

## Contaminação de águas associadas a mineralizações de W de Fonte Santa, NE Portugal

### *Contamination of waters related to W-bearing mineralizations from Fonte Santa, NE Portugal*

I.M.H.R. Antunes<sup>1</sup>, M. E.P. Gomes<sup>2</sup>, A.M.R. Neiva<sup>3</sup>, P.B. Silva<sup>4</sup>, A.M.O. Rodrigues<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto Politécnico de Castelo Branco, Portugal

<sup>2</sup> Dep. de Geologia, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), Portugal

<sup>3</sup> Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra, Portugal

<sup>4</sup> Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG, ex-INETI), S. Mamede de Infesta, Portugal  
[imantunes@esa.ipcb.pt](mailto:imantunes@esa.ipcb.pt), [mgomes@utad.pt](mailto:mgomes@utad.pt), [neiva@dct.uc.pt](mailto:neiva@dct.uc.pt), [bravo@ineti.pt](mailto:bravo@ineti.pt)

#### Resumo

Na região da mina de Fonte Santa ocorrem filões de quartzo mineralizados em W, com scheelite, que cortam os quartzitos do Ordovícico Inferior e estão relacionados com a zona de cisalhamento de Moncorvo-Bemposta. Alguns filões com scheelite têm quartzo recristalizado e brechificado e sulfuretos, tendo sido explorados para W entre 1942 e 1982. As águas relacionadas com a mina de Fonte Santa são pouco mineralizadas, com condutividade eléctrica < 965  $\mu$  S/cm, e classificadas como de tipo misto. A maioria dos valores de pH (pH = 5.0 - 8.5) indicam que não há drenagem ácida significativa associada às actividades mineiras e os valores mais ácidos (pH = 3.4) foram obtidos numa lagoa da mina. Nas águas associadas com os filões mineralizados e antigas explorações foram encontradas concentrações elevadas de Fe e Mn que proíbem o seu consumo humano e utilização na agricultura.

Palavras-chave: mineralizações, scheelite, águas, contaminação, Fonte Santa

#### Abstract

*At Fonte Santa mine area, W-bearing quartz veins containing scheelite cut the Lower Ordovician quartzites which are related to the Moncorvo - Bemposta shear zone. Some quartz veins containing scheelite have recrystallized and brecciated quartz and sulphide and were exploited for W, between 1942 and 1982. The waters related to Fonte Santa mine are of mixed type and poorly mineralized with electrical conductivity of < 965  $\mu$ S/cm. Most pH values (5.0 and 8.5) indicate no significant acid drainage associated with the mining activities. The most acid water has pH = 3.4 and belongs to a mine lagoon. Waters associated with the mineralized quartz veins and old mining activities have high Fe and Mn concentrations that forbid their use for human consumption and agriculture.*

*Key-words: mineralizations, scheelite, waters, contamination, Fonte Santa*

#### Introdução

A exploração mineira foi uma importante actividade para a economia portuguesa. Contudo, actualmente, a sua maioria encontra-se encerrada e sem qualquer plano de recuperação ambiental implementado. Cerca de noventa áreas mineiras abandonadas, com diferentes dimensões, revelam diversos níveis de contaminação e apenas algumas foram submetidas a recuperação ambiental. A área mineira da Fonte Santa foi explorada para W, entre 1942 e 1982, tendo produzido 2784 toneladas de scheelite, com franca actividade na década de 50 tendo sido registado um máximo de produção no ano de 1953 (Triede, 2002). Os filões mineralizados foram explorados em níveis subterrâneos e a céu aberto. As escombrelas foram depositadas à superfície, calculando-se um volume total de materiais superior

a 100 000 m<sup>3</sup> (Triede, 2002). As escombrelas mais recentes, e de maiores dimensões, não apresentavam cobertura vegetal, encontrando-se expostas ao ar e à chuva. A sua susceptibilidade promoveu indícios de erosão e dispersão mecânica, tendo ocorrido uma catástrofe natural em 2006, com desabamento de toneladas de inertes, após um período fortemente chuvoso. As fortes precipitações ocorridas danificaram a barragem de finos e a erosão de material que foi transportado numa distância superior a 2 km, ao longo do Ribeiro da Ponte, um afluente do rio Sabor, que drena a área.

Os sulfuretos são estáveis e muito insolúveis em condições redutoras, mas a oxidação resultante da exposição a condições atmosféricas, produz águas ácidas e um elevado teor de metais dissolvidos associado (Navarro *et al.*, 2008). A extensão e o grau de contaminação em metais pesados, nas

imediações das minas, depende da granulometria e dos minerais das escombrelas. Os sulfuretos libertados pela oxidação são atenuados pela precipitação, co-precipitação e reacções de absorção com outros minerais. No entanto, a ocorrência destes elementos no meio ambiente depende da sua mobilidade e solubilidade.

As minas abandonadas localizam-se frequentemente em zonas rurais e, por vezes, as águas e os solos são utilizados para agricultura ou consumo humano, sem qualquer avaliação de riscos ambientais e de saúde humana (Abreu *et al.*, 2008).

O principal objectivo deste trabalho é avaliar a contaminação das águas associadas às mineralizações e actividades mineiras abandonadas na área da Fonte Santa. Para tal, procede-se ao estudo da geoquímica dos minerais dos filões de

quartzo com scheelite, de modo a compreender a distribuição e mobilidade dos elementos químicos para as águas. As águas superficiais e subsuperficiais, que ocorrem na área, foram recolhidas trimestralmente, ao longo do ano de 2007, para avaliar o impacte ambiental da antiga mina da Fonte Santa.

### Enquadramento geológico

A mina da Fonte Santa localiza-se no NE de Portugal, junto à aldeia da Quinta das Quebradas, no limite dos concelhos de Mogadouro e Freixo de Espada à Cinta, distrito de Bragança (Fig.1). Em termos geológicos, situa-se nos Terrenos Autóctones do Domínio do Douro Inferior da Zona Centro-Ibérica (ZCI).

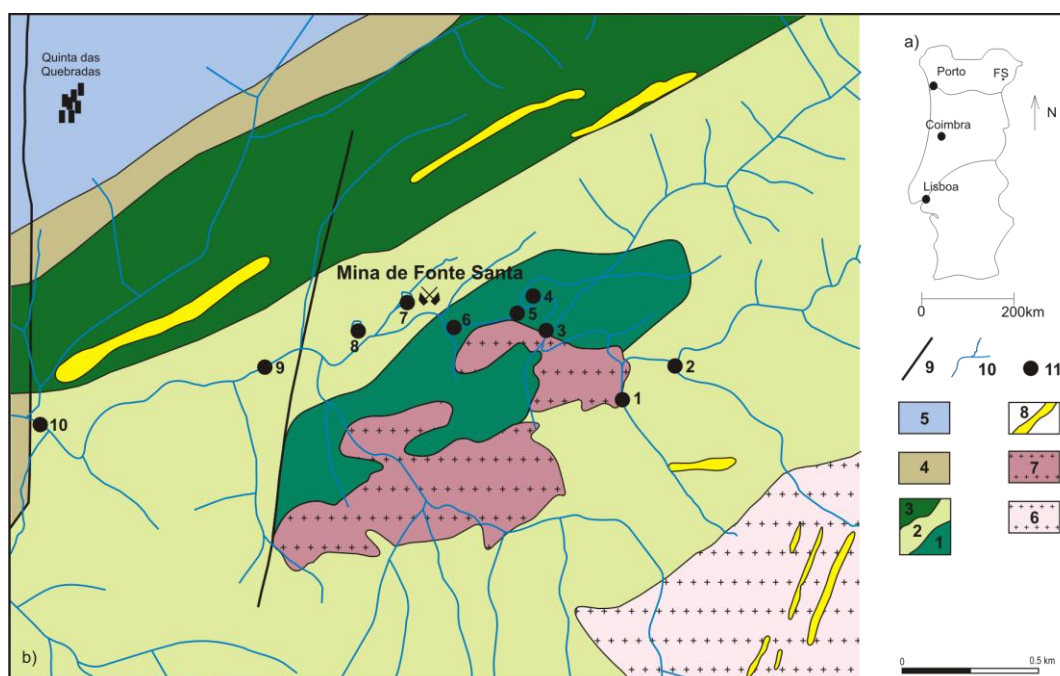


Fig.1 –Mapa geológico e rede hidrográfica da área mineira da Fonte Santa (adap. de Silva, 2000). Formação Marão: 1. quartzitos inferiores, 2. xistos intermédios, 3. quartzitos superiores; Formação Moncorvo: 4. xistos, 5. quartzitos do Silúrico Inferior; 6 granito moscovítico-biotítico; 7 – granito moscovítico; 8. filões de quartzo; 9. falhas; 10. rios e lagoas; 11. pontos de água.

A mineralização ocorre na formação do Quartzito Armoricano do Ordovício Inferior (Fig.1), actualmente designada Formação Marão. A mineralização foi controlada por factores litológicos e estruturais (Silva, 2000) e ocorre no flanco setentrional do anticlinório de Carviçais-Fornos. Está relacionada com a zona de cisalhamento de Moncorvo-Bemposta e provavelmente associada ao granito moscovítico da Fonte Santa, sin-F3. Os filões mais antigos, lenticulares e irregulares, estão dobrados pela 2ª fase de deformação e os mais recentes formam uma

rede filoneana de tipo “stockwork” com ganga quartzosa, em parte recristalizada, por vezes, brechóide e impregnada de sulfuretos que ocupam numerosas juntas, microfissuras e fracturas.

A mineralização de scheelite ocorre sobretudo em filões de quartzo, nos níveis pelíticos, mas também foi encontrada em skarns, produzidos por metassomatismo de mármore devido a um magma granítico pois estão associados com a zona apical do maciço granítico moscovítico. A área mineralizada da Fonte Santa alonga-se segundo a direcção ENE-WSW, paralela às estruturas regionais, com 300 m de largura e 1100 m

comprimento, profundidade de exploração inferior a 200 m e volume estimado de 20 milhões de m<sup>3</sup> (Ribeiro & Rebelo, 1971).

### Materiais e Métodos

As amostras dos filões de quartzo mineralizadas com scheelite foram estudadas no microscópio de luz transmitida e reflectida e analisadas por microsonda electrónica, Cameca Camebax e Jeol JXA-8500F do LNEG, S. Mamede de Infesta. As análises foram obtidas com um potencial de 15 kV e uma corrente de 20 nA e 10 nA nas microsondas Cameca Camebax e Jeol, respectivamente. Cada elemento foi contado durante 20 s e um feixe de 5 µm foi usado para a maioria das análises. Os padrões usados foram albite (Na Kα); ortoclase (Al Kα, Si Kα, K Kα); cassiterite (Sn Lα); MnTiO<sub>3</sub> (Mn Kα, Ti Kα); Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Fe Kα); esfalerite (Zn Kα, S Kα); pirite (S Kα, Fe Kα); galena (Pb Mα); volastonite (Ca Kα, Si Kα); AsGa (As Lα); MgO (Mg Kα); Au (Mα); Mo (Lα); Ni (Kα); Cu (Kα); As (Lα); Ag (Lα); Co (Kα); Cd (Lα); Sb (Lα); Bi (Mα); Ta (Mα); Nb (Lα); Mo (Lα) e W (Lα, Mβ). A localização das amostras de água recolhidas na área da mina da Fonte Santa está representada na Fig. 1. Dez locais de amostragem foram definidos, localizados dentro e fora da área de influência das actividades mineiras abandonadas, e realizadas colheitas no ano de 2007 (Janeiro; Abril; Agosto e Dezembro). Foi obtido um total de 38 pontos de amostragem analisados pois o ponto de amostragem

I estava seco nos meses de Agosto e Dezembro. O ano de 2007 foi considerado atípico com um clima seco e sem as estações características, tendo sido Dezembro um mês seco.

Os parâmetros temperatura, pH, Eh, condutividade eléctrica e alcalinidade foram determinados *in situ*. As águas, após recolhidas, foram filtradas, acidificadas e mantidas a 4°C. O total de sólidos dissolvidos foi determinado por evaporação a 105°C. Os aniões foram determinados por cromatografia iónica, com o modelo Dionex ICS 3000, e os catiões por espectroscopia de emissão óptica com plasma acoplado ICP-OES, usando o modelo Horiba Jovin Hyvon JY 2000-2. O As foi obtido por espectrometria atómica de absorção de chama. O limite de detecção para a maioria dos elementos analisados é de 0.02 ppm e de 0.01 ppm para o As e K. As análises químicas das águas foram realizadas no Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra, com uma precisão inferior a 5 % para a maioria dos elementos químicos e inferior a 15 % e 10 % para o Na e Al, respectivamente.

### Mineralogia dos filões de quartzo com W

Os filões de quartzo (Fig.2) contêm quartzo, scheelite, pirrotite, esfalerite, calcopirite, pirite, galena, e rara siderite. O quartzo está parcialmente recristalizado, localmente brechificado e impregnado por sulfuretos que preenchem fracturas e microfissuras.

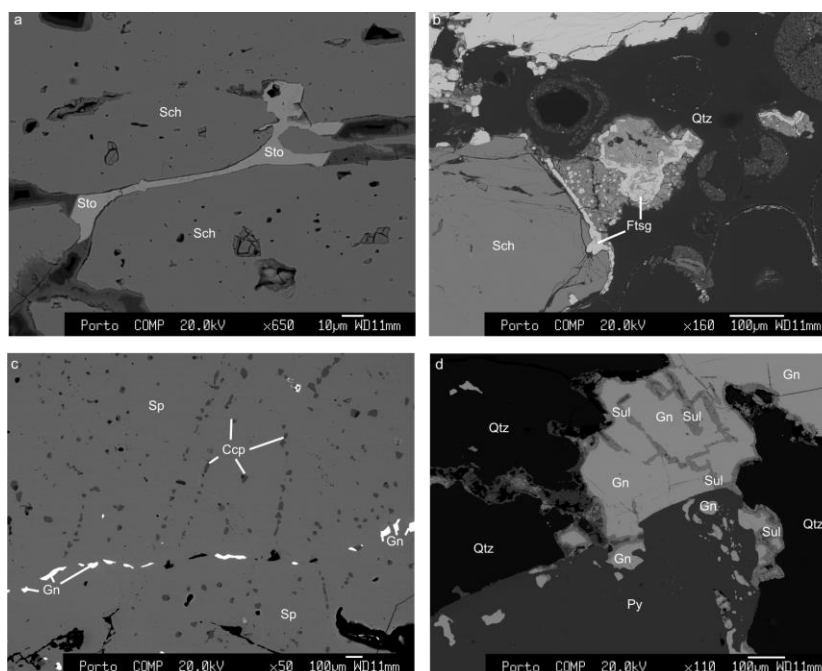


Fig. 2 – Imagens de “backscattered” de minerais dos filões mineralizados da mina da Fonte Santa: a) scheelite (Sch) com stolzite (Sto) nas fracturas, b) ferritungstite (Ftsg) a substituir scheelite, c) esfalerite com inclusões de calcopirite (Ccp) e galena (Gn), d) galena com sulfatos de Pb (Sul) a substituir pirite (Py).

A scheelite  $\text{Ca}_{1,02}\text{W}_{0,99}\text{O}_4$  é anédrica, de cor clara, com fluorescência azul típica e tem fracturas preenchidas por stoltzite ( $\text{Pb}_{0,93}\text{Mg}_{0,04}\text{Ca}_{0,03}\text{W}_{0,99}\text{O}_4$ ) e ferritngstite (Fig. 2a,b).

A pirrotite monoclina  $\text{Fe}_{0,88}\text{S}_{1,00}$  associa-se com a calcopirite e ocorre inclusa na esfalerite estando por vezes substituída por pirite. A esfalerite é um dos sulfuretos mais abundantes e mostra texturas de tipo “chalcopyrite disease”. Muitas das exsoluções da esfalerite mostram alinhamentos ortogonais (Fig. 2c). A composição média da esfalerite é  $\text{Zn}_{0,86}\text{Fe}_{0,18}\text{Mn}_{0,01}\text{S}_{1,00}$ , mas Fe, Cu, Mn e Cd podem substituir Zn, num total < 12 %. Em geral cada cristal tem composição homogénea e o máximo teor de FeS varia de 16.1 a 18.5 moles %. A calcopirite foi encontrada sob a forma goticular na esfalerite e tem a composição  $\text{Cu}_{0,87}\text{Fe}_{1,07}\text{Zn}_{0,05}\text{S}_{2,00}$ , mas alguma Ag substitui o Fe (< 0.19 wt.%).

A pirite  $\text{Fe}_{1,01}\text{S}_{2,00}$  tem inclusões de galena e electrum e é anédrica a subeuédrica e fracturada.

A galena é abundante e ocorre em três gerações: 1. nas fracturas da esfalerite; 2. em cristais subeuédricos com fracturas e margens substituídas por sulfatos de Pb (Fig. 2d); 3. substituindo a pirite (Fig. 2d). A galena  $\text{Pb}_{0,94}\text{Bi}_{0,03}\text{Ag}_{0,02}\text{S}_{1,00}$  tem alguma Ag, Bi e Zn inferiores a 1.6 %, 3.3 % e 0.3 %, respectivamente.

### Caracterização e contaminação das águas superficiais e subsuperficiais

Para a avaliação da contaminação das águas associadas às actividades mineiras abandonadas da mina de Fonte Santa, e com o objectivo de obter os valores de referência do fundo geoquímico da área, foram colhidos dois pontos de água fora da zona de influência das actividades mineiras, localizados numa nascente (ponto 1) e numa linha de água superficial (ponto 2) (Fig. 1; Tabela 1).

Na área de influência das actividades mineiras, colheram-se águas em linhas superficiais (pontos de água 5, 6, 9 e 10) e em lagoas da mina (pontos de água 3, 4, 7 e 8) (Fig. 1). A maioria das águas da mina da Fonte Santa não contém um catião dominante, sendo classificadas como águas de tipo misto (Tabela 1). Contudo algumas águas são enriquecidas em Na ou Mg. Relativamente aos aniões, dominam as águas  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ . Não foi encontrada variação sazonal regular. De um modo geral, as águas da mina da Fonte Santa são pouco mineralizadas. A água colhida na lagoa da mina (ponto de água 7; Fig. 1) é a mais mineralizada, com valores mais elevados de Eh e de condutividade eléctrica e valores mais baixos de pH (Tabela 1).

As águas da mina da Fonte Santa projectam-se principalmente no campo das águas quase neutras e de baixo teor em metais (Fig. 3), de acordo com a classificação de Ficklin *et al.* (1992). Esta classificação considera que Zn, Cu, Cd, Ni, Pb e Co são os principais metais pesados encontrados nas águas de drenagem de minas.

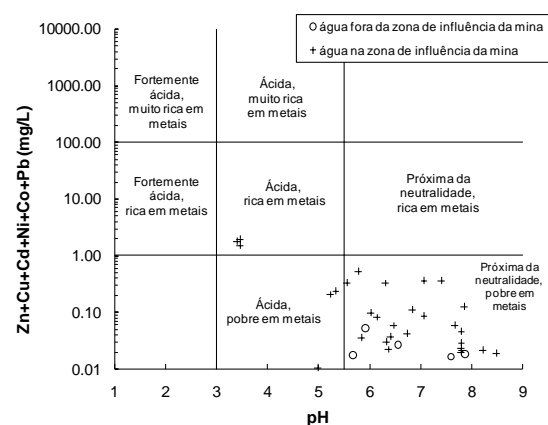


Fig. 3— Projecção das águas da mina da Fonte Santa no diagrama pH – (Zn+Cu+Cd+Ni+Co+Pb) de Ficklin *et al.* (1992).

Tabela 1. Intervalos de valores de parâmetros e iões seleccionados obtidos nas águas da mina de Fonte Santa

	pH	$\text{HCO}_3^-$ (mg/L)	$\text{SO}_4^{2-}$ (mg/L)	$\text{NO}_3^-$ (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Fe ( $\mu\text{g/L}$ )	Mn ( $\mu\text{g/L}$ )	RS (mg/L)
Ponto 1	5.7-5.9	9.0-11.7	3.4-4.3	7.8-10.1	3.9-4.1	3.2-3.4	3.0-3.1	1.1-1.2	38-40	43-45	62-67
Ponto 2	6.6-7.9	10.8-32.1	1.8-2.5	0.1-1.2	2.7-7.5	0.6-2.7	1.7-4.9	1.0-2.5	41-236	4-40.8	41-69
Ponto 3	5.0-8.0	17.5-30.1	3.2-5.9	0.1-4.5	4.8-7.5	1.0-2.9	3.2-4.1	1.2-2.4	129-196	13-49	51-67
Ponto 4	6.4-8.5	15.7-31.6	3.2-5.9	0.1-16.3	4.6-8.0	1.1-2.9	2.9-4.2	1.2-2.4	116-203	7.0-49	56-71
Ponto 5	6.2-7.9	13.5-21.3	5.5-64.3	0.2-2.5	4.7-7.5	1.1-3.1	4.2-12.9	2.5-7.2	191-5651	122-995	75-2734
Ponto 6	5.9-7.8	10.8-23.1	2.6-28.5	0.6-1.5	3.7-14.8	1.6-2.8	1.6-5.2	0.1-3.2	70-1396	36-776	68-389
Ponto 7	3.4-3.5	-	192.8-423.4	<1.0	11.3-14.7	6.6-10.8	33.7-50.7	33.2-48.4	1399-3325	5706-9260	511-678
Ponto 8	5.2-6.3	7.0-15.7	91.6-172.3	< 1.2	6.2-13.1	4.5-7.6	18.4-25.0	14.9-24.3	158-270	787-928	206-261
Ponto 9	5.8-8.2	8.3-15.5	3.7-120.4	0.2-1.6	4.0-9.5	2.7-3.5	8.8-20.8	0.7-15.9	23-3523	50-481	78-533
Ponto 10	6.4-7.8	9.7-17.5	11.5-89.2	0.1-2.2	4.2-9.1	2.4-3.3	3.3-14.7	1.7-10.8	190-2284	79-153	67-241

RS – resíduo seco.

As águas localizadas na área de influência da mina são mais ricas em Zn + Cu + Cd + Ni + Co + Pb do que as localizadas fora da mina (Fig. 3), mostrando o efeito das mineralizações e das actividades mineiras abandonadas na qualidade da água. Na lagoa da mina, a água é mais ácida e com elevada concentração de metais (Fig. 3). Estas águas possuem, também, os valores mais elevados de Eh, condutividade eléctrica,  $\text{SO}_4^{2-}$ , K, Ca, Mg, Mn, Li, Sr e metais. Baixos valores de pH promovem a dissolução de minerais metálicos e a concentração de metais nas águas. No entanto, se os sulfuretos forem não reactivos ou se as rochas contêm materiais para neutralizar a acidez, o pH será próximo da neutralidade. Na mina da Fonte Santa não há drenagem ácida significativa, porque a área contém uma pequena quantidade de sulfuretos e os filões de quartzo com scheelite cortam xisto e quartzito regional, com possíveis intercalações de mármore, o que pode contribuir para a neutralização das águas e promover a diminuição dos teores de oligoelementos, como foi encontrada em outras antigas zonas mineiras (Antunes *et al.*, 2002; Frau *et al.*, 2008).

A precipitação de magnetite, Fe-tungstite, stolzite, sulfatos de Fe e fosfatos de Fe, Pb e Al encontrados nos filões poderá reter alguns elementos metálicos e tornar difícil a sua solubilidade para as águas. Sulfatos secundários desempenham um papel importante na drenagem ácida e sequestração de metais em ambientes superficiais (Hammarstrom *et al.*, 2005). Os fosfatos de Pb, Fe e Al irão remover o  $\text{PO}_4^{3-}$  da água, pelo que não foi detectado nas águas da mina da Fonte Santa.

As águas com os teores mais elevados de  $\text{SO}_4^{2-}$  associam-se às lagoas receptoras dos materiais rejeitados da actividade mineira. As maiores concentrações  $\text{SO}_4^{2-}$  geralmente são encontradas nas águas com pH mais baixo e podem estar associadas a oxidação e dissolução de sulfuretos como pirite, calcopirite, esfalerite, galena e pirrotite. O arsénio tem uma distribuição irregular nas águas da Fonte Santa e em geral abaixo do limite de detecção, o que pode ser atribuído à falta de arsenopirite, não identificada, ou ao carácter não-conservador do ião, que promove uma rápida eliminação durante o transporte.

As variações sazonais nas águas da mina da Fonte Santa são mais evidentes no ponto de amostragem 7 pois, em períodos de seca, estas águas são mais ácidas e com concentrações dos elementos e condutividade eléctrica mais elevadas do que no período chuvoso.

Embora o teor da maioria dos elementos nas águas da Fonte Santa seja baixo, alguns deles ultrapassam os valores aceites para consumo humano e/ou uso agrícola (Diário da República, 2001; 2007). A água da lagoa da mina, ponto de amostragem 7, é a mais contaminada da área e não deve ser utilizada para

consumo humano devido à sua condutividade eléctrica ( $> 450 \mu\text{S} / \text{cm}$ ),  $\text{SO}_4^{2-}$  ( $> 250 \text{ ppm}$ ), Mg ( $> 30 \text{ ppm}$ ), Fe ( $> 0.05 \text{ ppm}$ ), Mn ( $> 0.05 \text{ ppm}$ ), Zn ( $> 0.5 \text{ ppm}$ ) e Ni ( $> 0.05 \text{ ppm}$ ) (Tabela 1). Os teores de Fe, Mn e Ni nos pontos de amostragem 5 e 10, são superiores aos valores paramétricos definidos para o consumo humano, pelo menos uma vez por ano. Algumas destas águas não devem também ser utilizadas para a agricultura devido ao seu conteúdo Mn e Fe. A maioria das águas da mina da Fonte Santa tem  $\text{NO}_2^-$  (0.1 ppm) acima dos valores recomendados para consumo humano. Nas águas mais mineralizadas (pontos de amostragem 7 e 8),  $\text{NO}_2^-$  está abaixo dos valores recomendados, pois é consumido pelas algas presentes na lagoa da mina.

### Conclusões

Entre 1942 e 1982, nas minas de scheelite da Fonte Santa foram extraídas a céu aberto e exploração subterrânea, 2784 toneladas de scheelite e depositados 100000  $\text{m}^3$  de materiais na escombreira.

A scheelite é o minério de W presente e ocorre associada a sulfuretos sobretudo pirite, pirrotite, esfalerite e galena.

As águas superficiais que drenam na área da Fonte Santa são pouco mineralizadas, contudo há aumento de diversos parâmetros e teores de elementos na zona de influência da mina. As águas, em geral, não contêm aniões ou catiões dominantes e são de tipo misto, porém em algumas amostras predominam o Na e Mg e  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ . Nas lagoas da mina, foram encontrados os teores mais elevados de  $\text{SO}_4^{2-}$  e de metais e são as águas mais ácidas.

A maioria das águas analisadas tem teores de Fe e Mn que proíbe o seu uso para consumo humano e agrícola. Algumas águas possuem, também, teores de alguns elementos (ex:  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_2^-$ , Mg, Zn e Ni) acima dos admitidos pela legislação, pelo que não devem ser usadas para consumo humano.

### Agradecimentos

Ao Prof. M.R. Machado Leite, Doutor J.M. Farinha Ramos e Eng. Fernanda Guimarães pelo uso da microsonda electrónica do LNEG, S. Mamede de Infesta, à EDM pelas informações sobre o estudo de impacte ambiental da Fonte Santa, ao Prof. João Serra Pratas da Univ. de Coimbra pela determinação do As das águas e ao revisor científico pelas sugestões dadas. A investigação foi realizada no âmbito do Centro de Geociências, Universidade de Coimbra.

## Referências Bibliográficas

Abreu, M.M.; Matias, M.J.; Magalhães, M.C.F.; Basto, M.J. (2008). Impacts on water, soil and plants from the abandoned Miguel Vacas copper mine, Portugal. *Journal of Geochemical Exploration*, 96, 161-170.

Antunes, I.M.H.R.; Neiva, A.M.R.; Silva, M.M.V.G. (2002). The mineralized veins and the impact of old mine workings on the environment at Segura Central Portugal. *Chemical Geology* 190 (1/4), 417-431.

Diário da República (2001). Decreto-Lei nº 243/2001, Legislação relativa à qualidade da água. Série I-A, 5754-5766. Lisboa, Portugal.

Diário da República (2007). Decreto-Lei nº 306/2007, Legislação relativa à qualidade da água. Série I-A, 5747-5765, Lisboa. Portugal.

Ficklin, W.H.; Plumlee, G.S.; Smith, K.S.; McHugh J.B. (1992). Geochemical classification of mine drainages and natural drainages in mineralized areas. In: Kharaka Y.K., Maest A.S. (Eds.), *Water-Rock Interaction*, Balkema, Rotterdam vol. 7, 81-384.

Frau, F.; Ardau, C.; Fanfani, L. (2008). Environmental geochemistry and mineralogy of lead at the old mine area of Baccu Locci (south-east Sardinia, Italy). *J. of Geochem. Explor.*, doi:10.1016/j.gexplo.2008.01.005.

Hammarstrom, J.M.; Seal, R.R.; Meier, A.L.; Komfeld, J.M. (2005). Secondary sulfate minerals associated with acid drainage in the eastern US: recycling of metals and acidity in superficial environments. *Chemical Geology*, 215, 407-431.

Navarro, M.C.; Pérez-Sirvent, C.; Martínez-Sánchez, M.J.; Vidal, J.; Tovar, P.J.; Bech, J. (2008). Abandoned mine sites as a source of contamination by heavy metals: a case study in a semi-arid zone. *J. of Geochem. Exploration*, 96, 183-193.

Ribeiro, A.; Rebelo, J.A. (1971). Estudo geológico preliminar do jazigo de scheelite de Fonte Santa (Lagoaça). *Relatórios Internos dos Serv. Fom. Mineiro* (não publicado), 11pp.

Silva, P.J.A.B.A. (2000) Estudo petrográfico, mineralógico e geoquímico dos maciços graníticos de Bruçó e Fonte Santa (NE de Portugal). Tese de mestrado, FEUP.

Triede (2002). Recuperação da área mineira de Fonte Santa. EDM. Relatório Interno (não publicado).