

Geologia e mineralizações

A área da mina localiza-se na Zona Centro Ibérica (ZCI), onde ocorre plutonismo importante que levou à instalação de granitóides. Ocorrem também rochas metassedimentares, do Complexo Xisto Grauváquico (CXG) e do Ordovícico e do Silúrico. Aos domínios peribatolíticos podem estar associados jazigos de (W-Sn), que são normais na ZCI (Vilela de Matos, 1991).

A Figura 2 apresenta a geologia da região de Sabrosa, onde se individualizam as formações metassedimentares do Complexo Xisto Grauváquico e os granitóides hercínicos. As minas do Vale das Gatas correspondem a um conjunto de veios de quartzo mineralizados essencialmente por volframite e sulfuretos, com alguma cassiterite e scheelite, que se situam a cerca de 4Km a norte de Sabrosa e localizam-se dentro da província tungsto-estanífera da Zona Centro Ibérica. Localmente o granito de Vale das Gatas é afectado por famílias de fracturas que se distribuem segundo direcções preferenciais, algumas delas preenchidas por quartzo e aplito-pegmatitos que serviram de suporte às mineralizações de estanho e volfrâmio. O domínio mais mineralizado situa-se a norte e a oeste da povoação de Souto Maior.

O jazigo mineral é afectado por fenómenos de alteração hidrotermal: greisenização, albitização, turmalinização, sericitização e silicificação, com distribuição por vezes zonada. A paragénese mineral do jazigo, segundo Gaspar e Bowles (1985), consiste em: cassiterite (SnO_2); volframite $(\text{Fe,Mn})\text{WO}_4$ mais próxima do termo hübnerite (MnWO_4); scheelite (CaWO_4); arsenopirite (FeAsS), dos sulfuretos existentes, é o mais frequente; pirite (FeS_2); pirrotite (Fe_{1-x}S); calcopirite (CuFeS_2); blenda (ZnS); estanita ($\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$) e galena (PbS). Os sulfossais existentes são de Bi+Ag+Pb , com algum Cu , principalmente a matildite, pavonite e neyite.

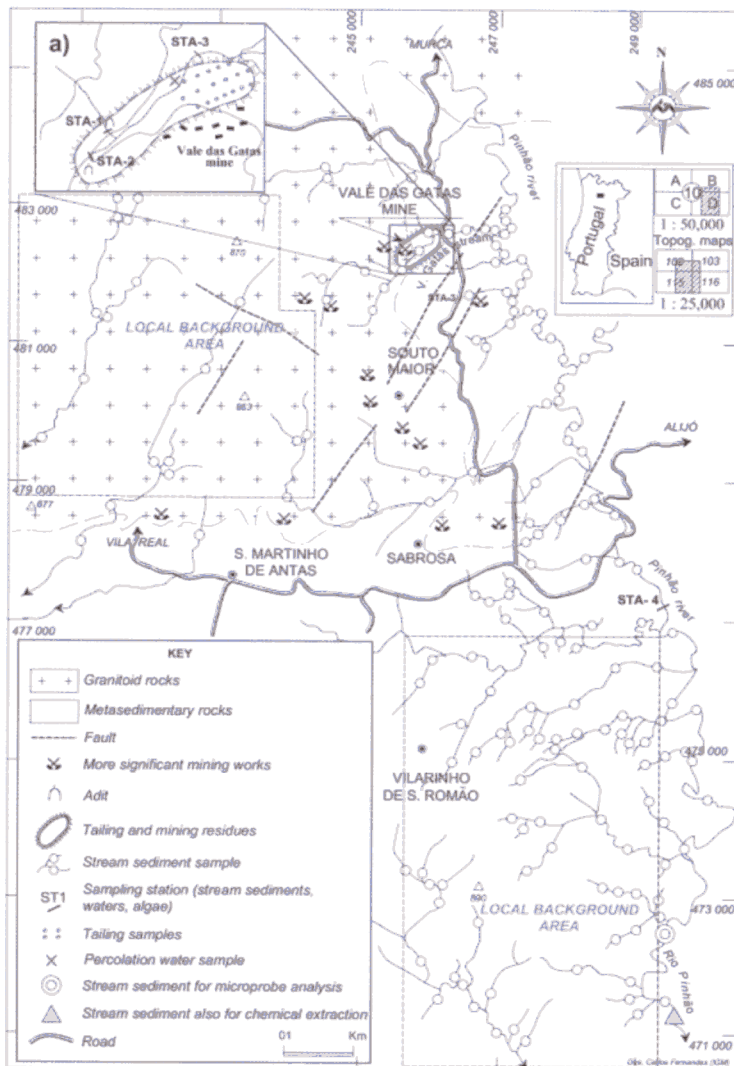


Fig. 2 – Geologia geral da área com a localização das amostras e áreas de fundo geoquímico local.

Exploração mineira e tratamento do minério

O minério extraído era tratado em instalações no local procedendo-se, à concentração do produto economicamente útil, designado por mistos de wolframite, scheelite e cassiterite. Montou-se uma instalação para o tratamento dos sulfuretos residuais da lavaria tendo em vista obter concentrados económicos de prata, com recurso a processos de ustulação, lixiviação e fusão (Almeida e Amarante, 1993). Os estéreis resultantes das diferentes operações de concentração da oficina de preparação mecânica de minérios eram essencialmente de três tipos: estéreis graúdos (granulometrias compreendidas entre 2.5 e 6 mm); estéreis médios (granulometrias entre 1 e 2.5 mm); estéreis finos (granulometrias entre 0 e 1 mm). Os estéreis graúdos eram recuperados, de imediato, por dragagem e empilhados para venda como inertes para a construção civil (gravilhas), ao mesmo tempo que os estéreis médios eram recuperados por enxaguamento e armazenados para venda como areias finas e médias.

Assinaturas geoquímicas e áreas contaminadas

Estudos recentes, nesta área, procuraram identificar e caracterizar os principais problemas ambientais provocados pela exploração mineira, em particular de alguns metais e metalóides (Cu, Pb, Zn, Cd e As) nas várias fases químicas e mineralógicas.

O LNEG efectuou uma extensa colheita de amostras de materiais geológicos dos diferentes tipos: sedimentos de corrente estrategicamente localizados em áreas sob influência directa da mina (Figura 2); sedimentos de corrente amostrados para jusante dessa influência mais directa, predominantemente ao longo do Rio Pinhão; materiais da escombreira da mina; coatings; e águas de escorrência e superficiais. As amostras de coatings e sedimentos de linha de água foram submetidas a estudos mineralógicos.

A Tabela 1 apresenta os resultados analíticos obtidos para os sedimentos. Estes dados mostram que o Cu, Pb, Zn, Ag, Cd, Bi e W ocorrem em concentrações anómalas na maioria dos locais amostrados. Junto à mina (ribeira do Vale das Gatas) estes valores aumentam drasticamente quando comparados com a média das amostras de fundo local obtidas a partir de amostras colhidas nas duas áreas assinaladas na Figura 2 e onde não ocorrem minas nem mineralizações.

Tabela 1 – Teores médios, para elementos químicos seleccionados, nos sedimentos de linhas de águas, escombreiras e do bedrock em Vale das Gatas

Elementos	Amostras sedimentos				Escombreiras	Bedrock local	
	Zona de Vale das Gatas (n=170)	Fundo geoquímico local (n=85)	Ribeira de Vale das Gatas (n=9)	Rio Pinhão (n=35)	Escombreiras (n=18)	Rochas Graníticas (a) (n=32)	b) Rochas Metassedimentares (b) (n=5)
Cu	114	67	451	87	1457	6	28
Pb	312	51	2088	207	5934	2.3	16
Zn	143	94	446	137	2032	67	96
Ag	7.7	0.6	52	7	149	b0.2	b0.2
Ni	19	21	9	19	11	7	21
Co	10	11	5	10	5	6	10
Mn	413	439	435	328	698	180	475
Fe(%)	2.6	2.6	2.6	2.5	4.0	–	4.5
As	504	78	3268	404	8534	~10	80
Cd	1.2	0.4	5.6	1.3	25	~0.5	~0.5
Bi	37	4	260	23	753	–	–
V	25	25	17	30	16	9	–
P	830	800	1609	500	1300	1460	466
Cr	28	29	18	31	23	–	268
Ti(%)	0.05	0.05	0.02	0.07	0.03	–	–
W	120	11	2274	112	1517	4	5

* Médias aritméticas em µg/g excepto quando assinalado. a) Santos Oliveira (1993); b) Santos Oliveira e Ávila (1995).

As escombreiras parecem ser a principal fonte de contaminação, enquanto que as rochas que afloram na área não contribuem para um "input" dos metais. Os materiais da escombreira são constituídos, essencialmente, por silte, areias e argilas negras com óxidos de ferro (Figura 3).

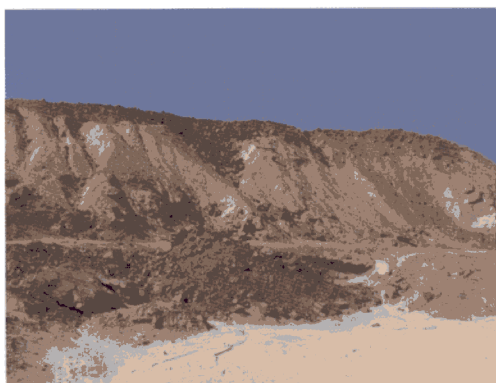


Fig. 3 – Vista de topo da escombreira da mina do Vale das Gatas.

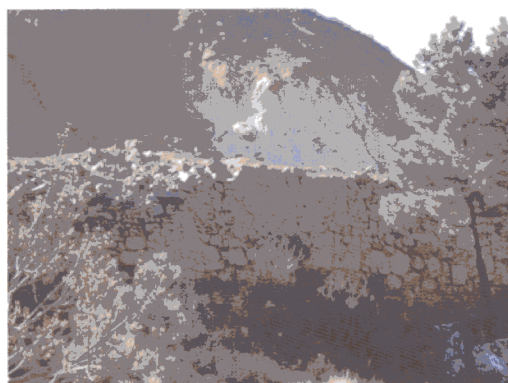


Fig. 3 – Vista da base da escombreira da mina do Vale das Gatas.

Os dados obtidos por aplicação da técnica de Análise em Componentes Principais, aos resultados das análises dos sedimentos, indicaram que os elementos pertencentes à paragénese mineral da mina estão agrupados mantendo uma relação próxima no ambiente secundário. A distribuição espacial desse factor indica uma anomalia prevalecente até cerca de 20 Km ao longo do Rio Pinhão, indicando que existem mecanismos de erosão rápida, transporte e acumulação de materiais sólidos, a maioria dos quais são transportados em suspensão pelas águas superficiais. A análise mineralógica (Tabela 2) feita à fracção pesada de algumas amostras de sedimento, com elevados teores em metais, revelou a presença e persistência de minerais primários a longas distâncias desde a mina.

Tabela 2 – Composição mineralógica dos sedimentos de Vale das Gatas

Minerais primários: arsenopirite, pirite, esfarelite, galena e calcopirite

Minerais secundários: arsenatos de Fe (escorodite) óxidos hidratados de Fe–As, óxidos hidratados Fe, arsenatos Pb–Fe, hidróxidos de Mn, sulfatos de Fe e estanite

Minerais acessórios: cassiterite, volframite, scheelite, pirrotite, monazite, esfena, zircão, rútilo, ilmenite, turmalina e apatite

Dispersão, Transferência e Mecanismos de acumulação dos elementos traço

Procedeu-se ao estudo da dispersão de Cu, Pb, Zn, Cd e As em diferentes meios amostrais (sedimentos, águas e algas – Tabela 3). O estudo mineralógico destas amostras indicou que todas contêm os diversos sulfuretos presentes na paragénese mineral e minerais secundários de neoformação.

Também os coatings formados na ribeira do Vale das Gatas (juntos às amostras STA1, STA2 e STA3) possuem elevados teores em metais (90–1370 µg/g Cu; 540–4190 µg/g Pb; 2200–61600 µg/g As) devido à formação de óxidos de Fe–As e arsenatos de Pb–Fe nesses coatings (análise à microsonda). Este facto suporta a conclusão de que nas áreas junto à mina ocorrem reacções químicas de lixiviação assim como precipitação de neoformados.

O principal foco de águas ácidas na Mina do Vale das Gatas resulta da drenagem que se processa continuamente na escombreira. O quimismo das águas de escorrência (Tabela 4) demonstra que os metais estão a ser lixiviados e precipitados, indicando a existência continua e actual de oxidação de sulfuretos presentes na escombreira e que contribuem para a formação de águas com baixo pH.

Tabela 3 – Teores de Cu, Pb, Zn, Cd e As em amostras de sedimentos de linha de água, água e algas colhidas em estações específicas. Unidades - amostras de água: metais em $\mu\text{g/l}$; condutividade em $\mu\text{S/cm}$; amostras de sedimentos e algas: metais em $\mu\text{g/g}$.

Amostra		Cu	Pb	Zn	Cd	As	pH	Cond
STA1	Sedimento	549	738	802	58	92000	–	–
	Água	141	7	1370	15	9	4.7	178
	Alga	208	442	370	4	38560	–	–
STA2	Sedimento	1274	3380	733	12	970	–	–
	Água	14	3	35	0	9	6.0	29
	Alga	1272	1260	476	4	1519	–	–
STA3	Sedimento	1164	3273	1560	26	1600	–	–
	Água	1030	51	2900	50	36	4.9	180
	Alga	1368	3052	346	1	28180	–	–
STA4	Sedimento	80	115	116	11	190	–	–
	Água	3	4	41	0	2	6.6	55
	Alga	–	–	–	–	–	–	–

Localização (Figura 1): STA1 - Mina de Vale das Gatas; STA2 - Mina de Vale das Gatas; STA3 - ribeira de Vale das Gatas; STA4- Rio Pinhão (fundo local).

Tabela 4 – Metais nas amostras de escombreira e de água de escorrência (ribeira de Vale das Gatas)

	Cu	Pb	Zn	Cd	As	pH	Condutividade
Escombreira (n=18)	1763	6647	2590	31	9670	–	–
Água de escorrência (n=1)	93500	101	785000	5000	5	3.6	3100

Amostra de água: metais em $\mu\text{g/L}$; condutividade em $\mu\text{S/cm}$.

Amostras da escombreira: metais em $\mu\text{g/g}$.

Comparando as Tabelas 3 e 4 podemos verificar que a água de escorrência da escombreira está mais contaminada que as águas superficiais colhidas em STA1 (Figura 4A), STA2 (Figura 4B) e STA3 (Figura 4C eD), particularmente no que diz respeito ao Cu, Pb, Zn e Cd. Contudo, o As não segue a mesma tendência, principalmente devido à precipitação do elemento com o Fe a pH maior que 3. Os baixos teores em metais na amostra STA4 (a 7Km da mina – Tabela 3) são devidos a efeitos de diluição e precipitação em relação às condições de Eh-pH e à possibilidade de os metais ficarem sequestrados em minerais secundários que precipitam. No entanto, esta situação pode reverter-se se, em resposta a alterações das condições físico-químicas locais, os metais se libertarem.

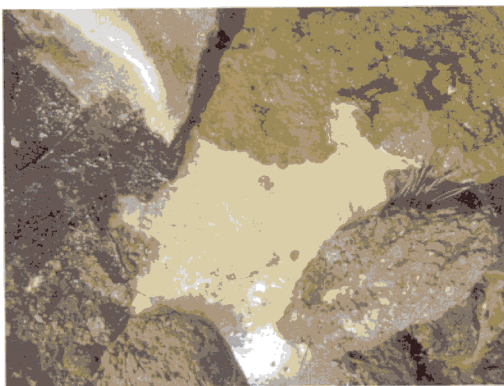


Fig.4A – Água da entrada da galeria da mina; amostra **STA-1**. pH = 4.7; Cond. = 178 μS

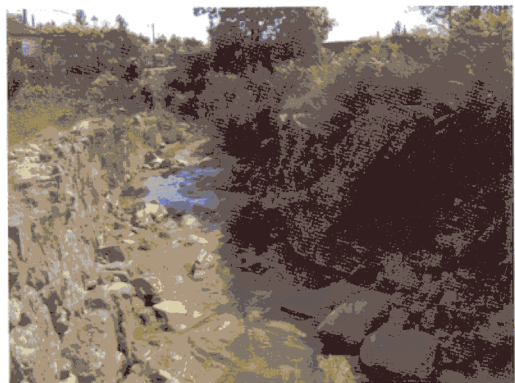


Fig.4B – Água da entrada da galeria da Mina; amostra **STA-2**. pH = 6; Cond. = 29 μS

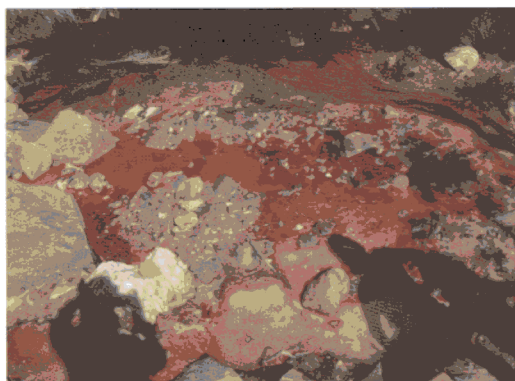


Fig.4C – Água da ribeira do Vale das Gatas; amostra **STA-3**. pH = 4.9; Cond. = 180 μ S



Fig.4D – Água da ribeira do Vale das Gatas; amostra **STA-3**. pH = 4.7; Cond. = 178 μ S

A absorção e acumulação dos metais pela biota a partir dos sedimentos e águas superficiais, é significativa no que diz respeito ao Cu, Pb, Zn e As (Tabela3). A química das algas (género *Chorophyta* e espécie *Microspora Tumidula Hazen*) comprovou (Tabela 3) a existência de sinais de transferência dos metais até aos biótopos: os valores determinados demonstram que estas comunidades são acumuladoras de metais e confirmam a elevada biodisponibilidade existente na escombreira. Constatou-se a predisposição destas algas para a elevada acumulação de arsénio, verificando-se que nas amostras com elevada influência mineira, os valores determinados são altos e reveladores de que as algas são hiperacumuladoras deste metalóide, uma vez que as suas concentrações excedem os teores observados na água, que é o seu habitat natural (Figura 5A e B).

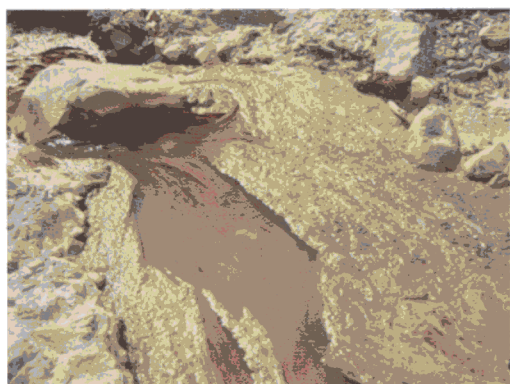


Fig.5A – Algas da entrada da galeria da mina; amostra **STA-1**.



Fig.5B – Algas da ribeira do Vale das Gatas; amostra **STA-3**.

Conclusões

Os resultados apontam no sentido de que as escombreiras surgem como principal fonte de contaminação química, afectando os vários meios amostrados, facto confirmado pelos resultados obtidos em “coatings” e em águas colhidas na ribeira de Vale das Gatas. Os teores nos elementos associados à paragénese mineral são elevados denunciando que, a maioria dos metais tem sofrido processos de remobilização química com a forte contribuição de águas ácidas. Os metais são transportados para a fase água ou formam “coatings” com coprecipitação com Fe.

Foi possível identificar dois mecanismos para a mobilização dos metais, um químico e um mecânico. O primeiro é suportado pelas elevadas concentrações de metais e composição mineralógica dos sedimentos de linhas de água na ribeira de Vale das Gatas e no rio Pinhão. O segundo aparece reflectido na composição química das amostras das águas colhidas junto à mina e pela presença de Cu, Pb e As e de minerais neoformados em coatings.

Referências

- Almeida, M.F., Amarante, M.M., 1993. Alternativas de recuperação de prata e sulfoarsenietos. Boletim de Minas da DGGM, 30(1), 3-12.
- Gaspar, O., Bowles, F.W., 1985. Nota Preliminar sobre a paragénese dos sulfossais de Bi-Pb-Ag do jazigo de tungsténio de Vale das Gatas (Norte de Portugal). Estudos, Notas e Trabalhos do IGM, Tomo XXVII, 49-54.
- Santos Oliveira, J.M., Ávila, P.F., 1995. Avaliação do impacto ambiental provocado por uma exploração mineira. Um caso de estudo no país. Estudos, Notas Trabalhos do IGM, 37, 25-50.
- Santos Oliveira, J.M., 1993. Rock geochemistry applied to Au-Ag and Sn-W exploration in the granitic terrains of the Vila Pouca de Aguiar region (Northern Portugal). Estudos, Notas Trabalhos da DGGM, 35, 3-20.
- Vilela de Matos, A., 1991. A geologia da região de Vila Real: Evolução do Complexo Xisto Grauváquico, do Ordovícico, dos Granitóides Hercínicos e dos Depósitos Minerais Associados. Tese de Doutoramento, UTAD, Vila Real.