

Visita ao Campo Mineiro de Jales

Field Trip to Jales Mine Area

Iuliu Bobos^{1,5}, Paula Freire Ávila^{2,4}, Eduardo Ferreira da Silva^{3,4}, Nuno Durães⁵

¹ Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Rua do Campo Alegre, 687, 4169-007 Porto, Portugal (ibobos@fc.up.pt)

² LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia, 4465-956 S. Mamede de Infesta, Portugal (paula.avila.ineti.pt)

³ Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, Campus de Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal (eafsilva@ua.pt)

⁴ GeoBioTec - Centro de Investigação de GeoBiotecnologias, Tecnologia e Engenharia, Universidade de Aveiro, Campus de Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal

⁵ Centro de Geologia da Universidade do Porto, Rua do Campo Alegre, 687, 4169-007 Porto, Portugal (nunoduraes@fc.up.pt)

Introdução

A poluição de solos e de águas caracteriza-se, na maioria dos casos, por apresentar uma grande diversidade de poluentes, com características químicas próprias. As causas da poluição dos solos e águas têm origem, essencialmente, na deposição não controlada de materiais contaminados e efluentes não tratados, provenientes de actividades industriais, mineiras, agrícolas e urbanas.

No caso de explorações mineiras, a extracção, o processamento e a beneficiação do minério têm impacto no ambiente. Dois dos principais constrangimentos ambientais estão relacionados com o enorme volume de escombrelas gerado e com as drenagens de efluentes mineiros. Um pouco por todo o mundo, em minas abandonadas ou mesmo no caso de algumas minas activas, a deposição de rejeitos mineiros são depositadas sem qualquer protecção e expostas aos agentes atmosféricos que promovem a alteração dos minerais primários e dispersão dos elementos contaminantes. Do mesmo modo, a drenagem mineira, caracterizada por forte acidez e elevados teores em metais e metalóides, são lançadas sem tratamento em cursos de água, contaminando o ambiente até grandes distâncias.

A implementação das tecnologias ambientais para o tratamento e a recuperação ambiental destas áreas mineiras contaminadas conheceu um grande desenvolvimento na maioria dos países da Europa com uma forte tradição mineira. Em Portugal, a escombrela da mina de Jales constituiu o primeiro projecto de recuperação ambiental de áreas minerais no país, levada a cabo pela EDM (ex-EXMIN).

O objectivo desta visita consiste na observação e discussão dos aspectos relacionados com a implementação de tecnologias ambientais, mais especificamente no que diz respeito à recuperação ambiental da escombrela e o tratamento dos efluentes mineiros da mina de Jales.

Como chegar?

As minas de Jales localizam-se no lugar de Campo de Jales, a cerca de 13Km da cidade de Vila Pouca de Aguiar e pertencem ao distrito de Vila Real, no Norte de Portugal.

Partindo da cidade do Porto, com destino à mina de Jales, o tempo de viagem será de aproximadamente 1h30min, seguindo o seguinte percurso. Deslocar-se pela auto-estrada A3 em direcção a Braga, até à saída de Guimarães onde se intersecta a auto-estrada A7, a qual será percorrida até à saída com destino a Chaves. Sair na saída para Vila Real, convergir com a A24 até à saída para Vila Pouca de Aguiar. Seguidamente percorre-se a estrada N206, seguindo a direcção da estrada N212 e virando à esquerda para a CM1172, até se encontrar o lugar de Campo de Jales, onde se localiza a mina.

Enquadramento Geológico

A área mineralizada conhecida por Campo constitui, juntamente com a Gralheira e Três Minas o distrito mineiro de Jales. A mineralização filoniana aurífera do distrito mineiro de Jales encontra-se localizada na Zona Centro Ibérica. Esta área mineira é caracterizada pela ocorrência de rochas metassedimentares, que predominam na parte NNE de Campo de Jales, enquanto na região a SSW ocorrem granitos de duas micas, sin-tectónicos relativamente com a fase D3 da orogenia Hercínica, e essencialmente peraluminosos (Neiva e Neiva, 1990) (Figura 1).

Na região de Jales as principais estruturas tectónicas apresentam orientações compreendidas entre NNE-SSW e NE-SW, são subverticais e geraram-se numa fase tardi-Hercínica. Os veios mineralizados de Campo de Jales cortam um granito porfiróide de duas micas, de grão médio a grosseiro (Granito de Jales) e têm uma orientação concordante com as principais estruturas tectónicas existentes. Para norte, próximo do contacto com os micaxistos ante-Ordovícicos, pertencentes ao Complexo Xisto Grauváquico (CXG), estes veios adquirem uma orientação paralela à xistosidade, de direcção ESSE-WNW (Neiva e Neiva, 1990). Nesta região ocorrem ainda veios estéreis que cortam os veios mineralizados e, portanto, são de instalação posterior (Neiva e Neiva, 1990; Neiva, 1994).

A génese das mineralizações de ouro nesta região são, segundo Neiva (1992), atribuídas a processos de fraccionação de fluidos magmáticos, enquanto Noronha et al. (1995, 2000) atribuem a génese das mineralizações em ouro a fluidos metamórficos e meteóricos.

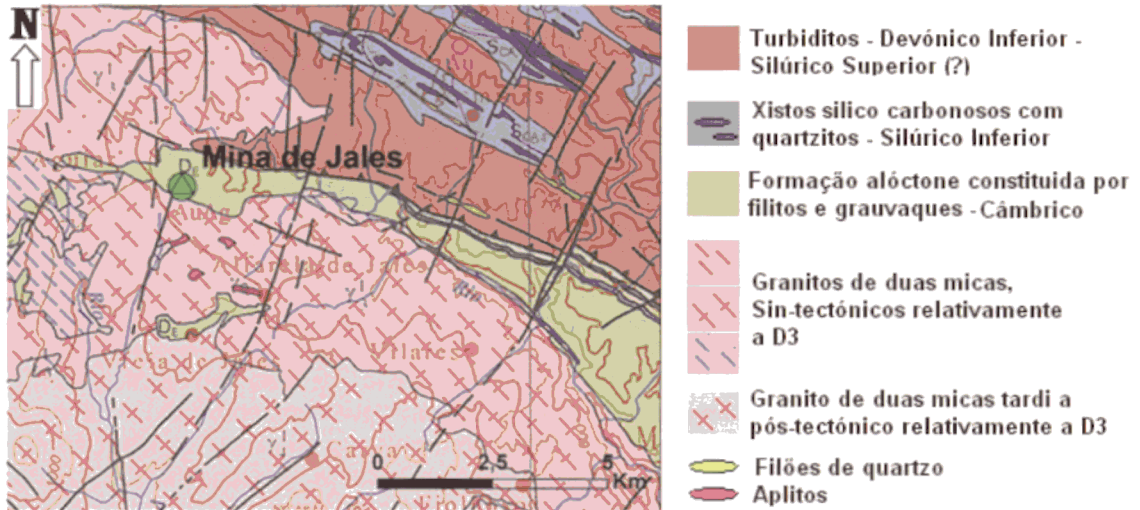


Fig. 1 – A carta geológica da área envolvente à mina de Jales (adaptado de Pereira et al., 2000).

A mineralização está essencialmente contida num filão de quartzoso, com concentrações em S, As, Zn, Cu, Pb, Sb, Ag, Au presentes em sulfuretos e sulfossais (Neiva e Neiva, 1990). Os principais sulfuretos são a arsenopirite, pirite, galena, blenda e calcopirite. O ouro nativo e o electrum ocorrem principalmente sob a forma de cristais anédricos na arsenopirite. Por vezes, também surgem no quartzo e, mais raramente, na pirite, blenda, galena e pirrotite (Neiva e Neiva, 1990).

Histórico da exploração mineira

A actividade mineira no distrito mineiro de Jales é conhecida desde a ocupação Romana, a qual é bem visível em Três Minas. A viabilidade económica dos veios quartzosos mineralizados da área de Jales e Galheira foram estudados entre os anos de 1930 e 1932. Em 1933 inicia-se a exploração mineira do filão de Campo e Desvio.

O estudo das mineralizações de Jales (Neiva e Neiva, 1990) permitiu estimar o cálculo das reservas, para os veios de Campo e Desvio, em 1.400.000 toneladas de minério com um teor médio em ouro de 13 ppm, ao que corresponde um equivalente de 18 toneladas de ouro. A avaliação do prolongamento SSW do filão Campo aumentou as reservas em mais 20 toneladas de ouro, às quais acresciam mais 20 toneladas das zonas não exploradas dos veios de Capelas de Campo.

O encerramento desta mina, por motivos ordem técnica e económica, ocorreu em 1992, tendo sido produzidos cerca de 25 toneladas de Au e 100 toneladas de Ag.

Problemas ambientais

Os problemas ambientais nesta área mineira estavam principalmente relacionados com a dispersão dos materiais da escombreira e com a própria instabilidade da mesma. Após o fecho da mina e abandono pela empresa concessionária, começaram a surgir problemas de ravinamentos (Figura 2) causados pela circulação de águas à superfície, devido à falta de manutenção dos sistemas de drenagem (Santos Oliveira et al., 1998). Estes processos implicavam a invasão de materiais enriquecidos em elementos contaminantes para as áreas circundantes, principalmente para terrenos agrícolas e de pastagem e para o rio Tinhela. De referir, que nesta escombreira se encontravam depositados cerca de 5 milhões de toneladas de materiais, dos quais, em termos granulométricos, aproximadamente 90% tinham granulometria inferior a $0,177\mu\text{m}$, como resultados da moagem fina para libertação do ouro da malha dos sulfuretos (Santos Oliveira e Ávila, 1995, Santos Oliveira et al., 1998). Esta grande quantidade de materiais finos presentes contribuía para uma fácil dispersão dos materiais pela água, mas também pelo vento, cuja acção é particularmente intensa nesta zona de planalto.

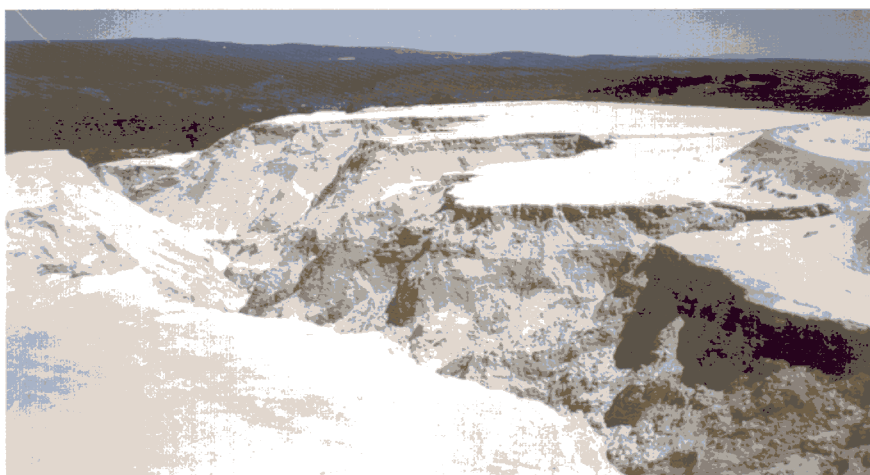


Fig. 2 – Aspecto dos ravinamentos na escombreira de Jales no anos de 2000.

O principal elemento contaminante é o As, cujos teores em sedimentos de corrente e em aluviões chegam a ser cerca de 40 vezes superiores aos valores de background da região. Outros contaminantes que apresentam teores também elevados são o Cd, Pb, Zn e Cu estendendo-se os efeitos desta contaminação até distâncias consideráveis da escombreira (Santos Oliveira e Ávila, 1995). A escombreira apresentava teores médios (em mg.Kg^{-1}) destes elementos de: 2960 As; 29 Cd, 810 Pb; 1150 Zn; e 67 Cu (Santos Oliveira et al., 1998).

Processos de drenagens ácidas de mina também ocorriam a partir da galeria da mina (Figura 3) contaminando a ribeira da Peliteira e o rio Tinhela.

Segundo a empresa responsável pela recuperação ambiental, ex-EXMIN (actualmente detida pela EDM), com base nos estudos desenvolvidos e apresentados num projecto para reabilitação da escombreira (COBA, 2000), os problemas detectados consistiam em:

- Instabilidade geotécnica e erosiva;
- Contaminação de solos, águas e aluviões;
- Poluição eólica;
- Impacte visual;
- Desordem urbanística e paisagística.

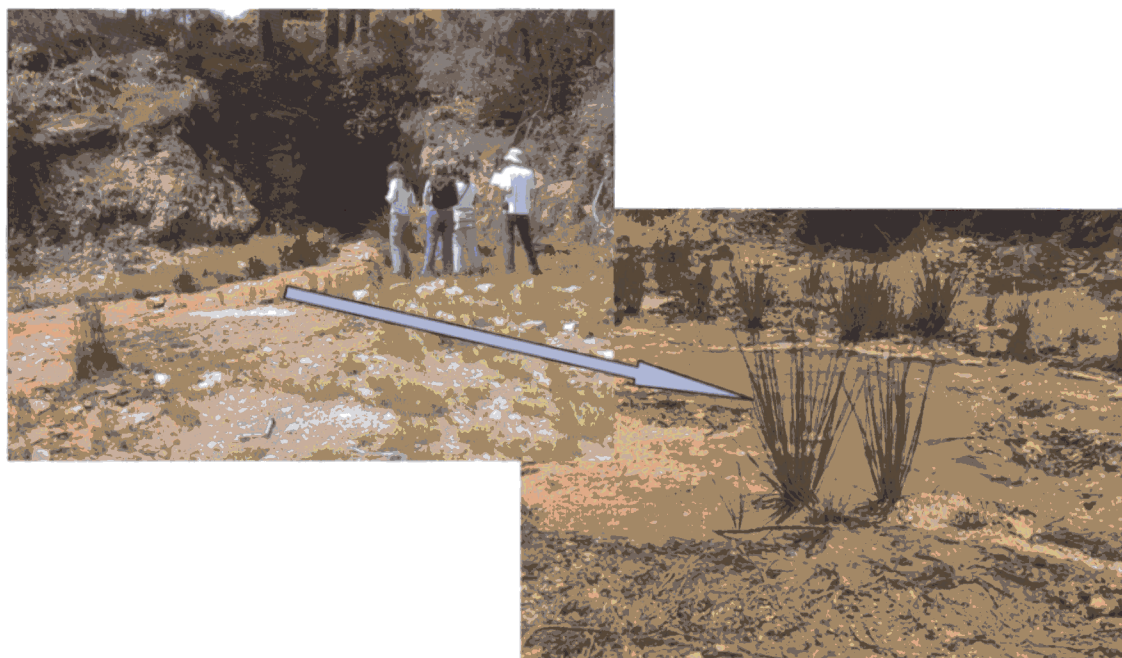


Fig. 3 – Drenagem ácida da galeria da mina de Jales.

Recuperação ambiental da área mineira de Jales – Tecnologias ambientais

O governo Português através de programas nacionais e da União Europeia financiou dois projectos de recuperação ambiental na área mineira de Jales. Um primeiro projecto destinado à recuperação ambiental da escombreira e um outro projecto destinado à construção de uma unidade de tratamento de efluentes resultantes da circulação de águas subterrâneas da mina de Jales que apresentam um pH ácido e concentrações elevadas em metais tóxicos e metalóides.

• Projecto e obra de recuperação ambiental da escombreira da Área Mineira de Jales

A obra de recuperação ambiental e paisagística da escombreira teve um período de intervenção desde o ano 2002 até 2003 e custou 5.024.184 € (EDM) e consistiu no isolamento e confinamento da escombreira. Este projecto teve como objectivo garantir a estabilidade dos taludes e controlar o escoamento superficial para impedir a erosão ravinosa e a dispersão dos elementos tóxicos pelas águas pluviais; controlar ressurgências de lixiviados entre a escombreira e o substrato rochoso; e controlar a dispersão de poluentes pelo vento (COBA, 2000).

Na primeira fase de remodelação da escombreira foi efectuado o preenchimento de fracturas e ravinamentos, existentes na própria escombreira e resultantes dos processos de erosão hídrica e eólica, com material proveniente da própria escombreira. Seguiram-se operações de compactação das novas plataformas criadas. A intervenção geotécnica consistiu na reestruturação de declive dos taludes ($<40^\circ$), separados entre si por patamares (Figura 4), e na construção de sistemas de drenagem superficiais, sub-superficiais e subterrâneos.

Na segunda fase de remodelação realizou-se a impermeabilização superficial da escombreira para impedir a dispersão dos materiais e a infiltração de água, seguindo as recomendações da União Europeia para deposição de resíduos em aterros (Directiva 1999/31/CE). Foi implementada uma barreira dupla de impermeabilização, com instalação das seguintes camadas (COBA, 2000) (Figura 5): geotêxtil; geomembrana impermeável constituída por polietileno de alta densidade (PEAD) e uma espessura de 2mm; camada impermeável constituída por um geocompósito bentonítico (GCL), protegido em ambas as faces por geotêxtil em PEAD e, por sua vez, recoberto por um geotêxtil não tecido em polipropileno; camada de cobertura constituída por um geocomposto drenante; e um geotêxtil de protecção à camada drenante.

A cobertura com solo vegetal e revegetação da própria escombreira confinada promoveu a integração paisagística da toda área recuperada.

Uma das propostas de revegetação foi avançada por Bleeker et al. (2002) que sugeriu a utilização de agentes sintéticos para imobilizar o As e os metais tóxicos e utilização de plantas tolerantes (*Agrostis castellana* e *Holcus lanatus*).



Fig. 4 – Estabilização geotécnica dos taludes da escombreira de Jales.

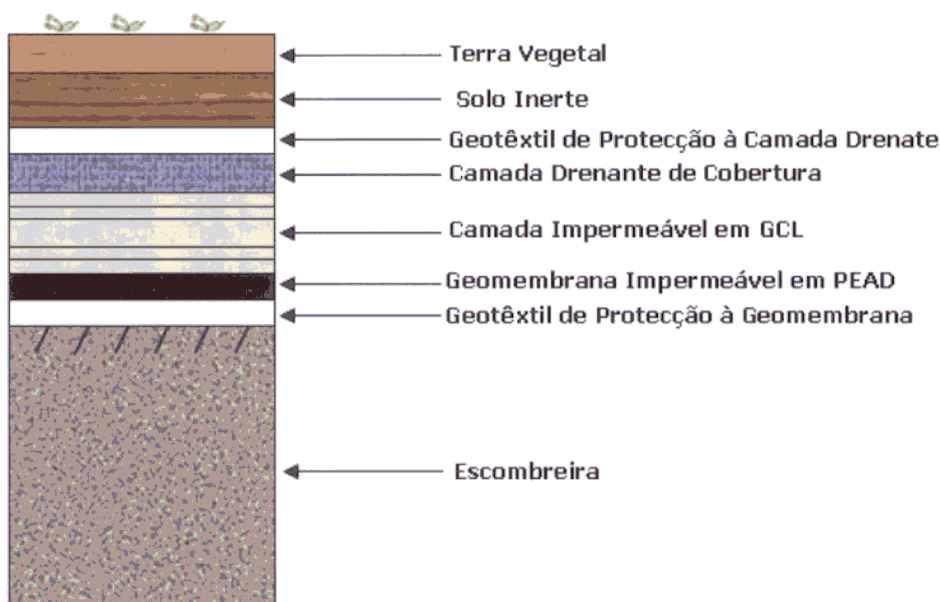


Fig. 5 – Esquema do modelo de cobertura da escombreira de Jales.

• **Tratamento de efluentes: Tratamentos químicos e construção das zonas pantanosas (wetlands)**

A obra de construção da unidade de tratamento de efluentes teve um período de intervenção iniciada no ano de 2005 e terminou em 2006, com um custo final de 436.752 € (EDM).

Numa primeira fase foi construída uma bacia de recepção à saída da boca da galeria de mina e um canal de escoamento que permite o transporte das águas ácidas através de um sistema de neutralização, de decantação e arejamento dos efluentes ácidos. Os tratamentos químicos utilizam um conjunto de reacções de neutralização do tipo ácido – base. Por isso, para

neutralizar a acidez foram colocados blocos de calcário dentro do primeiro colector das águas ácidas e ao longo do canal de escoamento (Figura 6) que conduz a água até à bacia primária de neutralização e arejamento.

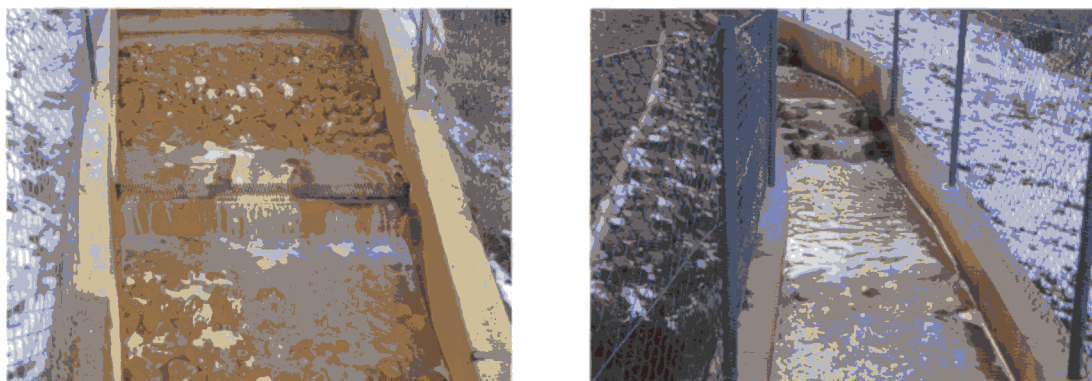
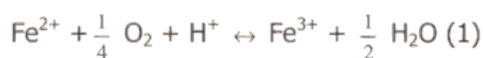


Fig. 6 – Canal de escoamento da água ácida da mina com blocos de calcário ao longo do leito.

O tratamento da água drenada da mina assenta numa combinação de três processos: a oxidação química do Fe^{2+} (Equação 1), a neutralização da água ácida pelo calcário (Equação 2) e a precipitação de óxidos de Fe com conseqüente adsorção de contaminantes (Equação 3).



A última bacia destina-se à fitoremediação (Figura 7) que continua a ser considerada uma tecnologia promissora para a limpeza dos ambientes poluídos. Até agora tem sido usada principalmente para remover metais pesados tóxicos dos solos contaminados, mas tem havido um crescente interesse em ampliar as suas aplicações para remover/degradar os poluentes. As macrófitas utilizadas para a remediação são *Typhas e Juncus*.



Fig. 7 – *Wetland* colector das águas de mina neutralizadas com plantas semi-aquáticas destinada à fitoremediação.

Considerações finais

O processo de recuperação ambiental das Minas de Jales constitui o primeiro e um dos maiores projectos de reabilitação de áreas mineiras abandonadas de Portugal, com um custo total de 5.460.936 €.

O confinamento da escombreira permitiu travar os processos de instabilidade geotécnica dos materiais da escombreira, assim como, o transporte e consequente dispersão destes materiais (muito finos) pela água e pelo vento. Contudo, embora todas as estruturas físicas estejam construídas, é fundamental a implementação de programas que visem a monitorização e a conservação de todas estas estruturas.

No que diz respeito ao tratamento da drenagem ácida, o processo implementado consiste na redução da acidez das águas e na precipitação de óxidos de Fe com capacidade de adsorção para os metais e metalóides. No entanto, a geoquímica destes processos não é simples na maioria dos casos. Cada elemento apresenta mobilidades próprias em condições de Eh e pH específicas, assim como na presença de outros compostos com capacidade de os sorverem. De facto, ao se promover a imobilização de alguns elementos poderemos estar a aumentar a capacidade de mobilização de outros, pelo que, também nestes casos, é fundamental monitorizar. Mesmo a capacidade de adsorção dos materiais é limitada. Foi possível observar que na superfície dos blocos de calcário precipitam os óxidos de Fe (*coatings*), o que se, por um lado, é benéfico pois podem reter alguns dos contaminantes presentes na água, por outro lado, poderão reduzir a capacidade de neutralização do calcário, visto que formam uma espécie de revestimento protector.

A construção de zonas pantanosas (*wetlands*), com plantas capazes de absorverem os contaminantes tem sido utilizada um pouco por todo o mundo com alguns resultados positivos. Também, nestes casos, estas plantas têm uma capacidade de fitorremediação limitada e são, muitas vezes, selectivas nos processos de absorção. Por vezes, ocorre co-precipitação desses contaminantes na superfície das raízes através da formação de óxidos de Fe.

Referências

- Bleeker, P.M., Assunção, A.G.L., Teiga, P.M., Koe, T.de, Verkleij, J.A.C., 2002. Revegetation of the acidic, As contaminated Jales mine spoil tips using a combination of spoil amendments and tolerant grasses. *The Science of the Total Environment*, 300, 1-13.
- COBA, 2000. Projecto de engenharia para a reabilitação da escombreira da mina de Jales. Relatório Executivo. Instituto Geológico e Mineiro. 40pp.
- Directiva 1999/31/CE de 26 de Abril de 1999, do Conselho da União Europeia. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*, L182/1-L182/19.
- Neiva, J.M.C., Neiva, A.M.R., 1990. The gold area of Jales (northern Portugal). *Terra Nova*, 2, 243-254.
- Neiva, A.M.R., 1992. Geochemistry and evolution of Jales granitic system, northern Portugal. *Chemie der Erde*, 52, 225-241.
- Neiva, A.M.R., 1994. Gold-quartz veins at Gralheira, northern Portugal: Mineralogical and geochemical characteristics. *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Section B*, 103, 188-196.
- Noronha F., Dória, A., Nogueira, P., Boiron, M.C., Cathelineau, M., 1995. A comparative study of the fluid evolution in late-Hercynian W(Sn-Cu) and Au(As) quartz veins in northern Portugal. *Metallogenic implications. Memórias do Museu do Laboratório Mineralógico e Geológico da Universidade do Porto*, 4, 587-592.
- Noronha, F., Cathelineau, M., Boiron, M.-C., Banks, D.A., Dória, A., Ribeiro, M.A., Nogueira, P., Guedes, A., 2000. A three stage fluid flow model for Variscan gold metallogenesis in northern Portugal. *Journal of Geochemical Exploration*, 71, 209-224.
- Pereira, E., Ribeiro, A., Marques, F., Munhá, J., Castro, P., Meireles, C., Ribeiro, M.A., Pereira, D., Noronha, F., Ferreira, N., Sousa, B., Ribeiro, M.L., Rebelo, J., Ferreira da Silva, A., Coke, C., Baptista, J., Lourenço, J., Matos, J.V., Gomes, M.E., Almeida, A., Martins, H., 2000. Carta Geológica de Portugal na escala 1:200000, Folha 2. Instituto Geológico e Mineiro.
- Santos Oliveira, J.M., Ávila, P., 1995. Avaliação do impacto químico ambiental provocado por uma exploração mineira. Um caso de estudo na Mina de Jales. *Estudos, Notas e Trabalhos, IGM, Tomo 37*, 25-50.

Santos Oliveira, J.M., Pedrosa, M.Y., Canto Machado, M.J., Rocha Silva, J., 1998. Impacte ambiental provocado pela actividade mineira. Caracterização da situação junto da Mina de Jales, avaliação dos riscos e medidas de reabilitação. Actas do V Congresso Nacional de Geologia, Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro, E74-E77.

http://www.edm.pt/html/proj_jales.htm

http://www.edm.pt/html/proj_jalesefluentes.htm