



VIII Congresso Ibérico  
de Geoquímica  
XVII Semana  
de Geoquímica

## **VESTÍGIOS DE ACTIVIDADE FUMAROLIANA LITIFICADOS NO NÍVEL COM SULFURETOS DO JAZIGO DA CERDEIRINHA, CAMINHA, NORTE DE PORTUGAL**

### ***FOOTPRINTS OF AN EXHALATIVE SMOKER ACTIVITY LITHIFIED AT THE SULFIDE HORIZON OF CERDEIRINHA ORE BODY, CAMINHA, NORTHERN PORTUGAL***

**Carlos Leal Gomes\*, Guadalupe María Teruel Verduzco, Patrícia Dias**

Universidade do Minho – EC – DCT, Gualtar, 4710-057 BRAGA, Portugal, \*[director.cigr@gmail.com](mailto:director.cigr@gmail.com)

#### **Resumo**

Na mina da Cerdeirinha ocorrem minérios de tungsténio, que embora relacionáveis com metassomatismo, na sua origem primordial, tiveram a actividade vulcanogénica Silúrica. Existem evidências texturais restíticas e assinaturas mineralógicas e geoquímicas que sugerem a importância de uma descarga metalífera, exalativa e primordial. No Talude Sul da Corta da Cerdeirinha estão litificados alguns dispositivos estruturais correlacionáveis com anatomias fumarolianas - tubos de sulfato/sulfureto equivalentes a "smokers pelo menos do ponto de vista funcional - numa transição litológica entre sulfureto maciço e "rocha verde" siliciosa. Aqui, predominam os sulfuretos de Fe, sulfatos de Ca, apatite, anfíbola e mineralizações polimetálicas de W, Fe, As, Bi > (Au), Te, Zn, Cu, Pb. A scheelite é ubíqua e por vezes num intervalo espacial curto, alterna entre paragénese formadas em condições oxidantes, com ilmenite, e outras formadas em condições redutoras, com sulfuretos intersticiais. Os critérios adoptados parecem conjugar-se no sentido da identificação de uma interface SEDEX com polaridade exalativa normal.

Palavras chave: fumarola, anidrite, scheelite, crosta criptocristalina, SEDEX.

#### **Abstract**

At Cerdeirinha mine, tungsten mineralization, although related to metassomatism, may be considered partially related to Silurian volcanic activity. There are restitic textures and mineralogical and geochemical signatures suggesting the importance of an initial metal discharge of exhalative type. At the southern slope of Cerdeirinha open pit, several smoker anatomies are lithified at the lithologic transition between massive sulphide and green silica rock. Iron sulphides are the main constituents plus anhydrite, amphibole and polymetallic mineralization of W, Fe, As, Bi > (Au), Te, Zn, Cu, Pb. Scheelite is ubiquitous, and sometimes, in a narrow space and time interval, its association oscillates between, oxidative assemblages with typomorphic ilmenite and, reductive assemblages with interstitial sulphides. The adopted criteria are consistent with the definition here of a SEDEX interface with normal exhalative polarity.

Keywords: smoker, anhydrite, scheelite, impermeable crust, SEDEX.

## Introdução

A mina da Cerdeirinha, no Concelho de Caminha (extremo NW de Portugal), é parte do Couto Mineiro de Valdarcas. O jazigo correspondente foi explorado para apuramento de minérios de tungstênio que ocorrem sob a forma de volframite e scheelite em ganga anfibólica, sulfuretada, turmalínica e carbonatada siliciosa ("skarn"). Situa-se num sector de charneira do Antiforme de Covas, mesgaestrutura formulada nas 2ª e 3ª fases Variscas de deformação, com eixo maior WNW-ESE, duplamente mergulhante (fig. 1).

Coelho (1993) atribui ao jazigo uma origem por metassomatismo de contacto, dependente da interacção de fluidos graníticos residuais com horizontes carbonatados, em níveis descontínuos, interestratificados nas sequências Silúricas. Dias e Leal Gomes (2007; 2010 a; 2010 b), revendo a tectonoestratigrafia e a natureza protolítica dos terrenos Silúricos envolventes do granito da Serra de Arga, atribuem às formações do Domo de Covas, uma natureza poligénica vulcanossedimentar a sedimentar-exalativa. Os surtos vulcanogénicos seriam polimodais.

Quanto às mineralizações, embora as remobilizações sobrepostas, metamórfico – metassomáticas, tenham tido uma forte influência na redistribuição espacial dos teores de W (Dias e Leal Gomes, 2010 a) e na reorganização das texturas (Dias e Leal Gomes, 2007) existem várias evidências de assinaturas vulcanogénicas que sugerem o contributo significativo de um stock metalífero singenético, introduzido na decurso da deposição basal. Por outro lado reconhecem-se algumas texturas restfíticas compatíveis com a afinidade vulcânica primitiva (Dias e Leal Gomes, 2007).

Com o intuito de identificar outras manifestações vulcanogénicas a exalativas dispersas e difusas, que não estivessem totalmente obliteradas pela evolução tectono-metamórfica subsequente - Varisca – concentrou-se a atenção em formações competentes e de cariz mais refractário que, por hipótese, melhor poderiam reter os dispositivos percursos singenéticos ou os metamórfico-deformacionais precoces, pelo menos do ponto de vista geométrico e eventualmente através de assinaturas mineralógicas e geoquímicas.

Já em Leal Gomes (1994) se havia reconhecido a importância destas formações, então definidas como formações de referência, pela sua capacidade para preservarem características protolíticas intactas, mesmo após a deformação mais penetrativa atribuída ao Varisco. As formações do Domo de Covas, especialmente as que estão expostas nos taludes da corta da Mina da Cerdeirinha, obedeciam a esses critérios pois aí se conjugavam possantes leitossamíticos com formações compactas calcossilicatas, anfibolitos e turmalinitos (fig. 1).

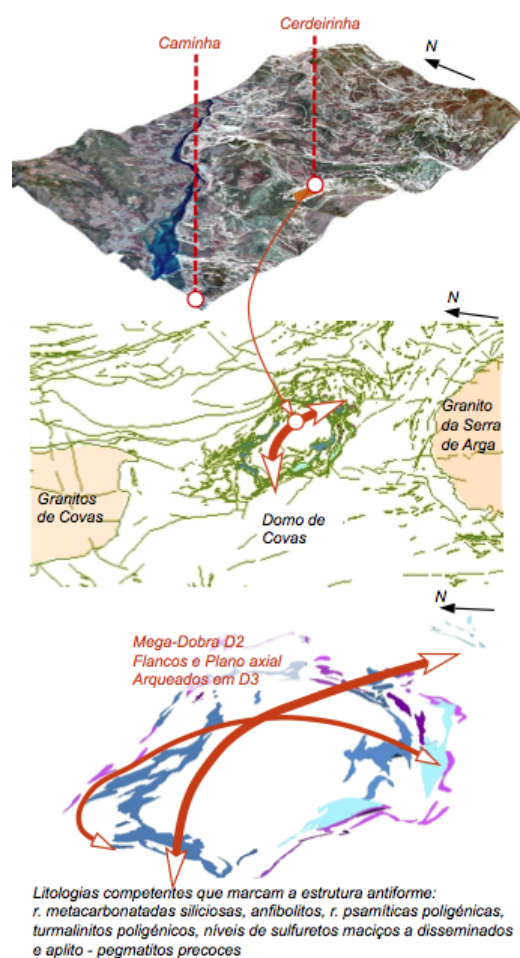


Fig. 1 – Localização estrutural da mina da Cerdeirinha no contexto da heterogeneidade deformacional envolvente do maciço granítico da Serra de Arga. Nota: representação esquemática 3 d não isométrica com escala gráfica, grosseiramente aproximada, deduzida da distancia cartográfica entre Cerdeirinha e Caminha - cerca de 12 Km.

Assim, procedeu-se a uma pesquisa sistemática de dispositivos estruturais que pudessem ter uma natureza exalativa ainda reconhecível, pelo menos por analogia geométrica.

Metodologicamente, a dedução da natureza primitiva teria que respeitar a coerência geoquímica e paragenética. A identidade dos dispositivos observados deveria assemelhar-se ou poder derivar-se quando comparada com dispositivos estruturais de génese confirmada - observados em campos hidrotermais actuais ou pouco afectados por uma evolução tectono - metamórfica subsequente.

Interessava, portanto, coligir e conjugar dados de análise estrutural, estudo paragenético e composição química de minerais indicadores de processo.

### Contraste litológico da Cerdeirinha – estrutura de uma interface SEDEX (?)

Uma das ocorrências detectadas em que a correlação com uma anatomia fumaroliana é mais imediata diz respeito à transição litológica sulfureto / “rocha verde” que se observa no Talude Sul da Corta da Cerdeirinha (fig. 2).

Amostras seleccionadas desta transição litoestratigráfica (considerando a sua diversidade litológica) foram sujeitas a análise estrutural e paragenética detalhada em microscopia óptica por luz transmitida (MOLT) e luz reflectida (MOLR).

Face à variabilidade encontrada a sistemática petrográfica permitiu uma redução a 5 litótipos estratiformes, texturalmente heterogéneos (fig. 2):

- 1 - quartzofilito com sulfuretos disseminados;
- 2 - filito verde com pirrotite + pirite + marcassite ± turmalina que transita lateralmente para rochas metacarbonatadas siliciosas (calcite com proto-texturas cavernosas preenchidas por idocrase e volastonite – proto-travertinos?);
- 3 - “rocha verde silicatada” – r. criptocristalina com associação de apatite + quartzo ± anfíbola com disseminação de sulfuretos de Fe – litologia com texturas colofórmicas correspondente a uma possível crosta impermeável primitiva ;
- 4 - nível de sulfuretos quase maciços coexistentes com sulfato de cálcio e portadores de mineralizações polimetálicas, incluindo W – corresponde-lhe uma sucessão de montículos com convexidade ascendente que podem ser considerados equivalentes a “mounds” de colapso de cones anidrícticos ou chaminés sulfatadas primitivas;
- 5 - unidade mais complexa do ponto de vista estrutural e paragnético, mas onde predominam sulfuretos de Fe, sulfatos de Ca, apatite, anfíbola e mineralizações polimetálicas de  $W, Fe, As, Bi > (Au), Te, Zn, Cu, Pb$  – nesta unidade estão litificados dispositivos geométricos cuja anatomia pode ser assimilada a tubos de sulfato/sulfureto; pelo menos do ponto de vista funcional são considerados equivalentes a “smokers” (fig. 3).

### Paragénesese e composição de minerais tipomórficos

Lâminas delgadas e superfícies polidas extraídas em coluna ao longo da sucessão presente na fig. 3 foram sujeitas a petrografia de minérios. Alguns óxidos, sulfuretos, tungstatos e fases satélites foram analisados em microsonda electrónica.

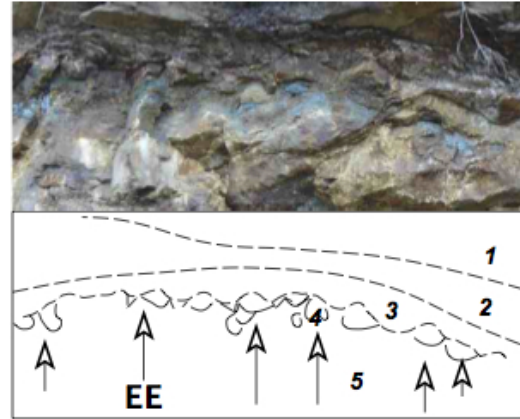


Fig. 2 – Transição apical da unidade com sulfuretos no talude S da Corta da Cerdeirinha. Lado menor da foto = 2.5 m. Petrografia dos litótipos sobrepostos de 1 a 5 referida no texto. EE – eixos de exalação = polaridade gravítica deduzida.

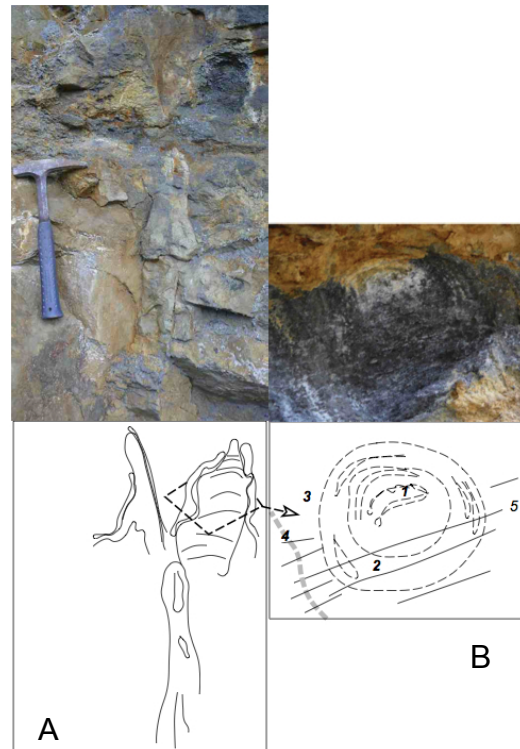


Fig. 3 – Estruturas similares a chaminés - anatomias litificadas na unidade 5 e cuja geometria foi preservada na evolução posterior. A – exposição vertical de colunas com paredes de sulfato fosfatizado mas com relíquias de anidrite, presença ocasional de barite e mais raramente svambergite; a porção nuclear é mais rica em sulfureto, sobretudo, pirrotite muito heterogénea; B – exposição paralela à estratificação correspondente a um corte ortogonal ao anterior. 1 – núcleo mais rico em pirrotite; 2 – bordo mais rico em sulfato fosfatizado; 3 – material filítico compacto litificado por sílica recristalizada com sulfuretos disseminados abundantes; 4 – vénulas com apatite e sulfuretos remobilizados que metassomatizam as estruturas anteriores; 5 – foliações sobrepostas e paralelizadas (prováveis  $S_1$  e  $S_2$  Variscas) com transposição de mica, clorite e pirite.



Em MOLR constata-se que nas massas mais compactas de sulfuretos de Fe são frequentes os intercrescimentos de pirrotite-marcassite com alguma isocubanite associada. Esta última foi identificada por difractometria de Rx em rocha total em associações com sulfato e pirite, em texturas similares às que se observam na imagem de electrões retrodifundidos da fig. 4.

Nos mesmos espaços porosos da pirrotite intercrescida com filossilicatos foi identificada anidrite (fig. 4).

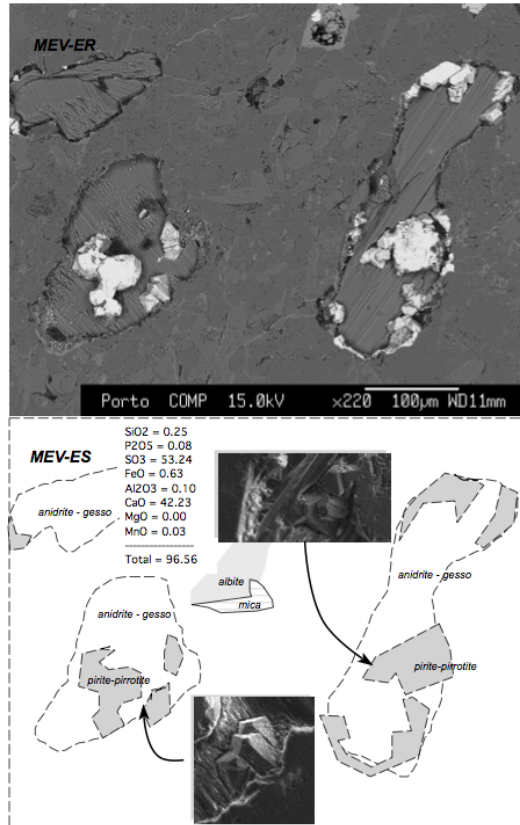


Fig. 4 – Proto - canáliculos preservados, preenchidos por pirite-pirrotite e por anidrite em transição para gesso – análises em microsonda electrónica sobre imagem de electrões retrodifundidos. Nota: em imagens de electrões secundários observam-se cristais poliédricos de isocubanite.

A scheelite é persistente ao longo de todas as unidades litoestratigráficas que compõem a transição. Por vezes num intervalo espacial curto a posição deste mineral alterna entre paragénese formadas em condições oxidantes com ilmenite (fig. 5) e outras formadas em condições redutoras com sulfuretos intersticiais (fig. 6).

No contexto de deposição da scheelite, podem observar-se ainda arsenopirites zonadas mostrando reequilíbrios sucessivos com fluidos cuja actividade se sobrepõe nos espaços porosos dos agregados de sulfuretos de Fe (fig. 7).

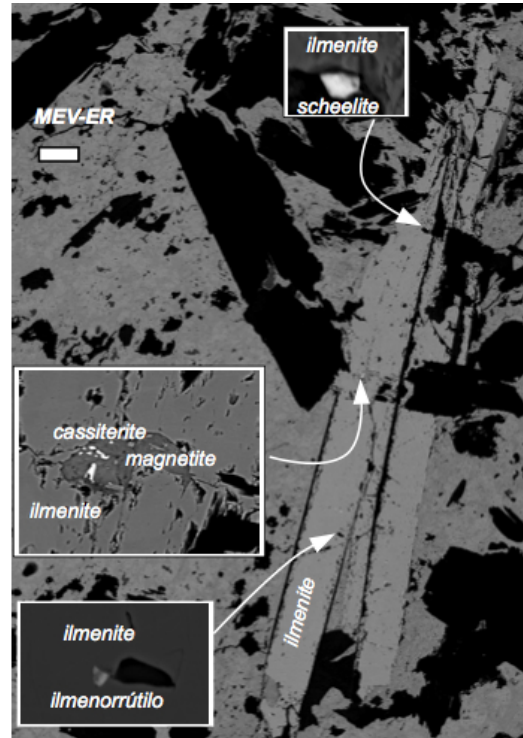


Fig. 5 - Scheelite formada em condições oxidantes - incluída em lamelas de ilmenite por sua vez com inclusões de magnetite, cassiterite e ilmenorútilo. Barra de escala = 1 mm.

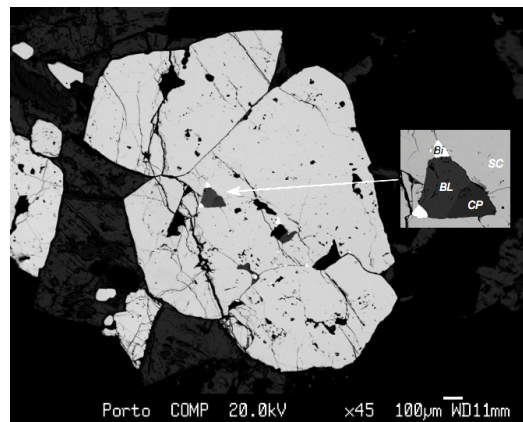


Fig. 6 - Aglomerado de scheelite formado em condições redutoras - Bi nativo, blenda ferrífera (BL) e calcopirite (CP) depositadas em junções triplas dos cristais de scheelite.

O Bi é ubíquo desde a inclusão ou exsolução em arsenopirite até à disseminação intersticial relativamente aos restantes sulfuretos. Telúrio venular nativo ou telureto de bismuto podem observar-se em associação com Bi nativo (fig.7).

As arsenopirites mais heterogéneas apresentam domínios com altos conteúdos de Au, normalmente, os mesmo domínios em que também se alojam o Bi e o Te (fig. 7). Embora muito raramente, em MOLR identificaram-se neste contexto, pequenas pontuações de Au nativo (< 5 µm).

Alguns volumes mais maciços de pirrotite apresentam texturas colofórmicas, observando-se a ocorrência generalizada de Bi nativo intersticial (fig. 8).

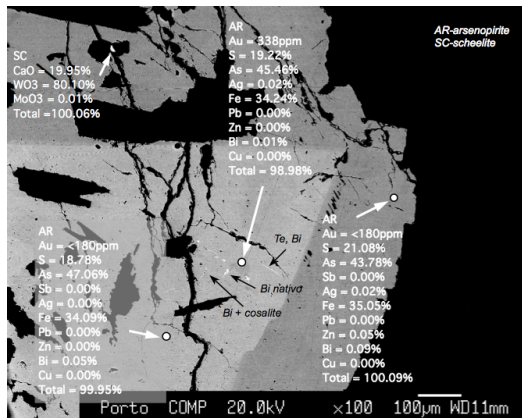


Fig. 7 – Resultados de análise pontual numa arsenopirite heterogénea e precoce com inclusões de scheelite posteriormente reequilibrada perante uma mineralização de Bi e Pb. Nota: Te, Bi é um corpo venular com distribuição heterogénea de telúrio e bismuto.

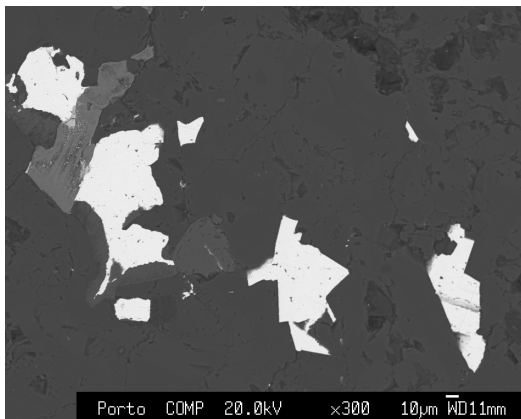


Fig. 8 – Bi nativo (fase clara intersticial) alojado numa trama de pirrotite, marcassite, isocubanite, blenda e filossilicato – Imagem de electrões retrodifundidos.

## Discussão e conclusões

A atribuição de uma origem exalativa primordial a um determinado dispositivo estrutural exumado num sistema orogénico é sempre discutível, especialmente, nos casos em que se verificam várias fases de deformação, metamorfismo e intrusão granítica, com metassomatismo associado, que origina transformações desde o estado primitivo ainda fumaroliano.

Na Cerdeirinha, embora esta sucessão de fenómenos também se tenha verificado a organização geométrica macro e meso-escalar exalativa parece estar preservada, pelo menos

parcialmente, e em três estádios discerníveis:

I. A nível paragenético e geoquímico, a alternância rápida, e por vezes concêntrica, de associações mineralógicas típicas de ambiente oxidante com associações de ambiente redutor e, perante umas e outras, a persistência da geração da scheelite, seria um cenário previsível em condições singenéticas de choque térmico e composicional, similares às que se encontram em campos hidrotermais actuais:

I.1- fluidos escoados de forma ascendente e descarregados na água do mar, dariam lugar ao crescimento de chaminés, começando pela precipitação de anidrite a partir da água fria em torno da pluma quente ascendente; rapidamente, a solução hidrotermal exalada transitaria das condições ácidas e redutoras, com  $H_2S \gg SO_4$ , a altas temperaturas, para as condições típicas da água do mar que se encontra a grande profundidade (pouco acima de 0°C, alcalina e oxidante com  $SO_4 \gg H_2S$ ); isto poderia suceder tanto na pluma ascendente de solução hidrotermal como no decurso da penetração da água fria exterior no espaço poroso dos cones e acumulações de sulfatos e sulfuretos previamente formados – inter-acções como estas parecem estar litificadas nas colunas com periferia de sulfato primordial e sulfureto interno (fig. 3 A); as “rochas verdes” criptocristalinas e recristalizadas do nível 3 na fig. 2, seriam o testemunho de um nível original crustiforme e impermeável;

I.2 - as chaminés elevar-se-iam e as paredes da base tornam-se mais espessas pela precipitação oscilatória de sulfuretos e sulfatos – seria esta a explicação das alternâncias sulfureto/sulfato como as que se observam na fig. 3 B;

I.3 - pirrotite predominante e menores quantidades de isocubanite, calcopirite e marmatite formaram-se a alta temperatura ( $\pm 300^\circ C$ ).

II. No decurso da deposição da pirrotite e sulfuretos de Fe, Cu e Zn e na sua sequência, desenvolveu-se uma outra associação mineralógica, com volume muito menor e constituída por sulfoarsenietos, Bi e (Au); esta terá sido depositada a partir de fluidos altamente reduzidos, tardios, que se propagariam por difusão através do espaço poroso dos cones e chaminés.

III. Durante a meteorização da pirrotite em fundo marinho formaram-se outros minerais, a partir de agregados de partículas coloidais estabelecidos ao longo de gradientes de pH entre águas ácidas retidas nos poros e a água do mar envolvente.

A transição apical dos sulfuretos da Cerdeirinha pode de facto representar uma proto-interface sedimentar – exalativa com proliferação de “smokers” e “mounds” a que não será estranha a mineralização de W e dos metais associados Fe – As – Cu – Zn e Bi – Te – Au, escalonados em surtos metalíferos dependentes, no início, de variações oscilatórias rápidas e, espacialmente curtas, de Eh e pH.

A sucessão de fenómenos metassomáticos posteriores remobiliza fortemente a organização química e estrutural inicial, mas no interior competente e refractário das bancadas compactas mais possantes ficaram preservadas litificações da interface exalativa original, actualmente, ainda observáveis em situação de polaridade gravítica normal.

Esta linha de pesquisa, a consolidar-se, mudaria significativamente os modelos conceptuais para a génese dos depósitos tungstíferos do couro mineiro de Valdarças.

Resta também organizar o contexto deposicional dos terrenos Silúricos da Serra de Arga (deduzido da tectonoestratigrafia) de forma a acomodar com coerência uma interface sedimentar – exalativa como a que parece estar preservada na corta da Cerdeirinha.

## Agradecimentos

Ao Laboratório Nacional de Energia e Geologia de S. Mamede de Infesta, Portugal, e à Eng.<sup>a</sup> Fernanda Guimarães e Prof. Machado Leite, pelo apoio e disponibilidade das sessões de microanálise química pontual de minerais em microsonda electrónica.

## Referências Bibliográficas

- Coelho, J. (1993) – *Os “skarns” cálcicos pós-magmáticos, mineralizados em scheelite, do distrito mineiro de Covas, V. N. Cerveira (N Portugal)*. Tese de doutoramento. Univ. Porto, 328p.
- Dias, P.; Leal Gomes, C. (2007) – *Estudo da natureza protolítica das formações de Serro – Serra de Arga, Minho, Portugal – Contributo para o conhecimento da poligénese vulcanossedimentar dos terrenos Silúricos*. Actas do VI Congresso Ibérico de Geoquímica e XV Semana de Geoquímica, Vila Real.
- Dias, P.; Leal Gomes, C. (2010 a) - *Reposicionamentos petrogenéticos do W e Mo desde o Silúrico até à remobilização tardi-Varisca - Serra de Arga (Minho)*. e-Terra ISSN 1645-0388 Volume 16 – no 6, Revista Electrónica de Ciências da Terra.
- Dias, P.; Leal Gomes, C. (2010 b) - *Anfibolitos e rochas relacionadas do Monteiro e dos Verdes – hipótese de correlação riftogénica para alguns terrenos Silúricos da região da Serra de Arga (Minho)*. e-Terra ISSN 1645-0388 Volume 16 – no 7,

- Revista Electrónica de Ciências da Terra, VIII Congresso Nacional de Geologia.
- Leal Gomes, C. (1994) - *Estudo estrutural e paragenético de um sistema pegmatóide granítico. - O campo aplito-pegmatítico de Arga - Minho (Portugal)*. Tese de Doutoramento; Universidade do Minho - Braga ; 695.