



Geoquímica de sedimentos de corrente e solos da antiga mina da Fonte Santa (Lagoaça, NE de Portugal)

Geochemistry of stream sediments and soils from Fonte Santa old mine (Lagoaça, NE of Portugal)

M.E.P. Gomes^{1*}, I.M.H.R. Antunes^{2*}

¹ Dep. de Geologia, UTAD, Ap.1013, 5001-911 Vila Real, Portugal mgomes@utad.pt

² Instituto Politécnico de Castelo Branco, 6001-909 Castelo Branco, Portugal imantunes@esa.ipcb.pt

* Centro de Geociências da Universidade de Coimbra

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 um granito moscovítico, que se relaciona com a zona de cisalhamento esquerda de Moncorvo-Bemposta. Alguns filões com scheelite têm quartzo recristalizado e brechificado e sulfuretos, tendo sido explorados para W entre 1942 e 1982. As escombrelas associadas às explorações mineiras ocorrem dispersas pela área sem cobertura vegetal significativa, ficando expostas aos diversos agentes atmosféricos. Após o seu encerramento foram realizados trabalhos de reconversão ambiental na região, em finais de 2007, na sequência do desabamento de terras na barragem de finos da mina, que ocorreu em finais de 2006. Os dados geoquímicos dos sedimentos de corrente e dos solos obtidos em três épocas de colheita permitem evidenciar anomalias na dependência da mina ou relacionadas com as consequências do desastre ecológico que provocou a mobilização de materiais finos da escombrela. Verifica-se que os teores mais elevados, para a generalidade dos elementos, se registam nos sedimentos de corrente e solos localizados a jusante da zona mineralizada. O cálculo dos índices de geoacumulação para os sedimentos de corrente do Ribeiro da Ponte sugere que está contaminado com W e As. O As ultrapassa os teores máximos admitidos para solos destinados a uso agrícola.

Palavras chave: sedimentos de corrente, solos, minas abandonadas de scheelite, anomalias de W e As

Abstract

At Fonte Santa mine area, W-bearing quartz veins containing scheelite cut the Lower Ordovician quartzites and a muscovite granite, which is related to the Moncorvo - Bemposta sinistral shear zone. Some quartz veins containing scheelite have recrystallized and brecciated quartz and sulphide and were exploited for W, between 1942 and 1982. The tailings associated with mining operations are dispersed in the area without significant vegetation, being exposed to various atmospheric conditions. At Fonte Santa mine area, after exploitation of W (scheelite) ceased, environmental recovery works were only carried out, in late 2007, in consequence of the collapse of land on the thin barrier in the end of 2006. The geochemical data of the stream sediments and soils collected during three different periods show anomalies in the dependence of the mine or are related to the consequences of the ecological disaster that caused mobilization of fine materials. The highest levels for most elements occur in stream sediments and soils located downstream of the mineralized zone. The calculation of geoaccumulation index for the stream sediments of the Ribeiro da Ponte suggests that these sediments are polluted in W and As. The As content of the soil exceeds the maximum allowed to agricultural use.

Keywords: stream sediments, soils, scheelite abandoned mines, W and As anomalies

I. Introdução

O jazigo scheelitico de Fonte Santa (Lagoaça) situa-se no bordo Sul do Planalto Mirândes (distrito de Bragança), onde alguns relevos residuais quartzíticos sobressaem na paisagem. Na base de uma crista quartzítica, quase vertical com cerca de 40 m de altura, existe uma nascente de água sulfurosa usada em tempos antigos como medicinal, que terá dado o nome à mina de Fonte Santa. Em 1941, iniciou-se a exploração de volframite na mina de Fonte Santa, o único minério de tungsténio conhecido na época e, em 1942, terá começado a corrida ao "volfrâmio branco", como é ainda conhecida a scheelite nesta região (Ribeiro e Rebelo, 1971). A actividade extractiva na mina de Fonte Santa, esteve em franca actividade na década de 50, tendo atingido o máximo de produção de concentrados de scheelite, em 1953. Os principais filões mineralizados tiveram exploração subterrânea e a céu aberto, tendo a exploração cessado definitivamente em 1982, totalizando uma produção de cerca de 2784 toneladas de minério de W. Os materiais eram processados à superfície e acumulados em escombrelas dispersas pela área mineira, calculando-se um volume total de materiais superior a 100 000 m³ (EDM, 2006a). As escombrelas estão totalmente desprovidas de cobertura vegetal, permanecendo expostas à acção do ar e da chuva, pelo que revelam indícios de erosão e dispersão mecânica, particularmente as de materiais finos e de maiores dimensões. Os sulfuretos são estáveis e muito insolúveis em ambientes redutores, 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, nas imediações de actividades mineiras, depende da granulometria dos materiais depositados nas escombrelas. As minas abandonadas localizam-se frequentemente em zonas rurais e, muitas vezes, as águas e solos são utilizados para agricultura e/ou consumo humano, sem qualquer avaliação de riscos ambientais e de saúde humana associados (Abreu et al., 2008).

A actividade mineira produziu prosperidade na envolvente da mina de Fonte Santa, mas desde o seu encerramento não foi realizado qualquer trabalho de controle e/ou recuperação ambiental nesta área mineira abandonada. Na identificação das principais incidências ambientais associadas a esta área mineira abandonada foi feito um primeiro estudo no âmbito do projecto de recuperação mineira, pela Empresa de Desenvolvimento Mineiro (EDM, 2006b). A nível hidroquímico, foram realizados estudos posteriores por Antunes et al. (2008), indicando que as águas na zona de influência da mina de Fonte Santa são pouco mineralizadas, com condutividade eléctrica < 965 µS/cm, e predominantemente de tipo misto e indefinido. A maioria dos valores de pH destas águas (pH = 5.0 - 8.5) indicam que não há significativa drenagem ácida associada às actividades mineiras abandonadas e os valores mais ácidos (pH = 3.4) foram obtidos numa lagoa da mina (Antunes et al., 2008).

Após as primeiras e abundantes precipitações do ano hidrológico de 2006, uma forte enxurrada, em 28 de Novembro de 2006, causou o desabamento de materiais da barragem de lamas da mina da Fonte Santa causando um desastre ecológico, com o arrastamento de materiais finos ao longo de mais de 2 km (EDM, 2006a). Deste modo, os materiais que se encontravam acumulados nas escombrelas foram mecanicamente dispersos pelos sedimentos de corrente e solos, mobilizando e dispersando diversos elementos químicos na envolvente da área mineira.

Este trabalho tem por objectivo avaliar a variação geoquímica e mobilidade dos elementos, num contexto espacial e temporal, em sedimentos de corrente e solos na área envolvente da mina de Fonte Santa, e os possíveis efeitos associados ao acidente ecológico ocorrido. Deste modo, serão comparados os teores de elementos químicos obtidos antes do desastre ecológico (2005), imediatamente depois deste (2006) e cerca de 5 meses após a sua ocorrência (2007).

2. Enquadramento e caracterização da área envolvente da mina de Fonte Santa

A mina de Fonte Santa localiza-se na zona nordeste de Portugal, no limite dos concelhos de Mogadouro e de Freixo de Espada à Cinta, distrito de Bragança (Fig. 1a). No contexto geotectónico, o jazigo scheelitico de Fonte Santa situa-se na Zona Centro Ibérica (ZCI), nos Terrenos Autóctones do Domínio do Douro Inferior. A mineralização tungstífera ocorre na formação do Quartzito Armoricano do Ordovícico Inferior (Fig. 1b), actualmente designada de Formação Marão (Sá et al., 2005). A mineralização foi controlada por factores litológicos e estruturais (Silva, 2000) e ocorre no flanco setentrional do anticlinório de Carviçais-Fornos. Os filões de quartzo com mineralização de W intruem também o granito moscovítico sin-F3, da

Fonte Santa (Silva, 2000), cuja instalação está associada à zona de cisalhamento de Moncorvo-Bemposta, de direcção ENE-WSW. A mineralização de scheelite ocorre predominantemente em filões de quartzo, nos níveis mais pelíticos, mas também foi encontrada em skarns, produzidos por metassomatismo de metacarbonatos, 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 cerca de 300 m de largura e 1100 m comprimento, profundidade de exploração inferior a 200 m e volume estimado de 20 milhões de m³ (Ribeiro & Rebelo, 1971).

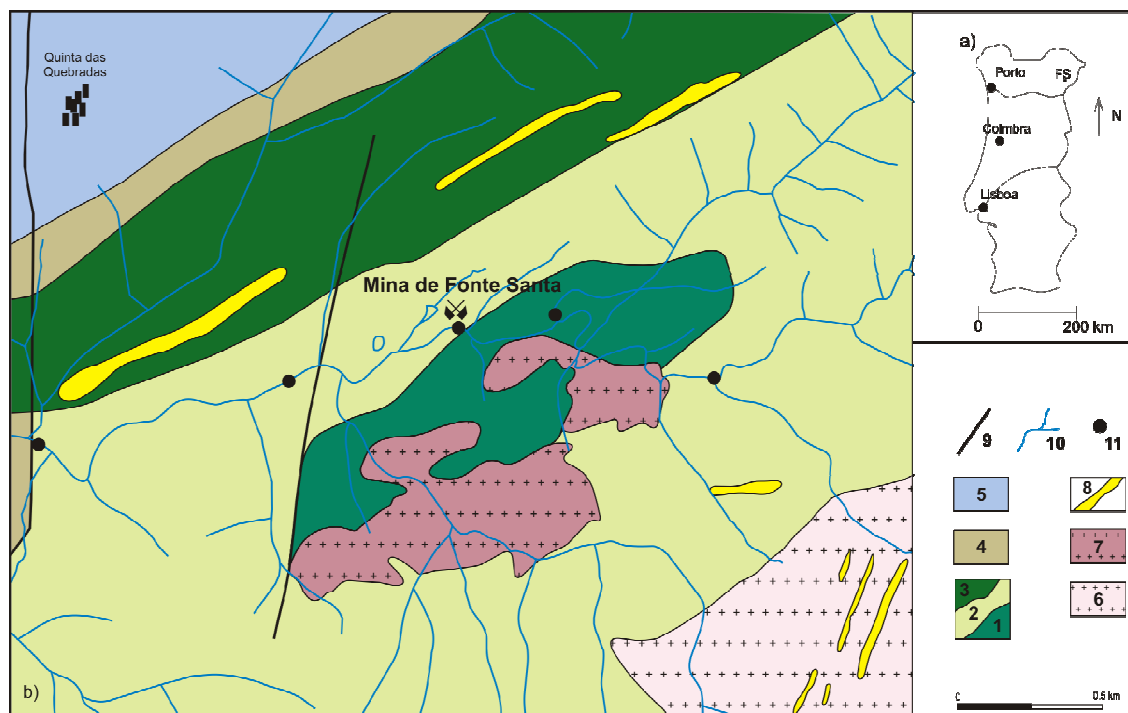


Fig.1 - a) Localização da mina da Fonte Santa no mapa de Portugal. b) Carta geológica simplificada e linhas de água na mina de Fonte Santa. Quartzitos Ordovícicos - Formação Marão: 1. quartzitos inferiores; 2. xistos intermédios; 3. quartzitos superiores, Xistos Ordovícicos- Formação Moncorvo; 4. Ardósias; 5. Quartzitos; 6. Granito moscovítico-biotítico de Bruçó; 7. granito moscovítico de Fonte Santa; 8. Filões de quartzo; 9. falhas; 10. Linhas de drenagem; 11. Pontos de amostragem de solos e sedimentos.

Os filões de quartzo mineralizados com scheelite formam duas gerações; em que os mais antigos, lenticulares e irregulares, estão dobrados pela 2ª fase de deformação e os mais recentes formam uma rede filoneana de tipo "stockwork". Estes últimos apresentam uma ganga quartzosa, em parte recristalizada, por vezes, brechóide e impregnada de sulfuretos que ocupam numerosas juntas, microfissuras e fracturas. A paragénese mineral dos filões mineralizados e das escombrelas é constituída por quartzo, scheelite, pirite, pirrotite, esfalerite, calcopirite, galena, rara arsenopirite, magnetite e minerais secundários de sulfatos de ferro e fosfatos de Al, Fe e Pb. A volframite não foi encontrada nos filões de quartzo e a scheelite tem fracturas preenchidas com stolzite e ferritungstite (Gomes et al., 2008). Petrunic et al. (2009) usam na investigação dos minerais secundários de escombrelas de minas de W o microscópio electrónico de transmissão (TEM) concluindo que existe nos "coatings" secundários uma mistura complexa de minerais e fases amorfas ou nanocristalinas com composição variada de Fe-Zn-As-O.

A área envolvente da mina de Fonte Santa é relativamente acidentada com altitudes variando entre os 400 e 700 m, ocupando uma extensão com cerca de 30 ha. Em toda a área podem ser identificadas diversas linhas de água de carácter sazonal, destacando-se o ribeiro da Ponte que atravessa a área mineira e para onde confluem os restantes (Fig. 1b). Com a exploração mineira, uma ribeira passou a afluir directamente para a barragem de finos, formando uma albufeira com um plano de água com cerca de 1.4 ha (EDM, 2006a).

Os últimos dois anos meteorológicos, têm sido algo atípicos, bastante secos, não sendo as estações representadas pelos meses característicos (Meteo, 2009; Snirh, 2009). Caracterizam-se por uma temperatura média anual de 12.3°C, com verões muito quentes em que pode atingir os 40.2 °C, e invernos muito frios, descendo a temperatura até -12.6 °C. A precipitação média anual tem variado desde 9.60 mm para o mês de Março a 170.2 mm em Janeiro (Snirh, 2009). O coberto vegetal da área da mina da Fonte Santa inclui sobretudo bosques de carvalho-negral (carrascais), sobreirais e giestas.

3. Metodologia

As amostras dos filões mineralizados foram estudadas no microscópio de luz transmitida e reflectida e analisadas nas microsondas electrónicas Cámecca Camebax e JEOL JXA 8500-F, do Laboratório do LNEG (Ex-IGM), S. Mamede de Infesta.

Para comparar e avaliar a variação dos teores de elementos químicos em sedimentos de corrente da ribeira da Ponte e nos solos na área da mina da Fonte Santa, ao longo do tempo e possíveis efeitos do acidente ecológico ocorrido, serão apresentados e interpretados os resultados obtidos pela Empresa de Desenvolvimento Mineiro antes e depois da sua ocorrência, em 2005 e 2006, respectivamente. Posteriormente, serão complementados e comparados com os resultados obtidos pelas autoras, após cerca de 4 meses da ocorrência do acidente ecológico, em 2007.

Em Abril de 2005, foram recolhidas doze amostras de sedimentos de corrente, localizadas a montante e na área de influência da mina, durante o estudo de avaliação das incidências ambientais, no âmbito do projecto de recuperação de áreas mineiras abandonadas (EDM, 2006b). Em Dezembro de 2006, imediatamente após a ocorrência do desastre ecológico, foram recolhidas cinco amostras de sedimentos de corrente e vinte amostras de solos, distribuídas por pontos a montante e a jusante da área de influência da mina, no âmbito do projecto de intervenção de incidente na área mineira abandonada (EDM, 2006a). As amostras de sedimentos de corrente e solos colhidas pela Empresa de Desenvolvimento Mineiro (EDM) foram analisadas por Fluorescência de raios-X e Espectrometria de Plasma DCP no laboratório do LNEG (Ex-IGM), em S. Mamede de Infesta, com uma precisão de 10 % (EDM, 2006a; b).

Em Abril de 2007, no âmbito deste trabalho, procedeu-se à recolha de seis amostras de sedimentos de corrente e oito amostras de solos. A selecção dos locais de amostragem de sedimentos de corrente e de solos teve por base a localização das áreas com maior probabilidade de contaminação e avaliação da sua distribuição espacial, pelo que foram recolhidas amostras a montante e a jusante da área de influência mineira. A determinação dos elementos foi feita por ICP-MS no laboratório SGS do Canadá, com uma precisão de 5%.

Os limites de detecção dependem dos elementos analisados sendo, em média, inferior a 2 ppm para a Ag, Be, Nb, V, Y e Zn; 4 ppm para Cd e Mo; 5 ppm para Ba e Mn; 10 ppm para B, Co, Cr, Cu, Ni, Pb e Sb, 20 ppm para As e W e 50 ppm para P.

Para os sedimentos de corrente e solos localizados a montante da área de influência mineira foram calculados os valores médios obtidos para os diferentes elementos químicos, determinados para os três anos, e corresponderão aos teores de fundo geoquímico temporais da área de estudo. Os sedimentos de corrente localizados na área de influência mineira foram todos recolhidos ao longo da ribeira da Ponte que atravessa a área mineira abandonada da mina da Fonte Santa.

4. Resultados e discussão

No estudo geoquímico dos sedimentos de corrente e dos solos da área mineira abandonada da mina da Fonte Santa serão comparados os resultados obtidos, nos diferentes momentos temporais de recolha de amostragem, relativamente ao teor de fundo geoquímico respectivo, e avaliada a variação destes teores antes e após o derrame na barragem de lamas da mina da Fonte Santa. Com este estudo comparativo será possível avaliar a contaminação ambiental associada a esta área mineira abandonada e sua variação ao longo do tempo.

Na tabela 1, são apresentados para cada elemento químico, as concentrações médias obtidas nas amostras de sedimentos de corrente do ribeiro da Ponte e dos solos, colhidas a montante da mina ou fora da zona de influência mineira, representando o valor do background geoquímico para os anos avaliados.

Tabela 1 - Teores médios de elementos traço (ppm) nos sedimentos de corrente e solos da área da mina da Fonte Santa (2006-2007)

	Sedimentos de corrente		Solos	
	2006 ⁽¹⁾	2007	2006 ⁽¹⁾	2007
Ag	-	-	-	-
As	33	22	21	13
B	23	-	27	-
Ba	556	80	526	53
Be	4	2	3	2
Cd	-	-	-	-
Co	19	10	17	10
Cr	56	19	55	22
Cu	25	14	21	21
Mn	480	308	359	148
Mo	-	-	2	-
Nb	15	-	15	3
Ni	24	18	30	22
P	421	480	431	595
Pb	17	16	12	14
Sb	-	-	-	-
V	81	32	78	27
W	-	-	-	-
Y	3	4	3	5
Zn	75	48	65	49
N	1	2	4	2

⁽¹⁾ Os resultados obtidos em 2006 foram cedidos pela EDM (EDM 2006a; b) e os resultados obtidos em 2007 referem-se a este trabalho. N – número de amostras.

Os elementos Ag, Cd, Sb e W apresentam valores inferiores ao limite de detecção do método utilizado tanto nos sedimentos de corrente como nos solos analisados nos anos de 2006 e 2007 (Tabela 1). Comparando a variação dos teores de fundo geoquímico para os vários elementos químicos analisados dos sedimentos de corrente e dos solos da região da mina da Fonte Santa, desde o ano de 2006 para o ano de 2007, respectivamente, pode referir-se que não apresentam uma variação significativa ou tendem a diminuir, provavelmente devido à dispersão registada ao longo do tempo (Tabela 1). Com variação contrária pode ser referido o elemento P, tanto nos sedimentos de corrente como nos solos, registando um ligeiro aumento no ano de 2007. De um modo geral, os sedimentos de corrente tendem a apresentar teores mais elevados do que os solos respectivos (Tabela 1).

Na tabela 2, são apresentados os teores mínimos e máximos obtidos para os elementos traço analisados, nas várias amostras de sedimentos de corrente do ribeiro da Ponte e de solos colhidas na área de influência da mina da Fonte Santa. Os elementos Ag e W apresentam valores inferiores ao limite de detecção do método utilizado tanto nos sedimentos de corrente como nos solos analisados nos anos de 2005, 2006 e 2007 (Tabela 2).

Nos sedimentos de corrente não se regista uma variação regular nos diversos elementos químicos analisados para os três anos em estudo. As variações irregulares apresentadas desde 2005 para 2006, não permitem concluir que o acidente ecológico ocorrido tenha promovido acentuadas variações geoquímicas nos sedimentos de corrente, provavelmente devido à inexistência de uma significativa mobilidade nos sedimentos de corrente (Tabela 2). Comparativamente com os teores detectados nas amostras de sedimentos de corrente colhidas em 2006, pode observar-se um aumento genérico nas quantidades de As e um decréscimo em B, Ba, Cr, Mn, Ni, V, W e Zn para o ano de 2007 (Tabela 2); sugerindo que estes elementos químicos tendem a repor os seus valores iniciais (Tabela 2).

Tabela 2 - Teores mínimos e máximos de elementos traço (ppm) nos sedimentos de corrente e solos da área da mina da Fonte Santa (2005-2007)

	Sedimentos de corrente						Solos			
	Pré-acidente 2005 ⁽¹⁾		Pós-acidente 2006 ⁽¹⁾		2007		Pós-acidente 2006 ⁽¹⁾		2007	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
As	-	1126	297	389	473	504	-	646	22	501
B	99	378	125	330	-	-	18	250	-	-
Ba	454	642	488	620	16	18	352	726	10	105
Be	3	6	4	5	-	-	2	8	-	-
Cd	-	7	-	4	-	-	-	7	-	-
Co	-	-	11	40	12	13	-	25	8	17
Cr	87	158	53	70	18	19	35	78	14	22
Cu	-	35	26	43	23	26	-	34	15	41
Mn	420	760	455	810	346	386	248	598	303	1050
Mo	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-
Nb	5	13	11	14	-	-	12	17	-	-
Ni	-	-	31	65	21	23	14	45	13	34
P	559	929	722	828	800	860	386	761	580	810
Pb	-	-	-	19	24	30	-	37	18	36
Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V	58	117	80	100	18	19	48	106	16	19
W	50	1481	280	423	115	244	-	628	7	800
Y	-	-	4	6	8	8	2	5	8	12
Zn	266	310	66	142	64	66	39	93	32	89
N	12		4		4		16		6	

Min – valor mínimo; Max – valor máximo. ⁽¹⁾ Os resultados obtidos em 2005 e 2006 foram cedidos pela EDM (EDM 2006a; b) e os resultados relativos a 2007 referem-se aos obtidos neste trabalho. N – número de amostras.

Para as amostras de solos estudadas, verifica-se um aumento geral nos teores de Mn, P, W e Y desde o ano de 2006 para o ano de 2007. Boro, Ba, Be, Cr, Nb, Ni, V e Zn, por sua vez, registam um decréscimo desde 2006 para 2007 e o arsénio é inconclusivo (Tabela 2). O aumento do teor de alguns elementos químicos nos solos pode ser atribuído ao facto de nenhum trabalho de recuperação ambiental ter sido realizado na área e permanecerem com tempos de residência superior aos restantes que serão removidos por processos de atenuação natural. A presença de fases sólidas com baixa solubilidade em água pode contribuir para a imobilização do As e outros metais no solo (Abreu et al., 2009).

Não é possível encontrar uma variação regular nos teores dos elementos químicos analisados desde os sedimentos de corrente para os solos coexistentes no mesmo período de tempo em análise (Tabela 2). Os teores mais elevados de Ba e Mn encontrados pontualmente nos valores máximos obtidos para os solos, comparativamente com os mesmos teores nos sedimentos de corrente, pode ser justificado pelo valor de pH do solo e absorção destes elementos (Boulet e Larocque, 1998).

Os sedimentos de corrente colhidos na área de influência da mina de Fonte Santa tendem a apresentar teores mais elevados de As, Cr, P, W e Zn do que o respectivo teor médio de fundo geoquímico. Semelhante variação apresentam os elementos B e Mn dos sedimentos de corrente, excepto no ano de 2007 (Tabelas 1 e 2). Os solos colhidos em 2006 e 2007 tendem a

apresentar teores superiores aos do fundo geoquímico médio definido para este reservatório, particularmente para os teores máximos obtidos em As, Mn, P, Pb e W (Tabelas 1 e 2).

Os teores mais elevados de diversos elementos químicos encontrados nos sedimentos de corrente e solos colhidos em 2005 e 2007, comparativamente com os valores médios que representam o background geoquímico da área em estudo, podem ser explicados pela mineralização de scheelite e sulfuretos associados.

Os elementos W, Cu, Cr, Pb e Zn podem ficar retidos sobretudo na scheelite, calcopirite e blenda, associadas aos antigos trabalhos mineiros, pois é nestes minerais que estes elementos se concentram. A arsenopirite, embora rara é o principal portador de As, mas as piritas têm também teores de As significativos (0.43%). Os processos de oxidação dos sulfuretos libertam metais que podem ser absorvidos pelos minerais argilosos, óxidos e hidróxidos de Al, Fe e Mn e pela matéria orgânica dos solos. As quantidades mais elevadas de P encontradas nos sedimentos de corrente e solos poderão ser justificadas pela dissolução dos fosfatos de Fe, Pb e Al encontrados nesta área não sendo de excluir que exista outra fonte (Gomes et al., 2008).

Os minerais dos veios mineralizados em W, acumulados nas escombrelas da mina abandonada da Fonte Santa, condicionam o quimismo dos sedimentos de corrente e solos, porém o contributo do transporte mecânico de metais e outros materiais é significativo, face à exposição destes materiais aos agentes ambientais e conseqüente dispersão pela área envolvente.

Numa tentativa de avaliação do grau de contaminação na envolvente da área mineira da Fonte Santa foi determinado o índice de geoacumulação de Müller (1979), para as diversas amostras de sedimentos de corrente nas três colheitas em estudo (Tabela 3). Em qualquer um dos anos de colheita e análise de sedimentos de corrente realizado, os índices de geoacumulação de Müller indicam um grau de contaminação altamente a muito altamente poluído para o W e um grau de contaminação moderado a altamente poluído para o As (Tabela 3). Os sedimentos de corrente colhidos em 2007, apresentam-se, também, moderadamente poluídos em Cd (Tabela 3). Para os restantes elementos químicos analisados nos sedimentos de corrente não foram encontrados valores de índices de geoacumulação indicativos de poluição.

As águas relacionadas com a mina da Fonte Santa são pouco mineralizadas e apenas foram encontradas concentrações elevadas de Fe e Mn que proíbem o seu consumo humano e utilização na agricultura. Contudo há aumento de diversos parâmetros e teores de elementos na zona de influência da mina. Algumas águas possuem, também, teores de alguns elementos (ex: SO_4^{2-} , NO_2^- , Mg, Zn e Ni) acima dos admitidos pela legislação, pelo que não devem ser usadas para consumo humano.

Na escala de Prato Longo, os solos colhidos em 2007, têm pH próximo de 5, pelo que são solos ácidos. A área em estudo é uma região predominantemente agrícola pelo que, os diversos elementos químicos analisados nos solos, em 2006 e 2007, foram comparados com os valores máximos admitidos pela norma Canadense de Ontário (1997), quando destinados a uso agrícola. Todos os solos localizados na área de influência da mina de Fonte Santa apresentam teores elevados de As (22 - 646 ppm; Tabela 2) e ultrapassam significativamente os valores máximos admitidos (20 ppm) e não deveriam por isso ser utilizados para actividades agrícolas. Estes solos apresentam-se, ainda, contaminados em B no ano de 2006 (18-250 ppm; Tabela 2), pois os teores neste elemento ultrapassam o limite definido na norma Canadense (2 ppm).

Tabela 3 - Valores mínimos e máximos obtidos para os índices de geoacumulação de Müller (1979) obtidos nos sedimentos de corrente da mina de Fonte Santa (2005-2007)

	Sedimentos de corrente					
	Pré-acidente		Pós-acidente			
	2005		2006		2007	
	Mín.	Max.	Mín.	Max.	Mín.	Max.
As	2	3	1.5	5.4	3.9	3.9
Cd	<1	<1	<1	<1	1.2	3.1
W	3.4	4	1	4	5.9	6.7

Mín. – mínimo; Max. – máximo.

Conclusões

1) A mina abandonada de Fonte Santa tem mineralizações tungstíferas, predominantemente de scheelite associada a sulfuretos e alguns óxidos, fosfatos e sulfatos de Fe.

2) Os sedimentos de corrente e os solos da área de influência da mina são enriquecidos em As, Mn, P, Pb, W e Zn do que o respectivo teor médio de fundo geoquímico. Os sedimentos de corrente são ainda enriquecidos em B, Cr e Zn.

3) Os sedimentos de corrente e os solos não registam uma variação regular nos três anos em estudo; pelo que o acidente ecológico ocorrido não promoveu significativas variações.

4) Os sedimentos de corrente tendem a apresentar teores mais elevados do que os solos.

5) A dispersão mecânica nos sedimentos de corrente é notada sobretudo para os elementos W, As e Cd pois são os que apresentam um grau de contaminação elevado. Os sedimentos de corrente estão altamente a muito altamente poluídos em W, moderados a altamente poluído em As e moderadamente poluídos em Cd.

6) As contaminações de solos em As e B, ultrapassa o limite máximo admitido pela norma Canadiana, para solos de utilização agrícola. Estes teores estão relacionados com a exploração de W, sulfuretos e outros minerais associados.

Agradecimentos

Agradece-se à EDM pela cedência dos relatórios sobre os estudos ambientais da mina da fonte Santa e à Câmara Municipal de Mogadouro pelo transporte para recolha das amostras. A investigação foi realizada no âmbito do Centro de Geociências, Universidade de Coimbra.

Referências

- Abreu, M.M., Santos, E.S., Magalhães, M.C.F., Nabais, C., 2009. Fases portadoras do arsénio em solos da área mineira de São Domingos e em solos não contaminados do Pomarão e Serra do Caldeirão. *Revista de Ciências Agrárias XXXI n.º.1*, 155-169.
- Antunes, I.M.H.R., Gomes, M.E.P., Neiva, A.M.R., Rodrigues, A., 2008. Contaminação de águas associadas a mineralizações de W de Fonte Santa, NE Portugal. *Actas do V Seminário de Recursos Geológicos, Ambiente e Ordenamento do Território (Vila Real)*, 73 – 78.
- Boulet, M.P., Larocque, A.C.L., 1998. A comparative mineralogical and geochemical study of sulphide mine tailings at two sites in New Mexico, USA. *Environ. Geol.* 33, 130– 142.
- EDM, 2006a. Relatório da intervenção de incidente na área mineira abandonada da Fonte Santa.
- EDM, 2006b. Recuperação da área mineira abandonada da Fonte Santa. Avaliação das incidências ambientais.
- Gomes, M.E.P., Antunes, I.M.H.R., Silva, P.B., Neiva, A.M.R., 2008. Geoquímica do granito, filões de quartzo com scheelite e águas da mina abandonada de Fonte Santa (NE de Portugal). Livro de Resumos do Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa. (Ilha do Sal, Cabo Verde)
- Guidelines for use at contaminated sites in Ontario, 1997. Ministry of Environment and Energy, p.90.
- Meteo, 2009. <https://www.meteo.pt/pt/publicacoes/tecnico-cientif/> consultado em 03/09/09
- Müller, G., 1979. Schwermetallen in den sedimenten des Rheins. *Veranderrugen seit, Umschau*, 79, 778-783.
- 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. *Journal of Geochemical Exploration* 96, 183-193.
- Petrunic, B.M., Al, T.A., 2005. Mineral-Water Interactions in Tungsten Mine Tailings: Mount Pleasant, New Brunswick. *Geoch. Cosmochimica Acta* 69 (10), 2469-2483.
- Petrunic, B.M., Al, T.A., Weaver, L., Hall, D. (2009) Identification and Characterization of Secondary Minerals Formed in Tungsten Mine Tailings Using Transmission Electron Microscopy: *Applied Geochemistry* 24, 2222-2233.
- Ribeiro, A., Rebelo, J.A., 1971. Estudo geológico preliminar do jazigo de scheelite de Fonte Santa (Lagoaça). Unpublished Report Serv. Fom. Mineiro, 11pp.
- Sá, A.A., Meireles, C., Coke, C., Gutiérrez Marco, J.C., 2005. Unidades Litoestratigráficas do Ordovícico da Região de Trás-os-Montes. *Comunicações Geológicas* 92, 31-74.
- Silva, P.B., 2000. Estudo petrográfico, mineralógico e geoquímico dos maciços graníticos de Bruçó e Fonte Santa (NE de Portugal). MSc thesis (Unpublished), Univ. Porto. 199 pp.
- Silva, P.B., Pereira, E., 2001. Evolução geoquímica dos maciços graníticos de Bruçó e Fonte Santa (Mogadouro- NE de Portugal). Resumos do VI Congresso Geoquímica Países Língua Portuguesa (Faro), 173-177.
- Snirh, 2009. http://snirh.pt/snirh.php?main_id=2&item=1&objlink=&objrede= consultado em 03/09/09