CONTROLE DAS TRANSFORMAÇÕES NOS PADRÕES DE EGP PELO ESTUDO DA GEOQUÍMICA DA CROMITA

MARCOS TADEU DE FREITAS SUITA* & LÉO AFRANEO HARTMANN**

ABSTRACT *CONSTRAINTS OF THE TRANSFORMATIONS IN THE PGE-PATTERNS BY CHROMITE GEOCHEMISTRY STUDIES* Studies of platinum-group elements (PGE) in mafic-ultramafic complexes (MUC) of different nature show that non deformed and non metamorphosed bodies are rich in the Pd-group elements (PPGE) in stratiform-types and in the Ir-group elements (IPGE) in the ophiolitic/alpine-type. Different types of modified MUC with varied deformation, metamorphism and/or hydrothermalism, show anomalous patterns: stratiform massifs have IPGE-normalized patterns similar to ophiolitic-type; and, ophiolitic bodies may display PPGE-rich patterns, similar to stratiform-type. The composition of chromite cores from massive chromitites, more refractory during post-magmatic modifications, is less modified and indicates the extension of changes in MUC of any nature. The most common conditions during low-grade metamorphism of mafic-ultramafic rocks, specially if CO₂-rich fluids are present, indicates ideal conditions under which may occur preferential Rh, Pt, Pd, and Au mobilization and depletion. Under such conditions, stratiform chromitiferous rocks may develop PPGE-poor and IPGE-rich patterns of ophiolitic-type, and ophiolitic chromitites may develop PPGE-rich patterns, similar to those from stratiform complexes. To interpret PGE+Au patterns from modified MUC it is necessary understand the geochemical-petrological evolution of the associated chromitites.

Keywords: metamorphic-hydrothermal alterations, chromitite geochemistry, PGE+Au patterns, mafic-ultramafic complexes

RESUMO O estudo de elementos do grupo da platina (EGP) em complexos máfico-ultramáficos (CMU) de natureza variada, mostra que corpos não deformados e não metamorfizados são ricos em elementos do grupo do Pd (PEGP) nos tipos estratiformes e no grupo do irídio (IEGP) nos ofiolíticos. Diferentes tipos de CMU modificados (com deformação, metamorfismo e/ou hidrotermalismo variados) mostram padrões anômalos: maciços estratiformes podem possuir padrões normalizados de IEGP do tipo ofiolítico e corpos ofiolíticos padrões ricos em PEGP, do tipo estratiforme. A composição do núcleo da cromita de cromititos maciços, mais refratária durante modificações pós-magmáticas, tende a ser menos modificada e indica a extensão das mudanças em CMU de qualquer natureza. As condições comuns de metamorfismo de fácies xistos verdes de rochas máfico-ultramáficas, em especial se existem fluidos ricos em CO₂, indicam as condições ideais sob as quais pode ocorrer a mobilização e lixiviação preferencial de Rh, Pt, Pd e Au destas rochas. Sob estas condições, rochas cromitíferas estratiformes severamente deformadas, metamorfizadas e/ou hidrotermalizadas podem desenvolver padrões pobres em PEGP e ricos em IEGP, do tipo ofiolítico, e cromititos ofiolíticos podem ter padrões ricos em PEGP, similares aos dos corpos estratiformes. Para interpretar padrões de EGP+Au em CMU modificados é necessário conhecer a evolução geoquímico-petroológica dos cromititos associados.

Palavras-chaves: transformações, geoquímica de cromititos, padrões de EGP+Au, complexos máfico-ultramáficos.

INTRODUÇÃO Os complexos máfico-ultramáficos (CMU) estratiformes não deformados e não metamorfizados, como Bushveld e Stillwater (Barnes *et al.* 1985, 1988, Naldrett 1989), são descritos como possuidores de padrões clássicos com forte enriquecimento nos elementos do grupo do paládio (PEGP: Rh, Pt, Pd e Au) e em S nas seqüências de rochas acamadadas, nos cromititos estratiformes e, em especial, em horizontes sulfetados do tipo Merenski. Nos corpos ofiolíticos e em seus cromititos é descrito, geralmente, um enriquecimento nos elementos do grupo do irídio (IEGP: Os, Ru, Ir) e severo empobrecimento nos PEGP. Os IEGP em típicas rochas ofiolíticas e do tipo Alaska, quando normalizados ao condrito C1, sem recálculo a 100% sulfetos, têm padrões de 0,01 a 1,0 vezes o condrito C1 e os PEGP, tipicamente ricos em complexos intrusivos acamadados, têm padrões de 0,1 a mais de 10,0 vezes o condrito C1 (Naldrett & Duke 1980, Barnes *et al.* 1985, Prichard *et al.* 1986, Naldrett 1989, Naldrett & Von Gruenewaldt 1989, Figs. 1 e 2). Os valores dos PEGP em corpos estratiformes variam de 0,001 a 100.000,00 vezes o padrão do manto e existe um maior teor absoluto dos PEGP relativamente aos IEGP (Barnes *et al.* 1988; Fig. 3).

Em diferentes tipos de CMU, deformados, metamorfizados e/ou hidrotermalizados, no entanto, observa-se uma diversidade muito grande nos teores absolutos, nos padrões normalizados de EGP+Au (ao condrito C1 ou ao manto) e são variados os processos, magmáticos e pós-magmáticos. Vários CMU

estudados no Brasil e no mundo, compreendendo corpos deformados, metamorfizados (de fácies xistos verdes a granulito) e/ou hidrotermalizados, ou não, com filiação estratiforme komatiítica, picrítica e toleítica intrusiva, ou ofiolítica, incluindo materiais residuais do manto, apresentam padrões e teores de metais nobres que muitas vezes independem do tipo de CMU aos quais se associam (Suito 1996). Estes aspectos observados podem diferir acentuadamente dos padrões acima citados, considerados clássicos para corpos estratiformes ou ofiolíticos.

A redistribuição causada por fluidos reativos atuantes durante processos tardimagmáticos e/ou hidrotermais de alta temperatura na concentração ou dispersão dos EGP têm sido discutida por poucos autores (Stumpfl & Rucklidge 1982, Stumpfl & Balhaus 1986, Nyman *et al.* 1990, Boudreau 1995). Pouca atenção, também, tem sido posta sobre ocorrências ou depósitos, metamórficos e/ou hidrotermais, de EGP (Mihalik *et al.* 1974, McCallum *et al.* 1976, Rowell & Edgar 1986, Marchetto *et al.* 1993).

A comparação de CMU metamorfizados e/ou hidrotermalizados e deformados com complexos estratiformes do tipo Bushveld e Stillwater, ou com os corpos ofiolíticos do tipo Troodos, com pouca ou nenhuma deformação e/ou metamorfismo é feita diretamente, "*per si*". Não tem sido posta a devida atenção aos padrões normalizados de EGP+Au de rochas silicatadas ou cromitíferas que sofreram severos processos pós-magmáticos, como deformação, metamorfismo e/ou

* Departamento de Engenharia de Minas, Escola de Minas, UFOP, Ouro Preto, MG, 35.400-000, BRASIL; e-mail: suita@degeo.ufop.br;

** Curso de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre, RS, BRASIL; e-mail: afraano@if.ufrgs.br;

Figura 1 - Padrões de EGP+Au, normalizados ao condrito C1, de rochas máfico-ultramáficas não associadas a complexos estratiformes (Barnes et al. 1985): (1) complexos alpinos; (2) cromititos de ofiolitos; (3) ofiolitos, A e D= dunitos, B e E= piroxenitos, C e F= gabros, G e H= basaltos; (4) fundo oceânico, A e B= limite inferior e superior dos MORB's, respectivamente, C= estimativa dos MORB's. D= ilhas oceânicas.

Figure 1 - EGP+Au normalized to C1 chondrite, of mafic-ultramafic rocks non related to stratiform complexes (Barnes et al. 1985): (1) alpine complexes; (2) ophiolite chromitites; (3) ophiolites, A and D= dunite, B and E= pyroxenite, C and F= gabbro, G and H= basalt; (4) ocean floor, A and B= lower and upper limit of MORB, respectively, C=MORB's estimate. D= oceanic islands.

Figura 2 - Padrões de EGP+Au, normalizados ao condrito C1, de rochas máfico-ultramáficas de complexos estratiformes não metamorfizados e deformados (Barnes et al. 1985): 1-Complexo Bushveld: A. rocha marginal da zona inferior; B. rochas marginais das zonas crítica e principal; C. horizonte UG-2; D. horizonte Merensky; 2-Complexo Stillwater: A. zona basal; B. cromititos; C. horizonte JM.

Figure 2 - EGP+Au, normalized to C1 chondrite, of unmetamorphized and undeformed rocks of mafic-ultramafic stratiform complexes (Barnes et al. 1985): 1-Bushveld Complex: A. margin rocks of the lower zone; B. margin rocks of the critical and main zones; C. UG-2 horizon; D. Merensky reef; 2-Stillwater Complex: A. basal zone; B. chromitites; C. JM horizon.

hidrotermalismo. Estes padrões têm sido considerados como frutos quase que exclusivos de processos magmáticos (p.ex.: Barnes 1988, Naldrett 1989, Ferreira Filho et al. 1995).

UMA DISCUSSÃO DA GEOQUÍMICA ÍGNEA E METAMÓRFICA E DOS PADRÕES DOS EGP+Au E DA CROMITA EM CMU E CROMITITOS ASSO-CIADOS Padrões anômalos de EGP+AU em cromititos estratiformes e ofiolíticos

Como visto anteriormente, o enriquecimento em IEGP é típico de corpos ofiolíticos e em PEGP de cromititos e depósitos de sulfetos de complexos acamados e existe um maior teor absoluto do PEGP relativamente aos IEGP (Naldrett & Duke 1980, Prichard et al. 1986, Barnes et al. 1985, 1988, Naldrett & Von Gruenewaldt 1989; Figs 1, 2 e 3). No entanto, os padrões de EGP+Au dos cromititos deformados e metamorfizados dos complexos estratiformes de Campo Formoso, Serro e Niquelândia (Uhlein et al. 1983, De Deus et al. 1991, Lord et al. 1993a, b, Ferreira Filho et al. 1995, Suíta 1996, Suíta & Hartmann 1991 1996, Suíta & Strieder 1996a, b), são ricos nos IEGP e pobres em PEGP (Figs. 4, 5, 6) e têm sido comparados a padrões assemelhados aos de corpos ofiolíticos (Barnes et al. 1988, De Deus et al. 1991, Bonavia et al. 1993, Ferreira Filho et al. 1995).

Os CMU brasileiros acima citados têm filiação magmática e idades diversas. Estes CMU podem ser comparáveis quanto a aspectos de ambiente intracratônico, metamorfismo de baixo grau, milonitização, empobrecimento variado nos PEGP, pa-

Figura 3 - Padrões de Ni+EGP+Au+Cu, normalizados ao manto "primitivo" ("manto"; Barnes *et al.* 1988), de diversos tipos de rochas, incluindo os tipos médios (figura 3.h) de cromititos estratiformes e podiformes (com as cromititas ricas em Pt da localidade Cliff, -C-, do Ofiólito Unst).

Figure 3 - Ni+EGP+Au+Cu, normalized to primitive mantle ("mantle"; Barnes *et al.* 1988), of several rock types, including average chromitites (figura 3.h) of stratiform and podiform deposits (with Pt-rich of the locality of Cliff, -C-, of the Unst ophiolite).

drões normalizados de EGP+Au e geoquímica de núcleos de cromita estratiforme metamorfozada, nos cromititos maciços, aos cromititos estratiformes dos complexos de Sukinda e Nausahi, Índia (Figs. 7 e 8; Chakraborty & Chakraborty 1984, dados de EGP de Page *et al.* 1985).

Também existem corpos ofiolíticos ricos em PEGP, como o Complexo Leska e os corpos de Morro Feio e da região de Abadiânia (Figs. 9 e 10), de Hockgrossen e Kraubath (Fig. 11), Acoje (Fig. 12) e Shetland que possuem padrões de EGP+Au similares aos de cromititos estratiformes continentais. Estes padrões ricos em PEGP são atribuídos a seções de ofiólitos anormalmente ricos em horizontes de EGP (Neary *et al.* 1984, Prichard *et al.* 1993, Pedersen *et al.* 1993) ou a processos metamórficos e/ou hidrotermais (Bacuta *et al.* 1988, Orberger *et al.* 1988, Talhammer *et al.* 1990, Suita *et al.* 1993a).

- UG2- Horizonte cromitífero UG2 do Complexo de Bushveld
- S- Horizonte cromitífero do Complexo de Stillwater
- CMF- Horizonte cromitífero do Complexo Estratiforme de Campo Formoso

Figura 4 - Dados de EGP (adaptados de Bonavia *et al.* 1993), normalizados a média do condrito C1, para cromititos estratiformes, metamorfozados e deformados, do Complexo de Campo Formoso, Bahia (Nilson 1984, Lord *et al.* 1993, Suita & Strieder 1996b) comparados aos cromititos do Complexo de Bushveld (UG2) e de Stillwater (S). Observar severo empobrecimento nos PEGP nos cromititos do Complexo de Campo Formoso.

Figure 4 - PGE data (adapted from Bonavia *et al.* 1993), normalized to C1 chondrite, of metamorphosed and deformed stratiform chromitites of the Campo Formoso Complex, Bahia (Nilson 1984, Lord *et al.* 1993, Suita & Strieder 1996b) compared to the Bushveld (UG2) and Stillwater (S) complexes chromitites. Observe the severe depletion of PEGP of the Campo Formoso Complex chromitites.

Geoquímica magmática e metamórfica dos IEGP E PEGP

Durante a cristalização e diferenciação magmáticas de CMU, devido as características geoquímicas e petrográficas dos EGP e seus minerais, estes elementos tendem a separar-se nos IEGP e nos PEGP. Os IEGP cristalizam de início, "envelopados" na estrutura da cromita ou em fases minerais silicáticas cúmulus precoces de alta temperatura, como minerais "discretos" inclusos ou em solução sólida. Os PEGP tendem a permanecer no "líquido" residual e a cristalizar tardiamente, entre os grãos e/ou no contato de silicatos e de cromitas precoces, na matriz silicática (Razin *et al.* 1965, Razin 1976, Grimaldi & Schnepfe 1969, Naldrett & Cabri 1976, Crockett 1979, Page *et al.* 1982, Talkington & Lipin 1986, Prichard *et al.* 1986, Naldrett & Von Gruenewaldt 1989, Kieser 1993).

Figura 10 - Padrões de EGP+Au+Ni+Cu, normalizados ao "manto" (Barnes et al. 1988), de diferentes cromititos maciços deformados, metamorfizados em baixo grau e hidrotermalizados dos corpos da região de Abadiânia, Goiás (Suíta et al. 1993a). Símbolos: (∇) teores de elementos abaixo dos limites de detecção.

Figure 10 - PGE+Au+Ni+Cu, normalized to "mantle" (Barnes et al. 1988), patterns of several massive chromitites deformed and metamorphosed under low grade and hydrothermalized of the Abadiânia bodies, Goiás (Suíta et al. 1993a). Symbols: (∇) elements contents below detection limit.

Figura 11 - Padrões de EGP+Au+Ni+Cu, normalizados ao "manto" (Barnes et al. 1988), de cromititos maciços, deformados e metamorfizados em baixo grau, dos Ofiolitos de Hockgrossen e Kraubath, Áustria (Talhammer et al. 1990).
Figure 11 - PGE+Au+Ni+Cu, normalized to "mantle" (Barnes et al. 1988), patterns of several massive chromitites deformed and metamorphosed under low grade of the Hockgrossen and Kraubath ophiolites, Austria (Talhammer et al. 1990).

maior empobrecimento em PEGP em rochas originalmente já pobres em EGP e S. Estes fluidos reativos em contato e reação com rochas de CMU podem lixiviar os PEGP ali presentes, transportá-los de seu sítio de deposição magmática e depositá-los em sítios estruturais, metamórficos ou hidrotermais favoráveis (p.ex.: Barnes et al. 1985, Talhammer et al. 1990, Jaireth 1992, Wood et al. 1992, Suíta et al. 1993). Os processos de enriquecimento em rochas originalmente pobres em PEGP+S podem ser causados pela mudança nas condições físico-químicas das soluções portadoras dos metais em solução. Estes fenômenos podem gerar enriquecimentos e empobrecimentos localizados dentro do próprio CMU ou nas rochas adjacentes, como no caso do Complexo Serro, onde são encontrados depósitos de Pt, Pd e/ou Au em unidades metassedimentares circundantes ao corpo acamado (Suíta & Hartmann 1996). Estes fenômenos de circulação de fluidos metamórfico e/ou hidrotermais podem também ocasionar enriquecimento relativo e formação de resíduos ricos em elementos menos solúveis e mais protegidos do ataque de fluidos reativos, como os IEGP. Basicamente, o que deve ser considerado nos processos de alteração dos prováveis padrões originais de EGP+Au em cromititos é o tipo de fluido percolante, o meio circundante (rocha encaixante) e as condições físico-químicas, se são favoráveis a precipitação ou a dissolução.

Nestes processos pós-magmáticos a passagem de fluidos reativos especializados por rochas máfico-ultramáficas, em

especial em cromititos do tipo acamado intrusivo, poderia alterar padrões estratiformes de EGP em direção aos dos tipos ofiolíticos e CMU ofiolíticos poderiam desenvolver padrões similares aos de corpos estratiformes (Suíta et al. 1993a, b).

Este fenômeno de inversão de padrões dos EGP+Au em cromititos pode ocorrer pelas características geoquímicas e petrográficas das cromitas, de suas rochas hospedeiras ou associadas e dos EGP+Au. Estes processos, ao final, podem desenvolver caracteres contrastantes ofiolíticos e estratiformes em um mesmo corpo deformado, metamorfoseado e/ou hidrotermalizado. Estes fenômenos de padrões contrastantes, cromita versus EGP, são mais efetivos em CMU relacionados e/ou posicionados próximos ou dentro de grandes zonas de falhas dúcteis (Suíta 1996), as quais criam condições de permeabilidade secundária, gerando espaços e canais por onde podem percolar e interagir os fluidos em reação com as fases minerais presentes, dissolvendo e precipitando ou lixiviando os PEGP.

A interpretação acima é feita para os cromititos estratiformes de Campo Formoso, Vale do Rio Jacurici, Serro, Niquelândia, Sukinda e Nausahi, e os cromititos ofiolíticos de Morro Feio, região de Abadiânia, Shetland, Maciços de Hockgrössen e Kraubath e Bloco Acoje (Suíta et al. 1993a, b, Suíta & Hartmann 1996, Suíta 1996).

Para interpretar padrões normalizados dos EGP+Au em rocha, de CMU deformados e metamorfizados e/ou hidrotermalizados e atribuir gênese e características estratiformes ou ofiolíticas, com regimes tectônicos implícitos em cada caso, sugere-se que devem ser estabelecidas a gênese da rocha

Figura 12 - Padrões de EGP+Au+Ni+Cu, normalizados ao "manto" (Barnes et al. 1988), de cromititos maciços, deformados e metamorfizados em baixo grau do Bloco Acoje, Ophiolito Zambales, Filipinas (Bacuta et al. 1988, Orberger et al. 1988).

Figure 12 - PGE+Au+Ni+Cu, normalized to "mantle" (Barnes et al. 1988), patterns of several massive chromitites deformed and metamorphosed under low grade of the Acoje Block, Zambales Ophiolite, Philippines (Bacuta et al. 1988, Orberger et al. 1988).

original, as condições físico-químicas vigentes e o(s) processo(s) ocorrido(s) durante o(s) metamorfismo(s), de baixo a alto grau.

CONCLUSÕES A simples análise dos teores e padrões de EGP+Au em rocha total em CMU deformados e metamorfizados e/ou hidrotermalizados pode ser totalmente enganosa. É impossível determinar-se o protólito magmático (se estratiforme ou ofiolítico) e seu ambiente tectônico sem completa avaliação dos processos petrológicos ígneos e metamórficos envolvidos.

Os perfis normalizados de EGP+Au assemelhados aos ofiolíticos nos corpos de cromititos estratiformes, dos com-

plexos acamados de Niquelândia, Campo Formoso, Vale do Rio Jacurici, Serro, Nausahi e Sukinda, podem não ser devidos a suas naturezas transicionais entre corpos ofiolíticos e estratiformes ou gênese (proto)ofiolítica. Os padrões de EGP+Au são interpretados como padrões residuais devidos a lixiviação preferencial dos PEGP e alteração da litogeoquímica global em processos pós-magmáticos, pela ocorrência de deformações, metamorfismo e/ou hidrotermalismo (Suito 1996).

Enriquecimentos em IEGP são interpretados ou como o produto final da pobreza da rocha original em PEGP+S em rochas alpinas ou ofiolíticas, ou como empobrecimento causado por lixiviação preferencial dos PEGP, no caso de CMU estratiformes intensamente deformados e metamorfizados. A intensidade de enriquecimento em IEGP, em CMU muito deformados e metamorfizados/hidrotermalizados pode refletir, além de seu caráter de riqueza em IEGP, o grau de residualidade das rochas e minerais hospedeiros.

A cromita e os Cr-espinélios devem ser usados como indicadores primários das modificações sofridas por CMU e como critérios sugestivos da metalogênese de EGP. Os núcleos de cromitas em cromititos maciços, em especial, mesmo sob intensa deformação e metamorfismo de fácies granulito a anfibolito, servem como indicadores da gênese magmática, evolução petrológica e posicionamento tectônico dos CMU. Não é possível interpretar perfis e padrões de EGP+Au em rochas máfico-ultramáficas sem um conhecimento da geoquímica da cromita (s.l.) ou do Cr-espinélio nestas rochas dado seu caráter de mineral mais refratário a transformações pós-magmáticas do que os EGP e MGP.

A maioria dos CMU brasileiros é de idade pré-cambriana e está variavelmente deformada e metamorfizada-hidrotermalizada. Assim, a maior parte das ocorrências e depósitos brasileiros de EGP deve ter sido afetada, total a parcialmente, por processos pós-magmáticos. Podem, também, ter ocorrido modificações nos teores e padrões primários dos metais nobres, bem como remobilizações de maior ou menor vulto, e pode, sob forte metamorfismo-hidrotermalismo e/ou deformação, ter ocorrido perda preferencial dos PEGP+Au do sítio original de deposição magmática.

Agradecimentos À CAPES e CNPq pela bolsa de doutorado "sanduíche" (Proc. nº 201.718/91-0), ao primeiro autor (M.T.F.S.) na UFRGS (Brasil) e UWO (Canadá), durante a qual foram realizadas os estudos que permitiram a confecção deste trabalho. Ao DNPM (1º Distrito, Brasília, DF), em especial aos Geol. Dr. Onildo J. Marini e Waldir B. Ramos, pelo apoio técnico, infra-estrutura física e econômica e transporte das amostras para o Canadá e, também, a dois revisores anônimos que muito enriqueceram este trabalho com críticas e sugestões.

REFERÊNCIAS

- Bacuta, G.C.; Gibbs, A.K.; Kay, R.W. & Lipin, B.R. 1988. Platinum-Group Element Abundance in Chromite Deposits of the Acoje Ophiolite Block, Zambales, Philippines. In: Prichard, H.M.; Potts, P.J.; Bowles, J.F.W. & Cribb, S.J. (ed.s) 1988. *GEO-PLATINUM 87*. Essex, Elsevier, Chap. 39, p.381-382.
- Barnes, S.-J.; Naldrett, A.J. & Gorton, M.P. 1985. The origin of the fractionation of platinum-group elements in terrestrial magmas. *Chem. Geol.*, 53: 303-323.
- Barnes, S.-J.; Boyd, R.; Korneliussen, A.; Nilsson, L.-P.; Often, M.; Pedersen, R.B. & Robins, B. 1988. The use of Mantle Normalization and Metal Ratios in Discriminating between the Effects of Partial Melting, Crystal Fractionation and Sulphide Segregation on Platinum-Group Elements, Gold, Nickel and Copper: Examples from Norway. In: Prichard, H.M.; Potts, P.J.; Bowles, J.F.W. & Cribb, S.J. (ed.s) 1988. *GEO-PLATINUM 87*. Essex, Elsevier, Chap. 12, p. 113-143.
- Bonavia, F.F.; Diella, V. & Ferrario, A. 1993. Precambrian Podiform Chromitites from Kenticha Hill, Southern Ethiopia. *Econ. Geol.*, 88:198-202.
- Boudreau, A.E. 1995. Some Geochemical Considerations for Platinum-Group-Element Exploration in Layered Intrusions. *Explor. Mining Geol.*, 4: 215-225.
- Chadwick, B. & Crewe, M.A. 1986. Chromite in the Early Archean Akilia Association (ca. 3,800 M.y.), Ivisártoq Region, Inner Godthåbsfjord, Southern West Greenland. *Econ. Geol.*, 81:184-191.
- Chakraborty, K.L. & Chakraborty, T.L. 1984. Geological Features and Origin of the Chromite Deposits of Sukinda Valley, Orissa, India. *Mineral. Deposita*, 19: 256-265.
- Crocket, J.H. 1979. Platinum-group elements in mafic and ultramafic rocks: a survey. *Canad. Miner.*, 17: 391-402.
- De Deus, P.B.; Brigo, L.; Costa, U.; Diella, V.; Ferrario, A. & Garuti, G. 1991. The Campo Formoso Ultramafic Complex, Bahia State, Brazil: an example of an Archean PGE-bearing chromitites. In: European Union of Geosciences, EUG VI, Abstracts..., Terra, 3(1): 109 (111).
- Dick, J.B. & Bullen, T. 1984. Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and alpine-type peridotites and spatially associated lavas. *Contr. Mineral. Petrol.*, 86: 54-76.

- Ferreira Filho, C.F.; Naldrett, A.J. & Asif, M. .1995. Distribution of Platinum-group Elements in the Niquelândia Layered Mafic-ultramafic Intrusion, Brazil: Implications with Respect to Exploration. *Can Mineral.*, 33: p.165-184.
- Grimaldi, F.S. & Schnepfe, M.M. .1969. Mode of occurrence of platinum, palladium and rhodium in chromitite. *U.S. Geol. Surv. Prof. Paper*, 650-C: 149-151.
- Irvine, T.N. .1965- Chromian spinel as a petrogenetic indicator. Part 1: theory. *Can. J. Earth Sciences*, 2: 648-672.
- Irvine, T.N. .1967. Chromian spinel as a petrogenetic indicator. Part 2: petrological application. *Can. J. Earth Sciences*, 4: 71-103.
- Jaireth, S. .1992. The calculated solubility of platinum and gold in oxygen-saturated fluids and the genesis of platinum-palladium and gold mineralization in the unconformity-related uranium deposits. *Mineral. Deposita*, 27: 42-54.
- Kieser, N.B. .1993. PGM modification in an Alaskan Ophiolite Complex. In: IAGOD- International Symposium on Mineralization Related to Mafic and Ultramafic Rocks, *Abstracts...*, Orleans, France, *Terra nova*, 5: 23.
- Lord, R.A.; Prichard, H.M. & Sá, J.H.G. .1993a. Platinum-group elements in the Campo Formoso and Jacurici intrusions, Bahia State, Brazil. In: Encontro Brasileiro sobre Elementos do Grupo da Platina, I, *Extended abstracts...*, SBG, Brasília (DF), p. 40.
- Lord, R.; Prichard, H.M.; Sá, J.H.S. & Neary, C. .1993b. The distribution and fractionation of PGE in the Campo Formoso and Jacuricy Valley Intrusions, Bahia State, Brazil. In: IAGOD- International Symposium on Mineralization Related to Mafic and Ultramafic Rocks. *Abstracts...*, Orleans, France, *Terra Nova*, 5(3): 30.
- Marchetto, C.L.M.; Larson, L.T. & Figueiredo, A.M. .1993. Platinum-group minerals and Gold in acid rocks, Cavalcante, Brazil. In: Encontro Brasileiro sobre Elementos do Grupo da Platina, I, *Extended abstracts...*, SBG, Brasília (DF), p. 47-51.
- McCallum, M.E.; Loucks, R.R.; Carlson, R.R.; Cooley, E.F. & Doerge, T.A. .1976. Platinum metals associated with hydrothermal copper ores of the New Rambler Mine, Medicine Bow Mountains, Wyoming. *Econ. Geol.*, 71: 1429-1450.
- Mihalik, P.; Jacobsen, J.B.E. & Hiemstra, S.A. .1974. Platinum-group minerals from a hydrothermal environment. *Econ. Geol.*, 69: 257-262.
- Mountain, B.W. & Wood, S.A. .1968- Chemical controls on the solubility, transport, and deposition of platinum and palladium in hydrothermal solutions: a thermodynamics approach. *Econ. Geol.*, 83: 492-510.
- Naldrett, A.J. .1989. *MAGMATIC SULPHIDE DEPOSITS*. Oxford Monographs on Geology and Geophysics, no. 14. New York, Oxford, Oxford University Press Inc./Clarendon Press, 189p.
- Naldrett, A.J. & Cabri, L.J. .1976. Ultramafic and related mafic rocks: their classification and genesis with special reference to the concentration of nickel sulfides and platinum-group elements. *Econ. Geol.*, 71: 1131-1158.
- Naldrett, A.J. & Duke, J.M. .1980. Platinum Metals in Magmatic Sulfide Ores. *Science*, 208: 1417-1424.
- Naldrett, A.J. & Von Gruenewaldt, G. .1989. Association of platinum-group elements with chromitites in layered intrusions and ophiolite complexes. *Econ. Geol.*, 84: 180-187.
- Neary, C.R.; Prichard, H.M. & Potts, P.J. .1984. Chromite, platinoids, gold and moly in the Shetland. *Min. Mag.*, p. 559-560.
- Nyman, M.W.; Sheets, R.W. & Bodnar, R.J. .1990. Fluid inclusions evidence for the physical and chemical conditions associated with intermediate PGE mineralization at the New Rambler Deposit, Southeastern Wyoming. *Can. Mineral.*, 28: 629-638.
- Orberger, B.; Friedrich, G. & Woermann, E. .1988. Platinum-group element mineralization in the ultramafic sequence of the Acoje ophiolite block, Zambales, Philippines. In: Prichard, H.M.; Potts, P.J.; Bowles, J.F.W. & Cribb, S.J., (ed.s), *GEOPLATINUM 87*, London, New York, Elsevier, Chap. 40, p. 361-380.
- Page, N.J.; Cassard, D. & Hafty, J. .1982. Palladium, platinum, rhodium, ruthenium and iridium in chromitites from the Massif du Sud and Tiébaghi Massif, New Caledonia. *Econ. Geol.*, 77: 1571-1577.
- Page, N.J.; Banerji, P.K. & Hafty, J. .1985. Characterization of the Sukinda and Nausahi Ultramafic Complexes, Orissa, India by Platinum-group Element Geochemistry. *Precambrian. Res.*, 30: 27-41.
- Pedersen, R.-B.; Johannesen, G.M. & Boyd, G.M. .1993. Stratiform Platinum-Group Element Mineralizations in the Ultramafic Cumulates of the Leka Ophiolite Complex, Central Norway. *Econ. Geol.*, 88: 72-803.
- Prichard, H.M.; Neary, C.R. & Potts, P.J. .1986. Platinum group minerals in the Shetland Ophiolite. In: Gallagher, M.J.; Ixer, R.A.; Neary, C.R. & Prichard, H.M. .1986-METALLOGENY OF BASIC AND ULTRABASIC ROCKS. London, Inst. Min. Metal., 522 p.
- Prichard, H.M.; Neary, C.R. & Lord, R.A. .1993. Evidence of Platinum-group element concentrations in the Al'Ays ophiolite Complex, Saudi Arabia: significance for prediction of PGE in other complexes. In: Encontro Brasileiro sobre Elementos do Grupo da Platina, I, *Extended abstracts...*, SBG, Brasília (DF), p. 67-68.
- Razin, L.V. .1976. Geologic and genetic features of forsteritic dunite and their platinum-group mineralization. *Econ. Geol.*, 71:1371-1376.
- Razin, L.V.; Khvostov, V.P. & Novikov, V.A. .1965. Platinum metals in the essential and accessory minerals of ultramafic rocks. *Geochim.Int.*, 2:118-131.
- Rowell, W.F. & Edgar, A.D. .1986. Platinum-group element mineralization in a hydrothermal Cu-Ni sulfide occurrence, Rathbun Lake, Northeastern Ontario. *Econ. Geol.*, 81:1272-1277.
- Sack, R.O. & Ghiorso, M.S. .1991. Chromian spinels as petrogenetic indicators: Thermodynamics and Petrological applications. *Amer. Mineral.*, 76: 827-847.
- Stumpfl, E.F. & Rucklidge, J.C. .1982. The platiniferous dunite pipes of the Eastern Bushveld. *Econ. Geol.*, 77(6): 1419-1431.
- Stumpfl, E.F. & Ballhaus, C.G. .1986. Stratiform platinum deposits: New data and concepts. *Fortschr. Miner.*, 64(2): 205-214.
- Suita, M.T.F. .1996. *Metagenia & Geoquímica de Platinóides em Complexos Máfico-ultramáficos do Brasil: alguns critérios e guias, com ênfase no Complexo Máfico-ultramáfico de Barro Alto (Goiás, Brasil Central)*. Porto Alegre, UFRGS, Instituto de Geociências, Curso de Pós-graduação, Tese (Doutorado; inédito), 525 p..
- Suita, M.T.F. & Hartmann, L.A. .1991. A associação de platinóides (EGP) e cromititos: uma abordagem preliminar. In: Simp. Geol. Núcleo Minas Gerais/SBG, 6, Ouro Preto (MG), 1991, Semana de Estudos Geológicos (SICEG), 30, *Resumos Expandidos...*, Ouro Preto (MG), 1991.
- Suita, M.T.F.; Strieder, A.J. & Fyfe, W.S. .1993a. PGE+Au patterns from Podiform Chromitites of Central Goiás, Brazil. In: Encontro Brasileiro sobre Elementos do Grupo da Platina, I, *Extended abstracts...*, SBG, Brasília (DF), p. 36-39.
- Suita, M.T.F.; Fyfe, W.S.; Hartmann, L.A. & Nilson, A.A. .1993b. PGE/PGM Related to Mafic-ultramafic Complexes of Brazil. In: IAGOD- International Symposium on Mineralization Related to Mafic and Ultramafic Rocks, *Abstracts...*, Orleans, France, *Terra nova*, 5:49-50.
- Suita, M.T.F. & Strieder, A.J. .1996a. Chromitite geochemistry and petrology of the Serro ultramafic Complex: a reevaluation. In: Symposium Archaean Terranes of the South America Platform, I, *Extended Abstracts...*, Brasília (DF), Abril, 1996, SBG, p. 21-22.
- Suita, M.T.F. & Strieder, A.J. .1996b. Cr-spinels from Brazilian mafic-ultramafic Complexes: Metamorphic Modifications. *International Geology Review*, 38: 245-267.
- Suita, M.T.F. & Hartmann, L.A. .1996. Archaean Serro Ultramafic Complex (Minas Gerais, Brazil): PGE-ophiolitic x stratiform chromite patterns. In: Symposium Archaean Terranes of the South America Platform, I, *Extended Abstracts...*, Brasília (DF), Abril, 1996, SBG, p. 19-20.
- Talhammer, O.A.R.; Prochaska, W. & Mühlhans, H.W. .1990. Solid inclusions in chrome-spinels and platinum group element concentrations from the Hochgrössen and Kraubath Ultramafic Massifs (Austria). *Contr. Mineral. Petrol.*, 105: 66-80.
- Talkington, R.W. & Lipin, B.R. .1986. Platinum-group minerals in chromite seams of the Stillwater Complex, Montana. *Econ. Geol.*, 81:179-1186.
- Uhlein, A.; Assis, L.C. & Dardenne, M.A. .1983. As mineralizações de ouro e cromita da sequência vulcano-sedimentar de Serro. In: Simpósio de Geologia de Minas Gerais, 2, Belo Horizonte, 1983, *Anais...*, Belo Horizonte, SBG/ Núcleo Minas Gerais, p. 306-320.
- Wood, S.A.; Mountain, B.W. & Pan, P. .1992. The Aqueous Geochemistry of Platinum, Palladium and Gold: Recent Experimental Constraints and a Re-evaluation of Theoretical Predictions. *Can. Mineral.*, 30: 955-982.

Manuscrito A-897

Recebido em 26 de novembro de 1996

Revisão dos autores em 05 de agosto de 1997

Revisão aceita em 08 de agosto de 1997