

Evolução do fluido mineralizante no distrito aurífero de Jales

D. Rosa

Dept. Geology & Geol. Engineering, Colorado School of Mines, Golden, CO 80401, EUA
Instituto Geológico e Mineiro, Rua Frei Amador Arrais, 39, 7802-491 Beja, Portugal
diogo.rosa@igm.pt

ABSTRACT

Keywords: Variscan age; Au; precipitation; complexes; chlorite.

The Jales Au district encompasses three areas with epigenetic mineralization of Variscan age. Mineralization is hosted in syn- to late-tectonic Variscan granites and in greenschist facies metasedimentary rocks, ranging in age from Cambrian to Lower Devonian. Sulfide paragenesis proceeds from early Fe-As sulfides to late base-metal sulfides. The deposits proximal to the intrusion (Campo and Gralheira) are relatively sulfide-rich and contain paragenetically late electrum associated with significant amounts of base-metal sulfides, whereas the deposit distal to the intrusion (Três Minas) is sulfide-poor and contains high-fineness Au that is paragenetically early. Petrographic studies, coupled with arsenopyrite geothermometry and chlorite solid solution modelling indicate that fluid evolution was different at Três Minas than in the two other areas, explaining the distinct mineral assemblages and metal associations. At Três Minas, Au was precipitated early from bisulfide complexes due to oxidation. During the early stage at high temperatures, Ag and base metals were transported as chloride complexes and therefore were not affected by oxidation. At Campo and Gralheira, early oxidation was not as extensive as at Três Minas, and Au precipitated later due to decrease in aH₂S and cooling. During the lower temperature late stage, Ag was transported as a bisulfide complex, so that decrease in aH₂S and cooling resulted in the precipitation of electrum, rather than high-fineness Au. Additionally, cooling destabilized chloride complexes carrying base metals, explaining deposition of significant amounts of base-metal sulfides at Campo and Gralheira.

Introdução

A mineralização aurífera de Jales pertence a uma categoria de depósitos de interpretação ambígua. Como resultado disso, o modelo genético tem sido controverso. Isto pode ser em parte o resultado do facto de diferentes autores terem estudado diferentes partes do distrito. Enquanto Noronha *et al.* (1993) e Noronha *et al.* (1995) relacionam a mineralização com fluidos metamórficos e meteóricos, Neiva (1992) invocou fluidos magmáticos. Algumas das características dos depósitos de Jales, incluindo enquadramento tectónico, controlo estrutural, composição dos fluidos, associação elementar e paragéneses mineral, são de facto compatíveis com os chamados depósitos mesotermiais ou orogénicos, relacionados com fluidos metamórficos ou meteóricos (Nesbitt *et al.* 1986; Groves *et al.* 1998). No entanto, as características deste tipo de depósitos frequentemente sobrepedem-se às dos “intrusion related deposits”, descritos mais recentemente (Thompson *et al.* 1999). Esta sobreposição contribui para uma classificação equívoca destes depósitos, como é o caso em Jales, e resulta da ausência de critérios exactos que permitam distinguir os dois tipos de mineralização. Os resultados deste estudo pretendem contribuir com alguns critérios para classificar a mineralização de Jales, tal como reportar aspectos da evolução do fluido mineralizante e possíveis mecanismos de precipitação dos metais, com dados obtidos a partir da paragéneses, termometria da arsenopirite e modelação da solução sólida da clorite. Os resultados obtidos mostram que a evolução do fluido mineralizante foi distinta em vários depósitos do distrito, ajudando a explicar os diferentes tipos de mineralização encontrados.

Enquadramento geológico

O distrito mineiro aurífero de Jales fica situado na Zona Centro Ibérica, a aproximadamente 100 km a ENE da cidade do Porto. Este distrito inclui, de sul para norte, as áreas de Campo, Gralheira e de Três Minas. A mineralização está encaixada em granitos Variscos sin- a tardi-tectónicos relativamente a D3 e em rochas metasedimentares da fácies de xistos verdes, de idade Câmbrica a Devónica (Fig. 1, compilada a partir de cartografia apresentada por Neiva & Gomes 1991, Noronha *et al.* 1998 e relatórios de companhias mineiras).

Em todas as áreas, a mineralização está relacionada com zonas de cisalhamento ou fracturas de tensão tardi-D3.

Variscos. A datação Ar/Ar da muscovite da mineralização de Três Minas forneceu uma idade de 302.12±0.35 Ma (Rosa, 2001), semelhante às idades previamente publicadas para a mineralização de Campo e para a temperatura de fecho da muscovite magmática do granito sin- a tardi-tectónico Varisco (Neiva *et al.*, 1995). Isto indica que a mineralização é síncrona com o arrefecimento do granito e portanto possivelmente relacionada com fluidos de origem magmática, o que é apoiado por dados isotópicos (Rosa, 2001).

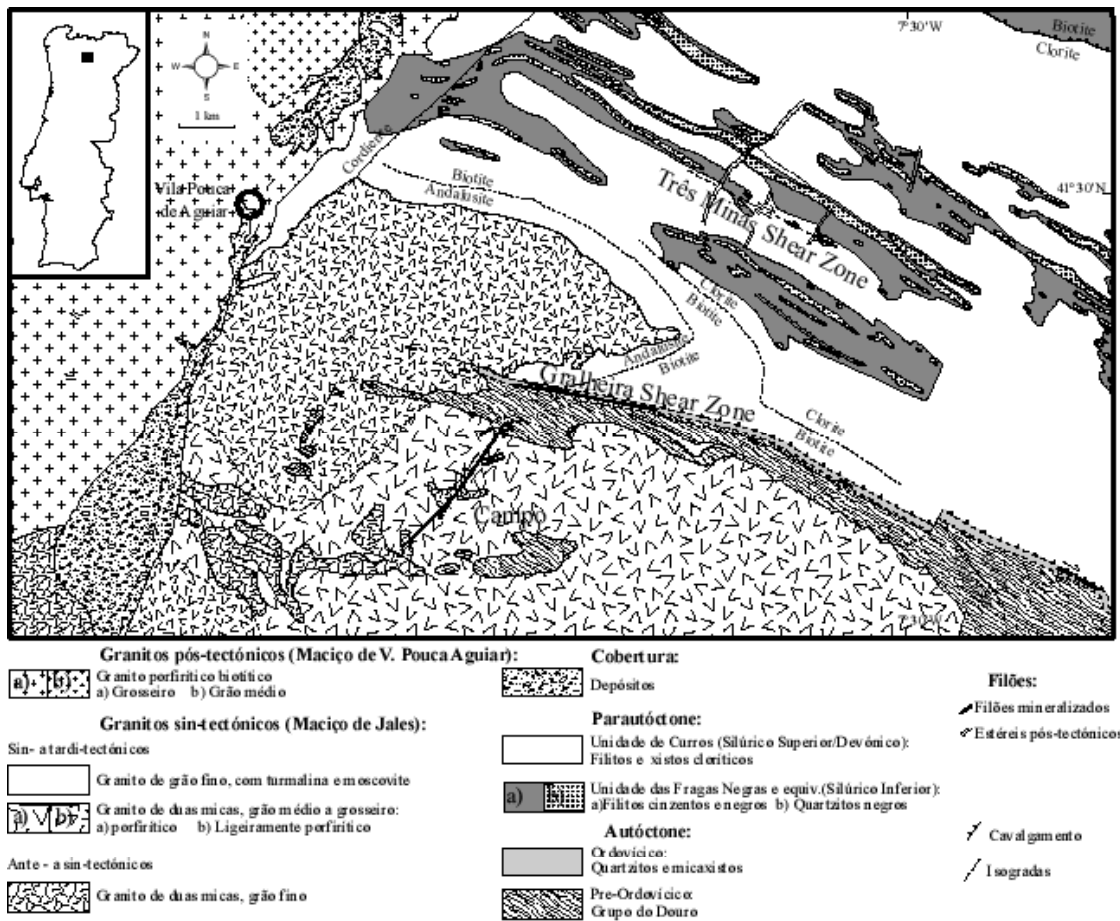


Figura 1 - Esquema simplificado com a geologia do distrito aurífero de Jales, mostrando as três áreas de estudo (compilado por Rosa, 2001).

Paragénese

A mineralização apresenta dois aspectos distintos: (1) mineralização disseminada pobre em sulfuretos, encaixada em quartzitos descarbonizados, representada pela área de Três Minas e (2) veios ricos em sulfuretos encaixados em granitos e em micaxistos siliciosos, representados pelas áreas de Campo e da Gralheira. Enquanto o primeiro tipo de mineralização, distal relativamente ao maciço granítico, não contém quantidades significativas de metais base, o segundo tipo de mineralização, próximal relativamente ao maciço granítico, é relativamente rico nestes elementos (Fig. 2). A paragénese sulfuretada é caracterizada por sulfuretos de Fe-As precoces seguidos por sulfuretos de metais base tardios (Fig. 3). O ouro ocorre como ouro nativo precoce no primeiro tipo de mineralização e como electrum tardio, acompanhado por quantidades significativas de sulfuretos de metais base, no segundo tipo de mineralização. Os opacos são principalmente arsenopirite e pirite, com quantidades acessórias de pirrotite, blenda, galena e calcopirite e raro bismuto e loëllingite. O principal mineral da ganga é quartzo, localmente com quantidades acessórias de adularia, turmalina e rara apatite.

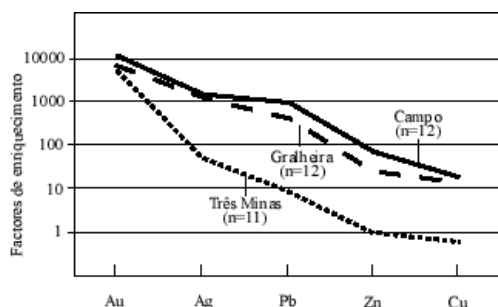


Figura 2 - Teores médios normalizados por valores da crosta continental (Geochemical Earth Reference Model database - EarthRef.org).

No Campo e Gralheira, a alteração hidrotermal é volumetricamente restrita e consiste na conversão de biotite e clorite em muscovite e na alteração da plagioclase em muscovite e microclina, seguida de cloritização tardia. Em Três Minas a alteração é caracterizada por descarbonização (lixiviação através da destruição de matéria carbonosa) e martitização de magnetite metamórfica (Fig. 3).

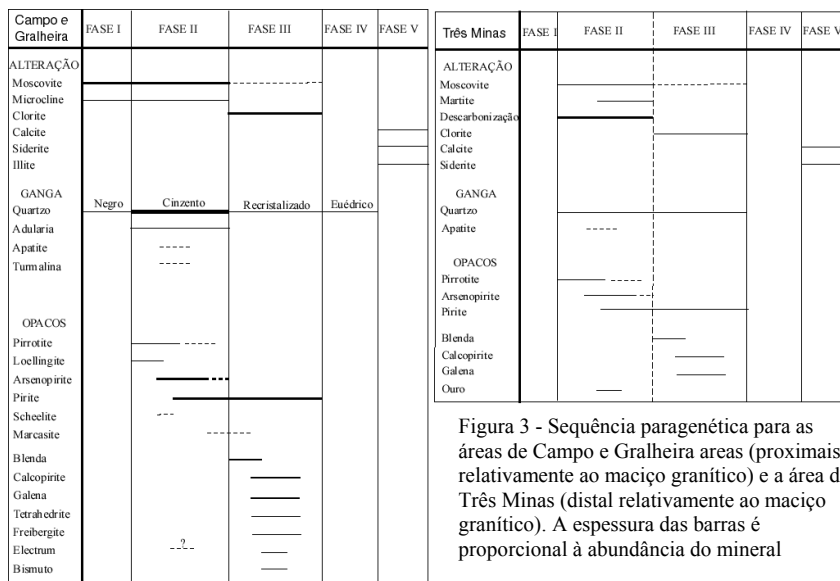


Figura 3 - Sequência paragenética para as áreas de Campo e Gralheira áreas (proximais relativamente ao maciço granítico) e a área de Três Minas (distal relativamente ao maciço granítico). A espessura das barras é proporcional à abundância do mineral

Evolução do fluido hidrotermal

O estudo da sequência paragenética, acompanhado por geotermometria da arsenopirite (Kretschmar and Scott, 1976) e modelação da solução sólida da clorite (Walshe, 1986), permitiu determinar a evolução do fluido hidrotermal e possíveis mecanismos de precipitação dos metais. Esta evolução é apresentada num diagrama temperatura-log fO₂ (Fig 4). O fluido hidrotermal seria inicialmente reduzido, conforme é indicado pela presença de pirrotite e

loëllingite. Estaria a uma temperatura que seria superior à temperatura a que precipitou a arsenopirite que é mais tardia, pelo menos 400°C, talvez mesmo mais. Nestas condições o ouro seria transportado como complexo sulfuretado, enquanto os metais de base e a prata seriam transportados como complexos cloretados (Romberger 1988).

Em Três Minas, o ouro foi precipitado durante uma etapa precoce devido à desestabilização do complexo sulfuretado de ouro como resultado de oxidação do fluido, evidenciada pela martitização e descarbonização. Esta oxidação foi provavelmente causada pela mistura do fluido mineralizante com um fluido meteórico. O estudo de inclusões fluidas de Boiron *et al.* (1996) demonstrou que fluidos oxidantes relacionados com a várias mineralizações de ouro variscas no NO ibérico teriam uma origem meteórica, como é indicado pela assinatura de halogénios. Durante esta etapa precoce de alta temperatura, a prata e os metais base estariam presentes na forma de complexos cloretados, pelo que não foram afectados pela oxidação.

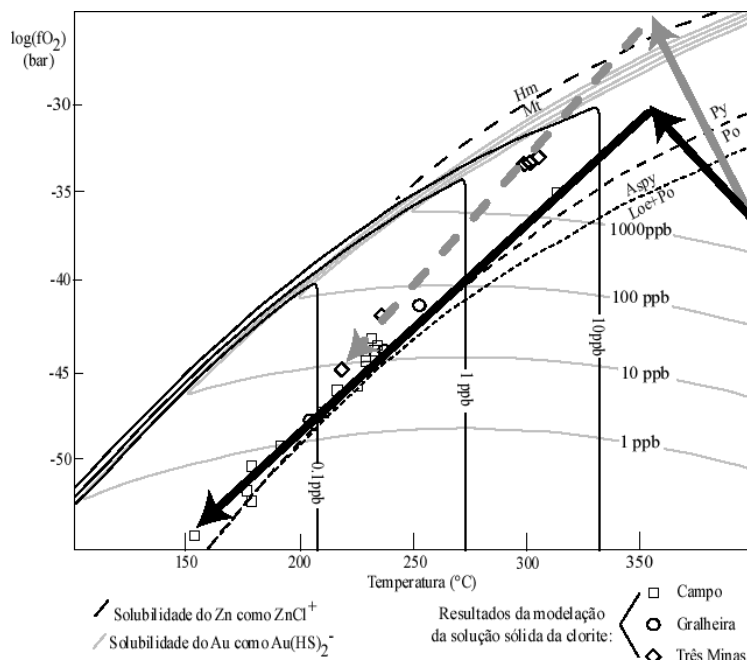


Figura 4 - Provável evolução do fluido mineralizante, sobreposta aos resultados da modelação da solução sólida da clorite (Walshe, 1986). A seta negra corresponde à evolução de fluido em Campo e na Gralheira e a seta cinzenta corresponde a Três Minas. As linhas descontinuas indicam diferentes associações minerais, tal como foi calculado usando SUPCRT92 (Johnson et al, 1992), considerando uma actividade do H₂S variável, quando aplicável. As linhas contínuas indicam a estabilidade do complexo sulfuretado de ouro e do complexo cloretado de zinco (representando os vários metais de base), tendo sido calculadas usando os dados de Benning e Seward (1996) e Ruaya e Seward (1986).

No Campo e na Gralheira, provavelmente devido à mais limitada influência dos fluidos meteóricos oxidantes, a oxidação foi menos extensa do que em Três Minas, pelo que o ouro precipitou posteriormente, como resultado da diminuição da actividade de H₂S e do arrefecimento (Rosa, 2001). A diminuição da actividade de H₂S provavelmente resultou da efervescência do fluido e partição do H₂S para o vapor, do arrefecimento e consequente cristalização de sulfuretos ou então da mistura com um outro fluido. Shepherd e Oliveira (1990) demonstraram a ocorrência de efervescência do fluido mineralizante e relacionaram-na com a deposição do ouro, apoiando os resultados da modelação da solução sólida da clorite apresentados neste estudo. Durante esta etapa tardia de baixa temperatura a prata, tal como o ouro, estaria presente na forma de complexo sulfuretado, pelo que a diminuição da aH₂S e arrefecimento resultaram na precipitação de electrum, em vez de ouro nativo. Para além disso, o arrefecimento desestabilizou complexos

cloretados transportando metais base, pelo que esta etapa é caracterizada pela precipitação de quantidades significativas de sulfuretos de metais base. Esta etapa tardia está mal representada em Três Minas, provavelmente porque o percurso do fluido hidrotermal foi selado durante as fases finais da sua evolução.

Conclusão

A evolução do fluido mineralizante regista uma fase inicial de oxidação, seguida de uma fase de arrefecimento com diminuição da actividade de H₂S. O grau de oxidação foi mais elevado em Três Minas, enquanto o arrefecimento foi mais acentuado em Campo e Gralheira. A primeira fase foi responsável pela precipitação do ouro, sem quantidades significativas de prata e metais de base, em Três Minas. Posteriormente, a diminuição da actividade de H₂S e o arrefecimento levaram à precipitação de electrum em Campo e na Gralheira, acompanhado pela deposição de quantidades significativas de sulfuretos de metais de base, devido à desestabilização simultânea de complexos cloretados.

Agradecimentos

Esta investigação é parte de uma Tese de Doutoramento desenvolvida na Colorado School of Mines, sob a orientação do Prof. Samuel Romberger e apoiada pelo Ministério da Ciência e Tecnologia através do Subprograma Ciência e Tecnologia do 2ºQCA. Foi obtido apoio adicional do Instituto Geológico e Mineiro, Society of Economic Geologists e Sigma-Xi (National Academy of Sciences).

Bibliografia

- Benning, L.G. & Seward, T. M. (1996) - Hydrosulphide complexing of Au (I) in hydrothermal solutions from 150-400°C an 500-1500 bar. *Geochimica et Cosmochimica, Acta* 60: 1849-1872.
- Boiron, M. C.; Cathelineau, M.; Banks, D. A.; Yardley, W. D.; Noronha, F. & Miller, M. F. (1996) - P-T-X conditions of late Hercynian fluid penetration and the origin of granite-hosted gold quartz veins in northwestern Iberia: A multidisciplinary study of fluid inclusions and their chemistry. *Geochimica et Cosmochimica, Acta* 60: 43-57.
- Groves, D. I.; Goldfarb, R. J.; Gebre-Mariam, M.; Hagemann, S. G. & Robert, F. (1998) - Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore Geology Reviews*, 13: 7-27.
- Johnson, J. W.; Oelkers, E. H. & Helgeson, H. C. (1992) - SUPCRT92: A software package for calculating the standard molal thermodynamic properties of minerals, gases, aqueous species, and reactions from 1 to 5000 bar and 0 to 1000°C. *Computers & Geosciences*, 18: 899-947.
- Kretschmar, U. & Scott, S. D. (1976) - Phase relations involving arsenopyrite in the system Fe-As-S and their application. *Canadian Mineralogist*, 14: 364-386.
- Neiva, A. M. R. & Gomes, M. E. P. (1991) - Geochemistry of the granitoid rocks and their minerals from Lixa do Alvão-Alfarela de Jales-Toureninho (V.P. de Aguiar, northern Portugal). *Chemical Geology*, 89: 305-327.
- Neiva, A. M. R. (1992)-Geochemistry and evolution of Jales granitic system, northern Portugal. *Chemie der Erde* 52: 225-241.
- Neiva, A. M. R.; Dodson, M. H.; Rex, D. C. & Guise, P. G. (1995) - Radiometric constraints on hydrothermal circulation in evolving granite plutons. The Jales gold-quartz mineralization, northern Portugal. *Mineralium Deposita*, 30: 460-468.
- Nesbitt, B. E.; Murowchick, J. B.; & Muehlenbachs, K. (1986) - Dual origins of lode gold deposits in the Canadian Cordillera. *Geology*, 14: 506-509.
- Noronha, F.; Dória, A.; Ribeiro, M. A. & Nogueira (1993) - Gold mineralizations on Vila Pouca de Aguiar metasedimentary area. Contribution of the University of Porto to European Union project MA2M-CT90-003 "Multidisciplinary studies of Au-vein formation: Application to the western part of the hesperian massif", Centro Geol. Univ. Porto, 19 p.
- 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. *Memória Museu Laboratório Mineralógico e Geológico Univ. Porto*, 4: 587-592.
- Noronha, F.; Ribeiro, M. A.; Martins, H. C. & Lima, J. (1998) - Folha 1:50.000 6-D (Vila Pouca de Aguiar), Inst. Geol. Mineiro.
- Romberger, S. B. (1988) - Geochemistry of gold in hydrothermal deposits. In: Shawe, D. R.; Ashley, R. P. & Carter, L.M.H. (eds) *Geology and Resources of gold in the United States. U.S. Geological Survey Bulletin*, 1857: A9-A25.
- Rosa, D. R. N. (2001) - Metallogenesis of the Jales Au district, northern Portugal. *Unpublished PhD dissertation*, Colorado School of Mines, 262 p. + CD.
- Ruaya, J. R. & Seward, T. M. (1986) - The stability of chlorozinc(II) complexes in hydrothermal solutions up to 350°C. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 50: 651-661.
- Shepherd, T. J. & Oliveira, J. M. S. (1990) - Hydrothermal fluid anomalies: A new strategy for exploration in Portugal. *Final report of B.G.S.-D.G.G.M. joint project*, 109 p.
- Thompson, J. F. H.; Sillitoe, R. H.; Baker, T.; Lang, J. R. & Mortensen, J. K. (1999) - Intrusion-related gold deposits associated with tungsten-tin provinces. *Mineralium Deposita*, 34: 323-334.
- Walshe, J. L. (1986) - A six-component chlorite solid solution model and the conditions of chlorite formation in hydrothermal and geothermal systems. *Economic Geology*, 81: 681-703.