa de distribuição dos teores de Hg ( $\text{ng/g}$ ) .....	40
Figura 16 - Mapa de distribuição dos teores de Ni ( $\mu\text{g/g}$ ) .....	43
Figura 17 - Mapa de distribuição dos teores de Au ( $\text{ng/g}$ ) .....	44
Figura 18 - Mapa com valores maiores que os respectivos limiares de $\text{Ba}^{++}$ , $\text{Ca}^{++}$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{Mg}^{++}$ , $\text{Na}^+$ , $\text{NO}_3^-$ , $\text{Pb}^{++}$ , $\text{SO}_4^{--}$ , $\text{Sr}^{++}$ e $\text{Zn}^{++}$ em águas superficiais .....	49
Figura 19 - Diagrama Eh-pH de Hg .....	56
Figura 20 - Diagrama Eh-pH de Cu .....	56
Figura 21 - Diagrama Eh-pH de Pb .....	57
Figura 22 - Diagrama Eh-pH de Zn .....	57

**Lista de Tabelas**

Tabela 1 - Comparação de valores orientadores de alguns elementos em solos .....	23
Tabela 2 - Resultados analíticos de solo de área granítica de Lavras do Sul .....	25
Tabela 3 - Resultados analíticos de solos de área andesítica de Lavras do Sul .....	25
Tabela 4 - Resultados analíticos de material argiloso de salbanda de veio aurífero e de solo próximo de veio suletado.....	25
Tabela 5 - Resultados analíticos de solos contaminados junto a moinhos de beneficiamento de minério aurífero e respectivas taxas de contaminação.....	26
Tabela 6 - Resultados analíticos de sedimentos de corrente de área granítica de Lavras do Sul .....	27
Tabela 7 - Resultados analíticos de sedimentos de corrente de área andesítica tos de Lavras do Sul .....	28
Tabela 8 - Parâmetros estatísticos das concentrações de elementos em sedimentos de corrente de amostras da área granítica de Lavras do Sul. Fração < 125 $\mu\text{m}$ . Abertura: água régia. Leitura:ICP-MS .....	29
Tabela 9 - Parâmetros estatísticos das concentrações de elementos em sedimentos de corrente de amostras da área andesítica de Lavras do Sul. Fração < 125 $\mu\text{m}$ . Abertura: água régia. Leitura: ICP-MS .....	29
Tabela 10 - Valores médios de enriquecimento e empobrecimento das concentrações de Hg e cálculo do percentual de enriquecimento na fração < 63 $\mu\text{m}$ e de empobrecimento na fração < 125 $\mu\text{m}$ entre pares de duplicatas de amostras de sedimentos de corrente .....	41
Tabela 11 - Percentuais de enriquecimento na fração < 63 $\mu\text{m}$ e de empobrecimento na fração <125 $\mu\text{m}$ de diversos elementos em pares de duplicatas de amostras de sedimentos de corrente .....	42
Tabela 12 - Resultados analíticos de pares de duplicatas de amostras de sedimentos de corrente nas frações < 125 $\mu\text{m}$ e < 63 $\mu\text{m}$ .....	46
Tabela 13 - Posicionamento dos limiares dos elementos químicos da Resolução CONAMA 344/04 em relação aos níveis 1 e 2 .....	47
Tabela 14 - Números e percentuais de amostras com valores de concentração de elementos comparados aos respectivos níveis 1 e 2 da Resolução CONAMA 344/04 e aos limiares .....	47
Tabela 15 - Tabela 15 - Resultados analíticos de águas superficiais de área granítica de Lavras do Sul. Leituras: ICP-AES (*), absorção atômica (**) e cromatografia de íons (***) .....	51
Tabela 16 - Tabela 16 - Resultados analíticos de águas superficiais de área andesítica de Lavras do Sul. Leituras: ICP-AES (*), absorção atômica (**) e cromatografia de íons (***) .....	52
Tabela 17 - Parâmetros estatísticos das concentrações de elementos em águas superficiais de área granítica de Lavras do Sul .....	53
Tabela 18 - Parâmetros estatísticos das concentrações de elementos em águas superficiais de área andesítica de Lavras do Sul .....	53

## RESUMO

O Município de Lavras do Sul (RS) está localizado no Escudo Sul-rio-grandense. A região objeto deste trabalho caracteriza-se pela existência de veios de quartzo aurífero sulfetados, de origem hidrotermal, em encaixantes graníticas e andesíticas. Conhecidas disseminações de Au ocorrem no Bloco do Butiá. A amalgamação por Hg para recuperação de ouro foi historicamente praticada na região tanto por mineiros individuais como por companhias mineradoras.

Este trabalho apresenta dados geoquímicos de solos, sedimentos de corrente e águas superficiais obtidos pelo projeto *Mercúrio antrópico e outros elementos em drenagens associadas às minerações auríferas em Lavras do Sul*. Este projeto fez parte do Programa de Geologia Médica e Geoquímica Ambiental - PGAGEM - do Serviço Geológico do Brasil e foi desenvolvido em colaboração com a Fundação Estadual de Proteção Ambiental do Rio Grande do Sul.

O principal objetivo do trabalho foi realizar uma avaliação ambiental relacionada aos elementos As-Au-Cd-Cu-Hg-Ni-Pb-Zn nos três meios amostrados, sendo o Hg o elemento de destaque. Os resultados analíticos também foram usados para uma avaliação metalogenética e prospectiva associada às mineralizações existentes na área. Doze amostras de solos e 43 de sedimentos de corrente e águas superficiais foram coletadas nas áreas com granitos e andesitos de Lavras do Sul. Concentrações de As, Au, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn e de outros 43 elementos foram determinadas por ICP-MS na fração <63 µm de solos e na fração <125 µm de sedimentos. Em amostras selecionadas de sedimentos também foi quimicamente analisada a fração <63 µm. Todas as amostras sólidas foram previamente digeridas com solução de 6 ml de 2:2:2 HCl-HNO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O, a 95 °C, diluída a 20 ml. As amostras de águas superficiais foram filtradas por membrana 0,45 µm e a fração filtrada analisada para 22 elementos e 7 ânions por ICP-AES e cromatografia de íons, respectivamente. Sódio e K foram determinados por EAA. As concentrações de Hg em águas foram determinadas por EAA, pela técnica de vapor frio, em 43 estações.

Os resultados confirmaram a existência de contaminações por Hg e outros elementos em solos próximos aos locais de beneficiamento de ouro. A extensão destas contaminações para as drenagens vizinhas foi avaliada mediante as concentrações de Hg em sedimentos de corrente. As concentrações em solos no entorno dos três locais de beneficiamento foram comparadas com os valores orientadores da CETESB para solos contaminados. Níveis de intervenção agrícola foram atingidos para As, Cu, Hg, Pb e Zn e níveis de alerta para As e Zn. Desconsiderando-se o Au, principal elemento da área, o Hg atingiu as maiores taxas de enriquecimento nos locais contaminados, com concentrações entre 10.379 ng/g e 43.497 ng/g. A dispersão de Hg em sedimentos de corrente foi claramente constatada à jusante do Moinho Cerro Rico, onde a concentração alcançou 958 ng/g. Os resultados de sedimentos de corrente mostraram três tipos de contaminação antrópica: (i) as originadas a partir dos locais de beneficiamento, (ii) as associadas aos rejeitos mineiros e (iii) as mistas resultantes de beneficiamento somadas a efluentes urbanos. A concentração máxima de Hg em sedimentos de corrente da drenagem sobre granitos se associa a outros elementos anômalos, dentre os quais o Pb, também anômalo em água. Todos os resultados analíticos em uma mesma estação foram correlacionados com uma possível ocorrência mineral.

Análises por agrupamento em resultados de sedimentos de corrente das áreas graníticas e andesíticas mostraram que o Pb não se associa ao grupo Cu-Ag-Au. As concentrações de Hg em águas foram inferiores a 0,2 µg/L. Anomalias hidrogeoquímicas foram detectadas somente para Pb<sup>+2</sup>, Zn<sup>+2</sup>, SO<sub>4</sub><sup>=</sup> e F<sup>-</sup>. As anomalias de Zn foram as mais freqüentes, possivelmente favorecidas pelas condições de pH e Eh locais. As anomalias de sulfato se associam com a oxidação de veios de sulfetos aflorantes.

## ABSTRACT

Lavras do Sul, southern Brazil, is located in the shield region of the State of Rio Grande do Sul and its past is related to the production of Gold from hydrothermal sulfide-bearing quartz veins hosted by granites and andesites. Disseminated Gold and sulfides are present around granitic area of the Butiá Block. Gold production has historically been done by means of amalgamation with Mercury by individual miners and milling facilities.

This work presented geochemical data from soils, stream sediments and surface waters obtained by the project *Anthropogenic mercury and other elements in watersheds associated with gold mineralizations in Lavras do Sul*. The project was part of the Geological Survey of Brazil - Program on Medical Geology and Environmental Geochemistry, and was conducted in collaboration with the Rio Grande do Sul State Environmental Foundation.

The main purpose of this work was to evaluate the environmental impact related to the past Gold production by chemical analysis of As-Au-Cd-Cu-Hg-Ni-Pb-Zn in soils, stream sediments and water, with particular interest in Hg. The analytical results were also used to future exploration purposes for Gold mineralization in the study area. Twelve soil and 43 stream sediments and water samples were collected on granite and andesite areas of Lavras do Sul. Arsenic, Au, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn and other 43 element concentrations were determined by ICP-MS in the <63  $\mu\text{m}$  fraction of soils and in the <125  $\mu\text{m}$  fraction of sediments. Element concentrations were also analyzed in the <63  $\mu\text{m}$  fraction of some stream sediment samples. All solid samples were previously digested with 6ml solution of 2:2:2 HCl-HNO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O, at 95 °C, dissolved to 20 ml. Natural water samples filtered through a 0.45  $\mu\text{m}$  membrane and the concentration of the dissolved 22 elements and 7 anions were determined by ICP-AES and ion chromatography, respectively. Sodium and K were determined by AAS. The concentration of Hg in water samples was determined by AAS (cold vapor technique) in 43 sites.

The results confirmed the existence of Hg contamination in soils around the milling facilities. Its extension to the nearby drainages was evaluated according to the Hg concentration obtained in stream sediments. Soil concentration around 3 milling facilities was compared to Brazilian guidelines, and reached agricultural intervention levels for As, Cu, Hg, Pb and Zn, and alert levels for As and Zn. Mercury reached the highest enrichment rates, with concentration ranging between 10,379 ng/g and 43,497 ng/g in the contaminated sites. Dispersion to stream sediments was clearly detected downstream of the Cerro Rico mill, where Hg concentration reached 958 ng/g. Stream sediment results showed that the anthropogenic contamination relates to three kinds of sources: those originated by the milling facilities, by mine tailings, and those that result from milling facilities added to urban effluents. The highest concentration of Hg in stream sediments from the drainage on granitic rocks is also related to other anomalous elements, among which Pb, whose concentration in water was also anomalous. All these findings at the same site were linked with a possible ore occurrence.

Cluster analyses of stream sediments of the areas with granite and andesite showed that Pb is not related to Cu, Ag and Au. Mercury concentration in waters were below 0.2  $\mu\text{g/L}$ . Hydrogeochemical anomalies were detected only for Pb<sup>+2</sup>, Zn<sup>+2</sup>, SO<sub>4</sub><sup>=</sup> and F<sup>-</sup>. Zinc anomalies were the most frequent, possibly favored by the local pH and Eh conditions. Sulfate anomalies were associated with the oxidation of exposed sulfide veins.

## 1 - INTRODUÇÃO

O Programa Nacional de Pesquisa em Geoquímica Ambiental e Geologia Médica - PGAGEM, sob a coordenação do Departamento de Gestão Territorial - DEGET da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM, foi elaborado por pesquisadores de diversas instituições. O objetivo foi o da amostragem em baixa densidade de sedimentos de corrente, solos, águas superficiais e de consumo humano e respectivas análises para o conhecimento das variações das concentrações dos elementos químicos na superfície do território brasileiro. Inicialmente, o PGAGEM focou a avaliação de áreas com passivos ambientais gerados por contaminações antrópicas.

O Projeto *Mercúrio Antrópico e Outros Elementos em Drenagens Associadas às Minerações Auríferas de Lavras do Sul* se insere nesse contexto, considerando que esse município foi contemplado com atividade mineira para Ouro desde o século XIX (Calogeras, 1938). A recuperação do ouro, feita historicamente pela amalgamação com mercúrio, gerou áreas com passivos ambientais devido à persistência deste e outros contaminantes no ambiente. Além da origem antrópica proveniente de rejeitos de beneficiamento de minério aurífero, rejeitos dos desmontes mineiros e perdas por garimpeiros durante a amalgamação de concentrados auríferos, há também uma origem geológica do mercúrio na região, oriunda de sulfetos polimetálicos (Pestana et al., 2000). A importância deste trabalho para a saúde humana e a qualidade ambiental deve-se à conhecida toxicidade deste elemento associada a de outros contaminantes metálicos (Cu, Cd, Pb, Ni, Zn) e não metálicos (As) ligados à mineralização aurífera.

### 1.1 - Objetivos

O presente projeto visa avaliar a contaminação por Hg e As-Cd-Cu-Ni-Pb-Zn nos solos, sedimentos de drenagens e águas superficiais na área de estudo. Os resultados analíticos utilizados na avaliação ambiental também se destinaram para avaliar o potencial metalogenético.

### 1.2 - Localização e acessos à área de estudo

A área situa-se no entorno da cidade de Lavras do Sul (**Figura 1**). O acesso, a partir de Porto Alegre, é feito pela BR-290, que se estende na direção E-W no Estado do Rio Grande do Sul, percorrendo-se cerca de 250 km até o entroncamento desta com a BR-392, seguindo-se

nesta última por 31 km até Caçapava do Sul. Dessa cidade percorre-se, pela estrada asfaltada RS 357, no sentido sudoeste, mais 50 km até Lavras do Sul.

### 1.3 - Aspectos fisiográficos

Geomorfologicamente a área estudada é um platô com ondulações suaves e altitudes entre 350 m e 380 m. A precipitação média anual é de 1.363 mm e temperatura média anual de 17,1 °C. Há deficiência de precipitação nos meses de dezembro a fevereiro e excesso nos meses de junho a outubro (Brasil, 1986).

Os solos são rasos, com horizonte A assentado sobre rocha parcialmente alterada ou inalterada e se classificam como Neossolos Litólicos Distróficos sobre os granitóides e Neossolos Litólicos Eutróficos sobre as rochas vulcânicas andesíticas (Streck et al., 2002). A reduzida espessura e baixa capacidade de infiltração e armazenamento de água destes solos os restringem em muito para culturas anuais. Podem ser cultivados em superfícies com declividade inferior a 15%. Locais com declividade superior a 30%, a cobertura vegetal natural deve ser mantida como área de preservação permanente.

A vegetação é do tipo cerrado ou savana arbórea aberta, com mata-galeria ao longo das drenagens maiores ou áreas dissecadas. A savana tem um estrato herbáceo composto por gramíneas e outro arbóreo composto por



Figura 1 - Localização da área de trabalho.

fanerófitas xeromorfas perenifoliadas de pequeno porte (Brasil, 1986). São campos sujos nos quais desenvolveu-se principalmente a criação de gado bovino, ovino e incipiente agricultura. Localmente, junto às maiores várzeas, a atividade orizícola está em desenvolvimento (Pestana *et al.*, 1997).

#### 1.4 - Aspectos sócio-demográficos

Segundo dados do IBGE, em 2003 a população residente no município de Lavras do Sul era de 7.889 habitantes (<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/cadernos/rs>). Água tratada abastece 80% da população pela rede da Companhia Rio-grandense de Saneamento - CORSAN, ao passo que os demais 20% se abastecem de poços ou nascentes na propriedade.

A instalação sanitária ligada à rede geral de esgoto ou fluvial atende a 45% da população, outros 46% possuem fossas sépticas ou rudimentares. A rede hospitalar da cidade conta com 2 postos de saúde, um centro de saúde, 1 ambulatório de Unidade Hospitalar Geral e 1 Hospital Público. O coeficiente de mortalidade, por 100.000 habitantes é de 24,7 por neoplasia maligna da mama, de 62,8 por infartos e de 50,3 por doenças cérebro-vasculares.

#### 1.5 - Histórico da mineração

O conhecimento oficial da existência de ouro em Lavras do Sul data do final do século XVIII, pois em 1800 já havia a presença do fisco do Governo Imperial na região, motivada pela atividade mineira no Arroio das Lavras e córregos adjacentes (Calogeras, 1938).

Um resumo sobre a produção de ouro entre

1898 e 1991 apresentado por Pestana & Formoso (2003) revelou que esta foi de aproximadamente 688,24 kg. No período de 1935 a 1939 a empresa Pedro Matta & Cia, mais tarde Companhia Mineração de Ouro do Butiá Ltda, moia minério de uma plegada com teor de 5 g/t de Au. O consumo de mercúrio era de 1 grama por hora para amalgamar 1 (uma) tonelada de minério moído por hora, conforme informação verbal do Sr. Eloir Leiva, morador de Lavras do Sul e encarregado, na época, do laboratório montado pelo químico Pedro Matta.

Restos das instalações de beneficiamento ainda existem atualmente. A instalação melhor equipada foi a do Cerro Rico, que possuía moinhos *Krupp*. Junto a ela foram represadas as águas da drenagem contígua para a produção de vapor necessário como força motriz.

O Moinho do Paredão situava-se junto à margem do Arroio das Lavras, imediatamente a jusante da atual barragem de abastecimento público da CORSAN. Este moinho foi danificado por sucessivas enchentes e suas ruínas removidas pela Prefeitura de Lavras do Sul. Isso pode ter facilitado a dispersão de material contaminado para o Arroio das Lavras, como constatado por Pestana & Formoso (2003) ao detectar 294 ng/g de Hg em amostra de solo (fração silto-argilosa) coletada no local.

Nas margens do Arroio das Lavras também se situam as ruínas do Moinho Chiapetta, localizado na propriedade da família, a montante da área urbana.

O Moinho São João, no Bloco do Butiá, e o Moinho Belga junto à Mina Mato Feio, na Fazenda Casa Branca a leste da cidade, não estão mostrados nas diversas figuras por se desconhecer as suas exatas localizações.



## 2. PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO MERCÚRIO

O mercúrio é o único metal líquido à temperatura ambiente e por isso possui propriedades especiais importantes. O mineral mais comum de mercúrio, presente em depósitos minerais, é o sulfeto de mercúrio ou cinábrio. O cinábrio se concentra mais nas frações finas de solos e sedimentos de corrente por ser friável, embora resistente ao intemperismo químico. Já nas frações mais grossas, predomina o mercúrio retido na estrutura cristalina dos minerais.

O produto de solubilidade do cinábrio na água a 25°C é  $10^{-52,4}$  (Krauskopf, 1979). Em ambiente oxidante, o mineral pode gerar mercúrio metálico  $Hg^0$ , motivo pelo qual a forma elementar ( $Hg^0$ ) é constituinte primária de alguns minérios hidrotermais de baixa temperatura. Seu ponto de fusão é 38,9°C e, acima de 250°C, passa para vapor por sublimação (Krauskopf, 1979). A solubilidade do mercúrio elementar em água a 30°C é de 2 µg/L (Azevedo, 2003).

Na natureza, dependendo das condições de Eh, o mercúrio pode ocorrer nas valências  $Hg^0$ ,  $Hg_2^{++}$  (íon mercurioso) e  $Hg^{++}$  (íon mercúrico). O íon mercurioso tem baixa estabilidade em soluções aquosas, dissociando-se rapidamente em íon mercúrico e mercúrio elementar. A alta pressão de vapor no mercúrio elementar líquido desenvolve a sua forma volátil e, mesmo sob temperatura ambiente, facilmente se volatiliza em quantidades apreciáveis, podendo atingir concentrações de vapor perigosas em ambiente fechado à 20°C. A essa temperatura sua tensão de vapor é de  $0,12 \times 10^{-2}$  mm de Hg (Lollar, 2005). A concentração média de mercúrio na atmosfera é de 20 ng/m<sup>3</sup> e concentrações de 50 ngHg/m<sup>3</sup> de ar podem conduzir, pela inalação diária, à absorção de 1µgHg. Ar saturado com vapor de mercúrio a 20°C tem concentração 300 vezes superior ao limite máximo permitido de 0,05 mgHg/m<sup>3</sup> de ar (Azevedo *et al.*, 2003).

A grande mobilidade do mercúrio elementar, devido a sua dispersão na forma de vapor, permite que o elemento migre a partir de mineralizações profundas. Os sítios dessa migração são as falhas. Por isso, próximo de zonas de falha podem ocorrer anomalias de mercúrio em solos e rochas, se  $Hg^0$  vapor estiver presente. Em zonas onde a encaixante da mineralização foi intensamente alterada para argila, a migração de mercúrio na forma de vapor ou solúvel é limitada pelo poder adsorvente das argilas.

Em solos, as formas normalmente encontradas são  $Hg^0$  e  $Hg^{++}$ . Devido à habilidade do  $Hg^{++}$  se complexar nas condições ambientais normais,

somente diminuta fração dessa forma ocorre como íon livre. A maior parte liga-se à matéria orgânica sob condições ácidas. Sob condições neutras a alcalinas liga-se à estrutura cristalina dos minerais presentes no solo ou é adsorvido na sua superfície.

O conhecimento das especiações e as reações de transformação do Hg são importantes para entender sua retenção ou mobilidade no ambiente e o equilíbrio entre as fases sólidas e a dissolvida. O pH em que os elementos se precipitam como hidróxidos é conhecido como pH de hidrólise. O pH de hidrólise do  $Hg^+$  em solução diluída é de 3 e do  $Hg^{++}$  de 7,3 (Levinson, 1974). Em pH > 7 a forma estável é o complexo  $Hg(OH)_2^0$ .

A alta afinidade de compostos de Hg com os de enxofre, as importantes propriedades das formas de mercúrio com compostos com ligações covalentes e a estabilidade das ligações mercúrio-carbono facilitam a assimilação do metal por microorganismos (Thornton, 1983). A primeira in-formação relacionada com a alteração microbiana de compostos de mercúrio baseou-se na observação do decréscimo das propriedades biocidas de fungicidas mercuriais em ambientes aquáticos e em solos.

O mercúrio volatilizado do solo ou dos sedimentos se transfere para a atmosfera ou para as águas. Por exemplo, bactérias do gênero *Pseudomonas* podem converter  $Hg^{++}$  em  $Hg$  metálico (Magos *et al.*, 1964; Furukava *et al.*, 1969 *apud* Thornton, 1983). Cinquenta por cento de metoxietil de mercúrio é degradado para  $Hg^0$  por microorganismos em muitos ambientes. Simultaneamente, outros grupos de bactérias e fungos podem metilar mercúrio inorgânico e formar mono ou dimetilmercúrio (Yamada & Tonomura, 1972; Vonk & Sijpesteijn, 1973; Handy & Noyes, 1975 *apud* Thornton, 1983). Em ambiente ácido produz-se metilmercúrio, o qual, em ambiente alcalino, é forma muito volátil.

Grupos de bactérias presentes em ambientes naturais podem desenvolver simultaneamente a metilação e desmetilação. A habilidade de metilar o mercúrio não é confinada a um limitado número de espécies de microorganismos. Assim, havendo condições ambientais que promovam o seu crescimento em diversos ambientes, a metilação pode ocorrer.

A volatilização e a metilação do mercúrio parecem ocorrer em maiores taxas sob condições aeróbicas (Spangler *et al.*, 1973; Hamdy & Noyes, 1975; Olsen & Cooper, 1976 *apud* Thornton, 1983). Tem sido demonstrado que sob condições

anaeróbicas a taxa de volatilização, por espécies redutoras de mercúrio, é baixa e a metilação, embora afetada, não é inibida na mesma intensidade (Olson, 1978; Barkay *et al.*, 1979 *apud* Thornton, 1983). Assim, sob condições aeróbicas o metilmercúrio pode ser rapidamente degradado para  $Hg^{++}$  ou reduzido a  $Hg^0$  pela desmetilação microorgânica. É demonstrável que sob condições anóxicas, quando a desmetilação é inibida, que há acumulação de metilmercúrio (Olson & Cooper, 1974 *apud* Thornton, 1983).

Em águas, o mercúrio está adsorvido em partículas de matéria orgânica como  $Hg^0$ ,  $Hg^{++}$  e  $Hg_2^{++}$  instável. Em águas oxigenadas,  $Hg^0$  tem baixa solubilidade, alta volatilidade e baixo tempo de residência, mas a fração  $Hg^0$  não volatilizada é oxidada para  $Hg^{++}$ , mais solúvel em água. O  $Hg^0$  resultante da oxidação do cinábrio pode ser oxidado para  $Hg^{++}$  na água (Wallace *et al.*, 1971 *apud* Thornton, 1983). Esta oxidação é favorecida na presença de substâncias orgânicas (Jesen & Jernelov, 1972 *apud* Thornton, 1983).

O mercúrio é usado na fabricação de termômetros, barômetros, lâmpadas e aparelhos elétricos. Também é usado em pesticidas, na indústria de papel, em tintas e baterias. Os sais mais importantes são o cloreto mercúrico ( $HgCl_2$ ) corrosivo e altamente venenoso, o cloreto mercurioso ou calomel ( $Hg_2Cl_2$ , no passado muito usado na medicina, e o fulminato de mercúrio ( $Hg(ONC)_2$ ) empregado na formulação de explosivos. O cinábrio é usado como pigmento vermelho em tintas a óleo.

As formas mais comuns de mercúrio no meio ambiente são a elementar metálica líquida ou a volátil, a inorgânica divalente gasosa produzida por oxidação da elementar na presença de ozônio, e como sais. É transferido para o meio ambiente em processos, dentre outros, os ligados à mineração, a indústria de plásticos, de papel, de eletrônicos, hospitalar e de energia, quando essa utiliza a queima de combustíveis fósseis. A perda

de mercúrio metálico usado na amalgamação do ouro, em garimpos e moinhos de beneficiamento, é responsável por extensa contaminação de solos e de cursos de água próximos.

A forma inorgânica divalente lançada no meio ambiente é a de maior expressão em relação às demais formas e, ao retornar ao solo com o auxílio de microorganismos, liga-se a radicais orgânicos o que gera a forma metilada ou dimetilada, dependendo do pH do solo. O metilmercúrio se acumula em peixes e moluscos. O dimetilmercúrio, de baixa solubilidade e alta volatilidade, tende a ascender para a atmosfera onde é decomposto com liberação de  $Hg^0$ . A diminuição da atividade microbiana ou sua esterilização por calagem pode diminuir a metilação e, por consequência, a contaminação de animais.

O envenenamento por mercúrio é cumulativo, pois apenas pequenas quantidades são eliminadas pelos organismos. É facilmente assimilável pelas vias respiratórias, gastrointestinais e pela pele. Todas as formas de especiação são tóxicas ao serem inaladas ou absorvidas pela pele.

Em seres humanos, o tipo de intoxicação e os órgãos afetados variam com a forma de contato e a forma química do mercúrio (metálico, inorgânico ou orgânico) e, ainda, se a intoxicação for aguda, média ou crônica. Sistema nervoso central, pele, mucosas, coração, pulmões, função reprodutora, rins e sistema imunológico podem ser afetados. A intoxicação por mercúrio pode produzir embriofetotoxicidade. O metal é genotóxico e mutagênico, mas sua carcinogenicidade sob a forma metálica não está satisfatoriamente comprovada (Azevedo *et al.*, 2003).

A preocupação com os efeitos do mercúrio sobre o meio ambiente e a saúde humana levou o CONAMA à recentemente propor ao Ministério do Meio Ambiente a criação e implementação de uma política nacional de Mercúrio, conforme MOÇÃO Nº 085, de 27 de junho de 2007 (Brasil, 2007).

## 3 - GEOLOGIA

### 3.1 - Introdução

A área de estudo abrange as associações de rochas pertencentes ao Domínio Ocidental do Escudo Sul-rio-grandense e abaixo descritas sucintamente como apresentado por Porcher *et al.* (2000). A partir do mapeamento realizado na escala 1:250.000 por Porcher *et al.* (2000) e a atualização cartográfica de corpos intrusivos menores por Gastal (1997) e Liz (2003) foi confeccionado o mapa geológico mostrado da **Figura 2**, do qual também constam as estações de amostragem de solos, da salbanda argilosa, de sedimentos de corrente e águas superficiais.

### 3.2 - Complexo Cambaí

O termo Cambaí, proposto por Goñi *et al.* (1962), tem sido utilizado com variada hierarquização estratigráfica e diversificado significado geotectônico e reúne os gnaisses do oeste do Escudo Sul-rio-grandense. É subdividido na Associação Básico-Ultrabásica Cerro da Mantiqueira, Seqüência Metamórfica Arroio Marmeleiro e Gnaisses Cambaí. Na área estudada, o complexo está representado pela Associação Básico-Ultrabásica Cerro da Mantiqueira e pelos Gnaisses Cambaí (Ncg). A primeira está representada por restos de ortoanfibolitos (Nccmu) e metaultramafitos (Nccma) e a segunda por gnaisses diorítico-tonalítico-granodioríticos resultantes de metamorfismo sobre corpos orogênicos intrusivos nas rochas básico-ultrabásicas.

O granodiorito Fazenda do Posto (Ngfp), situado a oeste de Lavras do Sul, é leucocrático e sua área de exposição é triangular e se limita com granitóides pós-tectônicos e gnaisses do Complexo Cambaí.

### 3.3 - Formação Maricá

A Formação Maricá (Nm) compreende arenitos avermelhados a castanhos, por vezes acinzentados, finos a grossos, localmente conglomeráticos e com seixos de granito, quartzo, gnaiss, rochas metamórficas e sedimentares. A maioria destas rochas se classifica como arcóseos e subarcóseos.

### 3.4 - Formação Hilário

A Formação Hilário é composta por rochas vulcânicas (Nhv) intermediárias a básicas e intercalações de rochas vulcanoclásticas (Nhc)

representadas por ortoconglomerados, paraconglomerados e arcóseos. Os clastos dos conglomerados são de rochas vulcânicas, piroclásticas e sedimentares subordinadas. Na região de Volta Grande, estas rochas foram submetidas a metamorfismo de contato e hidrotermal por diferentes intrusões graníticas. As alterações hidrotermais mais comuns compreendem a potássica, propílica, fílica e argílica (Mexias *et al.*, 1990). Veios de quartzo com variáveis proporções de pirita, calcopirita, arsenopirita, ouro, oxidados de cobre e ferro, galena e blenda ocorrem em fraturas E-W que cortam a formação. Na Mina Merita, associados às rochas vulcanoclásticas, ocorrem veios de quartzo com galena argentífera, blenda, pirita, covelina, calcopirita e raramente ouro. Já a leste da Mina Valdo Teixeira, junto à amostra de solo OC-5011 e à parte baixa da bacia da estação OC-09 há veios de quartzo com pirita.

### 3.5 - Complexo Granítico Lavras do Sul

Nardi (1984) interpreta o Complexo Granítico Lavras do Sul (CGLS) como tardi a pós-tectônico do Ciclo Brasileiro e o divide nas fácies de Núcleo, Borda e Intermediária. A Fácies de Núcleo (Ngls) é constituída por granodioritos e monzogranitos de afinidade shoshonítica. Essas rochas foram parcialmente assimiladas por magma alcalino na borda e por rochas pós-tectônicas. A consangüinidade geoquímica observada por Nardi & Lima (1985) entre as rochas vulcânicas da Formação Hilário e a Fácies de Núcleo levou os autores a reunir ambas unidades sob a denominação de Associação Shoshonítica de Lavras do Sul.

A Fácies de Núcleo está envolta pela Fácies Periférica (Vgla) formada por pertita granitos mais jovens, alcalinos e metaluminosos da Suite Intrusiva Saibro. As fácies estão separadas por faixa de rochas petrográfica e quimicamente transicionais entre ambas fácies. Durante o presente trabalho as rochas transicionais foram agrupadas na Fácies de Núcleo. A manifestação mais tardia da Suite Intrusiva Saibro é composta de rochas pós-tectônicas alcalinas (Nardi & Bonin, 1991) representadas pelo Granito Jaguari (Vgj).

Hiperstênio-dioritos e monzodioritos (Vmz) ocorrem em estreita faixa na borda nordeste do Complexo de características geoquímicas ainda incertas, mas compatível com os termos de afinidade shoshonítica (Gastal, 1997). Soliani Jr. (1986) sugeriu a correlação dessas rochas com os granitos alcalinos.

### Mercúrio Antrópico e Outros Elementos em Drenagens Associadas às Minerações Auríferas de Lavras do Sul

- Sedimentos de Corrente (fração < 125 µm) e Água Superficial com número da amostra sem a sigla OC
- ▲ Sabanda Argilosa de veio aurífero (fração < 63 µm) com número da amostra sem a sigla OC
- Solos (fração < 63 µm) com número da amostra sem a sigla OC
- ★ Sedimento de Corrente (fração < 63 µm) estação H2 de Pestana e Formoso (2003) estações L1, L2 e L3 de Pestana et al. (2000)

**Legenda**

- Falhamento
- Dique de traquito a latito
- Áreas com desmonte mineiro (Kaul et al., 1974)

**Convenções Geológicas**

- Qa** Aluvião
- Osb** Formação Santa Bárbara
- Vsf** Formação Santa Fé
- Qzm** Quartzito-zonozonito Pórfiro
- Vgi** Granito Jaguarí
- Vgla** Compl. Intrusivo Lavras Sul (Fácies Periférica)
- Vmz** Hiperstênodiorito Monzodioritos
- Ng ls** Compl. Intrusivo Lavras Sul (Fácies de Núcleo)
- Nhm** Monzonito e quartzito-monzonitos
- Nhv** Hiliário Fácies Conglomerática (Vulcano-clásticas)
- Nhn** Hiliário Fácies Vulcânicas
- Ng fp** Formação Mericá
- Ng di** Grandiorito
- Ncg** Gnaisses Cambai
- Nccmu** Formação Cerro da Mantiqueira (Ortoanfíbolitos)
- Nccm** Formação Cerro da Mantiqueira (Métaltramfíto)

**Convenções Cartográficas**

- Drenagem simples
- Drenagem de margem dupla
- Área urbana de Lavras do Sul
- Mina ou garimpo desativado
- Moimão de Beneficiamento

0 1 2 4 6 Km

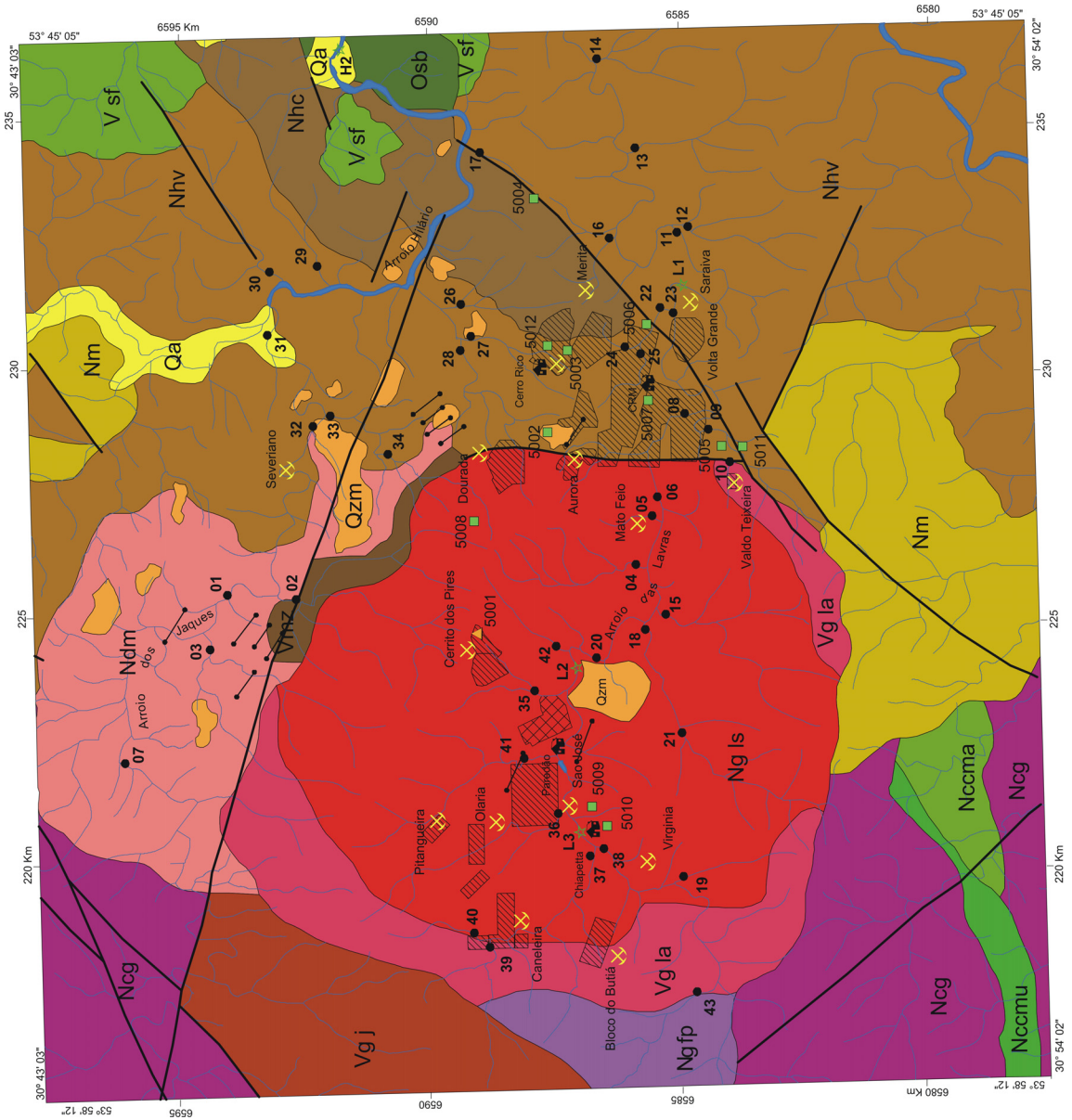


Figura 2 - Mapa geológico da área estudada na região de Lavras do Sul, RS. Compilado e modificado de Porcher et al. (2000), Gastal (1997) e Liz (2003).

A presença de anomalias magnéticas no limite do corpo granítico representam intrusões básicas em profundidade (Gastal *et al.*, 2002).

Ao norte do complexo ocorre corpo semicircular de filiação shoshonítica e composição quartzo-monzonítica e monzonítica (Mdm) com freqüentes amígdalas preenchidas por carbonato e, em alguns locais, por sulfetos. Lima (1995) sugere que este corpo pode ser contemporâneo com as rochas da Fácies de Núcleo do complexo e Lima & Nardi (1998) de que estas representam as últimas manifestações magmáticas de afinidade shoshonítica.

Os quartzo-monzonitos e monzonitos são cortados por diques de latito, traquito e dacito. Os diques de latito possuem vesículas preenchidas por sulfetos, carbonatos e clorita (Liz, 2003).

Gastal (1997) descreve a presença de corpos circulares menores de quartzo-monzonito pórfiro (Qzm) no interior das rochas vulcânicas da Formação Hilário e na porção central da Fácies de Núcleo, interpretados como a porção inferior de possíveis chaminés vulcânicas. Diques de olivina minete no CILS também são citados por Gastal *et al.* (2006).

A maior parte dos jazimentos associados ao Complexo Granítico Lavras do Sul são representados por veios de quartzo com direção E-W e que contêm pirita, arsenopirita, ouro, molibdenita, galena e blenda. Mineralizações de ouro disseminado ocorrem em zonas de alteração hidrotermal do granito na região do Bloco do Butiá. Teixeira & Leinz (1941) interpretam a mineralização como produto metassomático sobre o Granito Lavras, com formação de alaskito sódico e deposição de pirita aurífera, galena argentífera, blenda e rara calcopirita. O alaskito alterado é o minério no Bloco do Butiá.

O conjunto dessas mineralizações forma o Distrito Aurífero de Lavras do Sul (Kaul &

Rheinhermer, 1974), exploradas em pequenas minas e garimpos, ambos paralisados.

Na moagem de 199 toneladas de quartzo aurífero entre fevereiro e dezembro de 1882, período de maior atividade mineira na região, a empresa *The Rio Grande Gold Mining Company Limited* obteve 5.128 g de ouro com 20% de prata (Calogeras, 1938).

### **3.6 - Formação Santa Fé**

Compreendem camadas de conglomerados com clastos de rochas vulcânicas ácidas, depositados em canais aluviais entrelaçados e discordância erosiva sobre a Formação Acampamento Velho. As revisões realizadas durante as etapas de campo da Folha Cachoeira do Sul permitiram estender a área de ocorrência dessa unidade para a região de Lavras do Sul, onde até então era cartografada como Formação Santa Bárbara. A definição da Formação Santa Fé por Paim *et al.* (2000) foi baseada em feições registradas em fotografias aéreas tais como discordância angular e/ou erosiva entre esta unidade e a Formação Santa Bárbara.

### **3.7 - Formação Santa Bárbara**

Esta unidade é composta de arenitos e pelitos avermelhados, com a predominância de arenitos conglomeráticos e conglomerados no topo. Jaz em discordância erosiva e localmente angular sobre a Formação Santa Fé.

### **3.8 - Coberturas Cenozóicas**

Estas coberturas são representadas por depósitos arenosos que ocorrem ao longo dos canais fluviais e nas planícies de inundação dos principais cursos d'água da área.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 - Planejamento da amostragem

O planejamento da amostragem de solos visou determinar (i) o grau de contaminação por mercúrio antrópico junto a três instalações de recuperação de ouro por amalgamação, (ii) o grau de enriquecimento do mercúrio de origem natural em solos sobre falhas ou próximos a fraturas com filões de quartzo sulfetados e (iii) o *background* de mercúrio natural em solos afastados de possíveis interferências antrópicas, pela presença de sulfetos de mercúrio em resultados analíticos de especiação (Pestana *et al.*, 2000). Os pontos de amostragens constam da **Figura 3.1**.

Seis amostras de solos destinaram-se a determinar o *background*, sendo uma sobre substrato granítico e cinco andesítico. Duas amostras (OC-5004 e 5006) foram obtidas sobre falhas para avaliar a influência de descontinuidades geológicas na migração do mercúrio gasoso e seu enriquecimento nos solos próximos. Para avaliar a dispersão junto a veio de quartzo sulfetado foi coletada uma amostra (OC-5011) e o enriquecimento na salbanda argilosa de veios de quartzo aurífero no Cerrito dos Pires foi coletada uma amostra (OC-5001). Para determinar a contaminação produzida pelos rejeitos do beneficiamento de ouro nos moinhos CRM, Cerro Rico e Chiapetta foram coletadas 4 amostras. A localização destas amostras consta da **Figura 3.1**.

O planejamento da amostragem de sedimentos de corrente e águas superficiais contemplou drenagens de segunda e terceira ordem, e, algumas, de ordem maior. A bacia amostrada englobou (i) os locais à jusante de antigas minas ou garimpos e instalações de recuperação de ouro por moagem e amalgamação, (ii) locais à jusante de algumas falhas para avaliar o possível enriquecimento de elementos químicos nas águas amostradas por influência dessas estruturas e (iii) os locais com área de captação semelhantes e situados, sempre que possível, sobre um mesmo substrato rochoso.

No planejamento e apoio da amostragem usou-se a base cartográfica da folha SH.22-Y-A-IV-3 da Diretoria do Serviço Geográfico - DSG do Exército Brasileiro, ano 1979, bem como fotografias aéreas na escala 1:25.000 de 23 de novembro de 1977 do DNPM-CPRM. As coordenadas das estações de amostragem foram obtidas com GPS *Garmin eTrex Summit* de 12 canais, com *datum* horizontal de Córrego Alegre.

A denominação das amostras dos diversos meios coletados consistiu de sigla com o nome

do coletor (OC) seguido do número da estação de amostragem. Para evitar congestionamento da figura 3.1, esta só contém os números das estações, sem a sigla do coletor.

### 4.2 - Amostragem de solos

A amostragem para determinar o *background* de solos das diversas rochas foi realizada no horizonte A. As amostras foram compostas pela mistura de duas ou três subamostras separadas de alguns metros de distância na profundidade entre 5 a 10 cm, em locais presumivelmente não contaminados. Duas amostras de solos foram localizadas sobre falhas para avaliar possível enriquecimento em Hg percolante ao longo dessas descontinuidades geológicas. A leste da Mina Valdo Teixeira foi coletada uma amostra de solo, paralelamente a um veio de quartzo andesito com pirita e afastada 5 m do mesmo. Em local com mineralização da Mina Cerrito, no entroncamento de estradas, foi amostrada a salbanda argilosa do veio de quartzo aurífero aflorante.

Para avaliar o grau de contaminação por mercúrio antrópico, junto às instalações de recuperação de ouro, foi feita amostragem composta de solos no entorno das mesmas, por fatias horizontais com espessura de 4 cm, imediatamente abaixo das raízes das gramíneas. Os pontos amostrados situaram-se entre 1 a 2 m do perímetro das paredes das instalações. No interior do moinho de beneficiamento Chiapetta também se amostrou solo próximo à saída de água que alimentava a turbina motriz do engenho e por onde escoavam água e rocha moída provenientes das mesas concentradoras e demais instalações de beneficiamento.

### 4.3 - Amostragem de sedimentos de corrente e águas superficiais

A amostragem de águas superficiais e sedimentos de corrente foi efetuada na segunda quinzena de julho de 2004, com dias frios e sem chuvas. Foram amostradas 33 estações pertencentes a drenagens de segunda e terceira ordem, com bacia de drenagem de cerca de 10km<sup>2</sup>, e 10 estações situadas nos arroios das Lavras e dos Jaques, de ordem superior, com bacias de aproximadamente 50 km<sup>2</sup>.

Em cada estação, foram coletadas: uma amostra de sedimentos de corrente acondicionada em saco grosso de polietileno; uma amostra de 500 ml de água superficial para determi-

nação de mercúrio total; uma amostra de 50 ml de água superficial para determinação de cátions e outra para a determinação de ânions, sendo ambas filtradas em membrana de 0,45 mm. As amostras de águas para determinação de cátions foram tratadas com ácido nítrico 65% Suprapur da Merck, para obter pH inferior a 2. As amostras de água para determinação de ânions foram mantidas à temperatura inferior a 8° C.

As amostras de água para determinação de mercúrio total não foram filtradas mas acidificadas conforme o procedimento descrito. Por solicitação do laboratório analítico, não foi usado o oxidante dicromato de potássio. As amostras de águas para mercúrio total e as para determinação de ânions foram mantidos à temperatura inferior a 8 ° C, em caixas com gelo durante a coleta diária e transferidas no fim do dia para refrigeradores com temperatura próxima a 8° C.

As amostras de águas foram semanalmente despachadas via aérea aos laboratórios analíticos. As destinadas às determinações de ânions e Hg total acondicionadas em caixas de isopor com gelo.

#### **4.4 - Preparação das amostras de solos e sedimentos de corrente**

Todas as amostras de solos, uma argilosa da salbanda da encaixante de veio mineralizado e 11 duplicadas de sedimentos de corrente foram peneiradas via úmida com auxílio de água deionizada na fração inferior a < 63 µm usando-se peneiras de PVC com telas de náilon. O material síltico-argiloso passante foi seco à temperatura ambiente, desagregado com almofariz de ágata e armazenado em potes de PVC. As alíquotas correspondentes foram enviadas para análise.

As amostras de sedimentos de corrente foram secadas à temperatura ambiente, peneiradas a seco na fração < 125 µm com peneiras de PVC e telas de náilon.

#### **4.5 - Duplicatas de campo, de laboratório e siglas das amostras**

Em duas das 43 estações de amostragem foram coletadas amostras em duplicata, perfazendo um total de 45 amostras, todas peneiradas a seco na fração < 125 µm. Dentre estas, selecionou-se aleatoriamente onze amostras para serem duplicadas em laboratório na fração < 63 µm, após peneiração a úmida. Este procedimento foi adotado para estudo comparativo entre diferentes frações granulométricas e entre frações granulométricas iguais utilizadas em outros trabalhos realizados na área. Onze amostras de

sedimento de corrente foram aleatoriamente selecionadas e quarteadas.

#### **4.6 - Amostra de Referência**

A amostra 230-OC-S-46 foi encaminhada para análise e corresponde ao padrão de referência para mercúrio Mist 8407, chancelada pelo US Department of Commerce of National Institute of Standard and Technology. *Nominal value* 50µg/g, Gaithersburg MD 20899. O seu teor de mercúrio é de 46.606 ng/g ou 46,606 µg/g.

#### **4.7 - Análises**

Alíquotas de 1g das amostras de sedimento de corrente e de solo foi digerida com 6 ml (2:2:2 HCl-HNO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O) a 95 °C durante 1 hora, diluídas a 20ml e analisadas para Ag-Al-As-Au-B-Ba-Be-Bi-Ca-Cd-Ce-Co-Cr-Cs-Cu-Fe-Ga-Ge-Hf-Hg-In-K-La-Li-Mg-Mn-Mo-Na-Nb-Ni-P-Pb-Rb-Re-S-Sb-Sc-Se-Sn-Sr-Ta-Te-Th-Ti-Tl-U-V-W-Y-Zn-Zr por ICP-MS na ACME Analytical Laboratories LTD.

Os resultados das concentrações dos 51 elementos analisados em solos, sedimentos de corrente e salbanda argilosa e de águas superficiais estão arquivados e disponíveis para consulta na Biblioteca da Superintendência da CPRM de Porto Alegre. Neste relatório foi dada ênfase à interpretação dos resultados de 22 elementos de interesse ambiental e metalogenético. Esses elementos foram selecionados de acordo com os seguintes critérios: a) associados ao ciclo sedimentar secundário e/ou a alterações de minerais ferromagnesianos; b) sua relação com a associação shoshonítica da área (Ba-Ce-P-Rb-Sr) ou elementos próximos a estes na Tabela Periódica (Y-Ca); c) elementos típicos de rochas básicas (Ni-Co); d) indicadores de mineralizações com elementos calcófilos, muitos dos quais também de interesse ambiental devido a suas toxicidades (Ag-As-Au-Bi-Cd-Cu-Hg-Mo-Pb-Sb-Zn).

As amostras de água superficial não filtradas e acidificadas com ácido nítrico Suprapur da Merck foram analisadas para mercúrio total na GEOSOL por EAA com vapor frio. As amostras para cátions em águas foram filtradas, acidificadas e analisadas para 25 cátions no LAMIN da CPRM do Rio de Janeiro por ICP-AES. Os elementos Na e K foram analisados por EAA. As amostras de água também foram analisadas para Br-Cl-F-NO<sub>2</sub>-NO<sub>3</sub>-PO<sub>4</sub>-SO<sub>4</sub> por cromatografia de íons. As amostras OC-01 a OC-12 foram analisadas pelo LAMIN, e as OC-13 a OC-43 pelo laboratório da PUC do Rio de Janeiro. Na interpretação de resultados de águas superficiais foram aproveitados Al-Ba-Ca-Fe-Mg-Mn-Pb-Sr-Zn-Na-K. Os demais (As-B-Be-Cd-Co-Cr-Cu-Hg-Li-Mo-Ni-Se-

Ti-V) foram descartados devido ao excessivo número de valores inferiores ou iguais aos limites inferiores de detecção. Pelo mesmo motivo, foram também descartados os resultados de Br-NO<sub>2</sub>-PO<sub>4</sub>, com aproveitamento de Cl-F-NO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>.

#### **4.8 - Avaliação estatística**

Os dados do Projeto nos diversos meios amos-

trados foram avaliados estatisticamente com emprego do pacote estatístico do *software* NCSS de Hintze (2004). Os resultados analíticos das amostras de sedimentos de corrente utilizados na confecção de dendrogramas a partir da análise de agrupamentos foram transformados para a distribuição Z, usando-se a variância mínima de Ward, método de distância Euclidiana e desvio abs médio



## 5. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

### 5.1 - Solos

Os teores das amostras de solo foram comparados com os valores orientadores de Alerta - Referência - Intervenção em solo (amostra total) da CETESB (2001), atualizados em 2005 ([www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios/tabela\\_valores\\_2005.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios/tabela_valores_2005.pdf)). Na segunda versão foi introduzido o conceito de *valores de prevenção*, em substituição aos de alerta da anterior. Contudo, apenas o valor de prevenção do Cádmiu foi alterado para valor mais restritivo em relação ao de alerta. Os valores de intervenção de Cd-Zn tornaram-se mais restritivos na versão de 2005, enquanto os de Cu-Hg-Ni são, em geral, mais permissivos, especialmente quanto à intervenção agrícola (**Tabela 1**). Considerando os últimos elementos, salienta-se a alteração dos teores de Hg que se tornaram de 5 a 7 vezes mais permissivos para intervenção agrícola e residencial, respectivamente. Face ao desconhecimento dos critérios que levaram a essas alterações, optou-se por utilizar os valores de CETESB (2001) na interpretação dos dados aqui apresentados. Neste relatório, os valores de intervenção referidos em tabelas e texto são os de agrícola e não o residencial, uma vez que a área estudada é rural e não urbana, com uso do solo para fins predominantemente agropastoril.

#### 5.1.1 - Solos com teores de *background*

A avaliação do *background* foi feita em amostras de solos afastados de áreas contaminadas pelos moinhos. Os teores de *background* de solo da área granítica constam da **Tabela 2**. As amostras OC-5002 e OC-5008 provêm de solos da área granítica, mas a primeira não foi considerada como da área granítica devido ao dendrograma da **Figura 3** que registra o afastamento entre ambas as amostras, consequência de dife-

rentes concentração da maioria dos elementos. Assim, optou-se por utilizar apenas da amostra OC-5008 como referência de *background* de solo granítico e por estar situada sobre a Fácies de Núcleo do CGLS, mais representativo em área. O dendrograma também mostra que a amostra OC-5002 é mais semelhante à amostra OC-5006, da área andesítica.

Assim, a amostra OC-5002 foi associada a solos da área andesítica da **Tabela 3**, embora localizada sobre pequeno corpo de quartzo-monzonito pórfiro. Esta amostra apresenta, para a maioria dos elementos, teores bem mais elevados que a amostra OC-5008, exceto de Hg-Mo-Rb, como mostram as tabelas. O corpo de quartzo-monzonito pórfiro, por ser pequeno e intrudiu andesito pode ter assimilado parte dos elementos da encaixante. Da mesma forma, o solo desenvolvido sobre o mesmo pode ter sido contaminado com solo de andesito. É provável que este seja o motivo pelo qual a amostra OC-5002

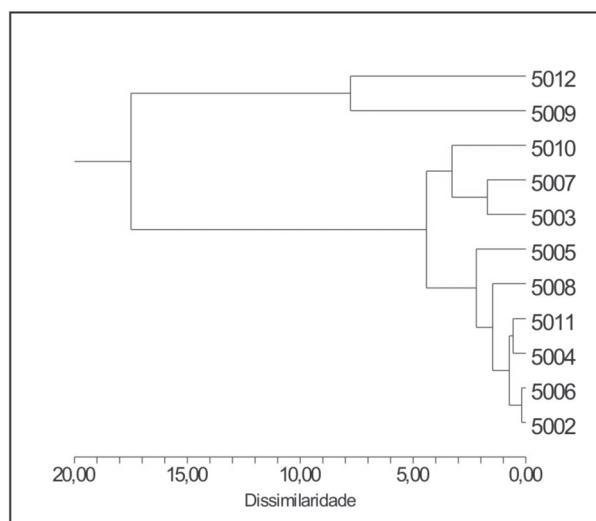


Figura 3 - Dendrograma de amostras de solos de Lavras do Sul.

Tabela 1 - Comparação de valores orientadores de alguns elementos em solos (amostra total) conforme CETESB (2001) e CETESB (2005).

Elemento	Referência 2001 = 2005	Alerta 2001	Prevenção 2005	Intervenção Agrícola 2001	Intervenção Agrícola 2005	Intervenção Residencial 2001	Intervenção Residencial 2005
As (µg/g)	3,5	15	15	25	25	50	50
Cd (µg/g)	<0,5	3	1,3	10	3	15	8
Cu (µg/g)	35	60	60	100	200	500	400
Hg (µg/g)	0,05	0,5	0,5	2,5	12	5	36
Ni (µg/g)	13	30	30	50	70	—	100
Pb (µg/g)	17	100	100	200	200	350	350
Zn (µg/g)	60	300	300	500	450	1000	1000

seja mais semelhante à amostra OC-5006, da área andesítica, do que a OC-5008 no dendrograma da **Figura 3**.

Os teores dos elementos nos solos da área andesítica constam da **Tabela 3**. O valor médio dos teores de 5 amostras de solo é considerado como o *background* de solos de andesitos.

A comparação entre os teores médios (VM) da **Tabela 3** com os orientadores da CETESB (2001) da **Tabela 1** mostra que teores médios de As-Cu-Ni-Pb são superiores aos de referência, uma vez que os *backgrounds* da área são elevados devido à presença de mineralizações sulfetadas. Os teores mais elevados de Au-Ba-Bi-Co-Cu-Sb-Zn da amostra OC-5003 podem estar associados aos elevados teores de Fe e Mn. Esses 9 elementos também podem refletir halos de dispersão das mineralizações ou contaminações nas áreas mineradas a montante do Moinho Cerro Rico e junto ao local de coleta do solo. Dentre esses elementos, o Cu tem teor superior ao de alerta da CETESB, mas, em princípio, não causa preocupação uma vez que o teor não é muito superior ao da média (54,6µg/g) e ocorre só em uma amostra. Teores elevados em Ag-Bi-Cu-Fe-Mn-Zn em sedimentos de corrente coletados em áreas com intenso desmonte de veios de quartzo mineralizado logo ao sul, na região de Volta Grande, parecem estar ligados aos altos teores de Fe e Mn. As amostras OC-5004 e OC-5006, situadas sobre falhas, possuem teores de Hg de 57ng/g e 16ng/g respectivamente. São variações de ±50% em torno da média. Aparentemente não mostraram enriquecimento associado à falha NE-SW.

### 5.1.2 - Salbanda argilosa de veio aurífero

Os elementos mais enriquecidos na amostra de salbanda argilosa de veio aurífero OC-5001 foram Ag-As-Au-Hg-Mo (**Tabela 4**). O alto teor de Mo sugere que os fluidos mineralizantes tiveram contato com rochas ricas no elemento, tais como os granitóides de afinidade shoshonítica.

Estudos litoquímicos de veio do Cerrito dos Pires por Távora *et al.* (1989) mostraram enriquecimento em As-Sb-Se-Te, sendo As o melhor farejador e o mais disseminado na mineralização sob a forma de pirita arsenífera e sulfoarsenitos. Os resultados em solos aqui obtidos também indicaram o As como o principal farejador de mineralizações de ouro. Sedimentos de corrente em drenagem encaixada em fraturas paralelas ao veio principal do Cerrito dos Pires mostraram concentrações maiores do que nos perfis de solos sobre o veio principal (Távora *et al.*, 1989). Inspeção no campo feita posteriormente pelos autores conduziu à hipótese de que drenagens en-

caixadas em fraturas paralelas aos veios poderiam cortar fraturas mineralizadas.

### 5.1.3 - Solo na avaliação da dispersão junto a veio mineralizado

Os teores da amostra de solo OC-5011 coletada a 5 m de veio com pirita visível apresentou teores maiores (**Tabela 4**) do que as amostras OC-5005, OC-5006 e valor médio (**Tabela 3**) em 57%, 72% e 54% dos 22 elementos, respectivamente. O teor em Hg (58 ng/g) também foi maior do que o valor médio, mas sem maior destaque quando comparado com o valor médio de 36,2 ng/g e com o de referência em solos da CETESB (**Tabela 1**). Essas concentrações são baixas se comparadas com o teor de 1.800 ng/g de Hg encontrado por Pestana & Formoso (2003) em amostra de veio de quartzo sulfetado da Mina Valdo Teixeira.

Os teores de Sb e Mo na amostra OC-5011, embora não expressivos, são compatíveis com os da amostra OC-10 de sedimento de corrente, situada na drenagem próxima e cuja cabeceira engloba a Mina Valdo Teixeira.

### 5.1.4 - Solos contaminados antropicamente

Os resultados analíticos dos solos coletados para avaliar a contaminação antrópica no entorno dos moinhos resultante dos resíduos de Hg por amalgamação constam da **Tabela 5**. Além da classificação dos teores com diferentes retângulos para As-Cd-Cu-Hg-Pb-Zn, conforme os padrões da CETESB (2001), a tabela também mostra, entre parêntesis, a taxa de contaminação nesses elementos dada pelo quociente do teor no solo pelo respectivo valor médio. A maior taxa de contaminação foi em Au na amostra OC-5009, o principal minério da área, seguido do Hg na OC-5009 e do Bi na OC-5012. Os teores de Hg variaram entre 4 e 17 vezes o valor de intervenção agrícola da CETESB (**Tabela 1**).

O arsênio é o farejador para ouro mais abundante nos solos da área do Cerrito dos Pires (Távora *et al.*, 1989). Em três amostras os seus teores são maiores do que o valor de intervenção agrícola da CETESB e uma amostra com valor maior que o de alerta. Os elementos Cu-Hg-Pb-Zn também apresentaram teores maiores que os respectivos valores de intervenção.

### 5.1.5 - Conclusões sobre solos

1 - Os valores médios (VM) de As-Cu-Ni-Pb da área com andesitos são superiores aos respectivos valores de referência da CETESB, pois os *backgrounds* elevados resultam da presença

Tabela 2 - Resultados analíticos de solo de área granítica de Lavras do Sul. Fração < 63 µm. Abertura: Água-régia. Leitura: ICP-MS.

Nº Amostra	Ag (ng/g)	As (µg/g)	Au (ng/g)	Ba (µg/g)	Bi (µg/g)	Ca (%)	Cd (µg/g)	Ce (µg/g)	Co (µg/g)	Cu (µg/g)	Fe (%)	Hg (ng/g)	Mn (µg/g)	Mo (µg/g)	Ni (µg/g)	P (%)	Pb (µg/g)	Rb (µg/g)	Sb (µg/g)	Sr (µg/g)	Y (µg/g)	Zn (µg/g)
5008 <sup>2</sup>	82	8,2	6,3	78,5	0,19	0,07	0,03	37,9	3,7	10,33	1,84	54	131	1,25	5,2	0,03	18,92	49,4	0,37	15,5	10,7	38,7
<sup>1</sup> Valor de Referência	nr	3,5	nr	nr	nr	nr	<0,5 <sup>1</sup>	nr	nr	35	nr	50	nr	nr	13	nr	17	nr	nr	nr	nr	60
<sup>1</sup> Valor de Alerta	nr	15	nr	nr	nr	nr	3	nr	nr	60	nr	500	nr	nr	30	nr	100	nr	nr	nr	nr	300
<sup>1</sup> Valor de Intervenção Agrícola	nr	25	nr	nr	nr	nr	10	nr	nr	100	nr	2500	nr	nr	50	nr	200	nr	nr	nr	nr	500
> ou = ao valor de referência <span style="border: 1px solid green; padding: 2px;"> </span> > ou = ao valor de alerta <span style="border: 1px solid blue; padding: 2px;"> </span> > ou = ao valor de intervenção <span style="border: 1px solid red; padding: 2px;"> </span>																						
<sup>1</sup> Valores orientadores em solo em amostra total da CETESB (2001)																						
<sup>2</sup> Valores usados nesse trabalho como valor médio (VM) em granitos.      nr = elemento não referenciado pela CETESB (2001).																						

Tabela 3 - Resultados analíticos de solos de área andesítica de Lavras do Sul. Fração < 63 µm. Abertura: Água-régia. Leitura: ICP-MS.

Nº Amostra	Ag (ng/g)	As (µg/g)	Au (ng/g)	Ba (µg/g)	Bi (µg/g)	Ca (%)	Cd (µg/g)	Ce (µg/g)	Co (µg/g)	Cu (µg/g)	Fe (%)	Hg (ng/g)	Mn (µg/g)	Mo (µg/g)	Ni (µg/g)	P (%)	Pb (µg/g)	Rb (µg/g)	Sb (µg/g)	Sr (µg/g)	Y (µg/g)	Zn (µg/g)
5002	132	23,1	35,7	322,6	0,6	0,15	0,03	53,4	8,5	57	1,91	39	384	0,52	9,4	0,03	29,48	34	0,85	41,3	9,48	44,6
5003	65	13,7	40,9	365,7	0,69	0,24	0,03	76,4	27,8	108,29	4,16	44	901	0,31	26,6	0,04	26,38	10,8	1,89	67,8	7,19	74,7
5004	28	10,2	11,3	148,5	0,22	0,13	0,04	40,8	9,8	11,02	2,62	57	334	0,34	41,6	0,03	24,1	22,5	0,52	43,2	1,98	60,5
5005	68	6,1	6,1	298,6	0,11	0,24	0,06	35,5	16,6	32,79	3,23	25	369	0,29	147,9	0,04	13,21	54	0,38	79,5	3,87	46
5006	86	8,5	3,9	309,8	0,26	0,24	0,04	51,6	6,2	33,91	2,09	16	410	0,2	15,4	0,03	12,17	21,7	0,8	66,1	8,96	48,9
VM	75,8	12,32	19,58	289,04	0,376	0,2	0,04	51,54	13,78	54,60	2,802	36,2	479,6	0,332	48,58	0,034	21,068	28,6	0,888	59,58	6,296	54,94
<sup>1</sup> Valor de Referência	nr	3,5	nr	nr	nr	nr	<0,5 <sup>1</sup>	nr	nr	35	nr	50	nr	nr	13	nr	17	nr	nr	nr	nr	60
<sup>1</sup> Valor de Alerta	nr	15	nr	nr	nr	nr	3	nr	nr	60	nr	500	nr	nr	30	nr	100	nr	nr	nr	nr	300
<sup>1</sup> Valor de Intervenção Agrícola	nr	25	nr	nr	nr	nr	10	nr	nr	100	nr	2500	nr	nr	50	nr	200	nr	nr	nr	nr	500
> ou = ao valor de referência <span style="border: 1px solid green; padding: 2px;"> </span> > ou = ao valor de alerta <span style="border: 1px solid blue; padding: 2px;"> </span> > ou = ao valor de intervenção <span style="border: 1px solid red; padding: 2px;"> </span>																						
VM (valor médio) foi calculado com as amostras 2 a 6.																						
nr = elemento não referenciado pela CETESB (2001). <sup>1</sup> Valores orientadores em solo em amostra total da CETESB (2001)																						

Tabela 4 - Resultados analíticos de material argiloso de salbanda de veio aurífero (5001) e de solo próximo a veio sulfetado (5011) de Lavras do Sul. Fração < 63 µm. Abertura: Água-régia. Leitura: ICP-MS.

Nº Amostra	Ag (ng/g)	As (µg/g)	Au (ng/g)	Ba (µg/g)	Bi (µg/g)	Ca (%)	Cd (µg/g)	Ce (µg/g)	Co (µg/g)	Cu (µg/g)	Fe (%)	Hg (ng/g)	Mn (µg/g)	Mo (µg/g)	Ni (µg/g)	P (%)	Pb (µg/g)	Rb (µg/g)	Sb (µg/g)	Sr (µg/g)	Y (µg/g)	Zn (µg/g)
5001	465	122,6	6850,2	58,4	0,53	0,01	<0,01	64,4	3,3	3,09	1,39	305	18	14,38	0,7	0,01	11,41	15	1,09	6,4	23,94	30,7
5011	164	8,7	26,5	399,3	0,82	0,16	0,09	40,9	12,6	60,92	2,71	58	350	1,02	80,8	0,04	32,77	20,8	5,21	42,7	3,62	57,2
<sup>1</sup> Valor de Referência	nr	3,5	nr	nr	nr	nr	<0,5 <sup>1</sup>	nr	nr	35	nr	50	nr	nr	13	nr	17	nr	nr	nr	nr	60
<sup>1</sup> Valor de Alerta	nr	15	nr	nr	nr	nr	3	nr	nr	60	nr	500	nr	nr	30	nr	100	nr	nr	nr	nr	300
<sup>1</sup> Valor de Intervenção Agrícola	nr	25	nr	nr	nr	nr	10	nr	nr	100	nr	2500	nr	nr	50	nr	200	nr	nr	nr	nr	500
> ou = ao valor de referência <span style="border: 1px solid green; padding: 2px;"> </span> > ou = ao valor de alerta <span style="border: 1px solid blue; padding: 2px;"> </span> > ou = ao valor de intervenção <span style="border: 1px solid red; padding: 2px;"> </span>																						
<sup>1</sup> Valores orientadores em solo em amostra total da CETESB (2001).      nr = elemento não referenciado pela CETESB (2001).																						

de mineralizações sulfetadas.

2 – O solo localizado sobre quartzo-monzo-nito pórfiro (amostra OC-5002) é rico na maioria dos elementos quando comparado com o solo sobre a Fácies de Núcleo do CILS (OC-5008).

3 – Os solos junto aos moinhos de beneficiamento estão enriquecidos na maioria dos 22 elementos analisados. Em 75% a 100% das amos-

tras, as concentrações de As-Cu-Hg-Pb superaram os respectivos valores de intervenção agrícola de CETESB (2001).

4 – A salbanda argilosa do veio aurífero do Cerrito dos Pires é rica em Ag-As-Au-Hg-Mo. Exceto o Hg, os demais elementos também estão presentes na associação com o Au em sedimentos de corrente de área granítica.

Tabela 5 - Resultados analíticos de solos contaminados junto a moinhos de beneficiamento de minério aurífero de Lavras do Sul e respectivas taxas de contaminação. Fração < 63 µm. Abertura: Água-régia. Leitura: ICP-MS.

N° Amostra	Ag	As	Au	Ba	Bi	Ca	Cd	Ce	Co	Cu	Fe	Hg	Mn	Mo	Ni	P	Pb	Rb	Sb	Sr	Y	Zn
	(ng/g)	(µg/g)	(ng/g)	(µg/g)	(µg/g)	(%)	(µg/g)	(µg/g)	(µg/g)	(µg/g)	(%)	(ng/g)	(µg/g)	(µg/g)	(µg/g)	(%)	(µg/g)	(µg/g)	(µg/g)	(µg/g)	(µg/g)	(µg/g)
5007 <sup>2</sup>	5731 (75,80)	24,5 (1,98)	688,6 (35,16)	307,5 (1,06)	44,17 (117,47)	0,55 (2,75)	0,2 (5,0)	43,8 (0,84)	13,6 (0,98)	270,42 (4,95)	3,03 (1,08)	18508 (511,27)	626 (1,30)	1,44 (4,33)	15,1 (0,31)	0,1 (2,94)	79,16 (3,75)	22,6 (0,79)	4,78 (5,38)	117,4 (1,97)	6,36 (1,01)	113,4 (2,06)
5009 <sup>3</sup>	20834 (254,07)	127,2 (15,51)	13173 (2090,95)	384,2 (4,89)	31,46 (165,57)	0,5 (7,14)	1,34 (44,66)	134,6 (3,55)	11,3 (3,05)	270,55 (26,19)	4,86 (2,64)	43497 (605,5)	418 (3,19)	7,81 (6,24)	11,8 (2,28)	0,14 (4,66)	1465,36 (77,45)	26,4 (0,57)	16,48 (44,54)	55,6 (3,58)	22,8 (2,13)	661,8 (17,10)
5010 <sup>3</sup>	5695 (69,45)	59,3 (7,23)	2870,8 (455,68)	275,3 (3,50)	7,59 (39,94)	0,3 (4,28)	1,63 (54,33)	84,3 (2,22)	6,3 (1,70)	124,47 (12,04)	2,84 (1,54)	11821 (218,90)	566 (4,32)	4,01 (3,20)	7,5 (1,44)	0,1 (3,33)	1100,78 (58,16)	41,1 (0,83)	3,79 (10,24)	52,2 (3,36)	13,21 (1,23)	499,9 (12,91)
5012 <sup>4</sup>	20020 (264,11)	163 (13,2)	1533,5 (78,31)	617,5 (2,13)	281,95 (749,86)	0,31 (1,5)	0,29 (7,25)	72,9 (1,41)	28,5 (2,06)	1469,72 (26,9)	5,68 (2,02)	10379 (286,71)	1029 (2,14)	3,8 (11,44)	15,4 (0,31)	0,11 (3,23)	719,54 (34,15)	18,1 (0,63)	5,41 (6,09)	64,4 (1,08)	10,06 (1,59)	250,7 (4,56)
<sup>1</sup> Valor de Referência	nr	3,5	nr	nr	nr	nr	<0,5	nr	nr	35	nr	50	nr	nr	13	nr	17	nr	nr	nr	nr	60
<sup>1</sup> Valor de Alerta	nr	15	nr	nr	nr	nr	3	nr	nr	60	nr	500	nr	nr	30	nr	100	nr	nr	nr	nr	300
<sup>1</sup> Valor de Intervenção Agrícola	nr	25	nr	nr	nr	nr	10	nr	nr	100	nr	2500	nr	nr	50	nr	200	nr	nr	nr	nr	500
> ou = ao valor de referência <span style="border: 1px dashed green; padding: 2px;"> </span> > ou = ao valor de alerta <span style="border: 1px solid blue; padding: 2px;"> </span> > ou = ao valor de intervenção <span style="border: 1px solid red; padding: 2px;"> </span>																						
<sup>1</sup> Valores orientadores em solo em amostra total da CETESB (2001) <sup>2</sup> CRM <sup>3</sup> Moinho Chiapetta <sup>4</sup> Moinho Cerro Rico    nr = elemento não referenciado pela CETESB (2001)																						

## 5.2 - Sedimentos de corrente

Os elementos As-Cd-Cu-Hg-Ni-Pb-Zn foram avaliados para estudos ambientais, de acordo com a Resolução CONAMA (RC) 344/04. Esses elementos e o Au foram avaliados com fins metalogenéticos. Os resultados analíticos em sedimentos de corrente de áreas com granito constam da Tabela 6 e com andesito da Tabela 7.

### 5.2.1 - Avaliação estatística de sedimentos de corrente

Para estabelecer os teores limiares usou-se a fórmula da média mais dois desvios padrões, embora os testes aplicados raramente indicassem distribuição normal ou lognormal perfeita. Valores outliers, quando presentes, foram desconsiderados nos cálculos estatísticos. Limiares de elementos com distribuição irregular, não aceita pelo teste de normalidade, foram considerados como o maior valor não incluído entre os 2,5% maiores valores (Hawkes et al.,1962). Posteriormente, alguns limiares foram reavaliados e os valores elevados, associados às áreas com mineralizações, superiores aos novos limiares foram considerados como anômalos. Os parâmetros estatísticos dos elementos analisados em amostras de áreas com granitos e andesitos constam das Tabelas 8 e 9, respectivamente.

Os resultados analíticos dos 22 elementos químicos de 24 amostras de sedimentos de corrente da área granítica e 19 amostras da área andesítica foram avaliados por análises de agrupamentos (Cluster analysis) de amostras e de elementos. Os dendrogramas correspondentes constam das Figuras 4 e 5.

As amostras de um mesmo grupo nessas figuras estão representadas por um símbolo em comum, também utilizado na localização de cada grupo na Figura 6. Os 15 grupos também foram descritos pelas suas características de campo e analíticas em comum das amostras, como consta do quadro da Figura 6. Por exemplo, naquele quadro as feições características das amostras OC-22, 24, 25 são de locais minerados com valores anômalos em Cu e Au em sedimentos de corrente. Na Figura 6 os locais amostrados com estas feições estão representados pelo correspondente símbolo de quadrado em negrito. Os dendrogramas com os agrupamentos de elementos correspondentes aos dois tipos de substratos rochosos constam das Figuras 7 e 8.

### 5.2.2 - Amostras anômalas

A síntese dos valores anômalos consta da Figura 9. Seguem abaixo os principais comentários ambientais sobre os elementos As-Cd-Cu-Hg-Ni-Pb-Zn – Resolução CONAMA 344/04 (RC). O foco nesses elementos deve-se à potencial toxicidade aos organismos aquáticos e à saúde humana. Também é apresentada a avaliação metalogenética desses 7 elementos e do Au.

### 5.2.3 - Comentários relacionados aos elementos As-Cd-Zn-Pb-Cu-Hg-Ni-Au

#### 5.2.3.1 - Arsênio Área granítica

Na área granítica foram obtidos teores de As superiores ao limiar na amostra outlier OC-10 (4 x o limiar) da Mina Valdo Teixeira e nas amostras OC-03, 32 e 34, de possível anomalia natu-

Tabela.6 - Resultados analíticos de sedimentos de corrente sobre rochas graníticas de Lavras do Sul. Fração < 125 µm. Abertura: Água-régia. Leitura: ICP-MS.

N° Amostra	UTM N	UTM L	Ag (ng/g)	As (µg/g)	Au (ng/g)	Ba (µg/g)	Bi (µg/g)	Ca (%)	Cd (µg/g)	Ce (µg/g)	Co (µg/g)	Cu (µg/g)	Fe (%)	Hg (ng/g)	Mn (µg/g)	Mo (µg/g)	Ni (µg/g)	P (%)	Pb (µg/g)	Rb (µg/g)	Sb (µg/g)	Sr (µg/g)	Y (µg/g)	Zn (µg/g)
OC-01	6594158	225352	62	<b>7,80</b>	7,00	103,90	0,71	0,23	0,04	53,00	5,80	25,11	1,84	20	404	0,68	7,40	0,05	20,47	10,10	0,44	31,30	13,68	32,00
OC-02	6592775	225263	41	<b>7,20</b>	8,80	103,00	0,25	0,40	0,03	81,60	9,20	23,06	1,67	19	321	1,04	<b>29,60</b>	0,17	12,53	16,30	0,31	35,00	19,47	35,40
OC-03	6594516	224244	902	<b>16,20</b>	40,70	98,60	8,51	0,13	0,04	88,80	5,40	<b>56,18</b>	2,09	<b>195</b>	331	1,46	7,40	0,03	<b>68,59</b>	14,30	0,66	35,50	25,30	39,20
OC-04	6585911	226975	84	4,90	85,30	113,00	0,18	0,10	0,04	<b>79,50</b>	3,90	7,67	1,39	38	270	1,26	3,70	0,02	21,07	15,70	0,39	24,10	33,71	30,00
OC-05	6585591	226953	65	5,40	4,70	94,70	0,15	0,10	0,05	76,50	2,90	5,59	1,11	40	151	1,00	4,30	0,03	22,44	20,70	0,48	19,70	32,54	32,20
OC-06	6585477	227337	54	3,70	36,20	71,40	0,29	0,06	0,03	45,80	2,40	5,16	0,78	39	169	0,59	3,20	0,01	14,06	8,60	0,29	10,90	10,36	22,20
OC-07	6586230	221950	31	3,70	7,20	122,00	0,28	0,22	0,04	55,10	7,50	11,85	1,94	13	563	0,43	10,40	0,04	17,57	12,80	0,27	31,80	17,83	39,30
OC-10	6584020	228044	2149	<b>48,70</b>	5518,20	81,60	0,63	0,09	0,16	100,90	7,70	<b>306,27</b>	2,33	112	455	9,51	13,00	0,02	<b>57,39</b>	16,20	20,08	12,80	25,74	62,00
OC-15	6585317	224966	25	5,80	6,00	80,70	0,23	0,09	0,02	73,40	4,50	8,47	1,44	25	229	0,61	4,80	0,02	15,30	16,00	0,05	18,10	19,95	32,20
OC-18	6585720	224663	17	2,20	17,40	96,10	0,15	0,05	0,01	37,20	1,80	3,16	0,65	13	105	0,49	1,70	0,01	7,94	7,10	0,18	18,80	8,24	12,90
OC-19	6584948	219677	31	3,30	107,80	92,00	0,01	0,08	0,02	100,00	4,20	5,99	1,50	21	191	0,59	3,70	0,02	16,18	16,10	0,21	24,60	20,91	38,40
OC-20	6586709	224088	172	<b>9,90</b>	47,90	208,60	0,62	0,21	0,12	81,00	7,90	16,71	1,89	145	807	1,07	5,60	0,06	32,69	18,40	0,36	39,20	19,44	65,70
OC-21	6584889	222577	20	3,10	13,80	71,90	0,08	0,06	0,02	52,10	2,80	2,85	0,85	17	189	0,50	2,50	0,02	9,67	9,70	0,16	17,80	16,05	18,40
OC-32	6582436	228758	145	<b>12,70</b>	77,30	120,80	0,55	0,32	0,05	54,20	8,10	27,34	1,94	31	415	0,65	15,40	0,08	21,55	13,10	0,52	38,80	14,76	36,50
OC-34	6590920	228193	67	<b>13,70</b>	18,80	154,60	0,22	0,26	0,06	81,70	10,80	<b>37,03</b>	2,27	31	483	0,73	<b>22,90</b>	0,07	28,70	20,20	1,17	39,30	19,64	47,00
OC-35	6587961	223424	53	<b>9,40</b>	92,30	92,20	0,10	0,07	0,03	44,60	3,20	3,56	1,03	72	318	0,76	1,90	0,02	19,27	11,40	0,22	22,10	9,89	20,90
OC-36	6587482	220938	90	4,30	140,80	104,80	0,16	0,08	0,03	65,50	2,80	6,84	0,92	42	202	1,30	2,40	0,02	30,78	13,10	0,17	29,50	18,51	32,00
OC-37	6586794	220119	56	4,00	63,40	88,30	0,15	0,06	0,03	59,70	3,80	3,51	1,03	24	235	0,48	3,70	0,02	17,28	11,50	0,21	17,10	14,16	25,60
OC-38	6586622	220269	42	3,20	51,70	140,30	0,15	0,17	0,04	80,60	7,60	9,84	1,45	19	737	0,41	6,40	0,03	13,23	15,40	0,13	25,50	17,20	33,10
OC-39	6588862	218307	45	3,00	34,70	106,30	0,17	0,10	0,03	54,10	3,20	4,26	0,89	20	250	0,43	7,50	0,02	15,13	12,00	0,18	21,60	15,70	20,90
OC-40	6589096	218428	40	2,70	14,00	56,60	0,16	0,05	0,04	111,30	2,10	4,89	0,85	22	103	0,55	2,50	0,02	15,70	11,30	0,22	7,30	33,65	42,00
OC-41	6588172	222058	23	3,50	6,50	55,30	0,07	0,04	0,02	30,10	2,00	2,12	0,66	19	124	0,29	1,30	0,01	8,26	9,10	0,11	16,00	7,03	11,60
OC-42	6587523	224320	60	<b>6,10</b>	15,30	87,80	0,13	0,06	0,02	56,60	3,90	4,89	1,11	48	222	1,38	2,10	0,02	12,79	11,70	0,30	17,30	16,97	23,50
OC-43	6584672	217343	41	5,30	6,00	162,90	0,13	0,14	0,03	37,00	5,60	3,77	1,20	27	581	0,35	5,60	0,02	14,10	13,40	0,14	42,20	10,66	18,30
Limiar <sup>1</sup>			133	12,00	35,00	173,00	0,60	0,32	0,05	110,00	10,00	24,00	2,00	56	572	1,25	12,60	0,06	31,00	23,00	0,77	45,00	34,00	56,00
CONAMA <sup>2</sup> Nível 1			nr	5,90	nr	nr	nr	nr	0,60	nr	nr	35,70	nr	170	nr	nr	18,00	nr	35,00	nr	nr	nr	nr	123,00
CONAMA <sup>2</sup> Nível 2			nr	17,00	nr	nr	nr	nr	3,50	nr	nr	197,00	nr	486	nr	nr	35,90	nr	91,30	nr	nr	nr	nr	315,00

<sup>1</sup> Este trabalho <sup>2</sup> Resolução N° 344/04 - A resolução CONAMA N° 344/04 restringe-se aos elementos As, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb e Zn - nr = elemento não referenciado pelo CONAMA. - **7,80** > nível 1 **48,70** > nível 2

Tabela 7 - Resultados analíticos de sedimentos de corrente sobre rochas andesíticas e vulcano-clásticas associadas de Lavras do Sul. Fração < 125 µm. Abertura: Água-régia. Leitura: ICP-MS.

N° Amostra	UTM N	UTM L	Ag (ng/g)	As (µg/g)	Au (ng/g)	Ba (µg/g)	Bi (µg/g)	Ca (%)	Cd (µg/g)	Ce (µg/g)	Co (µg/g)	Cu (µg/g)	Fe (%)	Hg (ng/g)	Mn (µg/g)	Mo (µg/g)	Ni (µg/g)	P (%)	Pb (µg/g)	Rb (µg/g)	Sb (µg/g)	Sr (µg/g)	Y (µg/g)	Zn (µg/g)
OC-08	6584931	229021	66	5,00	28,50	90,90	0,27	0,08	0,03	49,90	3,80	8,75	1,04	63	322	0,72	4,60	0,02	16,13	11,00	0,33	16,30	10,76	27,00
OC-09	6584504	228739	65	19,80	6,40	171,70	0,32	0,25	0,06	65,10	12,50	40,24	2,59	18	444	1,13	70,40	0,04	25,13	18,80	1,55	34,00	20,61	64,80
OC-11	6585068	232706	84	8,10	30,30	164,40	0,49	0,20	0,07	68,30	9,70	17,08	1,85	62	614	0,67	26,50	0,04	22,89	16,10	0,50	36,30	17,41	49,50
OC-12	6584941	232789	41	14,80	11,00	292,70	0,12	0,61	0,08	74,50	36,30	26,84	3,83	24	1119	0,23	107,10	0,05	16,60	12,90	0,50	75,90	11,44	64,60
OC-13	6585932	234374	39	21,10	13,50	229,90	0,16	0,44	0,10	71,30	22,50	19,46	3,25	27	731	0,18	67,50	0,08	20,73	17,70	0,50	64,70	9,42	70,30
OC-14	6586710	236173	67	24,60	7,50	244,30	0,28	0,42	0,13	94,30	23,20	20,50	2,84	92	951	0,39	73,40	0,09	27,62	22,70	1,86	62,50	15,65	79,00
OC-16	6586455	232551	205	24,00	22,90	199,10	0,72	0,29	0,22	69,70	16,40	28,09	2,55	64	845	0,50	45,00	0,05	134,14	16,40	1,97	47,20	16,76	104,80
OC-17	6589066	234283	67	22,40	1,40	214,60	0,24	0,31	0,07	84,60	19,10	18,66	3,16	89	929	0,35	61,20	0,05	36,92	24,00	3,40	54,50	12,73	80,90
OC-22	6585425	231162	202	17,40	37,50	274,70	1,54	0,47	0,07	58,40	19,20	65,53	3,32	46	1039	0,31	23,00	0,07	28,58	23,80	2,06	100,80	13,08	71,70
OC-23	6585169	231050	94	7,00	12,50	139,80	0,35	0,16	0,04	57,20	7,20	19,05	1,64	55	465	0,52	18,40	0,03	18,45	14,10	0,69	32,50	14,42	42,20
OC-24	6586142	230366	146	16,90	5,90	272,00	0,71	0,45	0,07	64,80	21,60	59,72	3,72	50	1012	0,34	22,40	0,08	29,94	22,50	2,35	87,50	16,96	80,30
OC-25	6585819	230231	904	23,30	11,00	256,70	5,46	0,45	0,05	55,10	27,90	119,11	4,60	41	1152	0,46	28,30	0,08	29,86	28,20	2,60	101,40	13,40	73,60
OC-26	6589451	231218	89	73,90	1,60	259,00	0,21	0,38	0,08	57,40	17,60	41,53	3,24	82	914	0,43	26,70	0,07	44,54	13,20	5,89	76,90	11,13	66,50
OC-27	6589303	230534	3327	50,60	2760,90	319,50	45,85	0,38	0,09	58,20	22,20	238,23	3,96	958	1165	0,88	15,30	0,07	94,52	15,70	2,31	77,10	10,56	76,30
OC-28	6589482	230360	108	29,40	9,00	222,90	0,49	0,33	0,06	70,40	13,30	49,76	2,72	61	723	0,90	14,90	0,05	30,62	24,70	2,21	69,40	19,36	54,60
OC-29	6593372	231887	71	21,80	10,60	385,40	0,14	0,33	0,08	71,60	24,50	33,08	2,52	77	1393	0,12	29,50	0,03	22,56	18,70	0,95	78,20	9,01	47,70
OC-30	6592326	231879	51	12,50	1,40	245,90	0,12	0,36	0,04	52,50	12,20	32,23	2,59	37	634	0,15	21,00	0,06	18,59	13,90	0,79	58,20	7,37	51,70
OC-31	6593355	230599	84	12,40	320,60	182,90	0,05	0,34	0,05	71,70	10,50	35,63	2,29	34	695	0,56	22,10	0,04	25,02	20,70	0,61	54,60	21,73	55,10
OC-33	6592090	228972	66	17,90	4,50	258,10	0,23	0,29	0,09	68,10	18,00	37,28	3,13	38	876	0,58	35,70	0,06	27,71	14,80	1,76	59,60	13,61	55,50
Limiar <sup>1</sup>			189	31,00	25,00	366,00	1,07	0,58	0,12	88,00	35,00	66,00	4,60	88	1397	1,03	53,10	0,09	40,70	28,00	3,30	108,00	22,00	99,00
CONAMA <sup>2</sup> Nível 1			nr	5,90	nr	nr	nr	nr	0,60	nr	nr	35,70	nr	170	nr	nr	18,00	nr	35,00	nr	nr	nr	nr	123,00
CONAMA <sup>2</sup> Nível 2			nr	17,00	nr	nr	nr	nr	3,50	nr	nr	197,00	nr	486	nr	nr	35,90	nr	91,30	nr	nr	nr	nr	315,00

<sup>1</sup>Este trabalho <sup>2</sup>Resolução N° 344/04 - A resolução CONAMA N° 344/04 restringe-se aos elementos As, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb e Zn - nr = elemento não referenciado pelo CONAMA - **19,80** > nível 1 **21,10** > nível 2

Tabela 8 - Parâmetros estatísticos das concentrações de elementos em sedimentos de corrente de amostras de área granítica de Lavras do Sul. Fração < 125 µm. Abertura: Água-régia. Leitura: ICP-MS.

Elemento	Média	DP	N	Outliers	Limiar	Range	Obs.
Ag(µg/g)	57	38,2	22	OC-03 = 902, OC-10 = 2149	133	17 - 172	Valores anômalos OC-20 = 172, OC-32 = 145
As (µg/g)	6,13	3,83	23	OC-10 = 48,1	12	2,2 - 16,2	Valores anômalos OC-03 = 16,2, OC-32 = 12,7, OC-34 = 13,7
Au (ng/g)	28,1	25,3	20	OC-10 = 5518, OC-36 = 140, OC-19 = 107, OC-35 = 92	35	4,7 - 85,3	População com valores inferiores a 88 ppb mostra ser bimodal. Valor do limiar inferido.
Ba (µg/g)	104,4	34,7	24		173	55,3 - 208,6	Valor anômalo OC-20 = 208
Bi (µg/g)	0,24	0,193	23	OC-03 = 8,51	0,6	0,01 - 0,71	Valores anômalos: OC-S-01 = 0,71, OC-S-10 = 0,63, OC-S-20 = 0,62
Ca (%)	0,13	0,095	24		0,32	0,04 - 0,4	Valores anômalos OC-02 = 0,40, OC-32 = 0,32
Cd (µg/g)	0,032	0,012	22	OC-10 = 0,16, OC-20 = 0,12	0,054	0,01 - 0,06	Valor anômalo OC-34 = 0,06.
Ce (µg/g)	66,6	21,8	24		110	30,1 - 111,3	Dendrograma associou as amostras OC-15,19,40 ricas em Ce.
Co (µg/g)	4,9	2,5	24		10	1,8 - 10,8	
Cu (µg/g)	10	9,5	22	OC-10 = 306 OC-03 = 56,1	24	2,1 - 37,03	
Fe (%)	1,3	0,49	22	OC-10 = 2,33, OC-34 = 2,27	2	0,65 - 2,09	Parece ser população bimodal. Valores menores que 1,2% representam área com lixiviação do ferro de silicatos. Limiar arbitrado em 2% face aos baixos valores.
Hg (ng/g)	28	14	21	OC-03 = 195, OC-20 = 145, OC-10 = 112	56	13 - 72	Valor anômalo OC-35 = 72
Mn (µg/g)	286	142	22	OC-20 = 807, OC-38 = 737	572	103 - 581	Valor anômalo OC-43 = 581
Mo (mg/g)	0,74	0,35	23	OC-10 = 9,51	1,25	0,29 - 1,46	Valores anômalos OC-03 = 1,46, OC-4 = 1,26, OC-36 = 1,3 OC-42 = 1,38
Ni (µg/g)	5,2	3,7	22	OC-02 = 29,6, OC-34 = 22,9	12,6	1,3 - 15,4	Valor anômalo OC-32 = 15,4
P (%)	0,028	0,018	23	OC-2 = 0,17	0,064	0,01 - 0,08	Valor anômalo OC-32 = 0,08
Pb (µg/g)	17,5	6,7	22	OC-03 = 68, OC-10 = 57	31	7,9 - 32,6	Valor anômalo OC-20 = 32,6
Rb (µg/g)	13,5	3,5	24		23	7,1 - 20,7	
Sb (µg/g)	0,31	0,23	23	OC-10 = 20,08	0,77	0,053 - 1,17	Valor anômalo OC-34 = 1,17
Sr (µg/g)	24,8	9,91	24		45	7,3 - 42,2	
Y (µg/g)	18,4	7,46	24		34	7,03 - 33,7	
Zn (µg/g)	30,6	11,6	22	OC-20 = 65,7 OC-10 = 62	56	11,6 - 62	Valor anômalo OC-10 = 62

Os outliers não foram incluídos nos cálculos estatísticos.

Tabela 9 - Parâmetros estatísticos das concentrações de elementos em sedimentos de corrente de área com andesito e vulcano-clásticas associadas de Lavras do Sul. Fração < 125 µm. Abertura: Água-régia. Leitura: ICP-MS.

Elemento	Média	DP	N	Outliers	Limiar	Range	Obs.
Ag(µg/g)	90,8	49,3	18	OC-27=3327 OC-25 = 904	189	39 - 205	Valores anômalos OC-16 = 205, OC-22 = 202, OC-24 = 146
As (µg/g)	17,5	6,8	17	OC-26=73,9 OC-27=50,6	31	5 - 29,4	
Au (ng/g)	12,5	10,7	17	OC-27=2760 OC-31=320	25	1,4 - 37,5	Valor anômalo OC-31 = 320,6ppb no arroio do Jaques
Ba (µg/g)	232,8	67,14	19		366	90,0 - 385,4	Valor anômalo OC-29 = 385,4
Bi (µg/g)	0,37	0,35	17	OC-27=45,85 OC-25=5,46	1,07	0,05 - 1,54	Valor anômalo OC-22 = 1,54
Ca (%)	0,34	0,12	19		0,58	0,08 - 0,61	Valor anômalo OC-12 = 0,61%
Cd (µg/g)	0,07	0,024	18	OC-16 = 0,22	0,12	0,03 - 0,13	Mina Merita à montante da amostra OC-16. Provavelmente a amostra tem contribuição de material de desmonte de veios de quartzo.
Ce (µg/g)	66	11	19		88	49,9 - 94,3	
Co (µg/g)	17,7	7,7	19		33	3,8 - 36,3	
Cu (µg/g)	32	15,5	17	OC-27 = 238 OC-25 = 119	66	8,75 - 65,5	O valor de 65,5ppm da OC-22 está a jusante da amostra OC-25 com 119 ppm. Provavelmente seja dispersão física proveniente de material de desmonte de veios de quartzo.
Fe (%)	2,9	0,85	19		4,6	1,04 - 4,6	OC-22 = 3,32% OC-24 = 3,72% OC-25 = 4,60 OC-26 = 3,24 OC-27 = 3,96
Hg (ng/g)	53	22,2	18	OC-27 = 958	88	18 - 92	Valores anômalos OC-17 = 89 ppb e OC-14 = 91 ppb. Respectivas drenagens encaixadas em fraturas nordeste.
Mn (µg/g)	843	277	19		1397	322 - 1393	Valores altos em Volta Grande: OC-25 = 1152ppm; OC-22 = 1039ppm; OC-24 = 1012ppm. Passo do Hilário OC-29 = 1393ppm
Mo (mg/g)	0,49	0,27	19		1,03	0,12 - 1,13	Valor anômalo OC-09 = 1,13 ppm
Ni (µg/g)	26,3	13,4	15		53,1	4,6 - 61,2	Os 15 valores considerados são provenientes de áreas andesíticas com vulcanosedimentares. Os 4 valores superiores a 62ppm são provenientes só de áreas com andesitos e representam uma segunda população
P (%)	0,05	0,02	19		0,09	0,02 - 0,09	Valor anômalo OC-14 = 0,09%
Pb (µg/g)	26	7,39	17	OC-16 = 134 OC-27 = 94	40,7	16,1 - 44,5	O outlier OC-16 é superior ao do produzido pela contaminação do rejeitos da Mina Merita. Valor anômalo OC-26 = 44,54
Rb (µg/g)	18,4	4,8	19		28	11 - 28,2	Valor anômalo OC-25 = 28,2ppm
Sb (µg/g)	1,5	0,9	18	OC-26 = 5,89	3,3	0,33 - 3,4	Valor anômalo OC-17 = 3,4
Sr (µg/g)	62	22,8	19		108	16,3 - 101,4	
Y (µg/g)	13,9	4,03	19		22	7,37 - 21,73	
Zn (µg/g)	64	17,5	19		99	27 - 104,8	Valor anômalo OC-16 = 104,8ppm. Mina Merita à montante

Os outliers não foram incluídos nos cálculos.

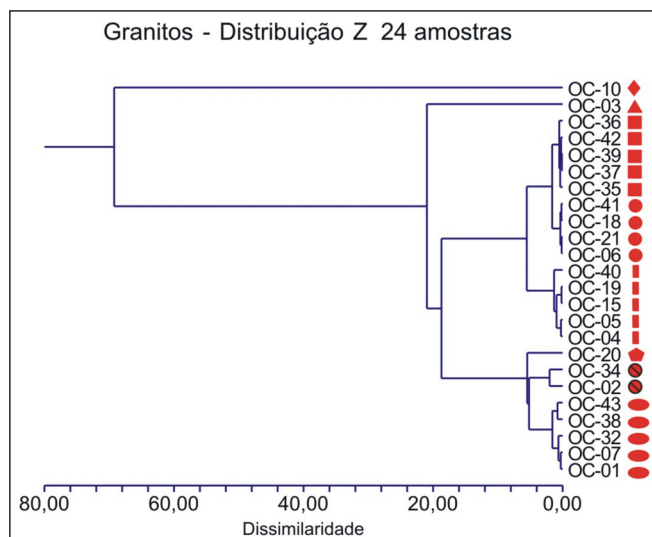


Figura 4 - Dendrograma de amostras de sedimentos de corrente sobre substrato granítico de Lavras do Sul com os respectivos símbolos por grupo de amostras.

ral, pois fontes antrópicas são desconhecidas à montante dos locais de amostragem.

O elevado teor de As da amostra OC-10 deve-se à contribuição dos sedimentos de corrente por rejeitos da encaixante dos veios da Mina Valdo Teixeira, reconhecíveis pela forte coloração rosa dos feldspatos. O rejeito parece mostrar a dispersão primária associada aos veios, pois dados analíticos de veio piritoso apresentados por Pestana & Formoso (2003) mostram altos teores de Cu e Hg no mesmo, comparativamente aos demais elementos analisados.

Embora o As não participe dessa relação, seu realce foi observado por Kaul & Rheinheimer (1974) em diversas amostras de veios e encaixantes dessa Mina.

No ambiente secundário o As aparenta não realçar, pois os dados analíticos da amostra OC-35 não mostram teor anômalo, mesmo que esta se localize à jusante da Mina Cerrito dos Pires, cuja salbanda argilosa de veio mineralizado é rica no elemento (amostra OC-5001).

### 5.2.3.2 - Arsênio Área andesítica

Os dois teores elevados de As na área com andesitos são das amostras OC-26 e OC-27. O teor da primeira, associado à concentração elevada de Pb, é de provável origem natural, pois se desconhece atividades mineiras em sua bacia. O teor da segunda se associa a teores anômalos também de Au-Cu-Hg-Pb (Figura 9). Esta associação provém dos desmontes e rejeitos do moinho da área minerada do Cerro Rico.

O As não tem forte correlação com outros elementos da mineralização, como Hg-Au-Bi-Ag-

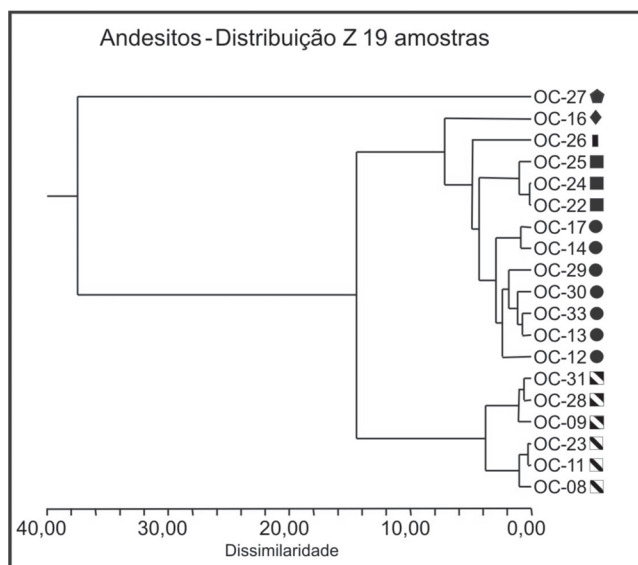


Figura 5- Dendrograma de amostras de sedimentos de corrente sobre substrato de andesito e vulcano-clásticas associadas de Lavras do Sul com os respectivos símbolos por grupo de amostras.

Cu, e com Pb-Cd-Zn, como indicam os graus de dissimilaridade 7 e 9 da Figura 8. Isto sugere que os valores anômalos de As se originaram de evento independente dos associados às principais mineralizações em andesitos.

### 5.2.3.3 - Cádmi e Zinco Área granítica

O Cd apresentou três teores superiores ao limiar, dois dos quais merecem destaque por serem *outliers*. O primeiro *outlier* é da amostra OC-20, a qual tem forte conotação antrópica por situar-se a jusante dos solos contaminados pelos moinhos Chiapetta e Paredão. Diversos elementos dessa amostra também foram anômalos.

O valor de 1,63 µg/g de Cd no solo da periferia do Moinho Chiapetta (Tabela 5) comparado com o valor médio (VM) de 0,03 µg/g de Cd em solos não contaminados (Tabela 2), é 54 vezes superior ao último. Sedimentos de corrente à montante do moinho apresentaram valores de *background* e a amostra OC-20 teor 4 vezes superior ao da média de Cd em sedimentos de corrente à montante (Figura 9). Como não houve coletada de sedimento de corrente entre o Moinho Chiapetta e a amostra OC-20, presume-se que a elevada concentração nesta última provenha de solos contaminados pelos moinhos. O segundo teor *outlier* de Cd é o da amostra OC-10, situada à jusante da Mina Valdo Teixeira, também anômala em Zn (Figura 10). Esta amostra tem a influência de mineralizações (Figura 7) e é anômala em As-Au-Cu-Hg-Pb (Figura 9). A amostra OC-10 parece ter forte contribuição de



### Mercúrio Antrópico e Outros Elementos em Drenagens Associadas às Minerações Auríferas de Lavras do Sul

Litologia	Grupo de amostras	Símbolos	Feições características das amostras de sedimentos de corrente agrupadas por dendrogramas
Granito	1	◆	Local minerado; muitos elementos anômalo relacionados à mineralização de ouro
	2	▲	Local não minerado; muitos elementos anômalo relacionados à mineralização de ouro
	3	■	Locais minerados; alguns com Au anômalo
	4	●	Locais de "background" em áreas graníticas
	5	■	Locais em drenagens NS de baixa ordem; alguns com Mo e/ou Au anômalos
	6	●	Local contaminado antropicamente
	7	●	Locais influenciados por falhamento NW, diques de rochas intermediárias e elementos anômalo a eles associados
	8	●	Locais em drenagens de ordens maiores
Andesito	9	◆	Local contaminado antropicamente
	10	◆	Local minerado para Pb; alguns elementos anômalo
	11	■	Local em drenagem NS de baixa ordem; As - Pb anômalo
	12	■	Locais minerados; Cu e Au anômalo
	13	●	Locais de "background" em áreas andesíticas; exeto para Co, Fig. Ni
	14	■	Locais com influência mista de granitos e andesitos
	15	■	Locais com forte influência de granitos

**LEGENDA**

- Estrada não pavimentada
- Estrada Pavimentada
- Drenagem simples
- Drenagem de margem dupla
- Símbolo do grupo de amostras com estação de amostragem
- Lavras do Sul
- Mina ou Garimpo Desativado
- Moinho de Beneficiamento

0 1 2 4 6 Km

N

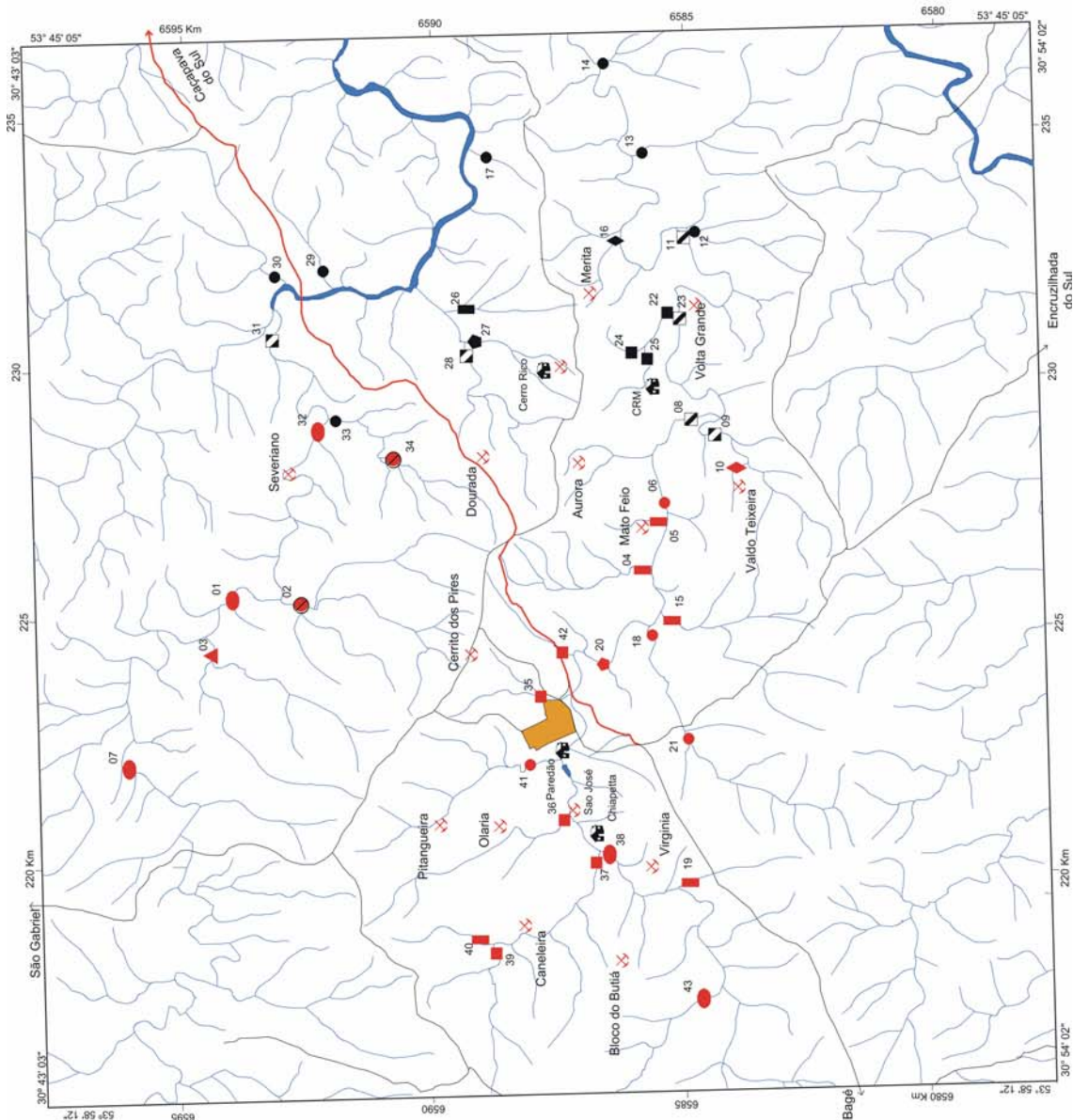


Figura 6 - Mapa de localização dos símbolos identificadores dos grupos de amostras geradoras dos dendrogramas das figuras 4 e 5 com estações de amostragem.

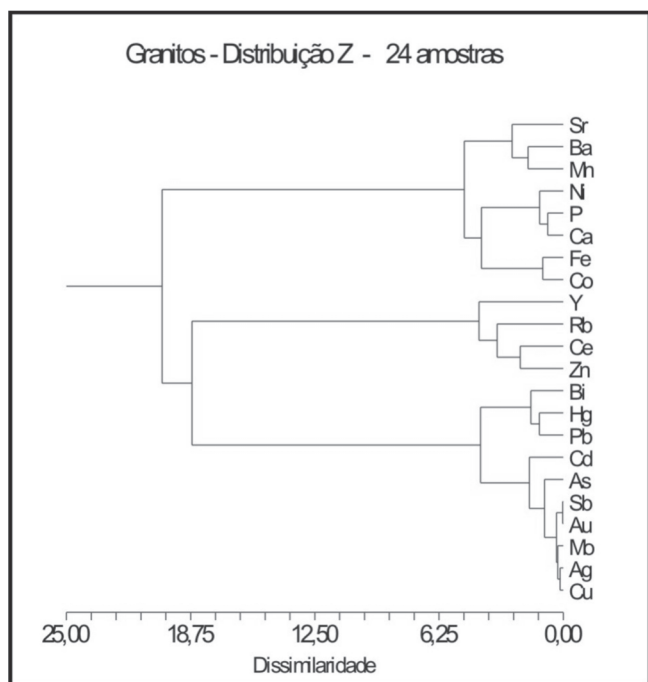


Figura 7 - Dendrograma de elementos de sedimentos de corrente de área granítica de Lavras do Sul.

elementos enriquecidos na encaixante dos veios e no material de desmonte da mina. A abundância de K-feldspato nos sedimentos de corrente atesta a presença do material de desmonte.

#### 5.2.3.4 - Cádmio e Zinco Área andesítica

Destacaram-se dois teores de Cd anômalos. O mais elevado ocorreu na amostra OC-16, se associa a valores anômalos também de Pb e Zn e está ligada à mineralização de Pb da Mina Merita. O segundo é da amostra OC-14, anômala também em Hg e Ni.

Saliente-se que a amostra OC-27, com contaminação antrópica devido ao beneficiamento de ouro do Moinho Cerro Rico e do desmonte mineiro à montante, não apresentou anomalias de Cd e Zn (Figuras 11 e 12), embora os demais cinco elementos sejam anômalos.

#### 5.2.3.5 - Chumbo Área granítica

Anomalias de Pb ocorreram nas amostras OC-03, de origem natural, OC-10 situada à jusante da Mina Valdo Teixeira e cuja importância foi acima comentada, e OC-20, associada à dispersão em solos contaminados junto aos moinhos à montante. A Figura 13 contém o mapa de distribuição dos teores de Pb em sedimentos de corrente, solos e salbanda argilosa. Sob o prisma metalogenético, a Figura 6 mostra a independência do Pb com os elementos da associ-

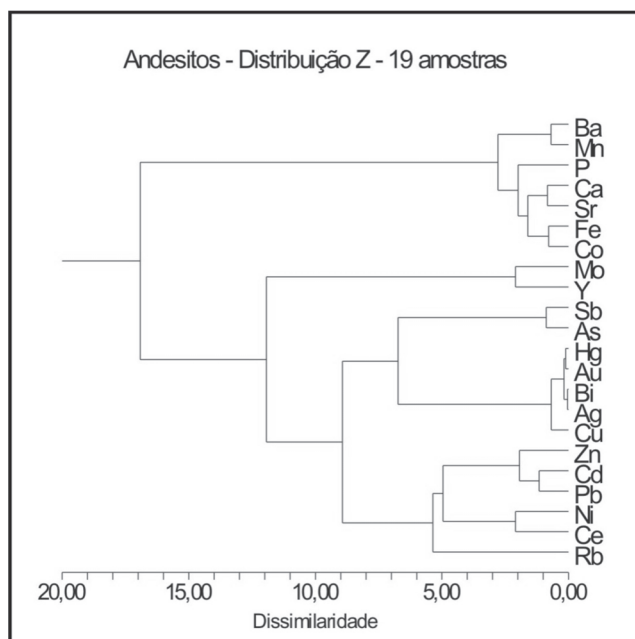


Figura 8 - Dendrograma de elementos de sedimentos de corrente de área andesítica de Lavras do Sul

ação aurífera Cu-Ag-Mo-Au-Sb-As e com o Hg, geralmente indicador de ambiente epitermal.

#### 5.2.3.6 - Chumbo Área andesítica

Nesta área também se verificou três resultados anômalos. Um ocorreu na amostra OC-16, situada na bacia de drenagem da Mina Merita. Outro na amostra OC-27, coletada na bacia de drenagem onde se localiza o Moinho Cerro Rico e a área minerada de suas cabeceiras. A Figura 4 mostra que OC-27 é independente das demais amostras devido à forte contribuição antrópica. A terceira é a amostra OC-26, a qual mostra certa relação com OC-16.

Do ponto de vista metalogenético, a Figura 8 mostra que o Pb é independente do grupo de elementos da associação aurífera Cu-Ag-Bi-Au-Hg(As-Sb). Dentre estes, o Hg pode representar deposição da associação sob baixa temperatura. A relação entre As-Sb e Cu-Ag-Bi-Au-Hg da associação aurífera é fraca, pois o valor de dissimilaridade entre os mesmos é 7.

Estudo litogeoquímico efetuado por Lima (1985) na região de Volta Grande mostra que o teor de Pb em rochas alteradas por hidrotermalismo, sem mineralização sulfetada, é menor que o de rochas inalteradas, o que sugere remobilização por alteração. Já os teores de Zn, entre rochas alteradas e inalteradas, permanecem constantes, sugestivo de que esse elemento não foi remobilizado. Isto pode contribuir para o entendimento do processo de formação do depósito



### Mercúrio Antrópico e Outros Elementos em Drenagens Associadas às Minerações Auríferas de Lavras do Sul

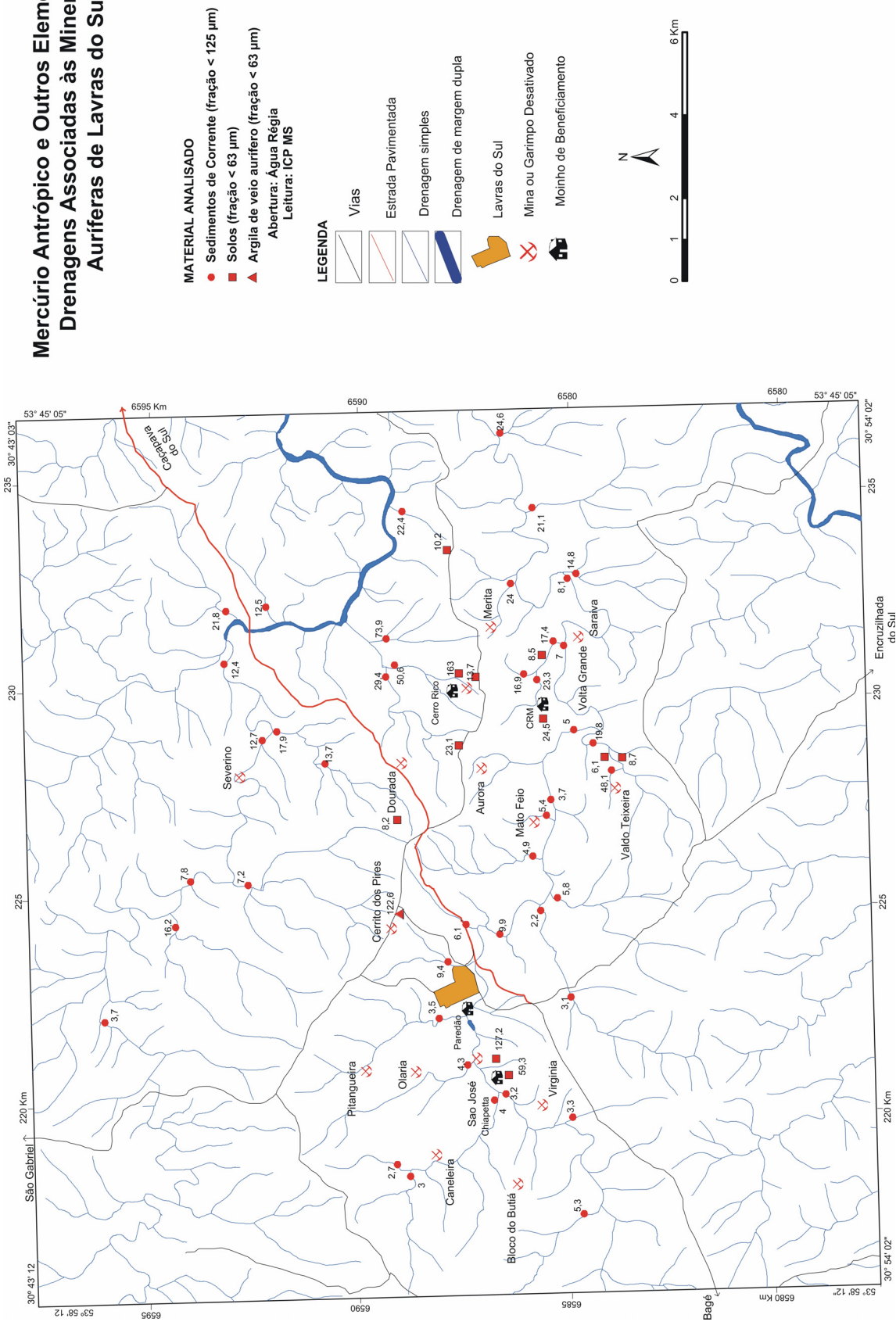


Figura 10 - Mapa de distribuição de As (mg/g).



### Mercúrio Antrópico e Outros Elementos em Drenagens Associadas às Minerações Auríferas de Lavras do Sul

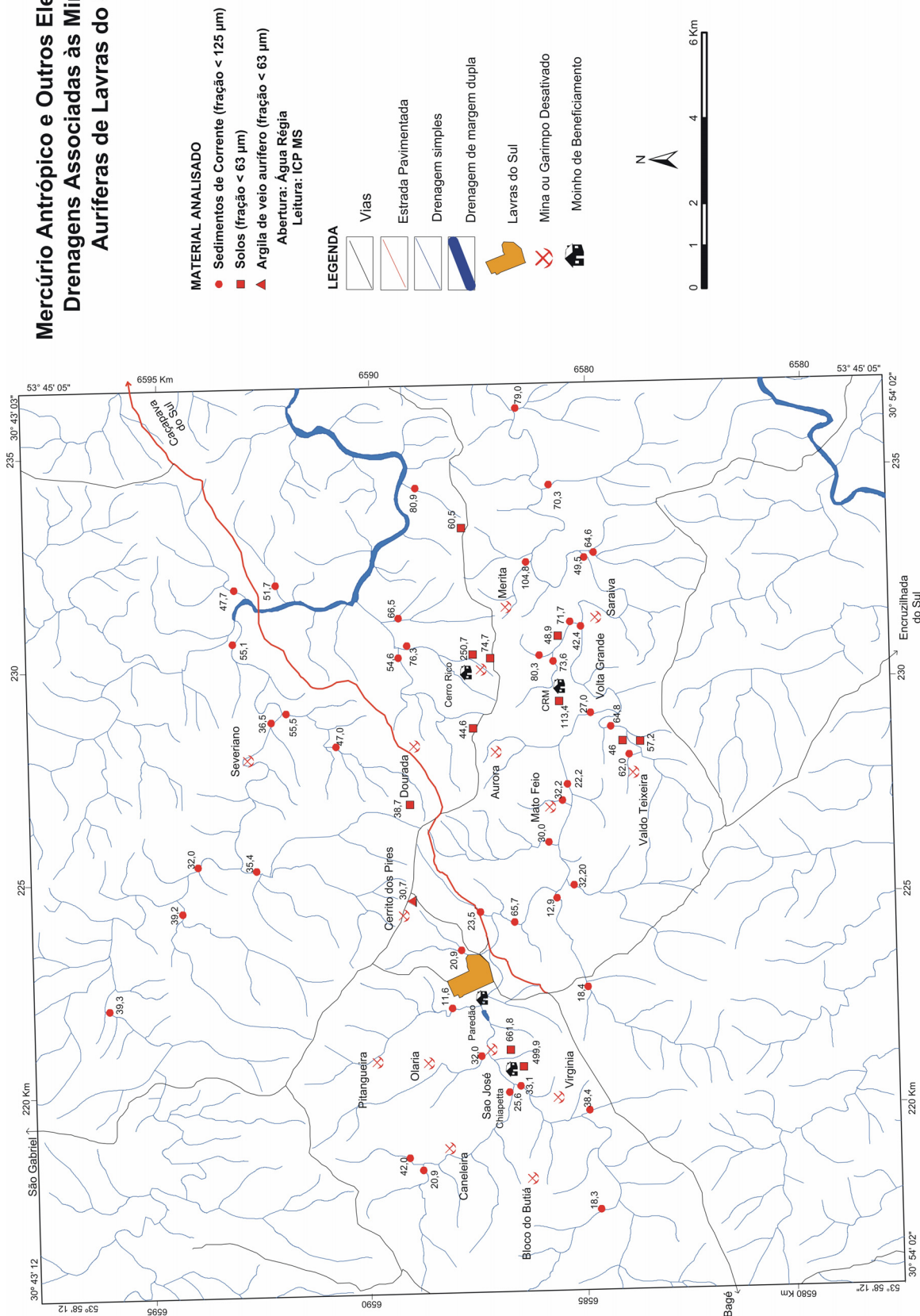


Figura 12 - Mapa de distribuição dos teores de Zn (µg/g).

### Mercúrio Antrópico e Outros Elementos em Drenagens Associadas às Minerações Auríferas de Lavras do Sul

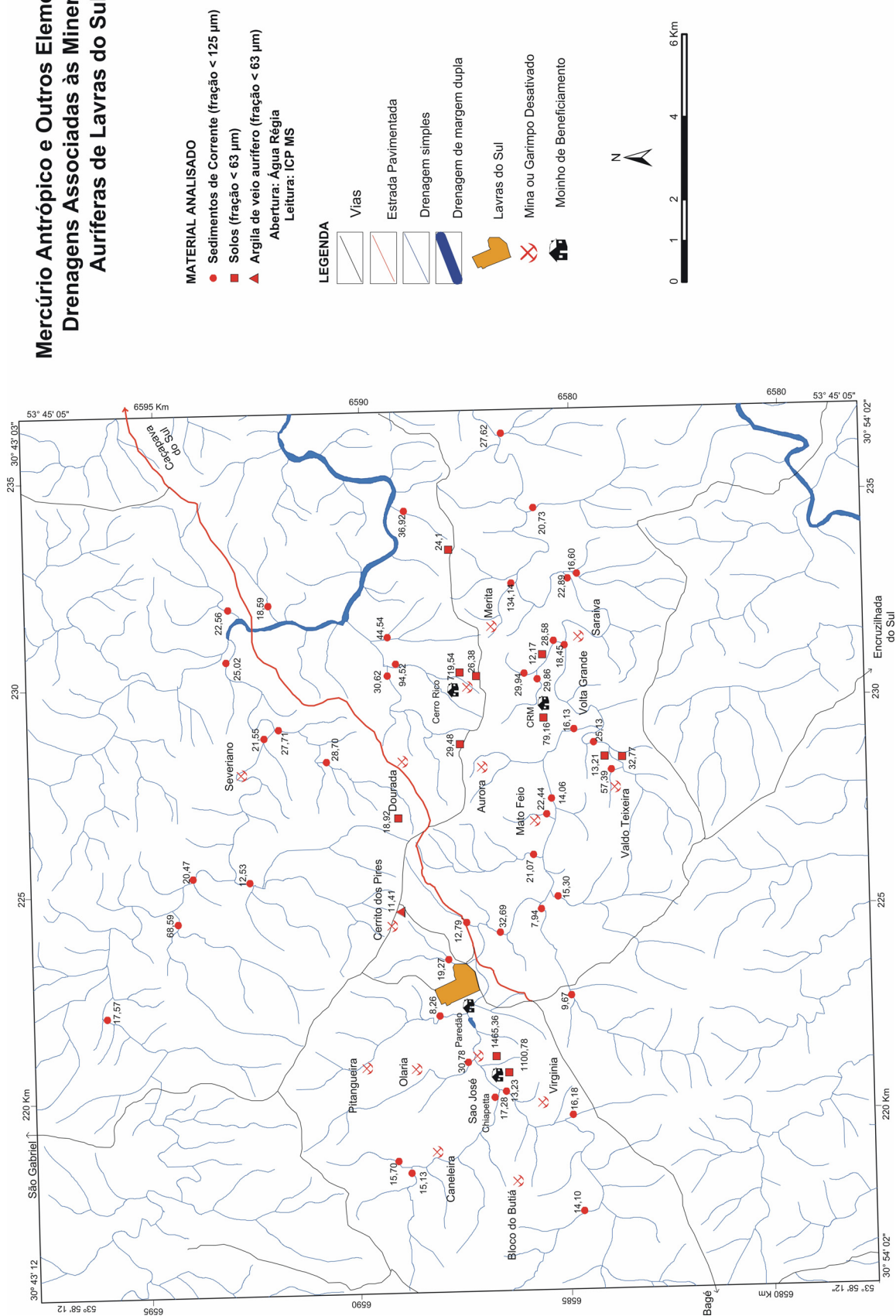


Figura 13 - Mapa de distribuição dos teores de Pb (µg/g).

de Pb da Mina Merita, pois a galena é mais abundante do que a blenda na paragênese.

#### **5.2.3.7 - Cobre Área granítica**

Dentre os valores anômalos de Cu nessa área destaca-se o da amostra OC-03, também anômalo nos outros cinco elementos (**Figura 9**) e em Bi e Mo (**Tabela 6**). A amostra OC-03 de água superficial também foi anômalo em Pb e Zn (**Figura 18**). Outras anomalias de Cu da **Tabela 6** correspondem as das amostras OC-01, 32 e 34 situadas próximas ou sobre monzonitos, quartzo-monzonitos pórfiros, hiperstênio diorito-monzodioritos e diques de traquito a latito da porção a norte da Fácies de Núcleo. O maior valor de Cu na área granítica foi o da amostra OC-10, devido ao material de desmonte da Mina Valdo Teixeira. A **Figura 14** mostra o mapa de distribuição dos teores de Cu em sedimentos de corrente, solos e salbanda argilosa da área graítica.

#### **5.2.3.8 - Cobre Área andesítica**

A amostra OC-25 apresentou teor de Cu anômalo possivelmente resultante de dispersão mecânica de material de trincheiras abertas para delimitar veios mineralizados. Teor anômalo também foi constatado na amostra OC-27, coletada em drenagem na qual houveram atividades mineiras e moinho de beneficiamento.

#### **5.2.3.9 - Mercúrio**

Os teores de Hg, objeto principal deste relatório, das 43 estações de sedimentos de corrente, 12 de solos e uma amostra de salbanda argilosa constam da **Figura 15**. A figura evidencia as relações de proximidade entre os maiores teores de Hg em solos e as instalações de beneficiamento de ouro, a partir das quais é possível inferir a sua dispersão na drenagem.

##### **5.2.3.9.1 - Área granítica**

A dispersão do Hg no Arroio das Lavras, avaliada em função do teor na amostra OC-20 (145 ng/g), a partir dos altos teores nos solos e rejeitos contaminados dos moinhos Chiapetta e Paredão, é discreta devido a sua diluição produzida pelos sedimentos e águas dessa drenagem. Outras amostras anômalas nessa área são a OC-03 (195 ng/g), OC-10 (112 ng/g) e OC-35 (72 ng/g). Dentre essas, a anomalia da primeira é provavelmente natural, pois não há fontes antrópicas conhecidas à montante. A concentração de Hg na amostra OC-03 é o valor máximo encontrado nessa área e coincide com anomalias, dentre

outros, de As-Cu-Pb, o que corrobora a contaminação natural. Já o teor da amostra OC-10 resulta de contaminação por rejeitos da Mina Valdo Teixeira, pois a amostra do filão da mina é rico em Hg (1.800ng/g) (Pestana & Formoso, 2003).

O valor mais baixo dentre os anômalos ocorreu na amostra OC-35 e se relaciona aos rejeitos do Cerrito dos Pires, naturalmente ricos em Hg, pois a salbanda argilosa de um dos veios auríferos contém 305 ng/g (**Tabela 4**). As amostras com os maiores teores de Hg (OC-03 e OC-35) situam-se na porção norte do CILS, em contraste com a região do Bloco do Butiá onde ocorrem os menores teores. Esta região poderia representar mineralização de temperatura mais elevada, desfavorável ao Hg.

Junto às minas Olaria, Santo Expedito, Pitangueiras e Paredão foi feita amostragem de solos sobre zona hidrotermalizada e, de acordo com a Minerar Consultoria e Projetos (1998), lá ocorre corpo de monzogranito com sericitização, carbonatação, feldspatização e epidotização controladas por fraturas. A mineralização contém duas paragêneses. Uma de mais baixa temperatura em fraturas e fissuras com calcopirita, bornita, covelina, cuprita, blenda e pirita, e outra disseminada na matriz, de mais alta temperatura e composta de arsenopirita, pirita, blenda, molibdenita, magnetita e hematita.

##### **5.2.3.9.2 - Área andesítica**

Não se detectou dispersão do Hg dos solos vizinhos ao laboratório de beneficiamento da CRM para as drenagens, pois seu teor na drenagem foi próximo ao limiar. A drenagem local somente conteve teor elevado de Cu (119,11 µg/g). Contudo, é notável a dispersão de Hg a partir dos rejeitos do Moinho Cerro Rico localizados nas cabeceiras do córrego próximo, do solo vizinho ao moinho e dos detritos finos provenientes da antiga bacia de decantação até a amostra OC-27, a qual continha 958 ng/g. Esses sedimentos anômalos em Hg são diluídos ao aportarem no Arroio do Hilário, mas, na estação H2 de Pestana & Formoso (2003) 10 km à jusante (**Figura 2**), a sua concentração inferida na fração < 125 µm é de 39,8 ng/g. A concentração inferida foi obtida pelo recálculo do teor de 71 ng/g na fração > 63 µm (Pestana & Formoso, 2003) para a fração > 125 µm, como abaixo descrito. O teor de 71 ng/g em H2 representa a média de seis determinações feitas no período 1992 a 1996. Como a contaminação proveniente do Moinho Cerro Rico já existia naquele período, e, supondo que o teor de 958 ng/g Hg encontrado em 2004 no córrego seria aproximadamente da mesma grandeza no passado e uma vez que a fonte de contamina-



### Mercúrio Antrópico e Outros Elementos em Drenagens Associadas às Minerações Auríferas de Lavras do Sul

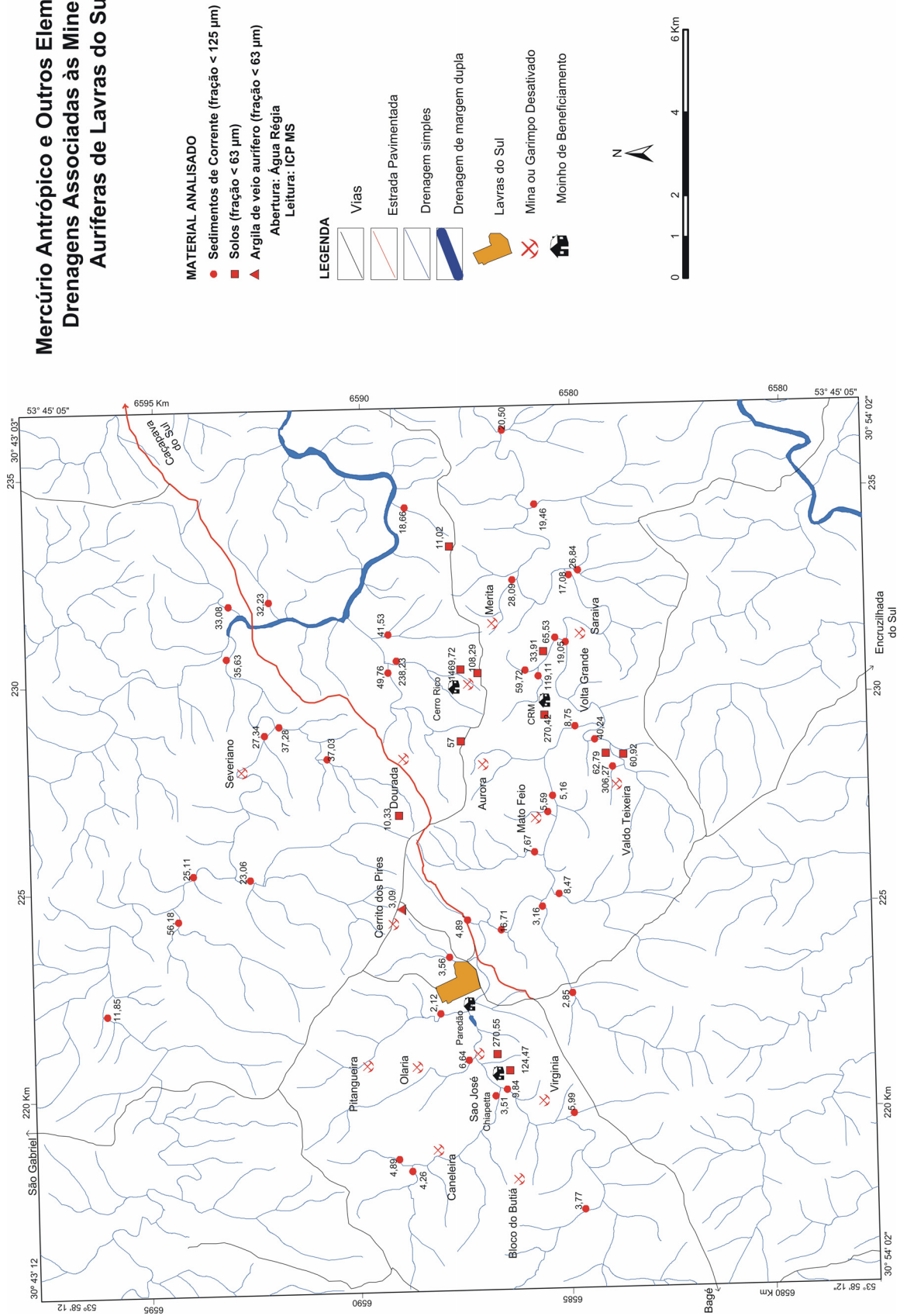


Figura 14 - Mapa de distribuição dos teores de Cu (µg/g).

### Mercúrio Antrópico e Outros Elementos em Drenagens Associadas às Minerações Auríferas de Lavras do Sul

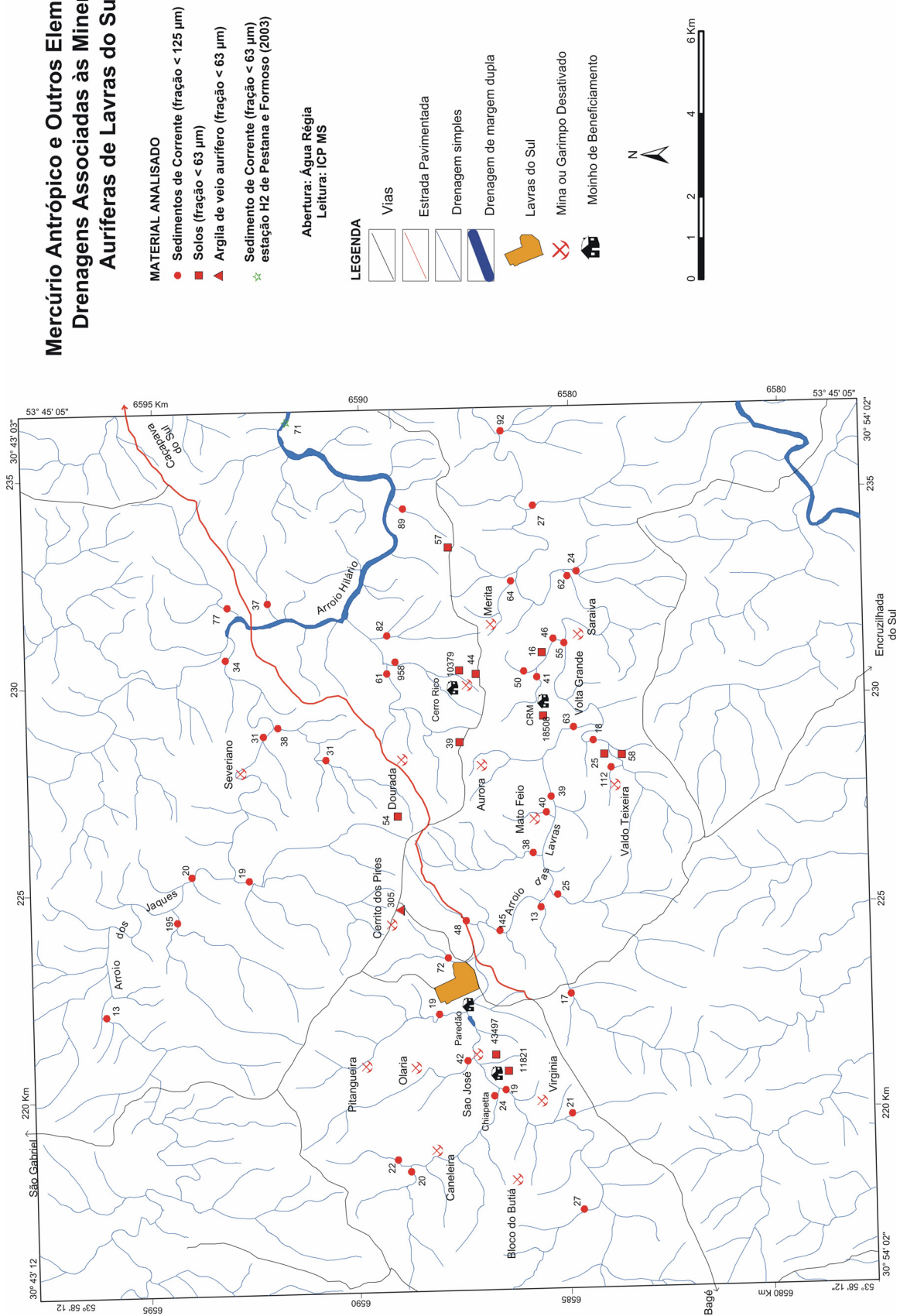


Figura 15 - Mapa de distribuição dos teores de Hg (ng/g).

ção permaneceu atuante, conclui-se que em H2 houve importante diluição. A diluição seria função do porte da bacia de drenagem, com área de 820 km<sup>2</sup> acima da confluência do córrego com o Arroio do Hilário.

A relação de concentração de Hg entre a fração granulométrica < 63 µm e a < 125 µm foi obtida por cálculo das médias de fatores de empobrecimento e enriquecimento em ambas as frações de pares de amostras aleatórias de andesitos e granitos (**Tabela 10**). O mesmo cálculo foi efetuado para os demais elementos cujas médias, para ambos os fatores, constam da **Tabela 11**. Em geral, verificou-se notável enriquecimento dos elementos da tabela na fração fina e empobrecimento na grossa para os elementos, exceto Au, como mais adiante abordado.

O enriquecimento do Hg na fração < 63 µm relativamente à fração < 125 µm é, na média, de 94,46% (**Tabela 10**) e o empobrecimento da fração < 125 µm para a < 63µm tem valor médio de 43,90%. Assim, o teor de 71 ng/g na estação H2 (Pestana & Formoso, 2003) corresponderia, na fração < 125 µm, a um valor inferido de 39,8 ng/g, calculado a partir do fator de empobrecimento. A concentração inferida representaria a dispersão do alto teor de Hg na amostra OC-27 no Arroio do Hilário. Este valor é maior que o das amostras OC-01, 07, 31 e 32, situadas no Arroio dos Jaques, à montante, cujas concentrações variaram entre 13 e 34 ng/g, inferior à média de 53 ng/g. Isso sugere que a contaminação por Hg teria contribuição da amostra OC-27, embora diluída pelos sedimentos dos arroios do Hilário e

dos Jaques. Entretanto, não foi considerada a variável temporal, já que os dados de Pestana & Formoso (2003) representam a média das concentrações de Hg entre 1992-1996, quando a contaminação antrópica por Hg era maior.

### 5.2.3.10 - Níquel Área granítica

Valores de concentração de Ni superiores ao limiar ocorreram nas amostras OC-02 e OC-34 (**Tabela 6**). Pertencem a duas bacias contíguas situadas ao norte das minas Cerrito dos Pires e Dourada, como mostra a **Figura 16**. Ambas as amostras também possuem teores elevados de Ca-Cu-P-Rb-Sr. As suas localizações, na porção norte da Fácies de Núcleo, em associação com concentrações elevadas de outros elementos sugerem relação com as intrusões de quartzo monzonítico, hiperstênio diorito-monzodiorito e diques de traquito a latito assinalados na **Figura 2**. As características comuns das duas amostras resulta na associação mostrada no dendrograma da **Figura 4**. A presença de diques de olivina minete no CILS (Gastal & Lafon, 2006) poderiam também ser uma das fontes para os valores elevados em Ni.

### 5.2.3.11 - Níquel Área andesítica

Nessa área ocorrem cinco valores anômalos que correspondem a 26% das 19 amostras. Isto reflete a associação natural desse elemento com andesitos e o conseqüente valor elevado do limiar de 53,10 µg/g.

*Tabela 10 - Valores médios de enriquecimento e empobrecimento das concentrações de Hg e cálculo do percentual de enriquecimento na fração < 63µm \* e de empobrecimento na fração < 125µm \*\* entre pares de duplicatas de sedimentos de corrente.*

N° Amostra	Duplicatas B	Duplicatas A	Enriquecimento (%)	Empobrecimento (%)
	<63µm	<125µm	<63µm	<125µm
OC-01	38,00	20,00	90,00	47,37
OC-10	211,00	112,00	88,39	46,92
OC-20	259,00	145	78,62	44,02
#OC-25	61,00	41,00	48,78	32,79
#OC-27	1178,00	958,00	22,96	18,68
OC-36	88,00	42,00	109,52	52,27
OC-37	45,00	24,00	87,50	46,67
OC-39	50,00	20,00	150,00	60,00
OC-41	71,00	19,00	273,68	73,24
OC-42	75,00	48,00	56,25	36,00
OC-43	36,00	27,00	33,33	25,00
média	192,00	132,36	94,46	43,90

Enriquecimento: (teor < 63µm – teor < 125µm) / (teor < 125µm)    Empobrecimento: (teor < 63µm) - (teor < 125µm) / (teor < 63µm)  
 # amostras de área andesítica    \* em relação à fração < 125µm    \*\* em relação à fração < 63µm

Tabela 11 - Percentuais de enriquecimento na fração < 63 µm e de empobrecimento na fração < 125 µm de diversos elementos entre pares de duplicatas de sedimentos de corrente, conforme nota de rodapé da Tabela 10.

Elemento	Enriquecimento (%) <63µm	Empobrecimento (%) <125µm
Ag	89,3	0,7
As	84,3	36,4
Au	203,6	-263,3
Cd	82,5	39,6
Co	89	38,3
Cu	109,8	45,6
Fe	75,6	35,5
Hg	94,5	43,9
Mn	86,8	38,6
Ni	95,3	42,9
P	91,8	39,2
Pb	80,3	37
Zn	81,4	39,4

Estudos litogeoquímicos realizados por Lima (1985) na região mostram que rochas com alteração hidrotermal estão enriquecidas em Ni. É possível que os valores anômalos de 107,1 µg/g da amostra OC-12, 67,5 µg/g da OC-13 e 73,4 µg/g da OC-14 (**Figura 16**) reflitam drenagens encaixadas em rochas cloritizadas. Mesmo assim, seria necessário estudos complementares para avaliar a origem desses teores. A amostra OC-14 é a de maior interesse, pois, além de Ni, também é anômala em Cd-Hg, de origem desconhecida.

### 5.2.3.12 - Ouro Área granítica

Onze valores de Au superiores ao limiar foram registrados na área granítica. Um refere-se à anomalia natural da amostra OC-03. Outro é a anomalia antrópica da amostra OC-20, resultante de solos contaminados pelos resíduos de beneficiamento do minério nos moinhos Chiapetta e Paredão. Seis, associados às amostras OC-04, 10, 19, 35, 36 e 37 localizadas em pequenas bacias onde se situam antigas minas. Dois relativos às amostras OC-06 e 38, situadas no Arroio das Lavras e um na amostra OC-32 coletada no Arroio dos Jaques, à jusante da Mina Severiano. O valor mais expressivo é o da amostra situada à jusante da Mina Valdo Teixeira. O mais interessante é o da amostra OC-03, por estar associado a outros elementos anômalos (**Figura 9**) e ser de origem natural, pois não há registro de

atividade mineira na sua bacia de drenagem. A **Figura 17** mostra o mapa de distribuição dos teores de Au.

### 5.2.3.13 - Ouro Área andesítica

Foram observados cinco valores anômalos, com destaque para a amostra OC-31, com 320,60 ng/g de Au, situada na barra do Arroio dos Jaques com o Arroio do Hilário, afastada de áreas mineradas. O maior valor (2.760,90 ng/g) ocorreu na amostra OC-27, valor este resultante de contaminação antrópica proveniente do beneficiamento do Moinho Cerro Rico. Valores anômalos também ocorreram nas amostras OC-08 e OC-11, localizadas no Arroio das Lavras, e na amostra OC-22, em afluente deste. Os teores destas três amostras refletem contribuição antrópica proveniente das áreas com desmonte mineiro da região de Volta Grande, como assinala a **Figura 2**.

Os resultados de Au em onze amostras duplicatas, analisadas nas frações < 125 µm e < 63µm (**Tabela 12**) mostraram que não há clara relação entre a granulometria da amostra e teor de Au. Entretanto, destacam-se as amostras OC-10 e OC-27, cujos teores na fração < 125 µm são possivelmente produzidos pelo rejeito da Mina Valdo Teixeira e do Moinho Cerro Rico, respectivamente. As amostras OC-36 e OC-42 são ricas na fração < 63 µm, possivelmente devido à coleta de pepitas maiores por garimpeiros durante o bateamento, pois são drenagens muito trabalhadas. A água da drenagem da amostra OC-36, por ocasião da amostragem, era turva, apesar da ausência de chuvas no período, em contraste com as demais amostras coletadas no mesmo dia, o que sugere possível atividade garimpeira à montante. Como relataram garimpeiros que trabalharam no atual Projeto, a drenagem da amostra OC-42 foi muito garimpada no passado e denominada de Sanga Mata Fome, por sempre fornecer algum ouro usado pelos garimpeiros na troca por alimentos.

### 5.2.4 - Valores limiares relacionados à Resolução CONAMA 344-04

A **Tabela 13** sintetiza os limiares dos elementos em sedimentos de corrente relativos aos níveis 1 e 2 da Resolução CONAMA 344-04 (RC) que trata de material a ser dragado. Na área de granitos somente o As tem limiar maior que o valor do nível 1. Na área com andesitos, os limiares de Cu-Pb são superiores ao nível 1, enquanto os de As-Ni ultrapassaram o nível 2. Assim, comparativamente aos níveis da RC, pode-se afirmar que o *background* da área granítica é naturalmente elevado em As e o da andesítica

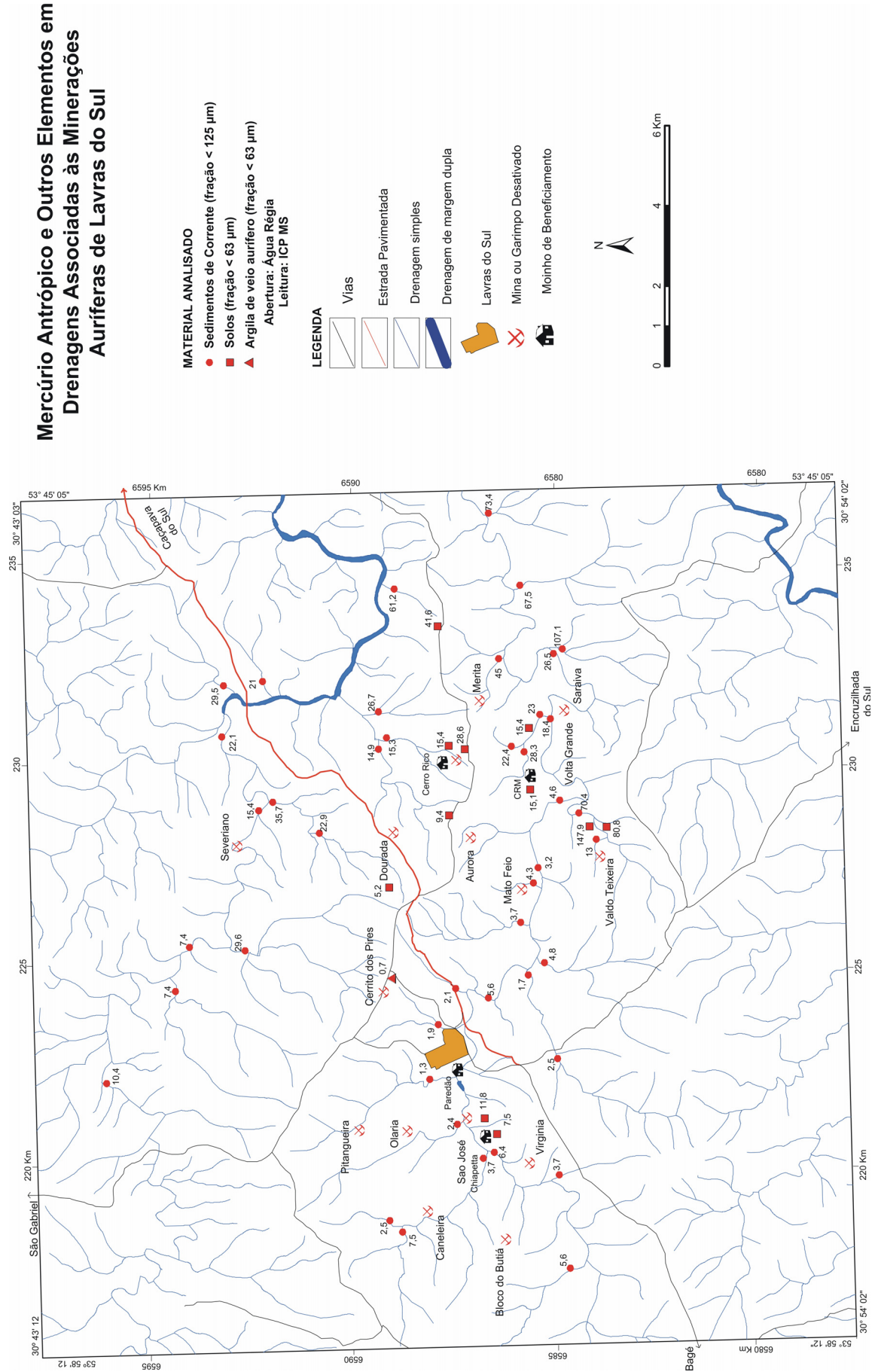


Figura 16 - Mapa de distribuição dos teores de Ni (µg/g).



em As-Cu-Ni-Pb. Assim, no caso de dragagem e disposição desses sedimentos em locais cujas concentrações de base sejam inferiores à contaminação natural, seriam necessários cuidados especiais e ensaios toxicológicos dos sedimentos, em particular devido à concentração de As, o qual ocorre em teores superiores ao nível 2 da RC, em 4,16% das amostras da área granítica e em 63,15% da da área andesítica (**Tabela 14**).

### 5.2.5 - Avaliação consolidada metalogenética e ambiental

No mapa de valores superiores aos limiares (**Figura 9**) estão destacados os resultados anômalos de Au e de 7 elementos da RC. Nos granitos destacaram-se as amostras OC-03, 10, 20 e 35, todas com concentração de Hg superior ao limiar. A OC-03 conteve teores acima do nível 1 da RC em As-Cu-Hg-Pb, superiores aos limiares de As-Au-Cu-Hg-Pb e anômalos em Ag-Bi-Fe e Mo (**Tabela 6**) embora estes elementos não constem da **Figura 9**. Esta amostra parece não ter contribuições de rejeitos mineiros, pois está afastada de áreas mineradas ao sul e pelo teor de Au não ser elevado como nas áreas com rejeitos mineiros conhecidos. Além disso, por posicionar-se ao lado da amostra OC-10, mineralizada, no dendrograma da **Figura 4**, parece estar relacionada com as mineralizações da área granítica. O seu valor anômalo em Fe pode refletir a presença de magnetita, ilmenita e hematita mostrado na amostra ES-475 de concentrado de minerais detríticos (Porcher *et al.*, 2000), coletada à montante de OC-03. Saliente-se que a concentração de Hg (195 ng/g) da última representa o valor máximo em sedimentos da área granítica e inclusive supera o da amostra OC-20, com contaminação antrópica. Todas essas observações corroboram a existência de anomalia natural próximo da amostra OC-03, o que merece detalhamento amostral.

O conteúdo de Hg da amostra OC-10 é de 112 ng/g, o de Pb é superior ao nível 1 da RC e os de As e Cu superiores ao nível 2 (**Figura 9**). As concentrações de As-Au-Cd-Cu são no mínimo superiores ao dobro dos respectivos limiares o que justifica a sua posição isolada no dendrograma da **Figura 4**. As concentrações de Ag-Sb, não discutidos aqui, mas que integram o grupo de 22 elementos dos dendrogramas, também são superiores aos respectivos limiares (**Tabela 6**). As elevadas concentrações resultam de contaminação por rejeitos da Mina Valdo Teixeira, mas sem contribuição de Hg de amalgamação de outras áreas, como na amostra OC-20. Nesta, registrou-se concentração anômala de Au-Cd-Hg-Pb-Zn, além da Ag-Ba-Bi-Mn não discutidos aqui

mas que participam dos dendrogramas. São elementos associados ao minério moído no Moinho Chiapetta, com concentrações de Cd-Hg-Pb-Zn superiores às amostras à montante e que apresentam valores de *background*, exceto o Au. Isto indica que a contaminação da OC-20 provém dos solos no entorno do Moinho Chiapetta e provavelmente dos solos do entorno do Moinho Paredão não amostrados. A única exceção do grupo de amostras com valores de *background*, à montante da OC-20, é a concentração anômala de Hg da amostra OC-35, em cuja bacia de drenagem localiza-se a Mina Cerrito dos Pires.

Nos andesitos detectou-se valores anômalos nas amostras OC-14, 16, 26, 27 e 31. A primeira é anômala em Cd-Hg-Ni (**Figura 9**) elementos estes que, no dendrograma da **Figura 8**, estão afastados e, assim, não pertencem ao mesmo grupo. Nesta amostra e nas vizinhas (OC-12, 13 e 17) a anomalia de Ni possivelmente resulta de sua concentração residual por alteração superficial de rocha regional, como interpretado por Lima (1985).

A associação Cd-Pb-Zn da amostra OC-16, bem clara na **Figura 9**, reflete a influência da mineralização de chumbo da Mina Merita e rejeitos associados. Embora a mina contenha galena argentífera (Minerar, 1998) os teores de prata da amostra não são apreciáveis e, portanto, não se correlaciona com Cd-Pb-Zn no dendrograma.

A amostra OC-26, de drenagem cuja cabeceira é vizinha a da amostra OC-16 que drena a Mina Merita, é anômala em As e Pb. Seu alto teor em Pb pode refletir a influência da mineralização associada a essa mina ou da sua encaixante vulcanoclástica. Já o seu teor em As sugere outro evento, pois o elemento não participa da paragênese da Mina Merita e, na **Figura 8**, se associa apenas ao Sb. Assim, o As apresenta certa independência dos elementos da Mina Merita e fraca correlação com os das mineralizações auríferas. Os elevados teores em As-Au-Cu-Hg-Pb da amostra OC-27 resultam da contaminação pelo Moinho Cerro Rico e rejeitos mineiros à montante. As-Cu-Hg-Pb ocorrem em teores superiores ao nível 2 da RC 344/04.

Por fim, o teor anômalo de Au na amostra OC-31 pode ser devido à movimentação dos sedimentos do leito do Arroio dos Jaques por garimpagem recente, segundo informação verbal do geólogo José L. Reischl.

### 5.2.6 - Classificação dos tipos de concentrações anômalas quanto à origem

A síntese dos 28 resultados superiores aos respectivos limiares da **Figura 9** e referentes às amostras de sedimentos de corrente das áreas

Tabela 12 - Resultados analíticos de pares de duplicatas de sedimentos de corrente nas frações < 125µm e < 63µm. Abertura: Água-régia. Leitura: ICP-MS.

Nº Amostra	UTM N	UTM L	Ag(ng/g) <125µm	As(µg/g) <125µm	Au(ng/g) <125µm	Ba(µg/g) <125µm	Bi(µg/g) <125µm	Ca(%) <125µm	Cd(µg/g) <125µm	Ce(µg/g) <125µm	Co(µg/g) <125µm	Cu(µg/g) <125µm	Fe(%) <125µm	Hg(ng/g) <125µm	Mn(µg/g) <125µm	Mo(µg/g) <125µm	Ni(µg/g) <125µm	P(%) <125µm	Pb(µg/g) <125µm	Rb(µg/g) <125µm	Sb(µg/g) <125µm	Sr(µg/g) <125µm	Y(µg/g) <125µm	Zn(µg/g) <125µm
OC-01	6594158	225352	62,00	7,80	7,00	103,90	0,71	0,23	0,04	53,00	5,80	25,11	1,84	20,00	404,00	0,68	7,40	0,05	20,47	10,10	0,44	31,30	13,68	32,00
OC-10	6584020	228044	2149,00	48,10	5518,20	81,60	0,63	0,09	0,16	100,90	7,70	306,27	2,33	112,00	455,00	9,51	13,00	0,02	57,39	16,20	20,08	12,80	25,74	62,00
OC-20	6586709	224088	172,00	9,90	47,90	208,60	0,62	0,21	0,12	81,00	7,90	16,71	1,89	145,00	807,00	1,07	5,60	0,06	32,69	18,40	0,36	39,20	19,44	65,70
OC-25	6585819	230231	904,00	23,30	11,00	286,70	5,46	0,45	0,05	55,10	27,90	119,11	4,60	41,00	1152,00	0,46	28,30	0,08	29,86	28,20	2,60	101,40	13,40	73,60
OC-27	6589303	230534	3327,00	50,60	2760,90	319,50	45,85	0,38	0,09	58,20	22,20	238,23	3,96	958,00	1165,00	0,88	15,30	0,07	94,52	15,70	2,31	77,10	10,56	76,30
OC-36	6587482	220938	90,00	4,30	140,80	104,80	0,16	0,08	0,03	65,50	2,80	6,64	0,92	42,00	202,00	1,30	2,40	0,02	30,78	13,10	0,17	29,50	18,51	32,00
OC-37	6586794	220119	56,00	4,00	63,40	88,30	0,15	0,06	0,03	59,70	3,80	3,51	1,03	24,00	235,00	0,48	3,70	0,02	17,28	11,50	0,21	17,10	14,16	25,60
OC-39	6588682	218307	45,00	3,00	34,70	106,30	0,17	0,10	0,03	54,10	3,20	4,26	0,89	20,00	250,00	0,43	7,50	0,02	15,13	12,00	0,18	21,60	15,70	20,90
OC-41	6588172	222058	23,00	3,50	6,50	55,30	0,07	0,04	0,02	30,10	2,00	2,12	0,66	19,00	124,00	0,29	1,30	0,01	8,26	9,10	0,11	16,00	7,03	11,60
OC-42	6587523	224320	60,00	6,10	15,30	87,80	0,13	0,06	0,02	56,60	3,90	4,89	1,11	48,00	222,00	1,38	2,10	0,02	12,79	11,70	0,30	17,30	16,97	23,50
OC-43	6584672	217343	41,00	5,30	6,00	162,90	0,13	0,14	0,03	37,00	5,60	3,77	1,20	27,00	581,00	0,35	5,60	0,02	14,10	13,40	0,14	42,20	10,66	18,30
Média	/	/	629,91	15,08	782,88	143,25	4,92	0,17	0,06	59,20	8,44	66,42	1,86	132,36	508,82	1,53	8,38	0,04	30,30	14,49	2,45	36,86	15,08	40,14
Amostra	UTM N	UTM L	Ag(ng/g) <63µm	As(µg/g) <63µm	Au(ng/g) <63µm	Ba(µg/g) <63µm	Bi(µg/g) <63µm	Ca(%) <63µm	Cd(µg/g) <63µm	Ce(µg/g) <63µm	Co(µg/g) <63µm	Cu(µg/g) <63µm	Fe(%) <63µm	Hg(ng/g) <63µm	Mn(µg/g) <63µm	Mo(µg/g) <63µm	Ni(µg/g) <63µm	P(%) <63µm	Pb(µg/g) <63µm	Rb(µg/g) <63µm	Sb(µg/g) <63µm	Sr(µg/g) <63µm	Y(µg/g) <63µm	Zn(µg/g) <63µm
OC-01	6594158	225352	139,00	18,20	26,40	193,00	1,07	0,27	0,06	101,60	13,50	56,49	2,76	38,00	944,00	0,79	13,80	0,05	39,15	16,00	0,59	43,60	22,11	55,00
OC-10	6584020	228044	1302,00	71,70	228,10	169,30	0,85	0,19	0,31	318,80	15,00	634,49	3,11	211,00	839,00	12,68	25,10	0,05	95,92	31,10	23,13	27,30	59,05	112,40
OC-20	6586709	224088	230,00	10,50	57,00	239,80	0,73	0,23	0,13	122,40	10,50	22,22	2,28	295,00	1035,00	1,04	8,30	0,08	40,95	23,00	0,43	44,80	26,06	78,60
OC-25	6585819	230231	238,00	21,60	9,70	309,50	2,45	0,47	0,10	78,80	23,10	134,40	4,36	61,00	1082,00	0,46	29,80	0,08	26,97	34,20	2,09	112,50	21,69	77,20
OC-27	6589303	230534	2663,00	52,30	302,10	442,90	35,74	0,42	0,11	91,60	25,30	299,93	4,48	1178,00	1277,00	0,84	19,20	0,09	94,44	21,60	2,31	89,70	15,43	92,90
OC-36	6587482	220938	463,00	11,80	1919,00	178,30	0,44	0,17	0,10	143,80	6,40	20,43	2,46	88,00	440,00	2,50	5,60	0,04	78,39	22,70	0,36	60,50	33,89	69,40
OC-37	6586794	220119	74,00	8,90	43,10	222,70	0,28	0,13	0,05	131,10	9,70	9,17	2,33	45,00	629,00	0,87	9,20	0,04	40,42	27,20	0,31	42,00	30,13	56,20
OC-39	6588682	218307	61,00	5,30	23,90	204,90	0,27	0,18	0,06	99,30	5,60	8,29	1,66	50,00	438,00	0,71	13,20	0,04	26,73	22,60	0,25	39,90	27,74	39,70
OC-41	6588172	222058	74,00	11,00	20,30	175,40	0,23	0,11	0,03	105,00	6,80	7,42	1,98	71,00	386,00	0,81	4,60	0,04	23,78	33,00	0,23	42,60	23,92	36,30
OC-42	6587523	224320	189,00	13,60	125,90	200,50	0,27	0,13	0,05	139,90	7,70	12,35	2,27	75,00	470,00	2,15	4,90	0,04	27,58	24,10	0,50	39,50	36,21	49,60
OC-43	6584672	217343	57,00	7,00	6,30	239,00	0,19	0,20	0,04	53,10	7,00	5,21	1,62	36,00	702,00	0,50	8,10	0,04	19,85	19,70	0,16	59,20	17,01	26,70
Média	/	/	499,09	21,08	251,07	234,12	3,87	0,23	0,09	125,95	11,87	110,04	2,66	192,00	749,27	2,12	12,89	0,05	46,74	25,02	2,76	54,69	28,48	63,09



Tabela 13 - Posicionamento dos limiares dos elementos químicos da RC 344/04 em relação aos respectivos níveis 1 (limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeito adverso à biota) e 2 (limiar acima do qual prevê-se provável efeito adverso à biota)

Limiar	Granitos							Andesitos						
	As	Cd	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As	Cd	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
inferior ao nível 1		X	X	X	X	X	X		X		X			X
superior ao nível 1 e inferior ao nível 2	X									X			X	
superior ao nível 2								X				X		

Tabela 14 - Números e percentuais de amostras com concentração de elementos comparados aos respectivos níveis 1 e 2 da RC 344/04 e aos limiares com seus % entre parêntesis.

Litologia	Granitos - 24 amostras de sedimentos de corrente							Andesitos - 19 amostras de sedimentos de corrente						
	As	Cd	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As	Cd	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Nº < nível 1	15	24	21	23	22	22	24	1	19	11	18	4	15	19
% < nível 1	(62,5)	(100)	(87,5)	(95,83)	(91,66)	(91,66)	(100)	(5,26)	(100)	(57,89)	(94,73)	(21,05)	(78,94)	(100)
Nº > nível 1 e < nível 2	8	0	2	1	2	2	0	6	0	7	0	9	2	0
% > nível 1 e < nível 2	(33,33)	(0)	(8,33)	(4,16)	(8,33)	(8,33)	(0)	(31,57)	(0)	(36,84)	(0)	(47,36)	(10,52)	(0)
Nº > nível 2	1	0	1	0	0	0	0	12	0	1	1	6	2	0
% > nível 2	(4,16)	(0)	(4,16)	(0)	(0)	(0)	(0)	(63,15)	(0)	(5,26)	(5,26)	(31,57)	(10,52)	(0)
total percentual	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Nº > limiar	4	2	5	4	4	3	2	2	2	2	3	5	3	1
% > limiar	(16,66)	(8,33)	(20,83)	(16,66)	(16,66)	(12,5)	(8,33)	(8,33)	(8,33)	(8,33)	(12,5)	(20,83)	(12,5)	(4,16)

granítica e andesítica mostrou que concentrações elevadas de elementos resultam de (1) processos naturais que resultaram na formação de halos de dispersão a partir das mineralizações, (2) contaminação alimentada por rejeitos de desmontes mineiros, (3) contaminação a partir dos moinhos de beneficiamento de minério e (4) concentrações mistas. As principais concentrações desses quatro grupos são a seguir discutidas.

### 5.2.6.1 - Concentrações naturais

Concentrações anômalas naturais se destacam em duas amostras, isto é, na OC-03, coletada na área granítica, e na OC-26, na andesítica.

A amostra OC-03, situada ao lado da OC-10 no dendrograma da **Figura 4**, se classifica como de concentração natural de elementos provavelmente ligados à mineralização, pois é anômala em Au-Cu-Hg-Pb. Anomalias de outros elementos (Ag-Bi-Fe-Mo) na amostra, não foram avaliados nesta discussão. A ausência de atividade mineira conhecida na sua bacia e a discreta anomalia de Au (40,70 ng/g), quando comparada com teores mais elevados das áreas com rejeitos mineiros, corroboram a sua classificação. Os teores anômalos de Cu-Bi da amostra de sedimento de corrente OC-01 (**Tabela 6**) situada à jusante, de Pb-Zn da OC-03 e de Pb da OC-07, ambas de água superficial (**Figura 18**), provavelmente

resultam de dispersão a partir da mesma fonte de elementos anômalos da OC-03.

Como não há indícios de atividade antrópica conhecida na bacia da amostra OC-26, suas concentrações anômalas de As e Pb são de provável origem natural. Essa amostra apresentou concentração de As superior ao nível 2 da RC e de Pb superior ao nível 1. O Sb, também anômalo na amostra não foi avaliado nessa discussão.

A anomalia de Pb da amostra OC-26, pela sua proximidade com a Mina Merita e com a amostra OC-16 no dendrograma da **Figura 5**, localizada na bacia onde se situa a mina, parece resultar da mineralização. Contudo, a ligação entre ambas as amostras não é conspícua, pois sua dissimilaridade é de 7, em contraste com a dissimilaridade média de 5 entre as demais amostras e a ausência de anomalia de As na OC-16 contribui para tanto. Ademais, a **Tabela 7** e a **Figura 9** mostram que As e Sb são anômalos na amostra OC-26 e estão ausentes na OC-16. No dendrograma da **Figura 8**, As e Sb não possuem forte ligação com a associação Pb-Cd-Zn, mas fraca com Cu-Ag-Bi-Au-Hg. Isso sugere que a mineralização de Pb da Mina Merita tem pouca participação de As-Sb e que estes podem estar associados com mineralização aurífera.

As demais amostras (OC-01, 09, 12, 14, 17, 33 e 34) também possuem concentrações anômalas naturais. Destas, merecem destaque as duas últimas por se situarem na mesma drena-

gem, com rochas ácidas à montante, básicas à jusante e discretos valores anômalos de As-Cd-Cu-Ni. No comentário anterior sobre Ni há mais informações sobre a amostra OC-34.

#### 5.2.6.2 - Concentrações geradas por rejeitos dos desmontes mineiros

Na amostra OC-10, de drenagem da área da Mina Valdo Teixeira, os elementos anômalos provenientes dos rejeitos dos desmontes mineiros foram As-Au-Cd-Cu-Hg-Ni-Pb-Zn. As concentrações de As-Cu foram superiores ao nível 2 da RC/344/04 e de Pb superior ao nível 1. Embora anômalos, Ag-Bi-Fe-Mo-Sb não foram avaliados nesta discussão. Os teores anômalos de Cd-Pb-Zn da amostra OC-16, de drenagem da área da Mina Merita, provavelmente resultam de atividades mineiras pretéritas.

Na amostra OC-35, de drenagem da área da Mina Cerrito dos Pires, as anomalias são de Au-Hg, os quais também apresentaram as maiores concentrações na amostras da salbanda argilosa do veio mineralizado desta mina (**Tabela 4**).

Os solos no entorno das instalações de beneficiamento de minério da CRM, região de Volta Grande, estão contaminados com As-Au-Cd-Cu-Hg (**Tabela 5**) e também com Ag, Bi, Mo e Sb não avaliados na presente discussão. Para avaliar a dispersão destes elementos a partir dos solos da área da CRM para a drenagem próxima, coletou-se as amostras de sedimentos de corrente OC-25 e OC-22. O Hg foi empregado como referência da dispersão por apresentar a maior taxa de contaminação nos solos, como registra a amostra OC-5007 (**Tabela 5**). Considerando que os teores de Hg em ambas as amostras são de *background*, conclui-se que não houve dispersão dos solos para a drenagem próxima e que as anomalias de Ag-Au-Bi-Cu-Rb das mesmas provêm de áreas de desmontes mineiros das cabeceiras das drenagens (**Figura 2**).

#### 5.2.6.3 - Concentrações originadas por beneficiamento de minério nos moinhos

A amostra OC-20, situada à jusante dos moinhos Chiapetta e Paredão, é anômala em Au-Cd-Hg-Pb-Zn, presentes também nos solos vizinhos ao moinho. As anomalias de Ag-Ba-Bi-Mn desta amostra não foram avaliados. Os elementos anômalos da amostra não resultam de áreas mineralizadas como na amostra OC-10, relacionada à Mina Valdo Teixeira, o que afasta ambas no dendrograma da **Figura 4**. Também não provêm de áreas à montante, pois os teores dos elementos analisados em amostras de sedimen-

tos de corrente dessas áreas são de *background*. Conclui-se, assim, que os elementos anômalos da amostra OC-20 originaram-se por dispersão a partir dos moinhos.

A dispersão de Cd, Zn, Pb, Cu e Hg é clara nas **Figuras 11-12-13-14-15**, respectivamente. A amostra OC-20 se classifica como mistura da contaminação pelo minério moído e Hg metálico do beneficiamento nos moinhos Chiapetta e Paredão.

A especiação para mercúrio em amostra total (Pestana *et al.*, 2000) em 13 amostras de sedimentos de canal, das margens e *overbanks* dos arroios das Lavras e dos Jaques mostrou que o elemento ocorre na forma elementar, sulfetado e residual. A forma dominante é de mercúrio elementar Hg<sup>0</sup>, em média 55% das especiações presentes e relativamente estáveis sob as condições de Eh e pH reinantes. Mercúrio sulfetado ocorre em 30%, em amostras mais localizadas, e foi detectada na amostra L3 de Pestana *et al.*, (2000) de sedimentos de *overbanks* do Arroio das Lavras, região da Volta Grande, a 15 cm, 35 cm e 150 cm de profundidade, com substrato rochoso da Formação Hilário. Nas amostras L1 e L2, situadas junto a Lavras do Sul e à montante de L3, não continham a forma sulfetada. Isso sugere que a forma sulfetada é mais freqüente sobre os andesitos. Contudo, as amostras OC-08, 11 e 23, esta logo à montante de L3, mostraram características mistas resultantes da influência de granitos à montante, ou pela independência dessas amostras (**Figura 5**).

#### 5.2.6.4 - Concentrações de origem antrópica mista

As amostras C1H *channel* e C1H-*pond* coletadas por Pestana *et al.* (2000) em tributário do Arroio do Hilário, respectivamente à montante do Moinho Cerro Rico e nos sedimentos de fundo da represa na drenagem próxima ao moinho, mostraram 55% de mercúrio sulfetado na primeira e 83% de mercúrio elementar na segunda. Deduz-se, assim, que a maior contribuição da forma sulfetada provém de áreas com mineralização e desmontes mineiros das cabeceiras da drenagem na região da Mina Cerro Rico (**Figura 2**) e que a forma elementar provém da amalgamação no Moinho Cerro Rico. Isto permite concluir que o teor anômalo de mercúrio da amostra OC-27, coletada a jusante das C1H (*channel* e *pond*), resulta de Hg do Moinho Cerro Rico. Os demais elementos anômalos na amostra OC-27 são As-Au-Cu-Pb e As-Cu-Hg-Pb ocorrem em teores superiores aos do nível 2 da RC. As anomalias de Ag-Bi da amostra não foram avaliados.

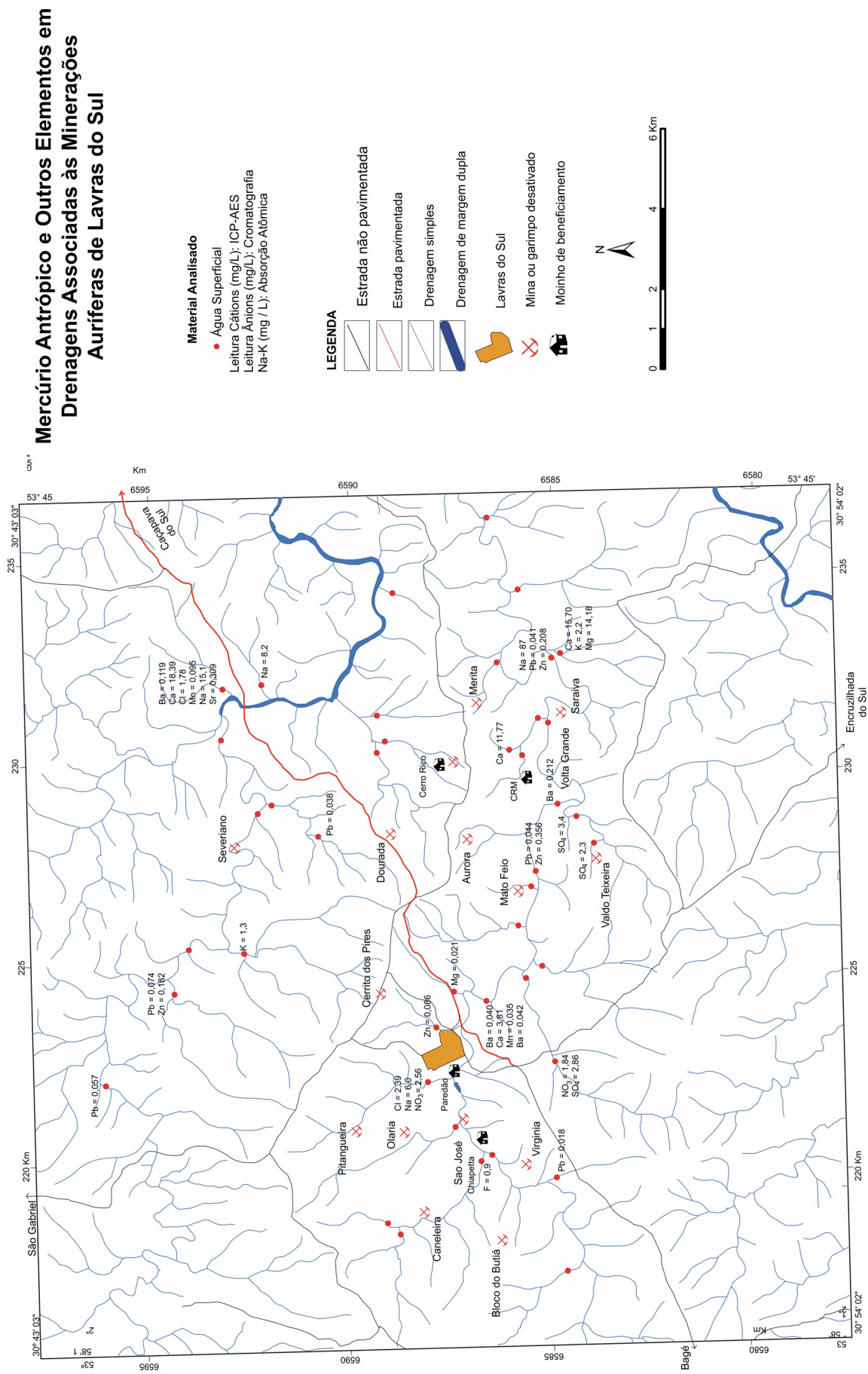


Figura 18 - Mapa com valores maiores de Ba<sup>++</sup>, Ca<sup>++</sup>, Cl<sup>-</sup>, Mg<sup>++</sup>, Na<sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Pb<sup>++</sup>, Sr<sup>++</sup> e Zn<sup>++</sup> em águas superficiais.

### 5.2.7 - Conclusões sobre sedimentos de corrente

1. Os valores anômalos resultam de fontes diversas, quer sejam naturais, de desmontes mineiros, de beneficiamento e de origem mista. As dispersões contaminantes são discretas, exceto a de Hg da amostra OC-27 (958ng/g) até a barra com o Arroio do Hilário.

2. Em relação à Resolução CONAMA 344-04 (RC), o *background* da área granítica é naturalmente elevado em As e o da andesítica em As-Cu-Ni-Pb. No caso de disposição desses sedimentos em locais com concentrações inferiores à da contaminação natural na região, é indispensável a aplicação de cuidados especiais no manuseio e disposição destes sedimentos e aconselha-se a realização de ensaios toxicológicos nos mesmos antes da sua transferência para outros locais. O As em particular é o que ocorre na maior percentagem de amostras com concentrações superiores ao nível 2 da RC, tanto na área granítica (4,16%) como na andesítica (63,15%).

3. As amostras com as mais elevadas proporções de Hg foram a OC-03 (195ng/g), OC-10 (112 ng/g), OC-20 (145 ng/g), OC-27 acima comentada, e em Pb a amostra OC-16 (194 µg/g). Nas duas primeiras os teores de Hg são naturais, ao passo que nas amostras OC-20 e OC-27 provêm do beneficiamento e/ou rejeitos de minério de sítios à montante. Na OC-16 o teor de Pb está associado à mineralização da Mina Merita.

4. As anomalias naturais de As-Au-Cu-Hg-Pb da amostra OC-03 merece detalhamento com objetivo metalogenético.

5. Os dendrogramas de elementos químicos de amostras da área de granitos e andesitos mostraram que o Pb não se correlaciona com Cu-Ag-Au, o que sugere processo metalogenético distinto.

### 5.3 - Águas Superficiais

Os elementos químicos analisados em amostras de águas superficiais constam do item Análises, capítulo Materiais e Métodos. Dentre os 25 cátions analisados por ICP-MS, 14 ocorreram em excessivo número de teores inferiores ou iguais aos respectivos limites de detecção. Dentre os 7 ânions analisados, 3 tiveram resultados desprezados. Isso revela que os métodos analíticos de cátions e ânions empregados neste tipo de trabalho devem ser aprimorados quanto aos limites inferiores de detecção.

Dentre os cátions e ânions anômalos que constam do mapa da **Figura 18**, somente  $Pb^{+2}$  -  $Zn^{+2}$  -  $SO_4^{=}$  -  $NO_3^{-}$  -  $F^{-}$  foram considerados na interpretação, devido a sua importância metalogené-

tica e/ou ambiental. Por outro lado, Cu-Hg, apesar de ocorrerem nas águas em concentrações abaixo dos limites de detecção de 0,01 mg/L e 0,0002 mg/L, respectivamente, serão discutidos apenas sob o prisma metalogenético devido a suas concentrações em sedimentos de corrente. Os 24 resultados analíticos de águas superficiais da área granítica constam da **Tabela 15** e os 19 de andesítico da **Tabela 16**.

#### 5.3.1 - Avaliação estatística

Os parâmetros estatísticos das **Tabelas 17** e **18** foram escolhidos inicialmente para avaliação visual de histogramas de distribuição dos elementos. A seguir aplicou-se testes de normalidade e lognormalidade dos teores e os resultados adicionados às tabelas mencionadas. Em raros casos os testes indicaram clara distribuição normal ou lognormal.

Os valores de limiares foram obtidos mediante a soma da média mais dois desvios padrões. Os limiares de elementos com distribuições não aceitas pelos testes de normalidade ou lognormalidade foram inicialmente obtidos pela soma da média com dois desvios padrões, com reavaliação posterior a partir da distribuição de teores em campo. Estes ajustes foram necessários devido ao reduzido número de amostras das populações avaliadas.

Valores *outliers* foram desconsiderados nos cálculos estatísticos. Valores hidrogeoquímicos de  $Pb^{+2}$  e  $NO_3^{-}$  menores do que os respectivos limites inferiores de detecção foram considerados nos cálculos e a eles atribuídos valores situados entre um décimo até oito décimos menores que o limite de detecção e o percentual de observações acompanhando a cauda de uma curva normal de distribuição.

#### 5.3.2 - Resultados: amostras com valores anômalos ou elevados

##### 5.3.2.1 - Área granítica

Anomalias hidrogeoquímicas naturais na área granítica foram reconhecidas nas amostras OC-03, 06, 07, 10, 21, 34 37 e OC-41, cuja localização consta da **Figura 2**. A primeira possui valores *outliers* de Pb e Zn, em consonância com anomalias de diversos elementos de sedimentos de corrente dessa estação de amostragem. É provável que as diversas anomalias dessa estação resultem dos diques e da falha SE-NW das imediações (**Figura 2**).

A amostra OC-06 apresentou anomalias de  $Pb^{+2}$  e  $Zn^{+2}$ , mas, apesar da antiga Mina Mato Feio à montante da margem esquerda do Arroio

Tabela 15 - Resultados analíticos de águas superficiais de área granítica de Lavras do Sul. Leituras: ICP-AES (\*), absorção atômica (\*\*), absorção atômica (\*\*\*) e cromatografia de íons (\*\*\*\*).

N° Amostra	Al(mg/L)*	Ba(mg/L)*	Ca(mg/L)*	Fe(mg/L)*	Mg(mg/L)*	Mn(mg/L)*	Pb(mg/L)*	Si(mg/L)*	Zn(mg/L)*	Na(mg/L)**	K(mg/L)**	F(mg/L)***	Cl(mg/L)***	NO <sub>3</sub> (mg/L)***	SO <sub>4</sub> (mg/L)****
OC-A-01	0,4	0,020	2,54	0,244	1,26	0,006	<0,005	0,034	0,008	3,9	1,0	0,1	1,11	<0,1	1
OC-A-02	0,3	0,022	3,01	0,269	1,73	0,005	<0,005	0,050	0,007	4,4	1,3	0,11	1,68	<0,1	1,1
OC-A-03	0,4	0,020	1,76	0,248	0,65	0,005	0,074	0,045	0,182	3,8	1,1	0,08	1,1	<0,1	1,1
OC-A-04	0,2	0,022	1,55	0,195	0,55	0,003	<0,005	0,034	0,009	3,9	0,8	0,07	1,07	<0,1	0,7
OC-A-05	0,2	0,012	1,01	0,134	0,41	0,003	<0,005	0,019	0,006	3,3	0,6	0,06	1,12	<0,1	0,6
OC-A-06	0,2	0,021	1,82	0,207	0,75	0,007	0,044	0,031	0,356	3,9	1,2	0,07	1,43	<0,1	1,3
OC-A-07	0,2	0,017	2,36	0,162	1,18	0,008	0,057	0,027	0,121	3,9	0,9	0,1	0,1	<0,1	1,2
OC-A-10	0,3	0,013	1,50	0,155	0,68	0,003	<0,005	0,018	0,009	3,7	0,4	0,13	1,09	<0,1	2,3
OC-A-15	0,2	0,018	1,58	0,271	0,66	0,004	<0,005	0,030	0,026	3,4	1,0	0,09	1,15	0,1	0,73
OC-A-18	0,2	0,042	2,22	0,198	0,72	0,005	<0,005	0,065	0,023	4,7	0,4	0,12	1,36	0,06	1,25
OC-A-19	0,2	0,029	2,63	0,220	0,96	0,003	0,018	0,060	0,044	4,7	0,5	0,12	1,13	0,07	0,88
OC-A-20	0,2	0,040	3,81	0,332	1,60	0,036	0,007	0,063	0,034	3,8	0,5	0,08	1,36	0,06	1,2
OC-A-21	0,2	0,029	2,13	0,197	0,78	0,009	0,007	0,049	0,015	4,2	0,4	0,13	1,82	1,84	2,86
OC-A-32	0,2	0,023	3,39	0,213	1,67	0,003	0,009	0,047	0,056	4,3	0,4	0,12	1,1	<0,01	0,98
OC-A-34	0,3	0,025	2,15	0,171	1,11	0,003	0,038	0,035	0,043	4,0	0,5	0,12	1,17	0,21	1,13
OC-A-35	0,1	0,033	3,16	0,308	0,92	0,013	0,009	0,081	0,086	5,5	0,6	0,08	1,75	<0,01	1,04
OC-A-36	0,1	0,025	2,11	0,220	0,69	0,012	<0,005	0,056	0,006	4,3	0,3	0,11	0,92	0,78	0,86
OC-A-37	0,2	0,025	1,46	0,226	0,58	0,007	0,01	0,033	0,023	3,5	0,4	0,9	0,9	<0,01	0,9
OC-A-38	0,1	0,026	2,54	0,159	1,21	0,009	<0,005	0,033	0,008	3,7	0,4	0,09	1,01	0,03	0,89
OC-A-39	0,1	0,021	1,01	0,134	0,45	0,002	<0,005	0,018	0,013	3,0	0,3	0,12	1,03	0,23	0,57
OC-A-40	0,2	0,012	1,00	0,104	0,36	0,003	0,005	0,014	0,012	2,8	0,3	###	###	###	###
OC-A-41	0,1	0,028	2,94	0,205	0,91	0,009	<0,005	0,077	0,023	6,0	0,7	0,08	2,39	2,56	1,34
OC-A-42	0,2	0,031	3,24	0,305	0,96	0,021	<0,005	0,078	0,017	4,7	0,2	0,09	1,08	<0,01	0,97
OC-A-43	0,3	0,028	1,34	0,169	0,48	0,003	<0,005	0,036	0,020	3,6	0,3	0,06	0,83	<0,01	0,95
Valores máximos para consumo humano	0,1mg/L#	0,7 mg/L#	10 a 100 mg/L###	0,3 mg/L#	1 a 40 mg/L###	0,1 mg/L#	0,01 mg/L#	1 mg/L###	0,18 mg/L	200 mg/L##	12 mg/L#	1,4 mg/L#	250 mg/L#	10 mg/L#	250 mg/L#

# Resolução 357 CONAMA ## Portaria 518 do Ministério da Saúde ### Organização Mundial da Saúde (WHO, 2004) #### Perda de material

Limite inferior de detecção: Pb = 0,05, NO<sub>3</sub> = 0,1 para amostras OC-A-01 a OC-A-10 analisadas no LAMIN e 0,01 para amostras OC-A-15 a OC-A-43 analisadas na PUC-RJ.

Tabela 16 - Resultados analíticos de águas superficiais de área andesítica de Lavras do Sul. Leituras: ICP-AES (\*), absorção atômica (\*\*), e cromatografia de íons (\*\*\*)

N° Amostra	Al(mg/L)*	Ba(mg/L)*	Ca(mg/L)*	Fe(mg/L)*	Mg(mg/L)*	Mn(mg/L)*	Pb(mg/L)*	Sr(mg/L)*	Zn(mg/L)*	Na(mg/L)**	K(mg/L)**	F <sup>-</sup> (mg/L)***	Cl <sup>-</sup> (mg/L)***	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)***	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)***
OC-A-08	0,2	0,212	1,92	0,212	0,78	0,006	0,0150	0,032	0,142	3,8	1,3	0,08	1,45	0,8000	1,1
OC-A-09	0,3	0,025	3,03	0,199	2,22	0,005	0,0300	0,038	0,058	4,0	1,1	0,12	1,58	0,6000	3,4
OC-A-11	0,2	0,023	2,09	0,231	0,92	0,007	0,0410	0,035	0,208	8,7	0,9	0,08	1,32	<0,1	1,1
OC-A-12	0,2	0,075	15,70	0,146	14,18	0,012	<0,005	0,227	0,010	5,5	2,2	0,1	1,23	<0,1	1
OC-A-13	0,8	0,051	9,08	0,452	6,48	0,013	<0,005	0,130	0,011	4,2	1,5	0,13	0,96	<0,01	0,9
OC-A-14	1,0	0,045	6,28	0,519	3,82	0,010	<0,005	0,088	0,020	3,9	1,6	0,12	1,07	<0,01	0,01
OC-A-16	0,7	0,037	3,41	0,371	2,17	0,011	0,0260	0,048	0,061	4,5	0,7	0,07	1,03	0,04	0,94
OC-A-17	0,5	0,029	3,37	0,255	2,34	0,006	<0,005	0,047	0,018	5,7	0,6	0,09	0,82	<0,001	0,84
OC-A-22	0,6	0,037	5,89	0,386	2,98	0,008	<0,005	0,113	0,009	4,7	0,5	0,09	0,98	<0,01	0,85
OC-A-23	0,2	0,022	2,07	0,192	0,90	0,007	0,0110	0,036	0,046	3,9	0,5	0,09	1,29	0,04	1,14
OC-A-24	0,8	0,054	11,77	0,506	5,03	0,010	<0,005	0,208	0,075	5,0	0,5	0,09	0,79	0,02	0,81
OC-A-25	0,5	0,030	4,27	0,315	2,66	0,005	0,0180	0,092	0,030	4,7	0,5	0,08	1,26	0,1	0,99
OC-A-26	0,5	0,054	6,37	0,225	2,53	0,005	0,0160	0,113	0,018	5,2	0,6	0,11	0,87	<0,01	0,85
OC-A-27	0,7	0,060	7,05	0,445	3,01	0,007	<0,005	0,125	0,016	5,2	0,7	0,12	1,05	<0,01	1,44
OC-A-28	0,4	0,030	3,12	0,287	1,27	0,003	0,0090	0,062	0,025	4,6	0,5	0,15	1,05	<0,01	1,69
OC-A-29	0,5	0,088	9,38	0,363	5,36	0,008	<0,005	0,193	0,030	8,2	1,4	0,12	1,52	<0,01	1,16
OC-A-30	0,2	0,119	18,39	0,145	9,08	0,095	0,0050	0,309	0,039	15,1	1,0	0,15	1,78	0,03	1,45
OC-A-31	0,2	0,024	3,42	0,190	1,68	0,004	0,0100	0,049	0,044	4,2	0,4	0,1	1,38	0,4300	1,25
OC-A-33	0,5	0,023	3,00	0,279	1,46	0,003	0,0120	0,051	0,081	4,6	0,5	0,13	1,26	<0,01	1,94
Valores máximos para consumo humano	0,1mg/L#	0,7 mg/L#	10 a 100 mg/L###	0,3 mg/L#	1 a 40 mg/L###	0,1 mg/L#	0,01 mg/L#	1 mg/L###	0,18 mg/L	200 mg/L##	12 mg/L.#	1,4 mg/L#	250 mg/L#	10 mg/L#	250 mg/L.#

# Resolução 357 CONAMA ## Portaria 518 do Ministério da Saúde ### Organização Mundial da Saúde (WHO, 2004)

Limite inferior de detecção: Pb = 0,05, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> = 0,1 para amostras OC-A-08 a OC-A-12 analisadas no LAMIN e 0,01 para amostras OC-A-13 a OC-A-33 analisadas na PUC-RJ.

Tabela 17 - Parâmetros estatísticos das concentrações de elementos em águas superficiais de área granítica de Lavras do Sul

Elemento	Média	DP	N	Outliers	Limiar	Range	Obs.
Al(mg/L)	0,21	0,085	24		0,38	0,1 - 0,4	
Ba(mg/L)	0,024	0,00766	24		0,039	0,012 - 0,042	Valores anômalos OC-18 = 0,042 OC-20 = 0,040
Ca (mg/L)	2,17	0,8036	24		3,8	1,00 - 3,81	Valor anômalo OC-20 = 3,81
Fe(mg/L)	0,202	0,1244	24		0,35	0,104 - 0,332	Elemento com distribuição lognormal.Foram trabalhados os dados logarítmicos
Mg (mg/L)	0,808	1,549	24		1,94	0,36 - 1,73	Elemento com distribuição lognormal.Foram trabalhados os dados logarítmicos
Mn (mg/L)	0,00634	0,00444	23	OC-20 = 0,036	0,015	0,002 - 0,021	Valor anômalo OC-42 = 0,021. Estatísticas calculadas semvalor outlier
Pb (mg/L)	0,00638	0,00833	21	OC-03 = 0,074, OC-06 = 0,044, OC-07 = 0,057	0,014	<0,005 - 0,038	Valores anômalos OC-19 = 0,018 OC-34 = 0,038
Sr (mg/L)	0,043	0,0198	24		0,082	0,014 - 0,081	
Zn(mg/L)	0,027	0,0285	22	OC-03 = 0,182 OC-06 = 0,356	0,085	0,006 - 0,121	Valores anômalos OC-07 = 0,121, OC-35 = 0,086
Na (mg/L)	3,98	1,19	24		5,62	2,8 - 6,0	Elemento com distribuição lognormal.Foram trabalhados os dados logarítmicos. Valor anômalo OC-41 = 6,0
K (mg/L)	0,6	0,32	24		1,24	0,2 - 1,3	Valor anômalo OC-02 = 1,3
F (mg/L)	0,096	0,022	23	OC-37 = 0,9	0,14	0,06 - 0,13	
Cl (mg/L)	1,243	0,362	23		1,96	0,83 - 2,39	Valor anômalo OC-41 = 2,39. Drenagem que recebe esgoto de vila ao norte de Lavras.
NO <sub>3</sub> (mg/L)	0,29	0,617	24		1,52	<0,01 - 2,56	Valores anômalos OC-41 = 2,56, OC-21 = 1,84
SO <sub>4</sub> (mg/L)	1,09	0,516	24		2,12	0,6 - 2,86	Valores anômalos OC-10 = 2,3 OC-21 = 2,86 Foram trabalhados os dados logarítmicos
Os outliers não foram incluídos nos cálculos estatísticos.					DP = Desvio padrão	N = Número de observações	

Tabela 18 - Parâmetros estatísticos das concentrações de elementos em águas superficiais de área andesítica de Lavras do Sul

Elemento	Média	DP	N	Outliers	Limiar	Range	Obs
Al(mg/L)	0,47	0,247	19		0,96	0,2-1,0	
Ba(mg/L)	0,04	1,6588	18	OC-08 = 0,212	0,11	0,022-0,119	Valor anômalo OC -30 = 0,119. Estatísticas de dados logarítmicos
Ca (mg/L)	5,03	2,9189	17	OC-12 = 15,70, OC-30 = 18,39	10,85	1,92 - 11,77	Valor anômalo OC -24 = 11,77.
Fe(mg/L)	0,301	0,119	19		0,53	0,145 - 0,519	
Mg (mg/L)	2,42	2	18	OC-12 = 14,18	9,73	0,78 - 9,08	. Estatísticas de dados logarítmicos.
Mn (mg/L)	0,0072	0,00298	18	OC-30 = 0,095	0,0132	0,03 - 0,013	
Pb (mg/L)	0,112	0,0111	19		0,033	<0,005 - 0,041	Valor anômalo OC -11 = 0,0410
Sr (mg/L)	0,105	0,0783	19		0,26	0,032- 0,309	Valor anômalo OC-30= 0,309
Zn(mg/L)	0,033	2,4	19		0,195	0,009 - 0,208	Valor anômalo OC -11= 0,208. Estatísticas de dados logarítmicos
Na (mg/L)	4,6	0,59	16	OC-11= 8,7 OC-29=8,2 OC-30=15,1	5,78	3,8 - 5,7	
K (mg/L)	0,894	0,4983	19		1,9	0,4 - 2,2	Valor anômalo OC -12 = 2,2
F (mg/L)	0,106	2,385	19		0,15	0,07 - 0,15	Valor anômalo OC-30 = 0,15
Cl (mg/L)	1,19	0,27	19		1,73	0,79 - 1,78	Valor anômalo OC-30 = 1,78
NO <sub>3</sub> (mg/L)	0,024	6,77	19		1,1	<0,01 - 0,8	Estatísticas de dados logarítmicos
SO <sub>4</sub> (mg/L)	1,2	0,665	19		2,53	0,81 - 3,4	Valor anômalo OC -09 = 3,4
Os outliers não foram incluídos nos cálculos estatísticos.					DP = Desvio padrão	N = Número de observações	

das Lavras, a MINERAR (1998) não relata a presença de minerais destes elementos nos filões e encaixantes. Mesmo que a falha NS (**Figura 2**) e a cataclase do granito encaixante possam facilitar a percolação de água e seu enriquecimento em Pb<sup>+2</sup> e Zn<sup>+2</sup>, a fonte primária desses elementos é desconhecida.

A amostra OC-07, com valor outlier em Pb<sup>+2</sup>, provavelmente se relaciona aos valores elevados da vizinha estação OC-03. A amostra OC-10 apresentou valor anômalo de SO<sub>4</sub><sup>=</sup>, possivelmente derivada da pirita oxidada dos veios e rejeitos da Mina Valdo Teixeira. Não há evidências de campo para explicar os valores anômalos de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e SO<sub>4</sub><sup>=</sup> na amostra OC-21, pois compostos nitrogenados participam de fertilizantes e poderiam ser os responsáveis da anomalia de nitratos se, na área da bacia de drenagem, houvesse cultivo

agrícola recente ou pretérito, pois hoje predomina a atividade pastoril. O valor elevado de SO<sub>4</sub><sup>=</sup>, a exemplo dos obtidos nas amostras OC-10 e OC-09, situadas em áreas com veios de quartzo e pirita, alerta para a possível presença de sulfetos oxidados na bacia da amostra OC-21.

A anomalia hidrogeoquímica de Pb<sup>+2</sup> da amostra OC-34 e de As e Ni nos respectivos sedimentos de corrente parecem se relacionar à presença de diques e fraturas SE-NW das proximidades, a exemplo do que ocorre com as amostras OC-03 e 07, como mostra o Mapa da **Figura 2**.

A amostra OC-37, em cuja bacia de drenagem situam-se as minas desativadas do Bloco do Butiá e da Caneleira, somente apresentou anomalia de flúor, como outlier (0,9 mg/L). Foi o único elemento de realce dentre os resultados analíticos de amostras de água dessa bacia, apesar

da ausência de evidências da presença de fluorita em veios sulfetados. A amostra de sedimentos de corrente dessa estação registrou valor anômalo somente de Au. O flúor não foi determinado nos sedimentos de corrente.

Na amostra OC-41, devido à presença de limo na superfície rochosa submersa, registrou-se contaminação antrópica devido aos valores anômalos de  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{NO}_3^-$ , provavelmente oriundos de produtos de limpeza, tais como água sanitária com hipoclorito de sódio, detergentes com sulfato de sódio, alquil benzeno sulfonato de sódio, e de esgotos domésticos produtores de nitratos. São oriundos de área urbana situada ao norte de Lavras do Sul, não incluída no perímetro urbano da **Figura 2**.

### 5.3.2.2 - Área andesítica

As águas superficiais que escoam sobre área andesítica mostraram teor anômalo de  $\text{SO}_4^{=}$  na amostra OC-09, e representa o somatório das anomalias de  $\text{SO}_4^{=}$  das amostras OC-09 e OC-10, essa sobre granitos. Estas anomalias aparentam se relacionar com a oxidação dos veios sulfetados de granitos e andesitos. Como a amostra OC-10 é anômala apenas em  $\text{SO}_4^{=}$  e não em  $\text{Pb}^{+2}$ , conclui-se que o valor quase anômalo em  $\text{Pb}^{+2}$  da OC-09 está mais relacionado aos veios com pirita que ocorrem na porção inferior da bacia de drenagem desta amostra do que com os rejeitos da Mina Valdo Teixeira.

A amostra OC-11, coletada no Arroio das Lavras, continha teores anômalos de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Pb}^{+2}$  e  $\text{Zn}^{+2}$  de origem local, pois os à montante, nas amostras OC-12, 22 e 23, são de *background*. Em falhas E-W a NW, logo à montante de OC-11, ocorrem filões auríferos com óxidos de Fe e sulfetos de Fe e Cu da Mina Saraiva, minerados no passado, mas não há registro da presença de minerais de chumbo e zinco na mina e que justificassem as anomalias de OC-11. Assim, as anomalias hidrogeoquímicas da amostra OC-11 têm origem desconhecida.

A amostra OC-28 apresentou teor de flúor de 150 mg/L. Na cabeceira da drenagem, 2,5 km à montante da estação de amostragem, no contato por falha entre granito e andesito, localiza-se a Mina Dourada, aberta em veio com quartzo-pirita-fluorita (Kaul & Reinheimer, 1974). O teor anômalo de flúor da amostra se explica pela presença de fluorita no filão.

A amostra OC-30, cuja drenagem localiza-se ao longo de falha NE que corta andesitos da Formação Hilário e rochas sedimentares da Formação Santa Fé (**Figura 2**), conteve o maior conjunto de elementos *outliers* e anômalos, formado por Ba-Ca-F-Mn-Sr-Na-Cl. A origem dessa

associação possivelmente se relaciona à falha e com as rochas vulcanossedimentares (Komov *et al.*, 1987).

### 5.3.3 - Discussão

Em toda área estudada,  $\text{Pb}^{+2}$  -  $\text{Zn}^{+2}$  -  $\text{SO}_4^{=}$  apresentaram as maiores anomalias, sendo  $\text{SO}_4^{=}$  o mais consistente na identificação de sulfetos aflorantes e/ou de atividade antrópica mineira recente nas bacias de drenagem. A exposição e oxidação dos veios contribuíram com anomalias de  $\text{SO}_4^{=}$ . A resposta do  $\text{SO}_4^{=}$  à presença de depósitos sulfetados de Lavras do Sul coincide com as observações de Hawkes & Webb (1962) sobre a importância do ânion na prospecção hidrogeoquímica. Assim, os veios sulfetados conhecidos que ocorrem nas bacias das amostras OC-09 e OC-10 foram assinalados pelas anomalias hidrogeoquímicas de  $\text{SO}_4^{=}$ , as quais em parte corroboram os teores anômalos de Cu-Pb-Zn dos sedimentos de corrente da amostra OC-10.

No dendrograma da **Figura 4** as amostras de sedimento de corrente OC-21 e OC-06 estão agrupadas e, na **Figura 6**, ambas se classificam como de *teores background*. Já os respectivos resultados hidrogeoquímicos mostraram anomalias de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{SO}_4^{=}$  na amostra OC-21, e de  $\text{Pb}^{+2}$ - $\text{Zn}^{+2}$  na OC-06. Valores hidrogeoquímicos anômalos de  $\text{Pb}^{+2}$ - $\text{Zn}^{+2}$  também foram registrados na amostra OC-03 e na correspondente amostra de sedimento de corrente, além de anômala em Pb, também o é em Au-As-Cu-Hg. O conjunto dessas anomalias, independentemente da ausência de anomalia para  $\text{SO}_4^{=}$ , elege essa estação como a mais interessante do ponto de vista prospectivo. Saliente-se, por outro lado, que a concentração de  $\text{SO}_4^{=}$ , inferior ao limiar, nas águas da amostra OC-03 não se coaduna com as altas concentrações de metais nos respectivos sedimentos. Isto mostra que anomalias de águas nem sempre correspondem a anomalias de sedimentos de corrente.

Os resultados aqui obtidos permitem levantar as seguintes questões: a) Porque, a exemplo dos demais, não foi detectado Hg solúvel em amostras de água apesar das altas concentrações detectadas em sedimentos de corrente e solos e originadas predominantemente por contaminação antrópica? b) Porque não foi detectado  $\text{Cu}^{+2}$  solúvel nas amostras de água, apesar da ocorrência de sulfetos de Cu nas mineralizações de ouro? c) Porque não ocorre  $\text{Pb}^{+2}$  à jusante da Mina Merita? d) Porque ocorrem  $\text{Pb}^{+2}$  e  $\text{Zn}^{+2}$  em locais distantes das mineralizações conhecidas? A clássica utilização de diagramas Eh-pH (Brookins, 1988; Garrels, 1960) pode contribuir teoricamente para elucidar algumas das ques-



tões, como a seguir exposto.

Medidas de Eh e pH foram efetuadas na base da coluna de água de oito drenagens da região, conforme Pestana *et al.* (2000). O pH variou de 5,8 a 7,1 e o Eh de 70 a 254 mV. Esses valores situam-se no retângulo delimitado por linha tracejada e situado no centro dos diagramas das **Figuras 19** (Hg), **20** (Cu), **21** (Pb) e **22** (Zn). Esses valores são importantes pois muitas formas de metais em soluções ácidas precipitam como hidróxidos com o aumento do pH e cada elemento precipita sob determinado valor, ou pH de hidrólise (Levinson, 1974).

Na **Figura 19** observa-se que o  $Hg^0$  é a forma que pode estar presente sob as condições de Eh e pH da área, uma vez que a sua associação com formas orgânicas (metiladas) não ocorre em níveis detectáveis (Pestana *et al.*, 2000). Pela **Figura 19**, se houver diminuição de espécies dissolvidas de Hg para valores inferiores a  $10^{-8}$  também haverá redução do campo de estabilidade do  $Hg^0$  e incremento do campo de  $Hg^{+2}$  e, com isto,  $Hg^{+2}$  poderia englobar o retângulo tracejado e mercúrio também ocorreria na forma dissolvida em valores inferiores ao da sua atividade de  $10^{-8}$ , ou seja, em valores da ordem de  $\mu g/L$ . Isso justificaria os resultados analíticos de  $Hg^{+2}$  em água inferiores ao limite inferior de detecção pelo método analítico, que é de  $0,2 \mu g/L$ . Outro fator que contribui com os baixos teores da forma dissolvida são os baixos teores de Hg das mineralizações da região, resultantes da provável ausência de minerais de mercúrio, apesar do registro de local ocorrência de cinábrio em concentrados de bateia na região (Toniolo *et al.*, 2005), e formas sulfetadas em análise de especificação (Pestana *et al.*, 2000).

Relativamente à questão 'b', os valores de pH da região são superiores a 5,3, o pH de hidrólise do Cu, o que contribui para a formação de hidróxidos do metal e a sua exaustão da solução aquosa. Por este motivo, 95,3% das 43 estações de amostras de água possuem teores de  $Cu^{++}$  abaixo do limite inferior de detecção do método analítico ( $0,01 \text{ mg/L}$ ). As baixas concentrações de cobre dissolvido também são favorecidas pelos baixos teores de Cu nos veios sulfetados da área, onde, segundo MINERAR (1998), o sulfeto mais abundante dos minérios é a pirita, em até 1%, com proporções menores dos demais sulfetos. Os únicos valores detectados de Cu dissolvido ( $0,01 \text{ mg/L}$ ) representam apenas 4,6% das amostras e refletem os rejeitos da Mina Valdo Teixeira (amostra OC-10) e do beneficiamento do Moinho Cerro Rico (OC-27). É possível que estes valores foram detectados por estarem associados a colóides não retidos pela membrana de filtragem das amostras e de porosidade de

$0,45 \mu m$ . O diagrama da **Figura 20** mostra que, para as condições de Eh e pH da área, o  $Cu_2O$  é a principal forma presente.

Se considerado que o teor de enxofre dissolvido for menor do que o da **Figura 20**, o campo de estabilidade dos sulfetos tende a diminuir e o do  $Cu^{++}$  aquoso avançar sobre o retângulo tracejado e reduzir sua atividade para valores inferiores a  $10^{-6}$ . Por serem teores muito baixos, não seriam detectados pelo método analítico e justificariam os teores inferiores ao limite de detecção da maioria das amostras.

Na questão do item "c", a presença de  $Pb^{+2}$  solúvel em concentração de *background* a jusante da Mina Merita, rica em galena (amostra OC-16), parece ser controlada pela ausência de enxofre e carbono no sistema. O campo de estabilidade do  $Pb^{+2}$  solúvel (**Figura 21**) é restrito e só ocorre sob pH muito ácido e na presença de enxofre no sistema. Esse não seria o caso da Mina Merita onde os veios sulfetados foram removidos e apenas permanece alguma contaminação pelo movimentação pretérita das encaixantes, o que reduz consideravelmente a presença atual de S e C no sistema aquoso. Com isso, o campo de estabilidade do  $Pb^{+2}$  em concentrações menores que  $10^{-8}$ , deslocar-se-ia para a direita do diagrama da **Figura 21**, em detrimento dos campos de anglesita e cerussita, o que explica a ausência de concentrações anômalas de  $Pb^{+2}$  e  $SO_4^{=}$  na amostra OC-16.

Com relação ao item "d", a abundância de  $Zn^{+2}$  solúvel em número significativo de amostras também se explica pelo diagrama de Eh-pH (**Figura 22**). Nesse, se verifica que os valores de Eh e pH da área, delimitados pelo retângulo tracejado, situam-se no campo de estabilidade do  $Zn^{+2}$  solúvel. Em contraste com o Cu e o Pb, o campo de estabilidade deste íon é maior. As baixas concentrações detectadas de  $Cu^{+2}$  nas águas superficiais, em relação à contaminação de  $Pb^{+2}$  e  $Zn^{+2}$ , também se devem ao fato de que os sulfetos destes desses metais são mais facilmente oxidáveis e disponibilizados no meio aquoso da maioria dos ambientes superficiais do que os sulfetos de Cu, como se deduz a partir da comparação dos campos de estabilidade dos sulfetos dos três metais nas **figuras 20, 21 e 22**, sob as condições de pH e Eh da área.

A presença de  $Pb^{+2}$  e de  $Zn^{+2}$  foram detectadas respectivamente em 51% e 100% das 43 amostras. Isto é coerente com o pH 6 de hidrólise do íon  $Pb^{++}$  que se situa em posição intermediária entre os extremos medidos na área. Dessa forma, nas estações com  $pH > 6$  e concentrações de  $Pb^{++}$  maiores poderia não haver a precipitação do metal se as concentrações de S, C e O-H forem baixas. Já nas estações com  $pH < 6$

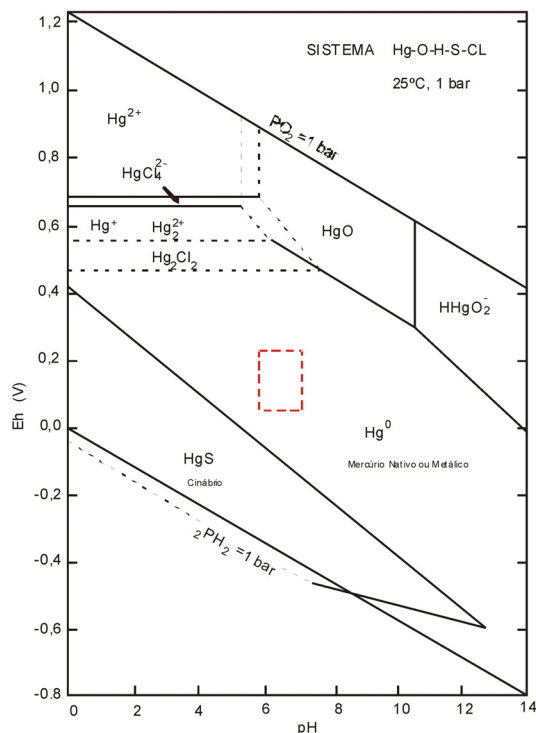


Figura 19 - Diagrama de estabilidade das espécies de Hg. Atividades consideradas para as espécies dissolvidas são:  $Hg = 10^{-8}$ ,  $Cl = 10^{-3,5}$ ,  $S = 10^{-3}$  (Brookins, 1988). Medidas de pH e Eh feitas por (Pestana et al., 2000) na parte inferior da coluna de água de 8 drenagens de Lavras do Sul situam-se dentro do retângulo tracejado.

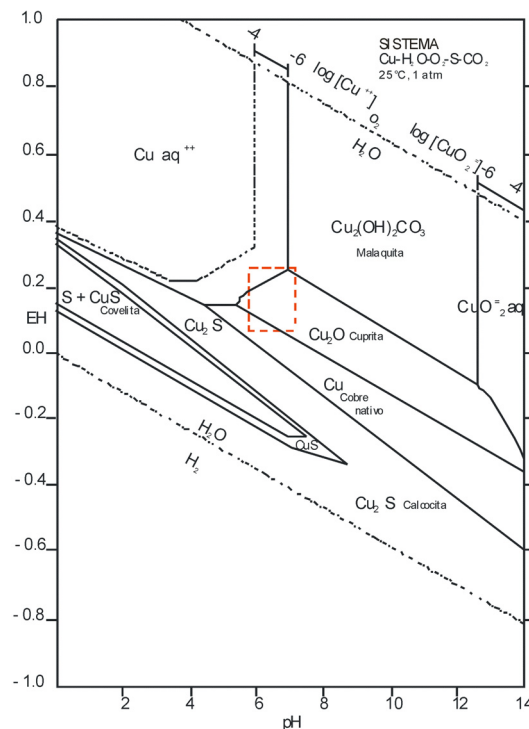


Figura 20 - Diagrama de estabilidade dos compostos de Cobre.  $Pco2 = 10^{-3,5}$ , espécie de enxofre total dissolvido =  $10^{-1}$  (Garrels, R.M. 1960). Medidas de pH e Eh feitas por (Pestana et al. 2000) na parte inferior da coluna de água de 8 drenagens de Lavras do Sul situam-se dentro do retângulo tracejado.

as formas dissolvidas para baixas concentrações de Pb-S-C-O-H seriam favorecidas. No caso do Zn, as formas dissolvidas seriam favorecidas, pois os valores de pH da área são menores que o de sua hidrólise. Se houver redução das atividades de enxofre e carbono (**Figuras 21 e 22**) os campos de sulfatos, sulfetos e carbonatos serão restringidos em favor das formas dissolvidas.

A baixa concentração de sulfato na amostra OC-03 pode ser devida à ausência de desmonte mineiro na área e de mineralização conhecida próxima da estação de coleta. Ao contrário desta, as amostras sob a influência de atividade mineira, como OC-10 e OC-9, ambas a jusante da Mina Valdo Teixeira, são anômalas em  $SO_4^{2-}$  (**Figura 18**) devido à oxidação da pirita, presente nos veios e nos rejeitos.

Por outro lado, as amostras OC-06 e OC-11, situadas no Arroio das Lavras, são anômalas em  $Pb^{+2}$  e  $Zn^{+2}$ , mas têm baixas concentrações de sulfatos, e nos sedimentos correspondentes não há anomalias de nenhum dos elementos analisados. Isto sugere que a diminuição das concentrações de S e C ocasionaria aumento do campo de estabilidade de formas dissolvidas  $Pb^{+2}$  e  $Zn^{+2}$ , como mostram as **Figuras 21 e 22**.

Assim, as anomalias hidroquímicas de Pb e

Zn, tanto na área granítica (OC-03, OC-06 e OC-07) quanto andesítica (OC-11) encontram algum suporte em diagramas de Eh-pH. Entretanto, as fontes destas anomalias não são suficientemente conhecidas, principalmente no caso da amostra OC-11. É possível que fatores estruturais controlem as anomalias de Pb e Zn, como a presença de falhas, fraturas e diques de traquito, a latito nas bacias de drenagem das amostras OC-03 e OC-34 (**Figura 2**) e a presença de rocha básica na estrutura da Mina Mato Feio, da amostra OC-06 (MINERAR, 1998). Isto sugere que é necessário verificar a presença de estruturas semelhantes nas bacias de drenagem das amostras OC-03, OC-07 e OC-34.

Quanto às anomalias de flúor, as porções apicais da área granítica do Complexo Intrusivo Lavras do Sul representam condições favoráveis à retenção de voláteis (F-Cl) produzidos por reativações magmáticas (Gastal, 1997). Como descreve Nardi (1984), algumas amostras de pertita granito do contêm fluorita. Ambos os aspectos poderiam explicar parcialmente o teor *outlier* de flúor na água superficial da amostra OC-37 e a anomalia da amostra OC-28, a qual, apesar de coletada em área de andesito, está sob a influências de granito nas cabeceiras da bacia.

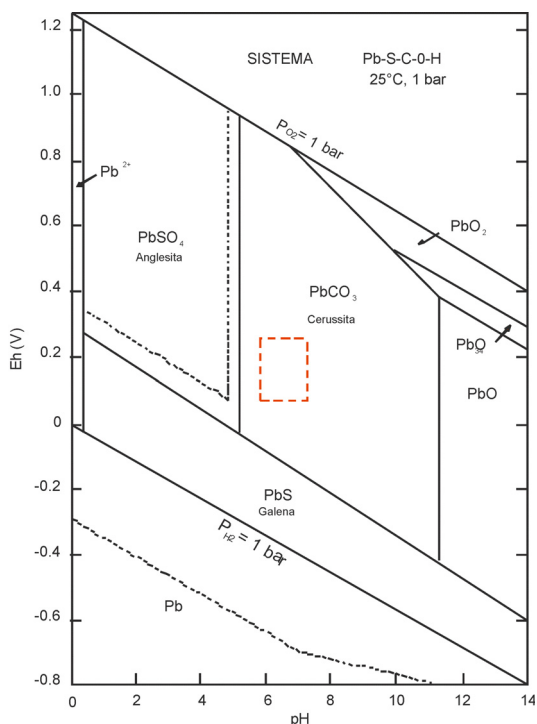


Figura 21 - Diagrama Eh-pH de parte do sistema Pb-S-C-O-H. As atividades das espécies dissolvidas são:  $Pb = 10^{-6}$ ,  $S = 10^{-3}$ ,  $C = 10^{-3}$  (Brookins, 1988). Medidas de pH e Eh feitas por Pestana et al. (2000) na parte inferior da coluna de água de 8 drenagens de Lavras do Sul situam-se dentro do retângulo tracejado.

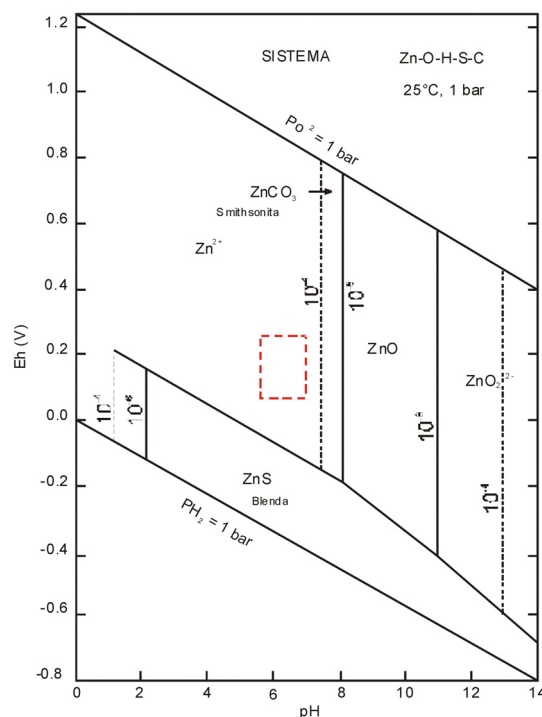


Figura 22 - Diagrama Eh-pH de parte do sistema Zn-S-C-O-H. Atividades das espécies dissolvidas são:  $Zn = 10^{-6}$ ,  $C = 10^{-3}$ ,  $S = 10^{-3}$  (Brookins, 1988). Medidas de pH e Eh feitas por Pestana et al., (2000) na parte inferior da coluna de água de 8 drenagens de Lavras do Sul situam-se dentro do retângulo tracejado.

A discreta anomalia de Flúor da amostra OC-30 da área de andesitos, também parece estar condicionada a falhas NE, a exemplo da área granítica de Encruzilhada do Sul, onde expressivas anomalias hidrogeoquímicas de flúor ocorrem nas imediações de ocorrência de fluorita em fraturas (Grazia, 1993). Na área granítica de Lavras do Sul a dispersão de 2,5 km associada à Mina Dourada parece favorecida por fraturas com fluorita que contribuíram para a discreta anomalia da amostra OC-28.

### 5.3.4 - Conclusões sobre águas superficiais

1 - Os elementos Hg e Cu apresentaram valores menores que os respectivos limites de detecção e compatíveis com os campos de estabilidade de suas formas insolúveis.

2 - Foram detectadas anomalias hidrogeoquímicas de algum interesse somente de  $Pb^{+2}$ ,  $Zn^{+2}$ ,  $SO_4^{=}$  e  $F^-$ .

3 - Anomalias hidrogeoquímicas de  $Pb^{+2}$  e  $Zn^{+2}$  não estão associadas a anomalias nas respectivas amostras de sedimentos de corrente, exceto na amostra OC-03.

4 - A ausência de  $Pb^{+2}$  nas águas superficiais à jusante da Mina Merita pode ser atribuída

aos baixos valores do metal nas encaixantes, uma vez que veios ricos em galena foram removidos.

5 - As anomalias hidroquímicas de  $Pb^{+2}$  e  $Zn^{+2}$  parecem ser controladas pelo baixo teor de S no sistema e fontes primárias dos mesmos são desconhecidas próximas às amostras anômalas.

6 - As anomalias de  $Zn^{+2}$  são as mais frequentes, apesar da ausência de mineralizações com esfalerita, pois  $Zn^{+2}$  é a forma solúvel mais estável nas condições de Eh e pH locais.

7 - Anomalias de  $Cl^-$ ,  $Na^+$ ,  $NO_3^-$  na amostra OC-41 associam-se provavelmente a esgotos urbanos.

8 - Duas anomalias de  $SO_4^{=}$  (OC-9 e 10) estão relacionadas à oxidação de pirita de veios aflorantes nas proximidades.

9 - Atividade antrópica do tipo desmonte mineiro também pode ter contribuído com anomalias de  $SO_4^{=}$  alimentadas pela Mina Valdo Teixeira, à montante das amostras OC-09 e 10.

10 - A presença de fluorita em rocha pode explicar parcialmente o valor outlier de flúor da amostra OC-37.

11 - Os métodos analíticos para cátions e ânions usadas neste trabalho devem ser aprimoradas devido ao excesso de resultados inferiores ao limite de detecção.

## 6. Considerações Finais

Os solos amostrados apresentaram valores de *background* (basais) de concentração naturalmente elevada de As-Cu-Pb devido às mineralizações sulfetadas da região de Lavras do Sul.

Os solos contaminados antropicamente junto às antigas instalações de beneficiamento de ouro apresentaram concentrações de As, Cu, Hg e Pb superiores aos respectivos valores de intervenção agrícola entre 75% a 100% das amostras. Dessas instalações, o Moinho Chiapetta, situado às margens do Arroio das Lavras a montante da área urbana, apresentou as maiores concentrações de mercúrio (até 43.497 ng/g Hg), superando em 805 vezes o valor médio para os solos graníticos da região.

As dispersões das contaminações dos solos junto aos moinhos Chiapetta e Paredão para os sedimentos de corrente são identificadas na amostra logo a jusante destes, pelos valores anômalos em Au-Cd-Hg-Pb-Zn. O mesmo se verificou a jusante do Moinho Cerro Rico pelos valores anômalos em As-Au-Cu-Hg-Pb. Neste caso, porém, o excesso de finos provenientes da bacia de decantação dos rejeitos permanece atingindo diretamente o curso de água. Nos outros locais de beneficiamento, as contaminações se restringem ao solo superficial e atingem hoje o recurso hídrico em concentrações menores.

Nos sedimentos de corrente, o *background* da área granítica mostrou-se naturalmente elevado em As e, na área andesítica, em As, Cu, Ni e Pb. Conseqüentemente, a disposição desses sedimentos em locais cujas concentrações de base sejam inferiores à contaminação natural vista em Lavras do Sul, seriam necessários cuidados especiais e a realização de ensaios toxicológicos nesses sedimentos. Para os valores anômalos encontrados, foram identificadas as origens natural, antrópica mineira, antrópica de beneficiamento e antrópica mista.

Valores anômalos naturais para Hg nos sedimentos de corrente variaram entre 112 ng/g e 195ng/g, e os antrópicos entre 145 ng/g e 958

ng/g. A contaminação natural de Pb atingiu 194 µg/g, sendo que o mesmo mostrou comportamento independente dos elementos Cu, Ag e Au, conforme ilustrado em dendrogramas. Isto sugere a existência de eventos metalogenéticos distintos para as mineralizações da área de Lavras do Sul.

As anomalias em sedimentos de corrente não se repetiram nas águas superficiais, onde os elementos Hg e Cu apresentaram todos os valores menores que os respectivos limites de detecção. Anomalias hidrogeoquímicas de algum interesse foram encontradas somente para  $Pb^{+2}$ ,  $Zn^{+2}$ ,  $SO_4^{=}$  e  $F^-$ . Entre essas, as anomalias de  $SO_4^{=}$  estão relacionadas à presença de veios sulfetados e ao desmonte mineiro.

A interpretação dos dados aqui apresentados mostrou que a principal via de exposição para a saúde humana são os solos. Para um estudo voltado à saúde ou análise de risco, deveriam ser analisados, nos locais com solos contaminados, as plantas e os animais que possam atingir os humanos por contato ou ingestão. Em vista disso, deve ser evitado o uso agrícola e pastoril nesses locais.

Nos recursos hídricos, os sedimentos de corrente podem ser vistos apenas como fonte potencial, no caso de haver remobilização de contaminantes metálicos do fundo para a coluna de água. Aparentemente, a água não representa uma via de exposição importante, devido às concentrações dissolvidas serem muito baixas. Contudo, deve-se frisar que os dados aqui apresentados referem-se a uma única amostragem temporal.

Outro aspecto a ser levantado, como estudo complementar, seria verificar a extensão da pluma de contaminação tanto nos solos como nos sedimentos de corrente, a fim de se estabelecer os usos adequados atualmente para esses recursos naturais, bem como para orientar possíveis medidas de remediação dos compartimentos contaminados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZEVEDO, F.A. *Toxicologia do Mercúrio*. São Carlos: Rima, 2003. 272p.
- AZEVEDO, F.A.; de NASCIMENTO, E.S.; CHASIN, A.A. da M. Mercúrio. In: AZEVEDO, F.A. de; CHASIN, A.A. da M. Metais: gerenciamento da toxicidade. São Paulo: Atheneu, 2003. p.299-352
- BIONDI, J.C. *Processos metalogenéticos e os depósitos minerais brasileiros*. São Paulo, Oficina de Textos, 2003. 528p.
- BRASIL.Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 344/2004. Brasília,2004.
- BRASIL.Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm>>. Acesso em 30 nov. 2007.
- BROOKINS, D.G. *Eh - pH Diagrams for Geochemistry*. New York: Springer-Verlag, 1988. 176p.
- BRUNI, D.C.; SENNA FILHO, A. O mercúrio na exploração geoquímica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 1, Porto Alegre, 1987. *Anais...* Porto Alegre: SBGq, 1987. v.1, p. 453-472.
- CALOGERAS, P. *As Minas do Brasil e sua legislação : geologia econômica do Brasil*. 2.ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1938. Tomo 3. 507p. (Biblioteca Pedagógica Brasileira, v. 134)
- CETESB. *Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas*. São Paulo, 2001. 245p.
- CETESB, 2005. *Valores orientadores para solos e águas subterrâneas*. Disponível em:< [www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios/tabela\\_valores\\_2005.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios/tabela_valores_2005.pdf) >. Acesso em 28 set. 2007.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL; COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. *Folha Lavras do Sul (RS) SH-22-Y-A-IV: Fotografias aéreas*. Rio de Janeiro, 1977. Escala 1:25.000. MI 2995. Coordenadas geográficas 30° 30' S - 31° 00' S e 53° 30' W - 54° 00' W. Projeto Escudo Sul Rio-grandense. Foto 5209 23/11/1977.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER. *Mapa de uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Camaquã, Rio Grande do Sul, Brasil, 1996*. Coordenação geral do projeto: Maria Heloisa Degrazia Pestana. Porto Alegre: FEPAM, 1996. 2 mapas color 100 x 85cm. Escala 1:250.000 TM 260 (Projeto FEPAM-FNMA Bacia do Rio Camaquã).
- FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. *Folha SH.22 Porto Alegre e parte das folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim : geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra*. Rio de Janeiro, 1986. 796 p. (Levantamento de Recursos Naturais, v.33)
- GASTAL, M.C.P. *Suíte Intrusiva Saibro, RS : avaliação de um modelo petrológico*. Porto Alegre, 1997. 365 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.
- GASTAL, M.C.P.; FERREIRA, F.J.F.; LAFON, J.M.; ROLIM, S.B.A.; FIALHO, C.F.; FERNADES, G.A. O sistema vulcano-plutônico de subsidência representado pelo Complexo Intrusivo Lavras do Sul, RS. In: SIMPÓSIO SOBRE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 2, Belém, 2002. *Boletim de Resumos e Roteiro das Excursões...* Belém: SBG , 2002. p. 111
- GASTAL, M.C.; LAFON, J.M.; FERREIRA, F.J.F.; MAGRO, F.U.S.; REMUS, M.V.D.; SOMMER, C.A. Reinterpretação do complexo intrusivo Lavras do Sul, RS de acordo com os sistemas vulcano-plutônicos de subsidência; parte 1 - geologia, geofísica e geocronologia (<sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb e <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U). *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v.36, n.1, p.109-124, 2006.
- GARRELS, R.M. *Mineral Equilibria*. New York: Harper & Brothers,1960. 254p.
- GOÑI, J.C.; GOSO, H.; ISSLER, R.S. Estratigrafia e geologia econômica do pré-cambriano e eopaleozóico uruguaio e sul-riograndense. *Avulso da Escola de Geologia*, Porto Alegre, 1962. 105 p.
- GRAY, J.E. *Geological Studies of Mercury by the U. S. Geological Survey*. Denver: USGS, 2003. 41 p. (U. S. Geological Survey Circular, 1248)
- GRAZIA, C. A. Prospecção geoquímica para fluorita em área granítica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 3, Rio de Janeiro, 1993. *Resumos Expandidos...* Rio de Janeiro: SBGq, 1993. p. 302-304.
- GRAZIA, C. A.; PESTANA, M. H. D. Mercury contaminated soils in gold mining areas of Lavras do Sul, RS, Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEAVY METALS IN THE ENVIRONMENT, 13, 2005, Rio de Janeiro. *Contaminated Sites...* 1 CD ROM
- GRAZIA, C.A.; PESTANA, M.H.D. Contaminações por mercúrio antrópico em solos e sedimentos de corrente de Lavras do Sul, RS, Brasil. In: WORKSHOP INTERNACIONAL DE GEOLOGIA MÉDICA 2, Rio de Janeiro.,2005. *Painéis...* painel 7/7. 1 CD ROM
- GRAZIA, C.A.; PESTANA, M.H.D. Solos contaminados por mercúrio antrópico e sua influência em sedimentos de corrente de Lavras do Sul, RS, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA 10, 2005, Ipojuca PE . *Anais...* Recife: SBGq, 2005 1 CD-Rom
- GRAZIA, C.A., PESTANA, M.H.D. Contaminação por mercúrio antrópico em solos e sedimentos de corrente de Lavras do Sul, RS,Brasil. In: SILVA, C.R. et al. (Eds.). *Geologia Médica no Brasil: efeitos dos materiais e fatores geológicos na saúde humana e meio ambiente*. Rio de Janeiro: CPRM, 2006. p. 140 - 147.
- HAWKES, H.E.; WEBB, J.S. *Geochemistry in mineral exploration*. New York: Harper & Row, 1962. 415p.
- HEDENQUIST, J.W.; IZAWA, E.; ARRIBAS, A.; WHITE, N.C. *Epithermal gold deposits : styles , characteristics, and exploration*. Tokyo: Komiyama, 1996. 1 v. (Resources Geology Special Publication, n. 1)
- HINTZE, J. *Number Cruncher Statistical System- NCSS 2004*. s.l.: s.n., 2004. 1 CD ROM.
- KAUL, P.F.T; RHEINHEIMER, D. *Projeto Ouro no Rio Grande do Sul e Santa Catarina: relatório final*. Porto Alegre: CPRM/DNPM, 1974. 4 v.(Inédito)
- KOMOV, I.L.; LUKASHEV, A.N.; KOPLUS, A.V. *Geochemical Methods of Prospecting for Non-metallic Minerals*. Utrecht: VNU Science, 1987. p. 121 - 210.
- KRAUSKOPF, K.B. *Introduction to Geochemistry*. 2.ed. New York : McGraw-Hill, 1979. 617 p.

- LEVINSON, A.A. *Introduction to Exploration Geochemistry*. Calgary: Applied, 1974. 612 p.
- LIMA, E.F. *Petroquímica e Prospecção Litogeoquímica da Área da Merita, Região de Volta Grande, Lavras do Sul, RS*. Porto Alegre, 187p. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Curso de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1985.
- LIMA, E.F. *Petrologia das rochas vulcânicas e hipabissais da Associação Shoshonítica de Lavras do Sul - ASLS, RS*. Porto Alegre, 338p Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.
- LIMA, E.F. ; NARDI, L.V.S. O magmatismo shoshonítico no Estado do Rio Grande do Sul : uma revisão. *Pesquisas*, Porto Alegre, v. 19, n.2, p. 190-194, 1992.
- LIMA, E.F. ; NARDI, L.V.S. The Lavras do Sul shoshonitic association : implications for the origin and evolution of Neoproterozoic shoshonitic magmatism in southernmost Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 11, n. 1, p. 67-77, 1998.
- LIZ, J.D. *Aspectos petrográficos, composicionais e potencialidade para mineralizações de ouro e sulfetos do sistema multi-intrusivo da associação shoshonítica de Lavras do Sul(RS)*. 2003. 117 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS , Porto Alegre , 2003.
- LOLLAR, B.S. (Ed.). *Environmental Geochemistry*. Amsterdam: Elsevier, 2005. 630 p. (Treatise on Geochemistry, v. 9).
- MEHRTENS, M.B. The Tonkin springs gold mining district, Nevada, USA: case history and problem 1. In: FLETCHER, W.K.; HOFFMAN, S.J.; MEHRTENS, M.B.; SINCLAIR, A.J.; THOMSON, I. Exploration geochemistry: design and interpretation of soil surveys. *Reviews in Economic Geology*, v. 3, p. 129-246, 1987.
- MEXIAS, A.S.; FORMOSO, M.L.L.; MEUNIER, A.; BEAUFORT, D. O Sistema Hidrotermal Fóssil de Volta Grande, Lavras do Sul, RS: parte I - petrografia do hidrotermalismo. *Geochimica Brasiliensis*, v. 4, n. 2, p. 139-157, 1990.
- MINERAR-CONSULTORIA E PROJETOS. *Diagnóstico do potencial Mineral do Município de Lavras do Sul*. Porto Alegre : CRM , 1998. 1 CD ROM.
- NARDI, L.V.S. *Geochemistry and Petrology of the Lavras Granite Complex, RS, Brasil*. Londres, 1984. 268 p. Tese (Doctor of Philosophy) - Department of Geology, King's College, University of London, London, 1984.
- NARDI, L.V.S.; BONIN, B. Post-orogenic and Non-orogenic Alkaline Granite Associations: the Saibro Intrusive Suite, southern Brazil - a case study. *Chemical Geology*, v. 92, p.197-211, 1991.
- NARDI, L.V.S.; LIMA, E.F. de. A Associação Shoshonítica de Lavras do Sul, RS. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 15, n. 2, p. 139-146, 1985.
- PAIM, P.S.G.; CHEMALE Jr., F.; LOPES, R. da C. A Bacia do Camaquã. In: HOLZ, M.; DE ROS, L. F. (Eds.) *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre : UFRGS/CIGO, 2000. p.231-274.
- PESTANA, M. H. D. ; LECHLER, P. ; FORMOSO, M. L. L. ; MILLER, J. Mercury in sediments from gold and copper exploitation areas in the Camaquã River Basin, southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, n. 13, p.537-547 , 2000.
- PESTANA, M.H.D.; FORMOSO, M.L.L. Mercury contamination in Lavras do Sul, south Brazil: a legacy from past and recent gold mining. *The Science of the Total Environment*, n. 305, p.125-140, 2003.
- PORCHER, C.A.; LOPES, R.C. *Folha SH.22-Y-A Cachoeira do Sul*, Estado do Rio Grande do Sul, escala 1: 250.000 : Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Rio de Janeiro : CPRM , 2000. 1 CD-Rom.
- RIBEIRO, M.; BOCCHI, P.R.; TESSARI, R.I.; FIGUEIREDO FILHO, P.M. de *Geologia da Quadrícula de Caçapava do Sul*, Brasil. Rio de Janeiro: DNPM/DFPM, 1966. 232p (Boletim 127).
- ROBERTS, R.G.; SHEAHAN, P.A. *Ore Deposit Models*. Ontario: Geological Association of Canada, 1998. 194 p. (Geoscience Canada Reprint Series, 3)
- SKÉI J. M. A review of assessment and remediation strategies for hot spot sediments. *Hydrobiologia*, p.235-236; 629-638. 1992.
- SOLIANI JR., E. *Os dados geocronológicos do escudo sul-rio-grandense e suas implicações de ordem geotectônica*. 1986. 1 v. Tese (Doutorado em Geologia Geral e de Aplicação) - Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1986.
- STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P. *Solos do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: EMATER / UFRGS, 2002. 127 p.
- TÁVORA, F.J. ; HALE, M.; REISCHL, J.L.; RIBEIRO, M.J. Arsenic, antimony, bismuth, selenium and tellurium as pathfinder elements to granite-hosted vein-type and disseminated gold mineralization at Cerrito do Pires, Rio Grande do Sul, Brazil. In: INTERNATIONAL GEOCHEMICAL EXPLORATION SYMPOSIUM, 13. , Rio de Janeiro, 1989. *Abstracts...* Rio de Janeiro : SBGq, 1989. p.7-8.
- TEIXEIRA, E.A.; LEINZ, V. *Ouro no Bloco do Butiá (Rio Grande do Sul)*. Porto Alegre: DNPM, 1942. 82 p. (Boletim da Divisão de Fomento da Produção Mineral, n. 50)
- THORNTON, I. (Ed.) *Applied Environmental Geochemistry*. London: Academic Press, 1983. 501 p.
- TONIOLO, J.A.; GIL, C.A.A.; SANDER, A.; DIAS, A.A.; REMUS, M.V.D. Modelos exploratórios de metais-base e preciosos na Bacia do Camaquã: síntese e avanços no conhecimento : parte I - histórico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE METALOGENIA, 1, Gramado, 2005. *Resumos...* Gramado: CPGq-IG/UFRGS, 2005. 1 CD-Rom.
- TONIOLO, J.A.; GIL, C.A.A.; SANDER, A.; DIAS, A.A.; REMUS, M.V.D. Modelos exploratórios de metais-base e preciosos na Bacia do Camaquã: síntese e avanços no conhecimento : parte II - atividades e primeiros resultados. . In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE METALOGENIA, 1, Gramado, 2005. *Resumos...* Gramado: CPGq-IG/UFRGS, 2005. 1 CD-Rom.
- TONIOLO, J.A., GIL, C.A.A., SANDER, A. *Metalogenia das Bacias Neoproterozóicas-Eopaleozóicas do Sul do Brasil*: Bacia do Camaquã. Porto Alegre: CPRM, 2007. (Inédito)
- WEAST, R.C. (Ed.) *Handbook of Chemistry and Physics*: a ready-reference book of chemical and physical data. 51. ed. Cleveland: The Chemical Rubber, 1971. 1v.
- WHO-WORLD HEALTH ORGANIZATION. 2004. Guidelines for Drinking-Water Quality. 3ed., v. 1. Disponível em: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/). Acesso em: 10 set. 2007

## Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

### Sede

SGAN Quadra 603-Conjunto "J", Parte A, 1º andar  
Cep: 70830-030 Brasília - DF  
Telefones: (61) 32231166 - (61)2192 8252(PABX)  
Fax: (61)3225 3985  
E-mail: [cprmsede@df.cprm.gov.br](mailto:cprmsede@df.cprm.gov.br)

### Escritório Rio

Av. Pasteur, 404 Urca - Cep: 22290-240  
Rio de Janeiro - RJ  
Telefones:(21) 2295 5337 - (21)2295 0032 (PABX)  
Fax: (021)2542 3647  
E-Mail: [cprm@rj.cprm.gov.br](mailto:cprm@rj.cprm.gov.br)

### Diretoria de Geologia e Recursos Minerais - DGM

Telefone: (61)2295 6196  
Fax: (61)2295 6196

### Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial - DHT

Telefone: (21)2295 8248  
Fax: (21)2295 5804

### Departamento de Gestão Territorial - DEGET

Telefone: (21)25460419  
Fax: (21)2295 5804  
E-Mail: [cassio@rj.cprm.gov.br](mailto:cassio@rj.cprm.gov.br)

### Divisão de Documentação Técnica

Telefones: (21)2295 5997  
Fax (21)2295 5897  
E-Mail: [seus@rj.cprm.gov.br](mailto:seus@rj.cprm.gov.br)

### Superintendência Regional de Belém

Av. Dr. Freitas, 3645 - Marco - Cep: 66095-110  
Belém - PA  
Telefones: (91)3276 6976 - (91)3276 8577 (PABX)  
Fax: (91)3276 4020  
E-Mail: [sureg@be.cprm.gov.br](mailto:sureg@be.cprm.gov.br)

### Superintendência Regional de Belo Horizonte

Av. Brasil, 1731 Funcionários - Cep: 30140-002  
Belo Horizonte - MG  
Telefones: (31)3878 0332 - (31)3878 0300 (PABX)  
Fax: (31)3878 0383  
E-Mail: [suregbh@bh.cprm.gov.br](mailto:suregbh@bh.cprm.gov.br)

### Superintendência Regional de Goiânia

Rua 148, 485 - Setor Marista - Cep: 74170-110  
Goiânia - GO  
Telefones: (62)3240 1401 - (62)3240 1400 (PABX)  
Fax: (62)3240 1417  
E-Mail: [cprm@go.cprm.gov.br](mailto:cprm@go.cprm.gov.br)

### Superintendência Regional de Manaus

Av. André Araújo, 2160 - Aleixo - Cep: 69060-001  
Manaus - AM  
Telefones: (92)2126 0301 - (92)2126 0300(PABX)  
Fax: (92)2126 0319  
E-Mail: [suregma@ma.cprm.gov.br](mailto:suregma@ma.cprm.gov.br)

### Superintendência Regional de Porto Alegre

Rua Banco da Província, 105 - Cep: 90840-030  
Porto Alegre - RS  
Telefones: (51)3233 4643 - (51)3233 7311 (PABX)  
Fax: (51)3233 7772  
E-Mail: [sureq@pa.cprm.gov.br](mailto:sureq@pa.cprm.gov.br)

### Superintendência Regional de Recife

Av. Sul, 2291 Afogados - Cep: 50770-011  
Recife - PE  
Telefones: (81)3428 0907 - (81)3428 0623 (PABX)  
Fax: (81)3447 4467  
E-Mail: [cprm@re.cprm.gov.br](mailto:cprm@re.cprm.gov.br)

### Superintendência Regional de Salvador

Av. Ulisses Guimarães, 2862  
Centro Administrativo da Bahia - Cep: 41213-000  
Salvador - BA  
Telefones: (71)3230 0025 - (71)3230 9977 (PABX)  
Fax: (71)3371 4005  
E-Mail: [suregsa@sa.cprm.gov.br](mailto:suregsa@sa.cprm.gov.br)

### Superintendência Regional de São Paulo

Rua Costa, 55 Cerqueira Cezar - Cep: 01304-010  
São Paulo - SP  
Telefone: (11)3257 6430 - (11)3258 4744 (PABX)  
Fax: (11)3256 8430  
E-Mail: [cprmsp@sp.cprm.gov.br](mailto:cprmsp@sp.cprm.gov.br)

### Residência de Fortaleza

Av. Antônio Sales, 1418 - Joaquim Távora  
CEP: 60135-101 - Fortaleza - CE  
Telefones: (85)3246 1642 - (85)3246 1242 (PABX)  
Fax: (85)3246 1686  
E-Mail: [refort@fo.cprm.gov.br](mailto:refort@fo.cprm.gov.br)

### Residência de Porto Velho

Av. Lauro Sodré, 2561 - Bairro Tanques  
Cep: 78904-300 - Porto Velho - RO  
Telefones: (69)3901 3710 - (69)3901 3700 (PABX)  
Fax: (69)3901 3702  
E-Mail: [secretaria@pv.cprm.gov.br](mailto:secretaria@pv.cprm.gov.br)

### Residência de Teresina

Rua Goiás, 321 - Sul - CEP: 64001-570  
Teresina - PI  
Telefones: (86)3222 6963 - (86)3222 4153 (PABX)  
Fax: (86)3222 6651  
E-Mail: [cprm@te.cprm.gov.br](mailto:cprm@te.cprm.gov.br)

**CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - <http://www.cprm.gov.br>**

Ouvidoria: <http://www.cprm.gov.br/ouvidoria>  
e-mail: [ouvidoria@rj.cprm.gov.br](mailto:ouvidoria@rj.cprm.gov.br)

**FEPAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL**

HENRIQUE LUIZ ROESSLER

<http://www.fepam.rs.gov.br>



**GOVERNO DO ESTADO  
RIO GRANDE DO SUL**



**Secretaria de  
Minas e Metalurgia**

**Ministério de  
Minas e Energia**

