

NATUREZA MINERALÓGICA E GEOQUÍMICA DAS MINERALIZAÇÕES SULFURETADAS EM GABROS DO COMPLEXO ÍGNEO DE BEJA; ALGUMAS QUESTÕES RELATIVAS À SUA GÉNESE

A. Mateus^{1,2}, A. P. Jesus², P. Conceição², V. Oliveira³, C. Rosa³

¹ Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, geofcul@fc.ul.pt

² Centro de Recursos Minerais, Mineralogia e Cristalografia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, creminer@fc.ul.pt

³ Instituto Geológico e Mineiro, Beja, igmbeja@ip.pt

ABSTRACT

In the Odivelas – Ferreira do Alentejo area, the gabbroic domain of the Beja Igneous Complex comprises three major layered Series. The upper one, at SW, is mainly composed of olivine-pyroxene leucogabbros, olivine leucogabbros and gabbros that are strongly metasomatised in places where late pegmatoid dykes occur and massive pyrrhotite (\pm pentlandite \pm chalcopyrite) fill up anastomosed vein arrays of centimetric thickness. Metasomatic processes are, at least partly, synchronous with sulphide deposition and their development is envisaged as a result of the late circulation of fluids probably evolved from mixtures of residual magmatic and crustal sulphur-rich solutions.

RESUMO

Na área de Odivelas – Ferreira do Alentejo, o domínio gabróico do Complexo Ígneo de Beja compreende três Séries bandadas. A Série superior, a SW, é fundamentalmente constituída por leucogabros olivínico-piroxénicos, leucogabros olivínicos e gabros que se apresentam fortemente metassomatizados em locais onde ocorrem diques pegmatóides e onde se observam sistemas anastomosados de veios com espessura centimétrica e preenchimento maciço de pirrotite (\pm pentlandite \pm calcopirite). Os processos metassomáticos identificados são, pelo menos em parte, síncronos da deposição dos sulfuretos, pelo que o seu desenvolvimento se deve, muito provavelmente, à circulação tardia de fluidos talvez resultantes da evolução de misturas entre soluções residuais magmáticas com outras de origem crustal enriquecidas em enxofre.

INTRODUÇÃO

O resultado das pesquisas recentemente empreendidas na área de Ferreira do Alentejo - Odivelas revela que diferentes Séries do domínio gabróico do Complexo Ígneo de Beja (CIB) hospedam mineralizações distintas, confirmando as inferências que a este propósito tinham sido equacionadas por MATEUS *et al.* (1998). A cartografia geológica realizada na escala 1:15000, complementada por exame petrográfico detalhado de um número significativo de amostras, permitiu identificar uma sequência de rochas gabróicas bandadas com polaridade normal cujas características mineralógico-geoquímicas e texturais-microestruturais conduziu à identificação de três Séries magmáticas. A Série I é passível de divisão em três grupos litológicos e inclui predominantemente leucogabros com quantidades variáveis em olivina e/ou ortopiroxena, anortositos e níveis descontínuos (e/ou blocos?) de diversos tipos de cumulados máficos que ocorrem na proximidade de massas irregulares de minérios ferro-titano-vanadíferos com dimensão variável; o bandado ígneo, embora desenvolvido de forma heterogénea, é particularmente evidente nos grupos inferior e intermédio da Série I, apresentando baixo pendor ($< 30^\circ$ no sentido S-SW) e direção variável entre NW-SE e WNW-ESE. A Série II começa por integrar leucogabros grosseiros e relativamente maciços acima dos quais se desenvolve uma sequência de gabros variavelmente enriquecidos em diferentes minerais acessórios permitindo o estabelecimento de uma sucessão rítmica de bandas modalmente distintas onde, por vezes, se identificam níveis de natureza anortositica; o bandado, inclinando menos de 30° para o quadrante Sul, segue rumo variável entre WNW-ESE e W-E. A Série III, constituindo o topo da sequência ígnea cartografada, compreende essencialmente uma sucessão rítmica de leucogabros olivínico-piroxénicos, leucogabro olivínicos e de gabros *s.s.* que, sendo frequentemente cortados por diques pegmatóides, apresentam bandado WNW-ESE, 25° - 30° SW; estas rochas, enquadrando mineralizações sulfuretadas disseminadas e/ou controladas por sistemas anastomosados de veios, são vulgarmente palco de transformações mineralógico-texturais imputáveis a processos metassomáticos de temperatura relativamente elevada e aparentemente

síncronos da deposição dos sulfuretos. Informações adicionais sobre as litologias que integram a Série I, bem como a respeito da natureza mineralógica e geoquímica das mineralizações ferro-titânico-vanadíferas que nela se encontram, podem ser consultadas em JESUS *et al.* (neste mesmo volume). O presente resumo procura, por sua vez, sintetizar os dados disponíveis acerca das litologias constituintes da Série III e das mineralizações por estas hospedadas, explicitando, por último, as hipóteses de trabalho que actualmente se colocam sobre a génese de tais ocorrências sulfuretadas.

AMOSTRAGEM E METODOLOGIAS DE ESTUDO/ANÁLISE

Na área de Odivelas - Ferreira do Alentejo, grande parte da sequência gabróica da Série III encontra-se coberta por sedimentos detríticos cenozóicos, o mesmo acontecendo com o contacto por esta estabelecido com a Série II. Na pedreira (em laboração) de Castelo Ventoso, porém, uma fracção (representativa?) da sucessão gabróica pode ser observada; o presente trabalho fundamenta-se exclusivamente nos resultados obtidos via exame de vários exemplares colhidos neste local. Após a devida contextualização geológica nos diferentes sectores da pedreira, as amostras foram cortadas com serras diamantadas. A análise petrográfica (em microscópio óptico de luz transmitida e reflectida) e subsequente contagem de pontos (400 por lâmina delgada) recaíram sobre domínios representativos de cada exemplar não metassomatizado. A composição química dos principais silicatos foi determinada com a microsonda electrónica JEOL JCSA 733 de três canais (Centro de Geologia - FCUL) equipada com os cristais TAP, LIF e PET; as análises pontuais foram efectuadas com um feixe fino (5 μm), 25 nA de corrente de emissão e 15kV de potencial de aceleração; o tempo de contagem foi de 20 s; a calibração do equipamento teve lugar antes, durante e após cada sessão de trabalho, recorrendo à análise de padrões minerais. Após conveniente pulverização, porções maciças de sulfuretos foram analisadas por difractometria de Raios X, usando para o efeito a radiação Cu $K\alpha$ e o difractor Philips PW 1710 equipado com um monocromador de grafite; o goniómetro usado apresenta uma fenda fixa divergente e uma fenda receptora com 0,2 mm; as contagens foram realizadas de modo contínuo em incrementos 2θ de $0,02^\circ$, envolvendo tempos de contagem de 1,250 s. As análises químicas multi-elementares das rochas gabróicas e das porções maciças de sulfuretos foram efectuadas no Activation Laboratories Ltd. (Canadá) por meio da combinação de vários métodos analíticos (os procedimentos e limites de detecção implícitos nos códigos de encomenda 1B, 1H e 4LITHORES podem ser consultados em <http://www.actlabs.com>).

APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS E DISCUSSÃO

As rochas gabróicas constituintes da Série III que afloram na pedreira de Castelo Ventoso são predominantemente do tipo leucogabro olivínico e gabros *s.s.*, não obstante terem sido identificados alguns horizontes da sequência ígnea cuja composição modal conduz ao termo leucogabro olivínico-piroxénico. Todas estas rochas apresentam granularidade média a grosseira (1,5 a 4 mm), salientando-se a manifesta tendência para os leucogabros olivínicos e os gabros exibirem texturas fortemente anisótropas, geralmente denunciadas por forte orientação preferencial dos grãos de plagioclase e de clinopiroxena. Digno de menção é ainda o desenvolvimento do bandado composicional microscópico revelado por alguns dos gabros examinados, conduzindo a alternâncias rítmicas entre níveis predominantemente constituídos por plagioclase ou por clinopiroxena. Do ponto de vista mineralógico importa referir que o conteúdo anortítico das plagioclases é relativamente constante (An_{60-66}) independentemente das litologias examinadas; nos leucogabros olivínicos, a olivina apresenta composição média em torno de Fo_{60} ; as clinopiroxenas são do tipo $\text{En}_{42-45}\text{Wo}_{41-47}$ quando inclusas nos gabros, registando a variação composicional $\text{En}_{41-45}\text{Wo}_{40-46}$ nos exemplares de leucogabro. Outra característica mineralógica que consideramos significativa (especialmente se tivermos em atenção as paragénese minerais que constituem as rochas da Série I), diz respeito à extrema raridade de óxidos intersticiais primários; a magnetite, embora escassa, quando existe, associa-se invariavelmente aos agregados serpentínicos resultantes da hidratação da olivina. Os agregados submilimétricos intersticiais de pirrotite (\pm pentlandite \pm calcopirite) são, pelo

contrário, relativamente abundantes, mesmo nas rochas incipientemente metassomatizadas, se bem que dificilmente representem mais do que 1% da sua constituição modal.

O metassomatismo a que as rochas gabróicas da Série III foram sujeitas conduziu à progradação heterogénea de numerosas transformações mineralógico-texturais, com particular destaque para as resultantes da hidratação das olivinas e piroxenas; note-se que a instabilidade da plagioclase só é significativa nos domínios rochosos acentuadamente alterados, traduzindo-se sempre pelo desenvolvimento de agregados minerais que denunciam processos de saussuritização. Acresce mencionar que todas estas transformações mineralógico-texturais se fazem acompanhar pela deposição intersticial de sulfuretos que, a nível meso-macroscópico, concorrem para o desenvolvimento de um halo geoquímico de alteração envolvente do domínio rochoso onde ocorrem os sistemas anastomosados de veios preenchidos por agregados grosseiros de pirrotite (politipo *4M*, em particular) + calcopirite + pirite \pm pentlandite; de acordo com os registos difractométricos disponíveis, clorite (nimite) e anfífolas ferro-magnesianas constituem as fases acessórias predominantes destes agregados de sulfuretos.

As orlas metassomáticas composicionalmente distintas em torno das relíquias da paragénese primária constituem o principal registo da circulação de fluidos responsável pelo desenvolvimento do referido halo geoquímico de alteração e correlativa deposição de sulfuretos. A instabilização da olivina e conseqüente substituição por lizardite \pm magnetite representa o primeiro sinal da hidratação heterogénea experimentada pelas rochas gabróicas. Segue-se-lhe a anfíbolitização das piroxenas, com a formação de coroas hornblêndicas complexas de coloração castanha e verde e a deposição intersticial de sulfuretos; tal deverá ser contemporâneo da instalação dos diques, filões e filonetes pegmatóides que, de acordo com SILVA *et al.* (1970) e as nossas próprias observações de campo, são essencialmente constituídos por plagioclase (andesina) + hornblenda verde + quartzo + sulfuretos \pm biotite. O desenvolvimento de agregados lamelares de hornblenda magnésiana, contornando usualmente os sulfuretos intersticiais, processa-se subsequentemente. Estes agregados, intercrescidos e/ou parcialmente substituídos por tremolite-actinolite, orlam ainda os micro-domínios rochosos fortemente alterados onde grãos corroídos de plagioclase (representando o único testemunho da paragénese primária) são envolvidos por massas microcristalinas fibrosas cuja natureza química denuncia a presença de soluções sólidas mais ou menos extensas entre a lizardite e a greenalite. Nestes contextos texturais, os agregados milimétricos de sulfuretos acabam por constituir bolsadas e/ou veios irregulares de espessura variável que, em muitos casos, se anastomosam, deixando entre si domínios rochosos quase exclusivamente compostos por agregados serpentino-cloríticos. Não raras vezes, observa-se ainda o desenvolvimento muito tardio de lamelas e/ou acículas de tremolite que formam intercrescimentos digitiformes com sulfuretos ou ocupam o núcleo de microcavidades delimitadas por estes últimos; tais agregados anfíbólicos, compreendendo cristais que por vezes atingem dimensões milimétricas, sublinham muitos dos contactos entre as estruturas sulfuretadas e a matriz que as enquadram.

Os dados de litogeoquímica actualmente disponíveis afiguram-se insuficientes à caracterização detalhada do halo de alteração identificado nas rochas gabróicas da Série III aflorantes na pedreira de Castelo Ventoso. Ainda assim, importa salientar a forte consistência entre estes resultados analíticos e a constituição mineralógica dos exemplares seleccionados para análise química. A Tabela 1 resume alguns dos dados existentes, dando conta das concentrações obtidas para duas amostras de gabros e três porções maciças de sulfuretos retiradas do sistema anastomosado de veios.

A amostra CV31 representa um gabro incipientemente modificado, enquanto a CV28 procura representar o conjunto de gabros moderadamente metassomatizados. Dado que a amostragem conduzida na pedreira não tinha inicialmente como objectivo a caracterização detalhada dos processos de alteração (mas tão somente a determinação da assinatura geoquímica dos gabros constituintes da Série III), CV31 e CV28 não representam o mesmo nível gabróico. O exame petrográfico de ambas as amostras revela, porém, que o protólito de CV28 deverá ser análogo à litologia representada por CV31. Desta forma, a normalização dos valores de concentração em óxidos dos elementos maiores e em oligoelementos relativamente aos determinados para Al_2O_3 e Y (ou Zr), permite comparar os resultados analíticos obtidos para ambas as amostras, obviando parte significativa dos problemas resultantes da eventual variação de volu-

me síncrona do metassomatismo e não nos comprometendo com a aceitação incondicional dos requisitos impostos por quaisquer cálculos de balanço de massa. Mesmo tendo em conta que tal procedimento representa uma abordagem preliminar ao problema, não deixa de ser interessante referir que, com o aumento da intensidade da alteração e perante a relativa invariação dos conteúdos em MnO, Na₂O, TiO₂ e V, as concentrações em: 1) SiO₂, CaO e Cr tendem a decrescer para cerca de 0,7-0,8 vezes dos valores iniciais; 2) ferro total, Ba, Sr, Ni e Zn se posicionam 1,5 a 3 vezes acima dos conteúdos iniciais (o mesmo acontece com o total de perda ao rubro); e 3) Bi, Co, e Cu sobem para valores 4 a 5 vezes acima dos teores revelados pelos domínios gabróicos sujeitos a metassomatismo incipiente.

Tabela 1
Síntese dos resultados analíticos obtidos para gabros variavelmente metassomatizados e estruturas sulfuretadas

	CV31	CV28	CV20	CV26	CV30
SiO ₂	48,93	45,49			
Al ₂ O ₃	15,80	17,14			
Fe ₂ O ₃	6,57	10,19			
MnO	0,13	0,12			
MgO	9,75	9,00			
CaO	14,49	11,67			
Na ₂ O	2,16	2,31			
K ₂ O	0,19	0,16			
TiO ₂	0,43	0,29			
P ₂ O ₅	0,02	0,02			
LOI	1,84	3,06			
S			22,99	21,76	24,26
Fe			48,9	48,7	48,3
Ti			0,02	0,02	0,02
Ba	51	56			
Sr	148	274			
Y	10	6			
Sc	59	35			
Zr	21	18			
Hf	0,5	0,3			
V	169	103	12	14	11
Bi	0,3	0,7	1,6	0,9	1,0
Cr	511	211	52	57	51
Co	32	75	1240	2130	1220
Ni	22	44	1480	1420	1526
Cu	84	310	1774	1202	14060
Zn	45	79	135	50	229
Ge			0,8	1,0	1,1
Cd			0,3	0,5	2,7
Se			20	17	23
Os			<2	<2	<2
Ir			<0,1	<0,1	<0,1
Ru			<5	<5	<5
Rh			0,7	0,7	0,7
Pd			<2	<2	<2
Pt			<5	<5	<5
Au			3,9	4	200

Óxidos de elementos maiores em %; o mesmo para os conteúdos em S, Fe e Ti apresentados pelas porções sulfuretadas. Elementos menores em ppm, com excepção do Au e dos que integram o Grupo da Platina, cujas concentrações são em ppb. Ferro total na forma de Fe₂O₃.

Estas conclusões são globalmente compatíveis com as transformações mineralógico-texturais registadas pelos gabros, sugerindo ainda que os processos de hidratação tardiamente desenvolvidos conduziram ao enriquecimento metalífero destas rochas ígneas, designadamente em Cu, Ni, Co e Bi. Tal inferência afigura-se ainda consistente com a assinatura química obtida para as porções maciças de sulfuretos, a qual revela ainda não serem negligenciáveis os enriquecimentos em Se, Cd e Ge. A este propósito, acresce mencionar que a grande amplitude de variação dos valores de concentração em metais apresentada pelas três amostras de “sulfuretos maciços” dificilmente se traduz em variações significativas da paragénese mineral sulfuretada. Efectivamente, com excepção do níquel e do cobre (cuja abundância relativa é

quase exclusivamente determinada pela presença de exsoluções de pentlandite em pirrotite e pelo desenvolvimento tardio de filonetes de calcopirite, respectivamente), não existem minerais próprios de Co, Bi, Se, Cd e Ge, para além dos agregados grosseiros de pirrotite 4M. Estes últimos, constituindo a essência das massas sulfuretadas, deverão pois incorporar quantidades traço variáveis daqueles metais, reflectindo não só os estrangimentos cristalocímicos impostos pela distribuição dos vazios na estrutura da pirrotite durante o arrefecimento do sistema, como também o quimismo dos fluidos que, em cada momento, interagem com o agregado sulfuretado em formação. Daqui se depreende também que caracterização geoquímica destas mineralizações requer um número muito maior de análises químicas. Mais se infere que será prematuro retirar quaisquer ilações sobre o seu potencial económico.

BREVES CONSIDERAÇÕES FINAIS

O facto das transformações metassomáticas precocemente registadas pelas rochas gabróicas da Série III conduzirem ao desenvolvimento de paragénese minerais análogas às que preenchem os diques, filões e filonetes pegmatóides, sugere que tais reajustamentos texturais e químicos tenham sido inicialmente desencadeados pela circulação de fluidos resultantes da mistura entre soluções magmáticas residuais com outras de origem crustal enriquecidas em enxofre. O aumento gradual desta última componente na fase fluida, poderá então justificar a crescente precipitação de sulfuretos em estádios progressivamente mais avançados da alteração hidrotermal, mas sempre em condições de relativa alta temperatura (limitadas pelos campos de estabilidade das anfíbolas com que estão intercrescidos e das anfíbolas mais tardias que os envolvem). Nestas circunstâncias, o estabelecimento das condições adequadas à formação dos sistemas anastomosados de veios preenchidos por pirrotite maciça (\pm pentlandite \pm calcopirite) deverá ter ocorrido tardiamente, como resultado provável: 1) do predomínio da componente crustal na composição dos fluidos mineralizantes; 2) e/ou da maior eficiência dos mecanismos que condicionam a deposição dos sulfuretos (desde logo, variações favoráveis em termos de pH e fS_2 , talvez acompanhadas por significativo decréscimo da temperatura do sistema); 3) e/ou da acentuada focalização da circulação de fluidos (traduzindo um incremento da permeabilidade local, quiçá induzido tectonicamente).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa FERBRITAS e, em particular, ao encarregado da pedreira de Castelo Ventoso, as facilidades concedidas no acesso incondicional às frentes de desmonte. Todo o trabalho laboratorial e analítico, bem como as actividades de campo desenvolvidas por A. Mateus e A. Jesus, foram financiadas pela FCT através do Projecto 12/2.1/CTA/82/94 - PROGEREMIN.

REFERÊNCIAS

- MATEUS, A.; OLIVEIRA, V.; GONÇALVES, M.A.; FIGUEIRAS & FONSECA P. (1998) – “General assessment of the metallogenic potential of the Iberian Terrane southern border”. *Estudos, Notas e Trabalhos I.G.M.*, Lisboa, **40**: 35 - 50.
- JESUS, A.P.; MATEUS, A.; FIGUEIRAS J.; OLIVEIRA, V.; CONCEIÇÃO, P. & ROSA, C. (presente volume) – “Características mineralógicas e geoquímicas das mineralizações ferro-titano-vanadíferas em gabros do Complexo Ígneo de Beja”.
- SILVA, L.C.; QUADRADO, R. & RIBEIRO, L. (1970) – “Nota prévia sobre a existência de uma estrutura zonada e de anortositos no maciço gabro-diorítico de Beja”. *Bol. Mus. Lab. Min. geol. Univ. Lisboa*, Lisboa, **11**: 223-232.