

1375605

290 *

291 *

				6 C 12.01		8 O 16.00	9 F 19.00	
			13 Al 26.98		15 P 30.97	16 S 32.07		
	28 Ni 58.69		30 Zn 65.39	31 Ga 69.72		34 Se 78.96	35 Br 79.90	
44 Ru 101.07		47 Ag 107.9	48 Cd 112.4	49 In 114.8	50 Sn 118.7		53 I 126.9	
	78 Pt 195.1		80 Hg 200.6		82 Pb 207.2	83 Bi 209.0		
106 Cm 247	109 Cm 247							

VI CONGRESSO de GEOQUÍMICA dos PAÍSES de LÍNGUA PORTUGUESA XII SEMANA de GEOQUÍMICA

UNIVERSIDADE DO ALGARVE

FARO - Portugal

1 a 12 de ABRIL de 2001

ACTAS

2001

TIPOLOGIA E EVOLUÇÃO DO DEPÓSITO DE NÍQUEL O'TOOLE, DO GREENSTONE BELT MORRO DO FERRO, BRASIL, COM BASE NO PADRÃO ISOTÓPICO Re-Os

C.T. Correia^{1,2}, C.C.G. Tassinari^{1,2}, G. Szabó¹, L. Magalhães¹ & T.L. Brenner³¹Departamento Mineralogia e Geotectônica, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, BRASIL, gmgic@edu.usp.br²Centro de Pesquisas Geocronológicas, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Rua do Lago, 562, Cid. Universitária, 05508-900, São Paulo, SP, BRASIL³RTZ Mineração Ltda. SCS-QI, B.H, Ed. Morro Vermelho 70302, DF, BRASIL

ABSTRACT

The O'Toole orebody is a massive nickel sulfide deposit, in the Morro do Ferro greenstone belt, State of Minas Gerais, Brazil. The deposit is hosted by the Morro do Níquel unit, composed by four cycles of serpentinite-clinopyroxenite-amphibolite separated by banded iron formations, and is placed at the bottom of the fourth cycle. It has been interpreted as formed by primary igneous accumulation of immiscible sulphide droplets carried by ultramafic komatiite flows. The Re-Os patterns for its ores and host silicate rocks supports this origin. The Re and Os concentrations of the analysed samples and the γ_{Os} values obtained display a pattern very similar to that of other nickel sulfide deposits of komatiitic igneous origin like the Kambalda bodies in Australia. Moreover, the Re-Os chronometer and the $^{187}Os/^{188}Os$ ratios show that the system was deeply affected by further metamorphic and metassomatic remobilizations, the last episode being as young as ca. 480 Ma.

RESUMO

A jazida O'Toole é um depósito de sulfeto maciço mineralizado a níquel, que ocorre no *Greenstone Belt* Morro do Ferro, no Estado de Minas Gerais, Brasil. O depósito encontra-se na Unidade Morro do Níquel, que é composta por quatro ciclos de serpentinito-clinopiroxenito-anfibolito separados por formações ferríferas bandadas, e se localiza na base do Ciclo Superior. Ele tem sido interpretado como formado a partir da acumulação ígnea primária de gotas imiscíveis de sulfetos transportadas por derrames komatiíticos. O padrão Re-Os do minério e das rochas silicáticas confirmam essa hipótese. As concentrações de Re e Os nas amostras analisadas e os valores de γ_{Os} obtidos revelam um padrão muito semelhante ao de outros depósitos de sulfeto maciço de origem ígnea komatiítica, como os corpos de Kambalda na Austrália. Além disso, o cronômetro Re-Os e as razões $^{187}Os/^{188}Os$ mostram que todo o sistema foi profundamente afetado por remobilizações metamórficas/metassomáticas O'Toole posteriores sendo o último desses episódios tão recente quanto cerca de 480 Ma.

INTRODUÇÃO

O depósito O'Toole de sulfeto maciço mineralizado em Níquel (BRENNER *et al.*, 1990) encontra-se associado aos litotipos máficos-ultramáficos das unidades basais do greenstone-belt de Fortaleza de Minas (TEIXEIRA, 1978; TEIXEIRA & DANNI, 1979). Esse depósito constitui a primeira ocorrência econômica de minério de níquel de sulfetos maciços associados a derrames komatiíticos em seqüências do tipo greenstone belt, a ser encontrado no Brasil. Com objetivo de confirmar esse modelo genético proposto para a jazida e de compará-la com os depósitos de tipo Kambalda na Austrália, é que foi realizado o presente estudo pelo método Re-Os, em rochas mineralizadas e silicáticas de Fortaleza de Minas.

MATERIAIS E MÉTODOS

O método baseia-se no decaimento beta ($-\beta$) do ^{187}Re para o ^{187}Os segundo a constante de decaimento (λ) de $1.666 \times 10^{-11} \times \text{anos}^{-1}$ (SMOLIAR *et al.*, 1996), apresentando o ^{187}Re a meia vida de 42,6 bilhões de anos. Muito do seu potencial encontra-se relacionado a particularidades geoquímicas dos elementos químicos Re e Os. Enquanto o Re se comporta como elemento incompatível durante os processos de fusão parcial do manto e da crosta, o Os é preferencialmente retido nas fases iniciais nos processos de fracionamento ígneo, nos sulfetos e óxidos e em ligas metálicas refratárias dos resíduos mantélicos. Desta forma, o Os encontra-se drasticamente empobrecido nas rochas crustais enquanto o Re se encontra profundamente enriquecido (razões $^{187}Re/^{188}Os$ e $^{187}Os/^{188}Os$, em condritos e no manto superior, equivalentes

respectivamente a 0,40 e 0,1271, enquanto na crosta superior esses valores passam à 42 e 1,69, segundo WALKER & MORGAN (1989) e SNOW & REISBERG (1995).

Além disso, os elementos Re e Os, ao contrário dos demais sistemas isotópicos atualmente mais utilizados em geocronologia (K-Ar, Ar-Ar, Rb-Sr, Sm-Nd e U-Pb), são elementos fortemente calcófilos-siderófilos, concentrando-se preferencialmente nas fases sulfetadas em relação às silicáticas, sendo assim, mais propícios para se estudar os minérios de um determinado jazimento, como no presente estudo.

A sobreposição isobárica de ^{187}Re com seu isótopo radiogênico ^{187}Os implica na necessidade de separação química entre Re e Os para espectrometria de massa. Esse procedimento foi feito conforme a técnica de COHEN & WATERS (1996) que combina a homogeneização amostra spike em Carius tube seguida da extração do Os por solvente orgânico CHCl_3 ou CCL_4 . A fração remanescente contendo Re é então separada em colunas de troca iônica.

Espectrometria de massa foi feita em equipamento N-TIMS Finnigan Mat 262. As amostras são depositadas em filamentos de Pt, juntamente com nitrato de bário.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os dados analíticos da Tabela 1 foram realizadas no Centro de Pesquisas Geocronológicas - CPGeo, do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. As rochas analisadas provêm todas do Ciclo Superior da Unidade Morro do Níquel e correspondem respectivamente a: PI-1-FM - metapiroxenito, SS-1-FM - serpentinito, DS-C-FM - minério disseminado, IN-FM-b/1a - minério intersticial, BR-A-FM-1a/2a - minério brechado, e BR-SEC-FM - minério brechado secundário.

Tabela 1 - Resultados de Re-Os para as amostras analisadas (CPGeo-IG-USP)

Amostra	Re (ppb)	Os(ppb)	Common Os	$^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$	Erro (2 sig)	$^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$	Erro (2 sig)	Gama Os
PI-1-FM	1.8294	0.4013	0.3425	2641.61891	26.41619	1.42355	0.00214	1011.9
SS-1-FM	0.1446	43.8177	43.9422	0.46651	0.00983	0.10621	0.00092	-17.0
DS-C-FM	21.6856	32.0134	31.4039	8.04100	0.08041	0.27355	0.0092	113.7
IN-FM-a	86.5353	226.8575	224.4157	0.07920	0.00079	0.20938	0.00365	63.5
IN-FM-b *	91.3148	207.2792	205.0305	0.09261	0.00229	0.21001	0.00108	64.0
BR-A-FM-1a	133.0312	353.7925	350.2762	0.07990	0.00088	0.20268	0.00455	58.3
BR-A-FM-2a *	94.8209	227.5235	224.8410	0.09008	0.00090	0.21653	0.00911	69.1
BR-SEC-FM	92.3889	200.1459	197.8763	0.10826	0.00272	0.21345	0.00134	66.8

* Resultados duplicados a partir de diferentes alíquotas da amostra precedente

Os valores de Re e Os obtidos para todas as amostras de minério são compatíveis com o material analisado e apresentam grande valor interpretativo em relação ao contexto geológico do depósito. Nelas os teores de Re e de Os encontram-se respectivamente entre os intervalos de 21-133 ppb e 32-353 ppb, com razões Re/Os variando entre 0.4-0.7. Esses valores são característicos para cumulos de sulfetos primários, fracionados a partir de magmas komatiíticos, como os dos depósitos de Kambalda na Austrália, que apresentam teores de Re e de Os respectivamente entre os intervalos de 34-272 ppb e 165-1886 ppb, com razões Re/Os variando entre 0.1-0.4 (FOSTER *et al.*, 1996)

Nesses depósitos, também ricos em Ni, o Os se concentra nas soluções sólidas iniciais de monossulfetos, preferencialmente em relação ao Re, que se enriquece nas fases mais tardias, juntamente com Cu, de comportamento geoquímico semelhante. Por isso esses parâmetros são caracteristicamente diferentes entre os depósitos de sulfeto maciço dos tipos sulfetos de Ni associados a komatiitos arqueanos e os sulfetos de Cu-Ni associados a basaltos e gabros. Os últimos se caracterizam por baixos teores de Re e Os, e altas razões Re/Os (LAMBERT *et al.*, 1998).

Em relação a Kambalda a principal diferença apresentada pelos minérios de Fortaleza de Minas refere-se às razões iniciais elevadas em relação à do manto condrítico e valores γ_{Os} também elevados, mostrando reequilíbrios com materiais crustais posteriores à cristalização ígnea original.

Essas diferenças podem ser atribuídas aos processos metamórficos e de remobilizações tardias durante regime rúptil, claramente revelados pela petrografia do minério. Esses eventos atingiram a jazida como um todo, tendo contribuído para sua configuração final.

Os diagramas isocrônicos das Figuras 1 e 2 revelam idades Cambro-Ordovicianas para os diferentes tipos de minério. A idade e razão inicial da Fig. 1 respectivamente 482 ± 28 Ma e $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}_i = 0.2088 \pm 0.0010$, obtida para os minérios do tipo intersticial e disseminado, que tem características mais primárias que os minérios brechados e secundário, não é significativamente diferente dos valores equivalentes encontrados para todas as amostras, quando consideradas em conjunto, como no gráfico da Fig. 2. Isso mostra que todas essas amostras foram profundamente atingidas pelo evento final de remobilização responsável pela formação dos sulfetos do minério secundário, e que a idade de 482 ± 28 Ma deve corresponder à idade da configuração final da jazida.

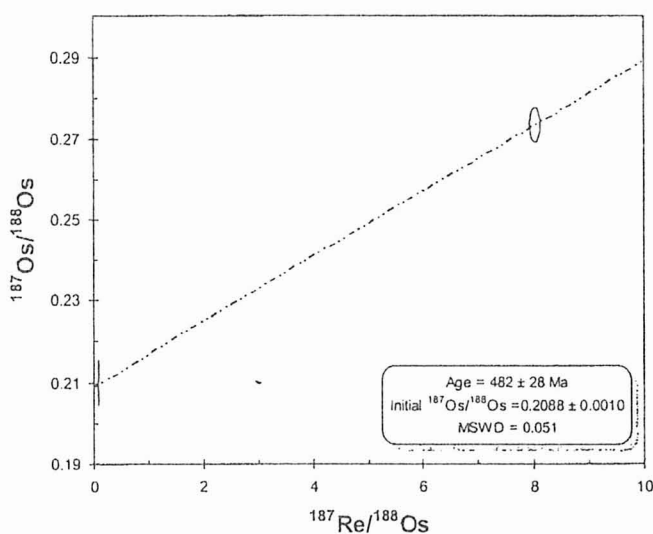


Figura 1 - Diagrama isocrônico para as amostras de minério disseminado e intersticial (ISOPLOT).

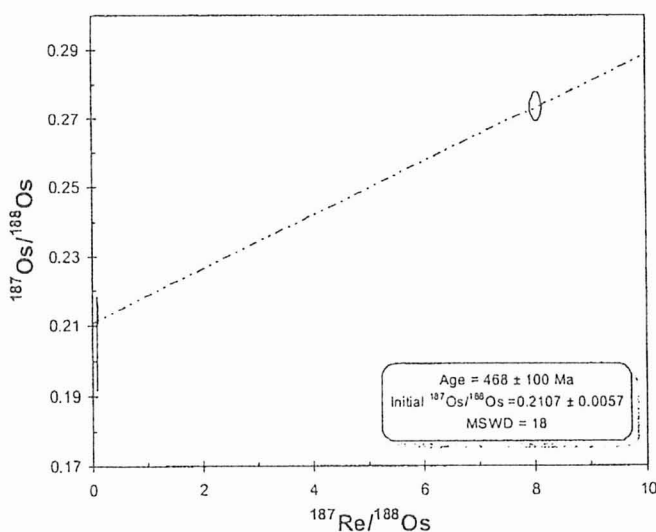


Figura 2 - Diagrama isocrônico para todas as amostras de minério, incluindo os secundários (ISOPLOT).

A avaliação dos valores encontrados na Tabela 1 para as amostras de metapiroxenito e serpentinito analisadas, mostram incoerências que indicam que esses resultados devem ser

considerados com reserva e melhor avaliados quando puderem ser confrontados com outros resultados em fase de obtenção.

Para a amostra PI-1-FM, o valor extremamente alto da razão $^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$, poderia ser esperado em função do coeficiente de partição do Re entre as fases sulfetadas e as silicáticas ser 60 vezes menor que o do Os (respectivamente 500 e 30000, segundo LESHAR & CAMPBELL, 1993). Dessa forma, esse elemento se concentra diferencialmente no líquido silicático em relação aos cumulos sulfetados quando é atingida saturação em sulfetos suficiente para separação de um líquido imiscível, durante a cristalização magmática, conforme proposto para o tipo de jazimento em estudo. Porém, se colocada nos diagramas isocrônicos das Figuras 1 ou 2, as idades obtidas estariam por volta de 28 milhões de anos. Nesse caso, seria essa amostra a controlar a inclinação das retas e portanto a idade obtida que, não tem significado geológico, a não ser que reflita um evento recente de entrada de Re no sistema, como é possível ocorrer durante alteração supérgena.

No caso da amostra SS-1-FM o conteúdo de Os (total de Os radiogênico e não radiogênico) mostra-se inferior ao valor de Os comum (Os não radiogênico). Para amostras pouco radiogênicas, pequenas incoerências nesses valores podem ser explicados por discrepâncias nos erros analíticos das diferentes razões isotópicas utilizadas nos cálculos do Os comum e Os total, porém enquanto todas as demais amostras revelam-se significativamente radiogênicas (razões $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$, elevadas quando comparadas a razões condriticas que hoje apresentam valor médio de 0.1271), essa amostra é anômala, com razão $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os} = 0.10621$.

CONCLUSÃO

Dessa forma, o padrão isotópico Re-Os em rocha total, no que concerne aos valores absolutos de Re e de Os, bem como quanto aos valores de γ_{Os} , é equivalente ao padrão das jazidas de Ni de Kambalda na Austrália, que é do tipo associado a derrames komatiíticos. Os dados isotópicos obtidos permitem confirmar esse modelo genético, que já havia sido proposto para a origem da jazida de Fortaleza de Minas com base em outras informações geológicas. Porém, de modo diverso a Kambalda e em coerência com as características morfológicas e petrográficas dos minérios, as razões iniciais de Os mostram que os sulfetos de Fortaleza de Minas foram profundamente remobilizados e rehomogeneizados em eventos metamórficos/hidrotermais posteriores à sua constituição primária ígnea. Revelam também que o último evento de remobilização da mineralização do depósito O'Toole ocorreu a cerca de 482 ± 28 Ma.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPESP e ao PRONEX, que, respectivamente, na forma dos Projetos nº: 97/00640-5 e 41.96.0899.00, financiaram essa pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRENNER, T.L.; TEIXEIRA, N.A.; OLIVEIRA, J.A.L.; FRANKE, N.D. & THOMPSON, J.F.H. (1990) - The O'TOOLE nickel deposit, Morro do Ferro greenstone belt, Brazil. *Econ. Geol.*, 85: 904-920.
- COHEN, A.S. & WATERS, F.G. (1996) - Separation of osmium from geological materials by solvent extraction for analysis by thermal ionisation mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta*, 332: 269-275.
- FOSTER, J.G.; LAMBERT, D.D.; FRICK, L.R. & MAAS, R. (1996) - Re-Os isotopic evidence for genesis of Archean nickel ores from uncontaminated komatiites. *Nature*, 382: 703-706.
- LAMBERT, D.D.; FOSTER, J.G.; FRICK, L.R.; RIPLEY, E.M. & ZIENTEK, M.L. (1998) - Geodynamics of magmatic Cu-Ni-PGE sulfide deposits: New insights from the Re-Os Isotope System. *Bul. of the Soc. of Econ. Geologists*, 93(2), pp. 121-136.
- LESHAR, C.M. & CAMPBELL, I.H. (1993) - Geochemical and fluid dynamic modelling of compositional variations in Archean komatiite-hosted nickel sulfide deposits in Western Australia. *Econ. Geol.*, 88: 804-816.
- SNOW, J.E. & REISBERG, L. (1995) - Os isotopic systematics of the MORB mantle: results from altered abyssal peridotites. *Earth and Planetary Sciences Letters*, 133: 411-421.
- SMOLIAR, M.I., WALKER, R.J. & MORGAN, J.W. (1996) - Re-Os ages of group IIA, IIIA, IVA, and IVB iron meteorites. *Science*, 271: 1099-1102.
- TEIXEIRA, N.A. (1978) - Geologia, petrologia e prospecção geoquímica da sequência vulcano-sedimentar Morro do Ferro, Fortaleza de Minas (MG). *Tese de Mestrado*, Univ. de Brasília, 202 pp. (Inédita)
- TEIXEIRA, N.A. & DANNI, J.C.M. (1979) - Petrologia das Lavas ultrabásicas e básica da Sequência Vulcano-Sedimentar Morro do Ferro, Fortaleza de Minas (MG). *Revista Brasileira de Geociências*, 9: 151-159.
- WALKER, R.J. & MORGAN, J.W. (1989) - Rhenium-osmium isotope systematics of carbonaceous chondrites. *Science*, 243: 519-522.