

Localização paragenética de paládio e platina em rochas máficas e ultramáficas de Cabeço de Vide – Complexo Ígneo de Alter do Chão  
*Paragenetic positioning of PGE in mafic and ultramafic rocks of Cabeço de Vide – Alter do Chão Igneous Complex*

Dias, P. A.<sup>1</sup>; Leal Gomes, C.<sup>1</sup>; Castelo Branco, J. M.<sup>2</sup>; Pinto, Z.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade do Minho – Núcleo de Investigação Geológica, 4710-057 Braga

<sup>2</sup>Rio Narcea Gold Mines S. A. – R. Circular Poente, bloco 36, P.I.T.E., 7000-171 Évora

[patriciasdias@sapo.pt](mailto:patriciasdias@sapo.pt)

#### SUMÁRIO

A expressão mineralógica de platinóides nas rochas máficas e ultramáficas de Cabeço de Vide (Complexo Ígneo de Alter do Chão), ocorre em dois episódios de deposição primária que se relacionam com os estádios de fraccionamento dunitico a pós-dunitico (estibiopaladinite e froodite) e lherzolitico, equivalente ao início da fraccionamento de sulfuretos (auricuprite e ouro). Os minerais tipomórficos subsequentes (sperrylite e arsenopaladinite) representam o reposicionamento epigenético associado à serpentinização.

Palavras-chave: Complexo Ígneo de Alter do Chão – Cabeço de Vide, peridotito, gabro, platinóides, fraccionamento, serpentinização.

#### SUMMARY

*PGE mineralisation in mafic and ultramafic rocks of Cabeço de Vide (Alter do Chão Igneous Complex) results from two primary deposition events related to progressive fractionation at dunitic to post-dunitic stage, represented by stibiopaladinite and froodite, and at lherzolitic stage, coupled by sulphide segregation, causing auricuprite and gold crystallization. Subsequent PGM (sperrylite and arsenopaladinite) must result from serpentinization repositioning.*

*Key-words: Alter do Chão Igneous Complex – Cabeço de Vide, peridotite and gabbro, PGE, fractionation and post-magmatic serpentinization.*

#### Introdução

O Complexo Ígneo de Alter do Chão é constituído por rochas máficas e ultramáficas que se dispõem numa faixa de alongamento NW-SE [2]. No sector de Cabeço de Vide, desenvolve-se um programa de prospecção e pesquisa de metais básicos e preciosos [3] do qual faz parte uma sondagem com recuperação cujo testemunho é objecto deste estudo. Com o objectivo de conhecer a expressão mineralógica de platinóides e fases metálicas associadas, as rochas máficas atravessadas pelo furo, foram analisadas em petrologia de rochas e de minérios. Privilegiaram-se os segmentos de sondagem onde a análise química revelou os conteúdos mais elevados dos elementos representativos das mineralizações. Em

aproximação químico-mineralógica procurou-se determinar padrões de fraccionamento, reacção e metassomatismo, que fossem produtivos no que respeita à ocorrência de mineralizações.

#### Análise descritiva da distribuição dos teores – “Log” composicional e litológico

Na Fig. 1 está representado o “log” litológico da sondagem e a variação composicional dos conteúdos dos elementos objecto de prospecção e pesquisa (Pt, Pd e Au). Predominam gabros piroxénicos e piroxenitos em “sills”, heterogeneamente distribuídos num conjunto peridotito/dunitico encaixante com aparência mesoscópica homogénea, localmente serpentinizado. Os contactos peridotito-gabro piroxénico/piroxenito são normalmente bruscos

mas também se observam contactos gradacionais. O conjunto é transectado por disseminações de sulfuretos associadas a vénulas com carbonatos, serpentina e zeólitos. Na base da coluna litológica ocorrem peridotitos grosseiros com olivina e piroxena interdigitados com leitos de gabros piroxénicos. As concentrações em Pt, situam-se entre 1ppb e 357ppb. Os conteúdos em Pd são mais altos e variam de 1 a 817 ppb. As distribuições de Pt e Pd manifestam variação similar. Os valores de Au situam-se entre 1 e 139 ppb e seguem mais ou menos a tendência de variação apresentada pelos platinóides, sugerindo intercondicionamento paragenético mais estrito destes metais. O maior enriquecimento em platinóides situa-se em peridotitos, no intervalo 200-230m de profundidade (ver domínios de enriquecimento culminante na Fig. 1).

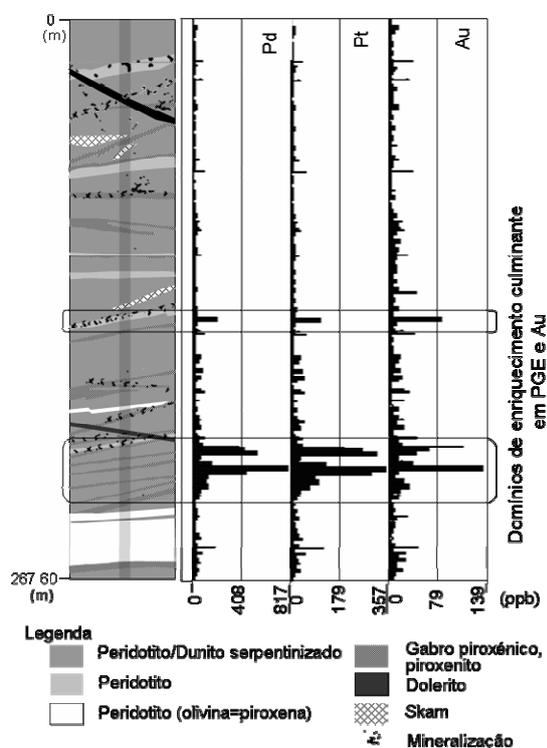


Fig. 1: Variação composicional dos conteúdos de Pd, Pt e Au ao longo da sucessão litológica atravessada pela sondagem.

### Petrografia

A análise modal das litologias correspondentes aos teores culminantes de platinóides e Au, permitiu classificá-las como dunitos, lherzolitos e wherlitos (por ordem decrescente da prevalência). As litologias máficas são gabros olivínicos e gabros. Nas rochas duníticas, lherzolíticas e wherlíticas a olivina é escassa; a alteração serpentínica é essencialmente antigorítica e pervasiva (crisótilo e bowlingite são menos frequentes). Vénulas com arfvedsonite aureolar em diópsido (denotando metassomatismo sódico) e veios preenchidos por

calcite idiomórfica e zeólitos, cortam as litologias anteriores. A hiperstena é a piroxena dunítica; apresenta aspectos de substituição por zeólitos, calcite e analcima. Nas amostras de lherzolito e wherlito a clinopiroxena diopsídica (abundante nos wherlitos) está também representada, formando agregados grosseiros, heterogranulares, por vezes com carácter poecilítico, incluindo a olivina. Os gabros olivínicos e gabros estão representados pela associação clinopiroxena + plagioclase ± tremolite ± olivina ± biotite. As clinopiroxenas identificadas incluem diópsido, augite diopsídica, diálage e aegirina-augite. A plagioclase é escassa ou ausente, sendo substituída por analcima e zeólitos. A tremolite após diópsido é abundante. A biotite é frequente nos gabros.

### Análise paragenética

Os intercrescimentos e modos de contacto entre minérios opacos foram observados em microscópio óptico de luz reflectida (MOLR) e em microscópio electrónico de varrimento - modo electrões secundários (MEV-ES). As mineralizações distribuem-se por três estádios paragenéticos:

1- estádio cromífero – corresponde à primeira mineralização, expressando-se sob a forma de espinelas cromíferas automórficas presentes nas litologias ultramáficas. Apresentam zonalidade concêntrica com domínios de composição muito variável, desde cromite com Ti e Al ( $\pm$ Mg) no núcleo, até cromite aluminosa na bordadura e finalmente, cromite quase pura, aureolar. Possuem inclusões de olivina e, reciprocamente, incluem-se nela, sugerindo que a sua deposição é concomitante da fraccionação olivínica. Em alguns casos a cromite é envolvida por franklynite, coulsonite ou ulvoespinela.

2- estádio magnetítico ou titano-magnetítico - A magnetite e a titano-magnetite são as espinelas mais frequentes; apresentam formas de ocorrência de três tipos essenciais: grãos dispersos raros com posição paragenética equivalente à da cromite; grãos franjados e faixas de inclusões do bordo envolvendo cromites mais precoces; cristais intersticiais com intercrescimentos de sulfuretos de Cu, Ni, Fe e, mais raramente, Co. No caso das espinelas ricas em Fe que se encontram intercrescidas com piroxenas reaccionais, são representativas as composições seguintes:  
 $Fe_{0.49}Mg_{0.47}Al_{1.51}Cr_{0.44}O_4$ ;  
 $Fe_{0.99}Mg_{0.01}Fe_{1.58}Cr_{0.17}Al_{0.02}Ti_{0.23}O_4$ .  
 Esta diversidade composicional é compatível com a cristalização em equilíbrio de ortopiroxena por interacção com olivina, explicando também alguns sinais de instabilidade reaccional periférica das cromites mais precoce.

3- estádio sulfuretado – corresponde-lhe a mineralização mais abundante e típica de  $Cu > Ni > Co$ . Tem carácter intersticial muito marcado. O seu intercrescimento lamelar com

anfíbola ou com ilmenite, indicia cristalização síncrona com estes minerais. As fases sulfuretadas iniciais compreendem calcopirrotite, pirrotite e cobaltopentlandite, esta última aparentando constituir a expressão sulfuretada mais precoce e incipiente. Calcopirrite, calcopirrotite + pirrotite são os sulfuretos mais abundantes. Os sulfuretos e compósitos cristalinos portadores de Ni e Co são raros. O posicionamento paragenético dos sulfuretos parece corresponder ao estágio de fraccionamento dos lherzolitos, wherlitos e gabros, correspondendo-lhe portanto um tempo de expressão mais vasto desde o domínio fraccional ou reaccional das ortopiroxenas até ao das anfíbolas.

### **Mineralização em platinóides e ouro**

Os minerais portadores de platinóides confirmados (MEV-DE), são a estibiopaladinite e a froodite. São também prováveis (MOLR) a sperrylite, a arsenopaladinite e a auricuprite. A expressão paragenética dos platinóides, ouro e metais que a eles se associam (Sb, Bi, As e Cu) parece recorrente, podendo ser discriminados 3 episódios:

**1º Episódio** – Pd+Sb±Bi – está representado pela ocorrência típica de estibiopaladinite e froodite dispersas numa disseminação fina de espinelas cromíferas (Fig. 2 A, B), que sucede à fraccionamento da olivina e ortopiroxena precoce. A expressão imediatamente seguinte de sulfuretos pode modificar a composição do particulado primitivo.

**2º Episódio** – Au-Pd-Cu – Au nativo e auricuprite ocorrem nas franjas das cromites, mostrando ocasionalmente nucleação epitáxica sobre espinela (Fig. 2C, 3D). A associação Pd-Cu indicia uma reformulação das associações metalíferas com Pt, Pd ± Au, no decurso do estado paragenético sulfuretado correspondente à fraccionamento lherzolítica.

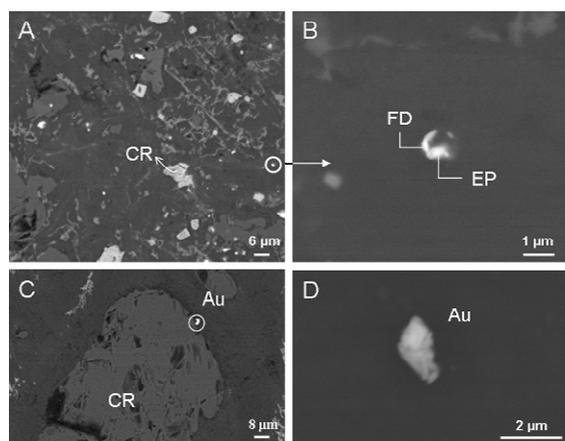


Fig.2: Imagens MEV-ER de partículas cuja identificação foi confirmada a partir espectros de dispersão de energias. Abreviaturas: CR-cromite, FD-froodite, EP-estibiopaladinite, Au- Au nativo ocorrente em produto friável de serpentinização.

**3º Episódio** – As-Pd (Pt) – a ocorrência de sperrylite e arsenopaladinite parece circunscrita a partículas discretas e dispostas em alguns alinhamentos de poalhas de espinela cromífera em domínios litológicos mais afectados por serpentinização (Fig. 3A, B e C). Esta expressão pode resultar do rearranjo do “stock” primordial pós-cromífero, na dependência de reequilíbrios a baixa temperatura (metassomáticos), de onde resultaria a incorporação de As aloquímico. A serpentinização mais intensa tem capacidade de lixiviação e remobilização para o Au, promovendo surtos reaccionais de redeposição em serpentina pervasiva final (Fig. 2D). A serpentinização difusa e/ou incipiente não activa a mobilidade dos metais preciosos.

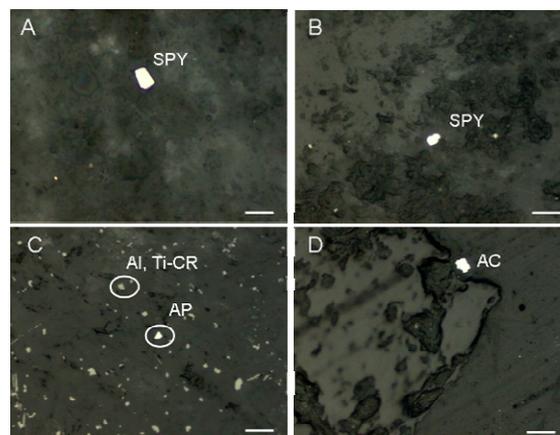


Fig. 3: Imagens MOLR de minerais identificados como portadores de elementos do grupo da platina. Observação em nicóis paralelos. Abreviaturas: SPY-sperrylite, AP-arsenopaladinite, AC-auricuprite. A barra de escala mede 3 µm.

### **Discussão e conclusões**

A combinação da petrologia e análise paragenética aplicadas à interpretação da sequência de mineralizações atribuíveis a algumas litologias da sondagem de Cabeço de Vide, além de definitivamente revelar a mineralização de platinóides, sugere de forma consistente o seu posicionamento paragenético (ver quadro paragenético na figura 4).

A fundamentação geoquímica correspondente é abordada através da aplicação de métodos de classificação automática. Tomando como quadro de medida os conteúdos em Au, Pt, Pd, Ca, Co, Cr, Cu, Mg, S e Ti do conjunto de 154 amostras da sondagem, efectuou-se uma classificação ascendente hierárquica (modo Q – amostras). O critério de similitude usado foi a distância de K-2. A tabela 1 diz respeito à classificação das amostras. Contém a constituição dos grupos para uma distância de corte de 0.85 e os valores médios dos teores químicos em cada grupo.

Nessa tabela, o grupo 1 é constituído por amostras de rochas peridotíticas caracterizadas por valores

baixos de Pt, Pd, Au, Ca, Cu e Ti e por valores altos de Co e Mg; estes, expressam estádios precoces da fraccionação peridotítica, não mineralizados (Fig. 5). O grupo 2 opõe-se claramente, associando-se aos conteúdos mais elevados em Ca e Cu e aos valores mais baixos de Co e Mg; a este grupo correspondem, principalmente, as amostras mais evoluídas de gabro piroxénico e piroxenito.

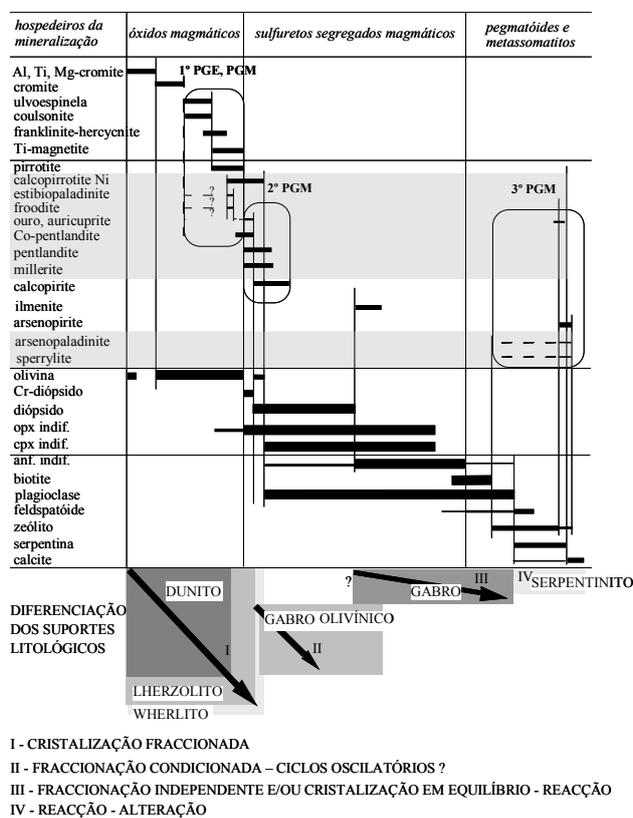


Fig. 4: Quadro paragenético das mineralizações. 1º PGE, PGM – estágio de expressão primordial de platinóides; 2º e 3º PGM – episódios de remobilização para diferentes associações de minerais com platinóides.

A formação dos grupos 3 e 4 depende dos valores altos de Au, Pt e Pd; correspondem-lhe episódios de deposição de platinóides (Fig. 5). O grupo 3 diz respeito ao domínio de fraccionação dunitico a pós-dunitico - estágio de expressão primordial de Pd-Pt. Relativamente ao grupo 3, o grupo 4 mostra conteúdos mais altos em Au, Cr, Cu, S e mais baixos em Pd e Pt (tabela 1), sugerindo, por exemplo, que a deposição de auricuprite (2º episódio) depende de fraccionação mais vasta (lherzolítica), menos significativa e acompanhada pela cristalização em equilíbrio de sulfuretos. Aparentemente, a fraccionação de sulfuretos acrescenta Au ao sistema. Ao grupo 5 (Tabela 1, Fig. 5) correspondem litologias peridotíticas com olivina e piroxena bem como gabros piroxénicos, com concentrações baixas em Pt, Pd e Au. De acordo com a classificação automática a serpentinização mais difusa não parece afectar

significativamente as correspondências estabelecidas.

Tabela 1: Classificação das amostras e valores médios dos teores químicos em cada grupo.

grupos	1	2	3	4	5
litologias	nº de amostras em cada grupo				
a	86	1	1	1	2
b	20	1	3	0	12
c	2	5	0	0	5
d	7	1	0	0	7
a - peridotito/dunito serpentinizado b - peridotito/gabro piroxénico indiferenciado c - gabro piroxénico/piroxenito d - peridotito olivina = piroxena					
teores					
Au (ppb)	8.2	13.0	63.3	109.0	20.4
Pd (ppb)	24.8	29.6	565.3	397.0	55.5
Pt (ppb)	15.4	15.1	311.3	195.0	31.3
Co (ppm)	130.3	47.1	129.0	123.0	74.1
Cr (ppm)	286.0	325.1	241.3	705.0	378.8
Cu (ppm)	112.9	305.5	252.3	885.0	470.4
Mg (%)	20.4	5.4	20.1	16.9	9.9
Ca (%)	0.6	4.4	1.0	1.5	3.2
S (%)	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1
Ti (ppm)	356.8	3278.9	479.8	452.0	1231.5

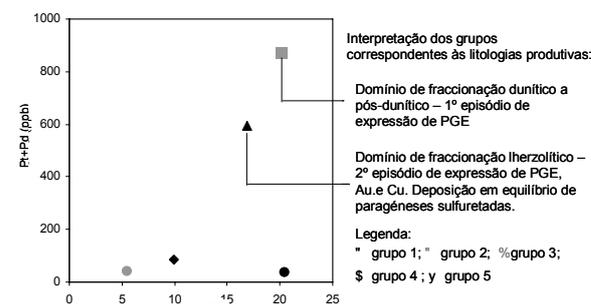


Fig. 5: Tendência de seriação dos grupos de teores médios estabelecidos na classificação automática, no referencial Pt+Pd/Mg. Posicionamento da mineralização em platinóides+Au.

### Referências Bibliográficas

[1] Dias, P. A. e Leal Gomes, C. (2005) Petrologia, geoquímica e análise paragenética em testemunhos da sondagem Cabeço de vide 2 – estudo das mineralizações de Ni, Cu, Co e P.G.E. Relatório inédito para Rio Narcea Gold Mines S. A., 34 p.

[2] Gonçalves, F. (1973) Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000 e notícia explicativa para a folha 32-B - Portalegre. Serviços Geológicos de Portugal.

[3] Pinto, Z.; Pañeda, A. e Castelo Branco, J. M. (2004). Área de Campo Maior. Relatório inédito de prospecção e pesquisa (2º semestre de 2004) da Rio Narcea Gold Mines S. A., 15 p. + anexos.