

CONTAMINAÇÃO POR MERCÚRIO ANTRÓPICO EM SOLOS E SEDIMENTOS DE CORRENTE DE LAVRAS DO SUL, RS, BRASIL

GRAZIA, CARLOS ANTONIO* ; PESTANA, MARIA HELOÍSA DEGRAZIA**
 *CPRM Rua Banco da Província, 105 Morro Santa Teresa CEP 90840-030
 Porto Alegre, RS, Brasil; e-mail: grazia@pa.cprm.gov.br
 **FEPAM Rua Carlos Chagas, 55 Centro CEP 90030-020
 Porto Alegre, RS, Brasil; e-mail: mariahdp@fepam.rs.gov.br

Abstract

Lavras do Sul, RS, south Brazil, is located in the shield region of Rio Grande do Sul state. Its Au ores on sulfide quartz veins were generated by hydrothermal alteration. Mercury amalgamation has historically been done in the area by individual miners and by milling facilities, since the beginning of the XIX century. This work aims to establish natural background values for soils and sediments, and to evaluate the extension of Hg contamination around milling facilities, which was identified by previous works in the area. A total of 54 soil and stream sediment samples were collected over granites and andesites of Lavras do Sul. Mercury, As, Au, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb and Zn concentrations were determined by ICP-MS in the 230 mesh fraction of soils and in the 120 mesh fraction of sediments. All samples were previously digested with 6ml solution of 2:2:2 HCl-HNO₃-H₂O, at 95 °C, dissolved to 20ml. Results showed natural high background levels for As, Cu and Pb in soils and stream sediments collected on the andesites, and for As in stream sediments from granite lithology. Andesites background levels were 36.2 ppb and 53 ppb for Hg, in soils and stream sediments, respectively. Compared to brazilian guidelines, concentrations reached intervention levels for Hg, As, Cu, and Pb, and alert levels for As, Cu and Zn in soils around 3 milling facilities, (namely Chiapetta, Cerro Rico and CRM). Among the analyzed elements, Hg reached the highest enrichment rates, with concentrations ranging from 10379 ppb to 43497 ppb in these contaminated sites. Dispersion to stream sediments was clearly observed downstream of the Cerro Rico mill, where Hg concentration was 958 ppb. Stream sediments results showed three types of anthropogenic contamination: those originated by: milling facilities; by mine tailings; and those mixed of milling facilities and urban effluents. One natural Hg contamination was found associated with a possible ore occurrence.

Introdução

A mineração de ouro no distrito aurífero de Lavras do Sul-RS (figura1) data oficialmente do final do século XIX. As mineralizações, produtos de hidrotermalismo, constituem-se de veios de quartzo auríferos com algum sulfeto de Fe, Cu e/ou Pb, e são encaixadas em rochas graníticas e andesíticas. Os teores de Au das mineralizações eram baixos, em média 5g/t (Calógeras, 1938). A maior parte do minério extraído das diversas minas da região era carregada para um dos três moinhos de beneficiamento, conhecidos por Chiapetta, Paredão e Cerro Rico, que funcionaram em períodos distintos até a primeira metade do século XX. A amalgamação por mercúrio foi realizada na região, por estes moinhos, também por fiscoadores, e, no final da década de 1980, pela Companhia Rio Grandense de Mineração (CRM). A resultante contaminação residual por Hg na vizinhança de algumas dessas unidades de beneficiamento foi comprovada por Pestana e Formoso (2003) em amostras de solos coletadas na área da CRM e do Moinho Chiapetta e por Pestana et al. (2001) em uma amostra de sedimento coletada na lagoa de tratamento do moinho Cerro Rico.



Figura 1 - Localização da área de trabalho.

Objetivos deste trabalho

- Confirmar a existência de contaminação por Hg nos solos próximos às unidades de beneficiamento e verificá-la em locais afastados destes;
- Verificar o grau de dispersão de solos contaminados nas drenagens, através de análises de sedimentos de corrente;
- Estabelecer os limiares (ou *thresholds*) e *backgrounds* para Au, Fe, Mn e para elementos de interesse ambiental, como As, Cd, Cu, Hg, Pb e Zn, em solos e sedimentos de corrente sobre granitos e andesitos;
- Comparar os limiares obtidos com os atuais *guidelines* brasileiros.

Metodologia

Foram coletadas 11 amostras de solos, das quais 8 sobre andesitos e 3 sobre granitos, e 43 amostras de sedimento de corrente, sendo 24 na área granítica e 19 na área andesítica. As amostras de solos do horizonte A foram peneiradas via úmida para obtenção da fração < 230 mesh, com peneiras de PVC e malha de nylon. Posteriormente, foram secas à temperatura ambiente. As amostras de sedimentos de corrente foram secas à temperatura ambiente, desagrupadas em almotofariz de água e separadas as frações < 120 mesh, com peneiras de PVC e nylon. As frações granulométricas de, respectivamente, < 230 mesh e < 120 mesh das amostras de solos e sedimentos de corrente foram abertas com água régia (6 ml para 1 g de amostra), a 95 °C durante 1 hora, para as determinações de As, Au, Cd, Cu, Hg, Fe, Mn, Pb e Zn por ICP-MS nos ACME Laboratórios (Canadá). No lote enviado para análise, foi incluída uma amostra de material de referência certificado para Hg (NIST - 8407), cujo resultado mostrou erro de exatidão < 7% para o método analítico utilizado.

Resultados e Discussão

Solos

Os valores de concentração dos elementos analisados em 7 amostras de solos situados distantes das áreas de beneficiamento de ouro, são mostrados com mais detalhe em outro trabalho (Grazia e Pestana, 2005). Destas amostras, apenas uma foi coletada sobre granito, e as demais sobre andesitos. A comparação das concentrações médias das amostras de solos sobre andesitos com valores de referência para solos, conforme CETESB (2001), descritos na tabela 1, mostraram *backgrounds* naturalmente elevados para As, Cu Pb nesta litologia vulcânica.

Os respectivos valores de referência utilizados por CETESB (2001) também foram ultrapassados para As, Hg e Pb na amostra 08, coletada sobre granito.

Tabela 1 Valores orientadores em solos (fração total) CETESB (2001)

Elemento	Referência	Alerta	Intervenção	
			Agrícola	Residencial
Arsênio (ppm)	3,5	15	25	50
Cádmio (ppm)	>0,5	3	10	15
Cobre (ppm)	35	60	100	500
Mercurio (ppb)	50	500	2500	5000
Chumbo (ppm)	17	100	200	350
Zinco (ppm)	60	300	500	1000

As médias de concentração obtidas para solos sobre andesitos e os valores referentes a uma amostra coletada sobre granito foram usados para calcular fatores de contaminação nas amostras de solos situados nas áreas de beneficiamento de ouro (tabela 2). O Hg apresentou os maiores fatores de contaminação, seguido por Pb, Cu e As. Os solos mais contaminados para Hg e Au foram coletados no interior do moinho Chiapetta e na área da CRM, mostrando clara associação com perdas no processo de amalgamação. As amostras mais contaminadas para As, Cd, Pb e Zn, foram coletadas no moinho Chiapetta (interior e exterior) e para Cu, no moinho Cerro Rico. Os elementos com fraca ou nenhuma associação com a mineralização sulfetada, como Fe e Mn apresentaram os menores fatores de contaminação.

Tabela 2 - Teores em solos junto às instalações de beneficiamento de ouro e respectivas taxas de contaminação entre parênteses, calculadas como o quociente entre a concentração na amostra e o respectivo valor médio, que para granitos, refere-se ao valor da amostra 08. Valores circundados em cores superam os respectivos valores orientadores adotados por CETESB (2001) para os elementos As, Cd, Cu, Hg, Pb e Zn, descritos na tabela 1.

Amostra	Bedrock	As (ppm)	Au (ppb)	Cd (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Hg (ppb)	Mn (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
07	Andesito CRM	24,5 (2,0)	688 (35)	0,2 (6,8)	27,0 (4,9)	3,03 (1,1)	18508 (511)	626 (1,3)	73 (3,8)	113 (2,1)
	Granito Chiapetta Interior	127 (45)	13173 (2090)	1,34 (44)	27,0 (26)	4,86 (2,7)	43497 (805)	418 (3,2)	1469 (77)	55 (17)
10	Granito Chiapetta Exterior	59,3 (21,1)	2870 (455)	1,63 (54)	12,4 (12)	2,84 (1,5)	11821 (219)	566 (4,3)	1100 (58)	503 (13)
	Andesito Cerro Rico Exterior	163 (13,2)	1533 (78)	0,29 (7,2)	1469 (27)	5,68 (2,0)	10379 (287)	1029 (2,1)	719 (13)	251 (4,5)
08	Granito	8,2	6,0	0,03	10,3	1,84	54	131	18,3	54,9
MV* (n=5)	Andesitos	12,3	19,6	0,04	54,3	2,8	36,2	480	21	54,9

Valor maior que o valor de referência Valor de alerta Valor de intervenção * Valor Médio

A comparação dos dados obtidos em solos contaminados com valores de orientação adotados pela CETESB (2001) mostrou que as concentrações de Hg, Cu e As superaram os respectivos valores de intervenção para solos de uso residencial em 100% das amostras, e as de Pb, em 75% delas, indicando risco potencial à saúde humana. O Zn superou o valor de alerta em 50% das amostras coletadas em áreas de beneficiamento do minério, mais especificamente em ambas as amostras coletadas no moinho Chiapetta. Deve-se ressaltar, entretanto, que as concentrações dos elementos analisados nos solos de Lavras do Sul foram determinadas na fração silto-argilosa, enquanto o relatório da CETESB (2001) não especifica a fração granulométrica, o que leva a crer que se trate de amostra total.

Sedimentos de corrente

A interpretação dos dados analíticos de sedimentos de corrente constou de levantamento estatístico básico (software NCSS Statistical System for Windows), que auxiliou no estabelecimento de parâmetros estatísticos como os valores de limiar para cada elemento.

Ressalvadas as peculiaridades da metodologia empregada na preparação e na abertura das amostras, a avaliação ambiental dos dados foi feita com base na recentemente instituída Resolução Nº 344/2004 do CONAMA (aquí abreviada para RC), que estabelece dois níveis de qualidade para o material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras. Estes são: o nível 1, abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos à biota; o nível 2, acima do qual prevê-se um provável efeito adverso à biota. Porém, os sedimentos subaquosos cujas concentrações de As, Cd, Hg ou Pb estiverem acima do nível 1, devem ser submetidos a ensaios ecotoxicológicos (Art. 7 da mesma RC).

As concentrações dos elementos analisados e seus limiares calculados para as amostras de sedimentos de corrente das áreas granítica e andesítica são mostrados nas tabelas 3 e 4, respectivamente. Limiares acima do nível 1 da RC (para As) foram encontrados para As em sedimentos da área de litologia granítica, e para As, Cu e Pb, na área andesítica. Essas observações estão em concordância com os valores de *background* naturalmente elevados, verificados para os três elementos, nos solos da litologia vulcânica. Nesta última, o limiar de As (31 ppm Tabela 4) para sedimentos de corrente ultrapassou inclusive o nível 2 da RC.

Em amostras isoladas, o nível 2 da RC é ultrapassado para Cu (197 ppm) na amostra 27 da área andesítica e na amostra 10 da área granítica. Na primeira, as concentrações de As, Hg e Pb também superaram os respectivos valores do nível 2. Nesta amostra, a concentração de Hg (958 ppb) é de origem antrópica, devido à proximidade com o moinho Cerro Rico, situado a montante, fato que explica o seu elevado valor, o único maior que o nível 2 da RC para o Hg. Entretanto, uma contribuição natural de Hg também é possível, pois, a análise de especiação em amostra de sedimento da lagoa de tratamento do moinho Cerro Rico (Pestana et al., 2001) mostrou a presença de sulfeto de Hg em percentual superior ao de Hg metálico. Além disso, Toniolo et al. (2005) citam a ocorrência de cinábrio (figura 2) em concentrado de bateia, coletado a leste da amostra 27, no mesmo contexto geológico.

Na amostra 10, além da elevada concentração de Cu, também a concentração de As é maior que o nível 2 da RC. Além disso, a proximidade com a mina Valdo Teixeira, explica as elevadas concentrações de Au e Pb, esta última superior ao nível 1 da RC, e ainda, as concentrações maiores que os limiares para Cd, Fe, Hg e Zn, sugerem contribuição antrópica mineira, com sedimentos de corrente contaminados por rejeitos da referida mina. Já a concentração de 195 ppb de Hg da amostra 03 (área granítica), superior ao limiar e ao nível 1 da RC para este elemento, relaciona-se provavelmente às mineralizações presentes na área, pois além do Hg, também suas concentrações de Au, Fe, As, Cu e Pb superaram os respectivos limiares, sendo que as dos três últimos elementos foram maiores que o nível 1 da RC. Esta amostra, entretanto, parece não ter contribuições de rejeitos mineiros por estar afastada das áreas mineradas ao sul e pelo teor de Au não ser elevado como nas áreas com rejeitos mineiros conhecidos. Por fim, a amostra 20 da área granítica, com 145 ppb de Hg e valores superiores aos limiares para Cd, Zn e Pb, representa uma mistura de contaminações antrópicas, tanto mineiras como por efluentes urbanos, devido à sua localização a jusante da área urbana de Lavras do Sul.

As concentrações de Hg em solos e sedimentos de corrente encontradas em Lavras do Sul estão sintetizadas no Mapa de Distribuição de Mercúrio (figura 3). A escolha do mercúrio se deve ao fato de ser este elemento de alta toxicidade potencial à saúde humana, cujas concentrações mostraram os maiores fatores de enriquecimento antrópico nas amostras de solos. A figura 3 permite visualizar o contato entre granitos e andesitos (Porcher e Lopes, 2000) e as relações de proximidade dos resultados obtidos com a localização de antigas minas e instalações de beneficiamento de ouro. Ainda, na figura 3 são salientados os valores de concentração de mercúrio que mereceram destaque, conforme os critérios apresentados e discutidos neste trabalho, permitindo inferir os graus de dispersão das elevadas concentrações encontradas em solos contaminados em relação aos sedimentos de corrente próximos. Com base nos resultados obtidos, os valores de orientação de alerta e de intervenção para solos (CETESB, 2001) estão sintetizados na tabela 5, bem como os graus de dispersão nas drenagens próximas.

Tabela 5 Classificação das contaminações em solos segundo valores orientadores (CETESB, 2001) e o grau de dispersão de Hg nas drenagens próximas.

Local	Alerta para	Intervenção para	Dispersão de Hg nas drenagens
CRM	As	Hg	Sem dispersão
Chiapetta	Cu e Zn	As, Hg e Pb	Discreta dispersão
Chiapetta	Cu e Zn	As, Hg e Pb	Discreta dispersão
Cerro Rico	nenhum	As, Cu, Hg e Pb	Notável dispersão

Conclusões

Solos

- Valores de *background* naturalmente elevados para As (12,3 ppm), Cu (54,6 ppm) e Pb (21,0 ppm) foram encontrados em amostras de solos sobre os andesitos.
- Os maiores fatores de enriquecimento foram os de Hg, na área interna do moinho Chiapetta e na área da CRM;
- Os solos próximos às três instalações de beneficiamento CRM, Chiapetta e Cerro Rico estão antropicamente contaminados por As, Cu, Hg, Pb e Zn.
- A contaminação atingiu valores de intervenção (CETESB,2001) para Hg junto aos três locais de beneficiamento; para As e Pb nos moinhos Chiapetta e Cerro Rico, e neste último, também para Cu.
- Valores de alerta (CETESB,2001) foram superados para As e Cu na área da CRM, e para Cu e Zn no moinho Chiapetta.

Sedimentos de corrente

- Os sedimentos de corrente andesíticos apresentaram limiares elevados para As (31 ppm), Cu (66 ppm) e Pb (40 ppm), cujos valores, comparados com a RC, superaram o nível 1 para Cu e Pb, e até o nível 2 para As;
- Os limiares de Hg em sedimentos de corrente de granitos, com 50 ppb, e de andesitos, com 88 ppb, estão abaixo do nível 1 da referida RC esses baixos limiares realçam a concentração de 958 ppb de Hg, superior ao nível 2 da RC, encontrada em sedimento de corrente a jusante do Moinho Cerro Rico;
- Três tipos de contaminação antrópica foram evidenciados: a) beneficiamento de minério, a jusante do moinho Cerro Rico; b) desmonte mineiro, a jusante da mina Valdo Teixeira; e c) mista de beneficiamento e efluentes urbanos, a jusante da área urbana de Lavras do Sul;
- Contaminação natural, associada à provável mineralização, foi identificada em amostra com 195 ppb de Hg, na parte nordeste da área granítica;
- Notável dispersão da contaminação por Hg de solos para sedimentos de corrente ficou evidenciada unicamente para o Moinho Cerro Rico.

Recomendações

- 1) Remediação das áreas de solos próximas às instalações de beneficiamento, por estarem contaminadas em níveis superiores aos de intervenção para Hg e/ou As, Pb, e Cu, representando risco potencial à saúde humana;
- 2) Avaliação detalhada da extensão das contaminações verificadas, incluindo análises de risco e levantamentos junto às pessoas potencialmente mais expostas à contaminação por esses elementos.

Agradecimentos

Pela colaboração nos trabalhos de campo e escritório:
Técnico em mineração Odilon Corrêa
Prospector Floro de Menezes Filho
Graduando em Engenharia Cartográfica Álvaro Belotto Perini

Este trabalho é parte do Projeto "Mercúrio Antrópico em Drenagens Associadas às Minerações Auríferas de Lavras do Sul", que está sendo executado em convênio entre o Serviço Geológico do Brasil - CPRM e a Fundação Estadual de Proteção Ambiental do Estado do Rio Grande do Sul - FEPAM. O Projeto citado integra o Programa Nacional de Pesquisa em Geoquímica Ambiental e Geologia Médica - PGAGEM, coordenado pela CPRM.

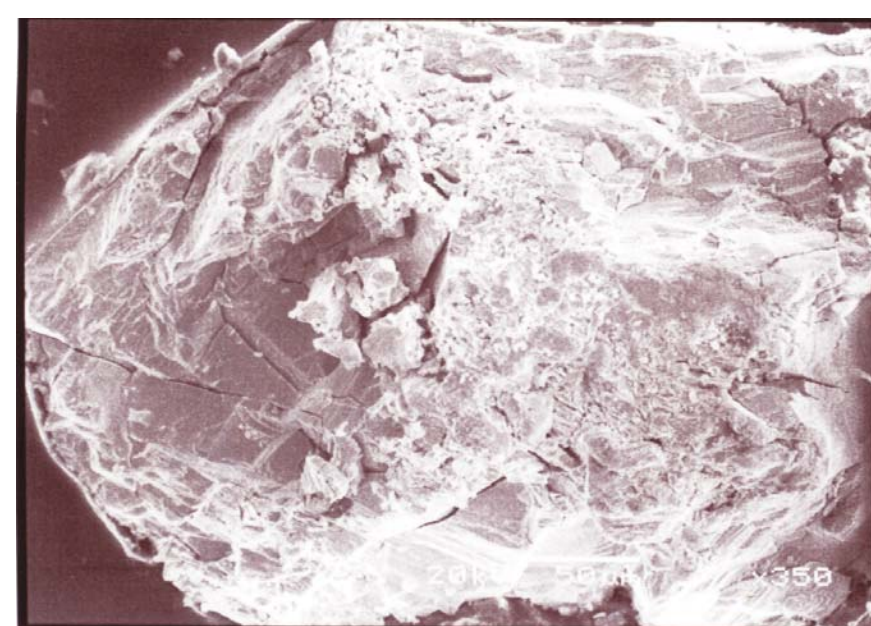
Tabela 3 - Concentrações de elementos na fração 120 mesh (areia fina) de sedimentos de corrente em litologia granítica de Lavras do Sul
(valores > limiar em **laranja**; valores > limiar e > CONAMA em **vermelho**; valores > CONAMA mas < limiar em **verde**)

Amostra	As (pp)	Au (ppb)	Cd (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Hg (ppb)	Mn (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
OC-01	7,8	7,0	0,04	25,11	1,84	20	404	20,47	32
OC-02	7,2	8,8	0,03	23,06	1,67	19	321	12,53	35,4
OC-03	16,2	40,7	0,04	56,18	2,09	195	331	68,59	39,2
OC-04	4,9	85,3	0,04	7,67	1,39	38	270	21,07	30,0
OC-05	5,4	4,7	0,05	5,59	1,11	40	151	22,44	32,2
OC-06	3,7	36,2	0,03	5,16	0,78	39	169	14,06	22,2
OC-07	3,7	7,2	0,04	11,85	1,94	13	563	17,57	39,3
OC-10	48,1	5518,2	0,16	306,27	2,33	112	455	57,39	62
OC-15	5,8	6,0	0,02	8,47	1,44	25	229	15,3	32,2
OC-18	2,2	17,4	0,01	3,16	0,65	13	105	7,94	12,9
OC-19	3,3	107,8	0,02	5,99	1,50	21	191	16,18	38,4
OC-20	9,9	47,9	0,12	16,71	1,89	145	807	32,69	65,7
OC-21	3,1	13,8	0,02	2,85	0,85	17	189	9,67	18,4
OC-32	12,7	77,3	0,05	27,34	1,94	31	415	21,55	36,5
OC-34	13,7	18,8	0,06	37,03	2,27	31	483	28,70	47,0
OC-35	9,4	92,3	0,03	3,56	1,03	72	318	19,27	29,9
OC-36	4,3	140,8	0,03	6,64	0,92	42	202	30,78	32,0
OC-37	4,0	63,4	0,03	3,51	1,03	24	235	17,28	25,6
OC-38	3,2	51,7	0,04	9,84	1,45	19	737	13,23	33,1
OC-39	3,0	34,7	0,03	4,26	0,89	20	250	15,13	29,9
OC-40	2,7	14,0	0,04	4,89	0,85	22	103	15,70	42,0
OC-41	3,5	6,5	0,02	2,12	0,66	19	124	8,26	11,6
OC-42	6,1	15,3	0,02	4,89	1,11	48	222	12,79	23,5
OC-43	5,3	6,0	0,03	3,77	1,20	27	581	14,10	18,3
Limiar ¹	12,0	35	0,054	24,0	2,0	56	572	31	56
CONAMA ²	5,9	-	0,600	35,7	-	170	-	35	123

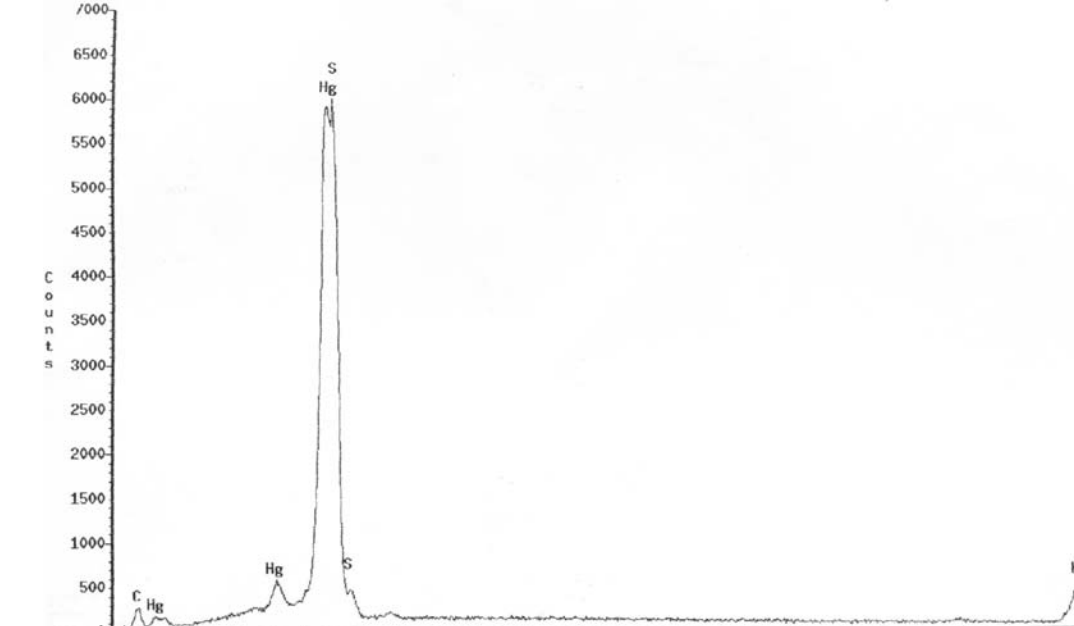
Tabela 4 - Concentrações de elementos na fração 120 mesh (areia fina) de sedimentos de corrente em litologia andesítica de Lavras do Sul
(valores > limiar em **laranja**; valores > limiar e > CONAMA em **vermelho**; valores > CONAMA mas < limiar em **verde**)

Amostra	As (ppm)	Au (ppm)	Cd (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Hg (ppb)	Mn (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
OC-08	5,0	28,5	0,03	8,75	1,04	63	322	16,13	27,0
OC-09	19,8	6,4	0,06	40,24	2,59	18	444	25,13	64,8
OC-11	8,1	30,3	0,07	17,08	1,85	62	614	22,89	49,5
OC-12	14,8	11,0	0,08	26,84	3,83	24	1119	16,6	64,6
OC-13	21,1	13,5	0,10	19,46	3,25	27	731	20,73	70,3
OC-14	24,6	7,5	0,13	20,50	2,84	92	951	27,62	79,0
OC-16	24,0	22,9	0,22	28,09	2,55	64	845	134,14	104,6
OC-17	22,4	1,4	0,07	18,66	3,16	89	929	36,92	80,9
OC-22	17,4	37,5	0,07	65,53	3,32	46	1039	28,58	71,7
OC-23	7,0	12,5	0,04	19,05	1,64	55	465	18,45	42,2
OC-24	16,9	5,9	0,07	59,72	3,72	50	1012	29,94	80,3
OC-25	23,3	11,0	0,05	119,11	4,60	41	1152	29,86	73,6
OC-26	73,9	1,6	0,08	41,53	3,24	82	914	44,54	66,5
OC-27	50,6	2760,9	0,09	238,23	3,96	958	1165	94,52	76,3
OC-28	29,4	9,0	0,06	49,76	2,72	61	723	30,62	54,6
OC-29	21,8	10,6	0,08	33,08	2,52	77	1393	22,56	47,7
OC-30	12,5	1,4	0,04	32,23	2,59	37	634	18,59	51,7
OC-31	12,4	320,6	0,05	35,63	2,29	34	695	25,02	55,1
OC-33	17,9	4,5	0,09	37,28	3,13	38	876	27,71	55,5
OC-42	31,0	25	0,12	66,0	4,6	88	1397	40,7	99
CONAMA ²	5,9	-	0,60	35,7	-	170	-	35,0	123

Figura 2



Detalhe de grão de cinábrio no MEV - Microscópio Eletrônico de Varredura.



Análise qualitativa no MEV - EDS do cinábrio em minerais detriticos de concentrados de bateia.

Figura 3

Mapa de Distribuição de Mercúrio (ppb)

MATERIAL ANALISADO

Abertura: Água Régia
Leitura: ICP - MS

- Argila de veio aurífero (< 230 mesh)
- Solos (< 230 mesh)

Valores orientadores para Hg (ppb) em solos¹

< Referencial	Referencial	Alerta	Intervenção no residencial
< 50	50	500	5000

- Sedimentos de corrente graníticos (< 120 mesh) Hg (ppb)
Valor > limiar² Limiar² Conama³
Valor > limiar² e > Conama³ Hg = 56 ppb Hg = 170 ppb
- Sedimentos de corrente andesíticos (< 120 mesh) Hg (ppb)
Valor > limiar² Limiar² Conama³
Valor > limiar² e > Conama³ Hg = 88 ppb Hg = 170 ppb

¹ Cetesb (2001) ² Este trabalho ³ Conama - Resolução 344 / 2004
* Valor acima do qual há necessidade de ações ecológicas

LEGENDA

- Contato geológico
- Área de andesitos
- Área de granitoides
- Vias
- Estrada Pavimentada
- Drenagem simples
- Drenagem de margem dupla
- Lavras do Sul
- Mina ou Garimpo Desativado
- Instalação de Beneficiamento

0 2 4 6 Km

Referências bibliográficas

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 344/2004.

CALOGERAS, P. As Minas do Brasil e sua Legislação : Geologia Econômica do Brasil. 2.ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1938. Tomo 3. 507 p. (Biblioteca Pedagógica Brasileira, v. 134

CETESB. Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas. São Paulo, 2001. 245p.

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. 4p. (Inédito)

PORCHER, C. A.; LOPES, R. da 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.

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 America 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.

TONIOLO, J. A.; GIL, C. A. A.; SANDER, A.; DIAS, A. de 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.