

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, chromite 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 geoquímica-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 CI, sem recálculo a 100% sulfetos, têm padrões de 0,01 a 1,0 vezes o condrito CI e os PEGP, tipicamente ricos em complexos intrusivos acamadados, têm padrões de 0,1 a mais de 10,0 vezes o condrito CI (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 CI 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 se". 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;

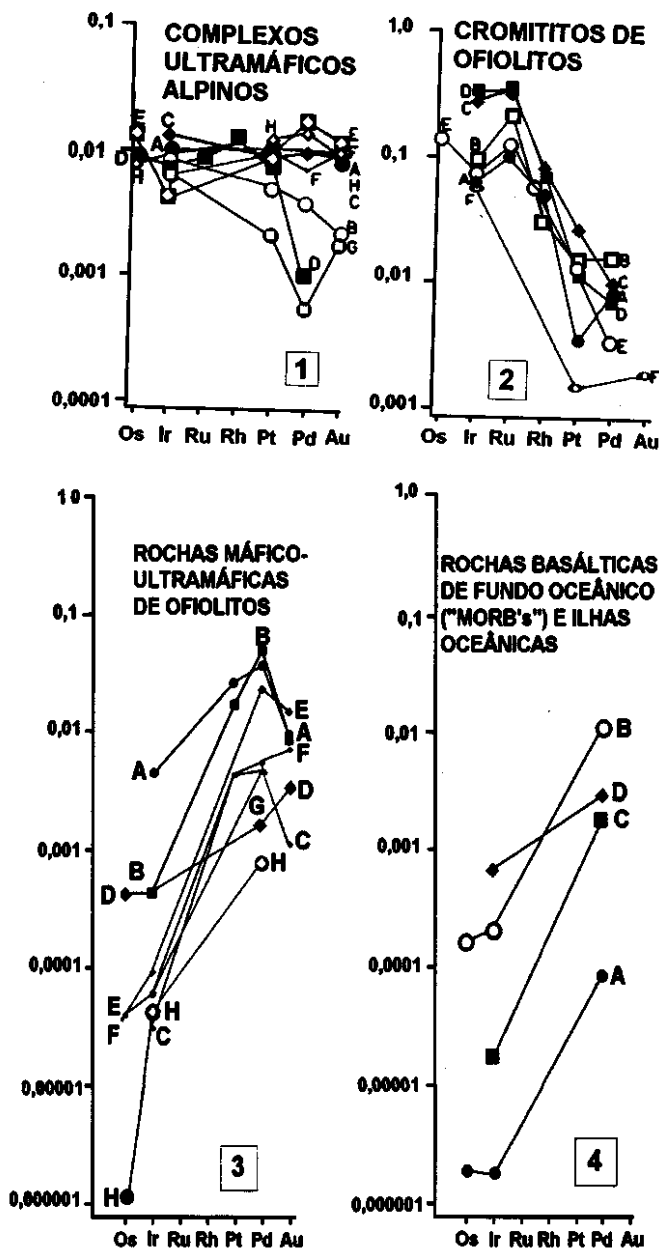


Figura 1 - Padrões de EGP+Au, normalizados ao condrito CI, de rochas máfico-ultramáficas não associadas a complexos estratiformes (Barnes et al. 1985): (1) complexos alpinos; (2) cromititos de ofiólitos; (3) ofiólitos, A e D= dunitos, B e E= piroxenitos, C e F= gabros, G e H= basaltos; (4) fundo oceânico, 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 CI 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.

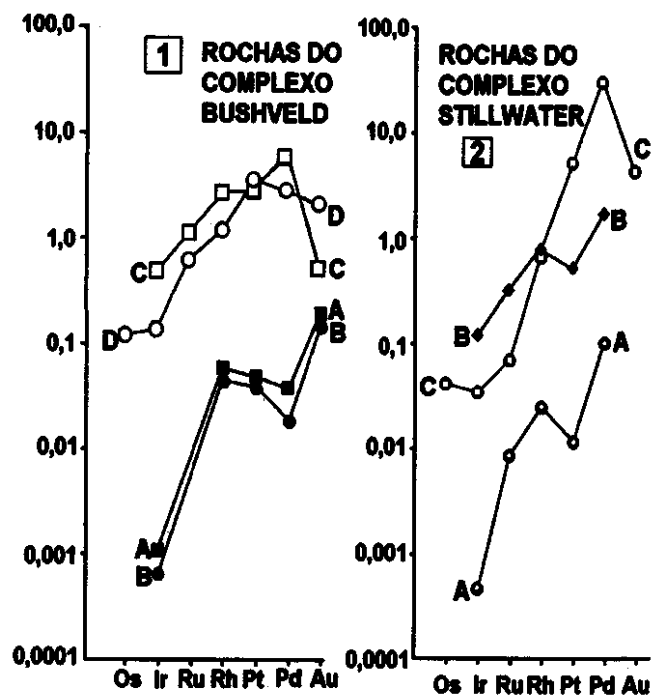


Figura 2 - Padrões de EGP+Au, normalizados ao condrito CI, de rochas máfico-ultramáficas de complexos estratiformes não metamorfizados e deformados (Barnes et al. 1985): 1-Complexo Bushveld: A. rocha marginal da zona inferior; B. rochas marginais das zonas crítica e principal; C. horizonte UG-2; D. horizonte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

Figure 2 - EGP+Au, normalized to CI 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 ASSOCIADOS 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 dos 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, Suita 1996, Suita & Hartmann 1991 1996, Suita & 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, pá-

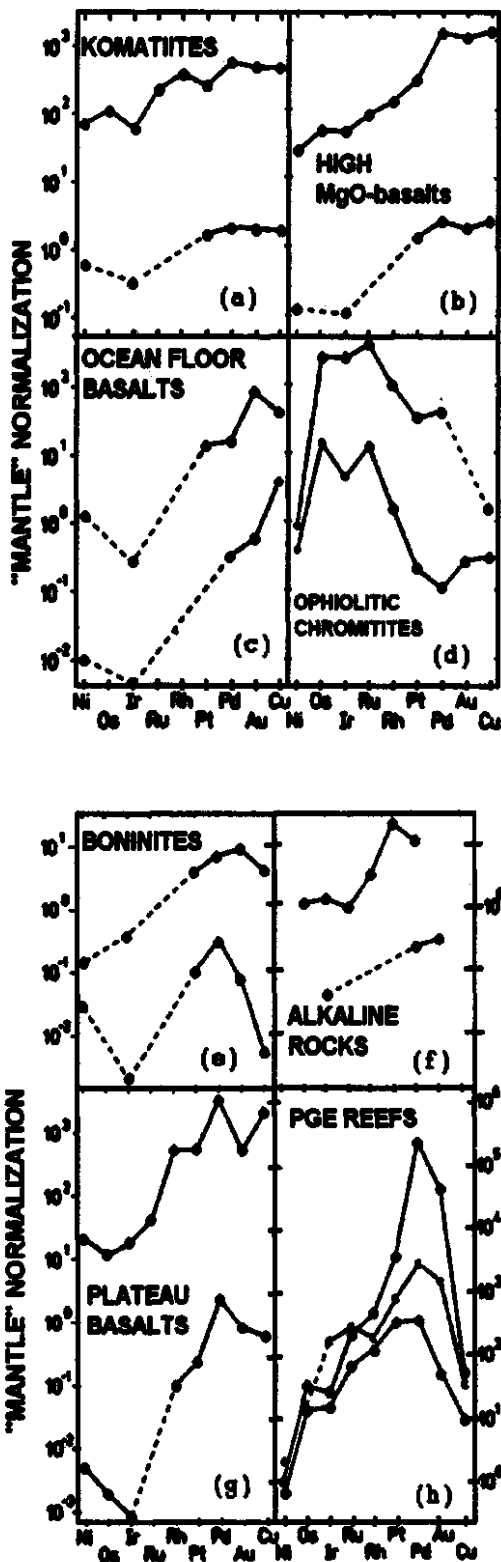
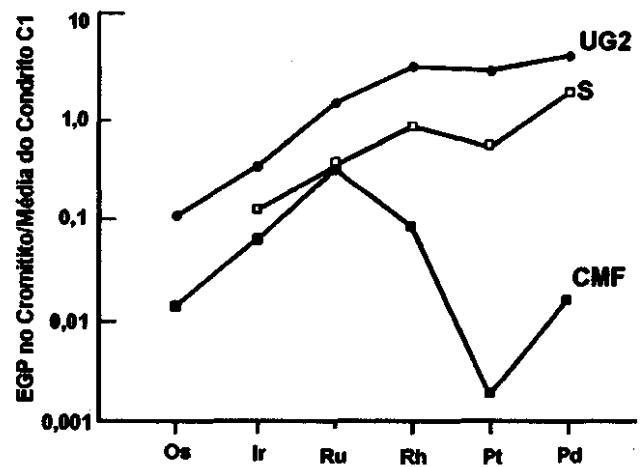


Figura 3 - Padrões de Ni+EGP+Au+Cu, normalizados ao manto "primitivo" ("manto"; Barnes et al. 1988), de diversos tipos de rochas, incluindo os tipos médios (figura 3. h) de cromititos estratiformes e podiformes (com as cromititas ricas em Pt da localidade Cliff, -C-, do Ofiólito Unst). Figure 3 - Ni+EGP+Au+Cu,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

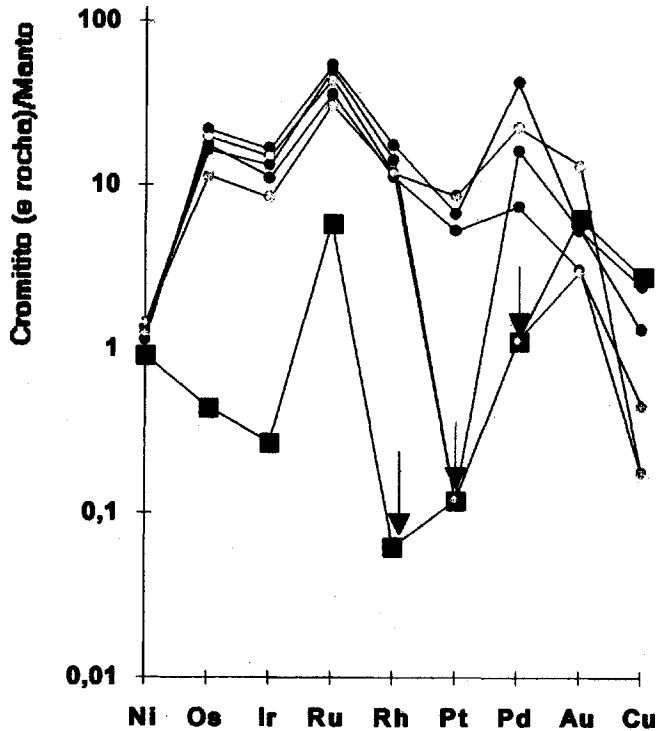


Figura 5 - Padrões de EGP+Au+Ni+Cu, normalizados ao "manto" (Barnes et al. 1988), de cromititos maciços milonitizados, de fácies xistos verdes do Complexo Serro, Minas Gerais (Suíta & Hartmann 1996, Suíta 1996). Símbolos: (∇) teores de elementos abaixo dos limites de detecção; (\boxtimes) - clorita-talco xisto encaixante; (\bullet) - cromititos maciços pouco a muito alterados.

Figure 5 - PGE+Au+Ni+Cu, normalized to "mantle" (Barnes et al. 1988) patterns of massive, milonitized, greenschist facies chromitites of the Serro Complex, Minas Gerais (Suíta & Hartmann 1996, Suíta 1996). Símbolos: (∇) below detection limit; (\boxtimes) - chlorite-talc schist country-rock; (\bullet) - massive and incipiently to deeply weathered chromitites.

Em processos magmáticos e pós-magmáticos (metamorfismo e/ou hidrotermalismo), os PEGP são elementos geoquimicamente muito móveis, facilmente reativos e transportáveis (Barnes et al. 1985, Jaireth 1992, Woodeia/ 1992). Os IEGP por estarem mais protegidos ("envelopados") do contato e ataque de soluções pós-magmáticas e por serem menos reativos geoquimicamente que os PEGP tendem a permanecer "in situ" ou serem pouco mobilizáveis, podendo serem concentrados e enriquecidos residualmente (Kieser 1993). Em processos de interação de fluidos reativos com rochas máfico-ultramáficas possuidoras de EGP e com lixiviação dos PEGP, os IEGP, poderiam, desta forma, ser enriquecidos, de modo residual, pela passagem de fluidos reativos com composições adequadas.

Aspectos geoquímicos e petrológicos dos cr-espinélios (S.L.) em cromititos A cromita (35% Cr₂O₃) e os Cr-espinélios (#% Cr₂O₃; s.s., Irvine 1965, 1967) são considerados comumente como minerais menos reativos a transformações pós-magmáticas que os demais silicatos magnesianos de alta temperatura comumente associados e são minerais usuais como indicadores petrogenéticos e geotectônicos (Irvine 1965, 1967, Dick & Büllen 1984, Sack & Ghiorso 1991). Núcleos de cromita, em cromititos maciços em CMU, tendem a preservar uma composição mais próxima da original, mesmo dentro de zonas de cisalhamento e sob

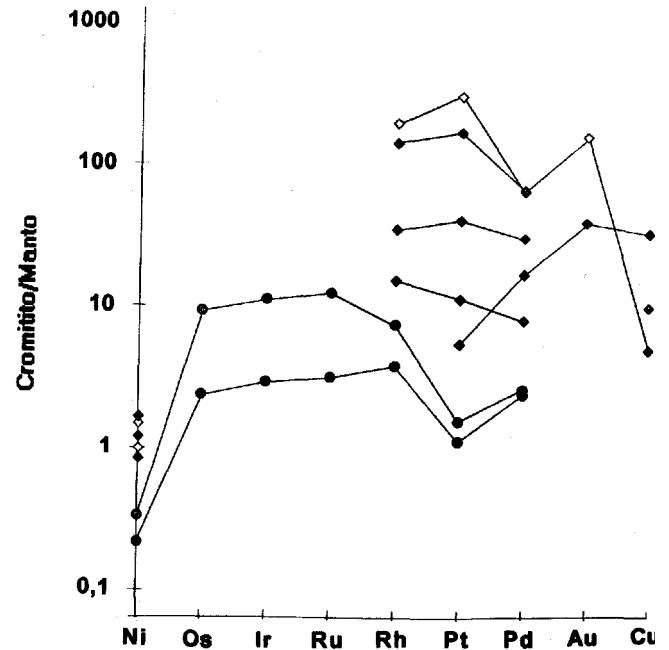


Figura 6 - Padrões de EGP+Au+Ni+Cu, normalizados ao "manto" (Barnes et al. 1988), de cromititos maciços milonitizados, de fácies granulito do Complexo Niquelândico (CN), Goiás (dados de White et al. 1971, Ferreira Filho et al. 1995). Símbolos: (\boxtimes) - cromititos maciços (análises por absorção atômica, White et al. 1971) (\bullet) - cromititos maciços (análises por ativação neutrônica, INAA, Ferreira Filho et al. 1995).

Figure 6 - PGE+Au+Ni+Cu, normalized to "mantle" (Barnes et al. 1988) patterns of massive chromitites milonitized under granulite facies of the Niquelândia Complex (CN), Goiás (data from White et al. 1971, Ferreira Filho et al. 1995). Símbolos: (\boxtimes) - massive chromitites (atomic absorption analysis White et al. 1971) (\bullet) - massive chromitite (neutron activation analysis INAA, Ferreira Filho et al. 1995).

condições de alto grau de metamorfismo, onde existe forte reequilíbrio e tendência final de formação de Mg-Al-espinélios, do tipo picotita (Chadwick & Crewe 1986, Suíta & Strieder 1996b). A discussão das mudanças, causadas por efeitos de metamorfismo e/ou hidrotermalismo, de fácies xistos verdes a granulito, nas composições de Cr-espinélios e cromitas e suas evoluções geoquímicas-petrogenéticas foge ao escopo deste trabalho e é referida a Suíta & Strieder (1996b) e referências contidas.

Devido a composição da cromita em cromititos maciços tender a ser menos modificada no metamorfismo e/ou hidrotermalismo, este mineral pode ser utilizado como marcador da evolução petrológica, ígnea, metamórfica e/ou hidrotermal, de CMU's desde que seja cuidadosamente avaliada a evolução do Cr-espinélio (Suíta & Strieder 1996b). A associação entre o tipo original de cromitito e seu respectivo provável conteúdo magmático de EGP sugere que determinar a extensão de modificação metamórfico-hidrotermal da cromita pode indicar o grau de modificação pós-magmática que afetou um CMU e seu conteúdo de EGP (Suíta 1996).

Interação de fluidos metamórfico-hidrotermais com OS EGP em CMU As condições mais comuns de metamorfismo de baixo grau que atuam sobre CMU formam rochas a serpentinas, cloritas, Fe-cromitas, Cr-magnetitas, Al-cromitas, hematita, rutilo, talco e carbonates, subordinadamente anfíbolios, mais raro quartzo e outros minerais menos comuns. Estas assembléias minerais indicam, em geral, fortes condições oxidantes com pH alcalino a levemente ácido

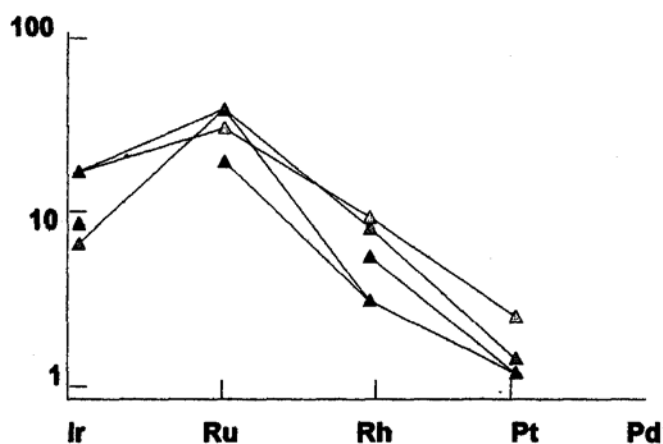


Figura 7 - Padrões de EGP+Au+Ni+Cu, normalizados ao "manto" (Barnes et al. 1988), de vários cromititos maciços deformados, metamorfizados em baixo grau e hidrotermalizados do Complexo Nausahi, Índia (adaptado de Page et al. 1985).

Figure 7 - 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 Nausahi Complex, India (adapted from Page et al. 1985).

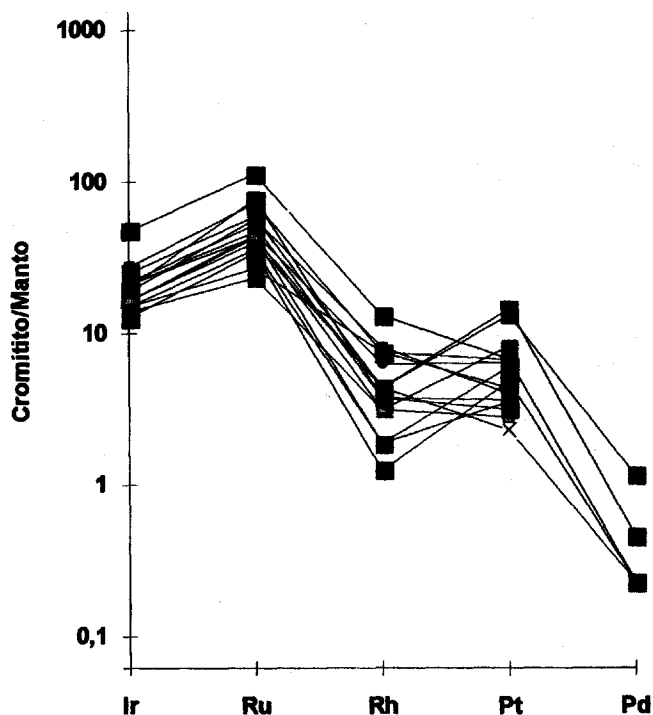


Figura 8 - Padrões de EGP+Au+Ni+Cu, normalizados ao "manto" (Barnes et al. 1988), de vários cromititos maciços, deformados e metamorfizados em baixo grau e hidrotermalizados do Complexo Sukinda, Índia (adaptado de Page et al. 1985).

Figure 8 - 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 Sukinda Complex, India (adapted from Page et al. 1985).

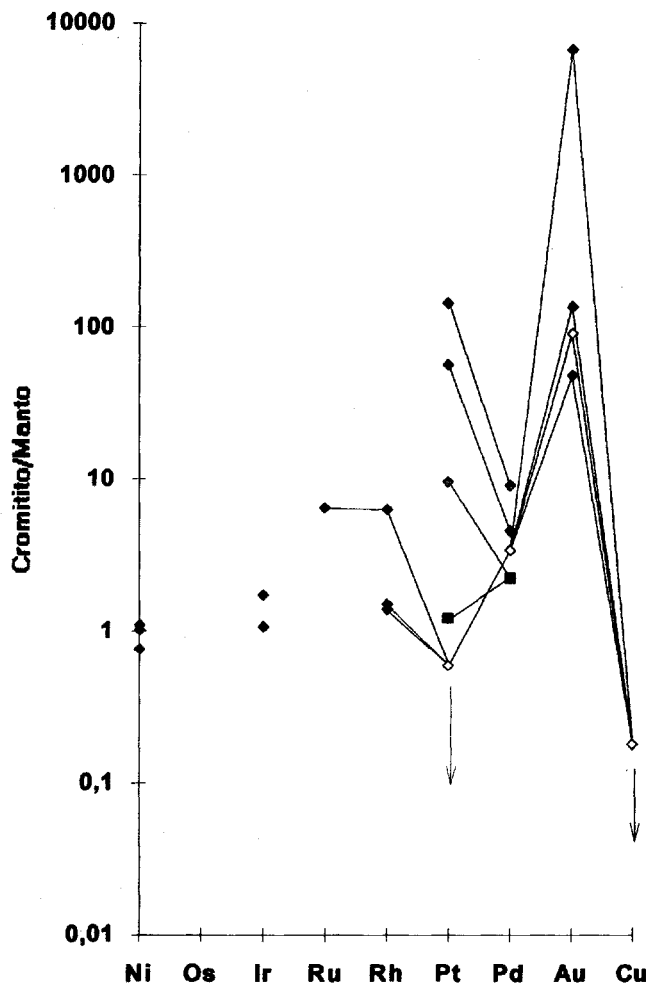


Figura 9 - Padrões de EGP+Au+Ni+Cu, normalizados ao "manto" (Barnes et al. 1988), de vários cromititos maciços, deformados e metamorfizados em baixo grau e hidrotermalizados do Corpo de Morro Feio, Goiás (Suíta et al. 1993a). Observar as anomalias de Au. Símbolos: (∇) teor de elementos abaixo do limite de detecção.

Figure 9 - 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 Morro Feio body, Goiás (Suíta et al. 1993a). Observe the Au anomalies. Symbols: (∇) elements contents below detection limit.

(4pH), em presença de fluidos abundantes, em geral H₂O e CO₂ (Barnes et al. 1985, Jaireth 1992).

Soluções com caráter altamente oxidante, pH levemente ácido a moderadamente alcalino e, em especial, se ricas em CO₂, são as condições ideais de transporte hidrotermal com dissolução, extração e transporte dos PEGP em solução, a partir de uma rocha original rica ou pobre em EGP.

CMU e cromititos associados, variadamente deformados, metamorfizados e/ou hidrotermalizados, podem sofrer modificações no seus conteúdos originais de EGP, devido principalmente a passagem de fluidos reativos, razão fluido/rocha, intensidade de tectonização, condições de pH/Eh, tipo e quantidade de minerais anidros originais de alta temperatura.

Estes fluidos reativos ricos em CO₂, podem enriquecer relativamente os IEGP, de modo residual, e empobrecer os PEGP, por sua lixiviação preferencial, em CMU metamorfizados e/ou hidrotermalizados. O processo de enriquecimento ou de empobrecimento depende das condições físico-químicas, do(s) tipo(s) de fluido(s) e se o sítio é de descarga ou de lixiviação de metais, o que pode causar enriquecimento ou

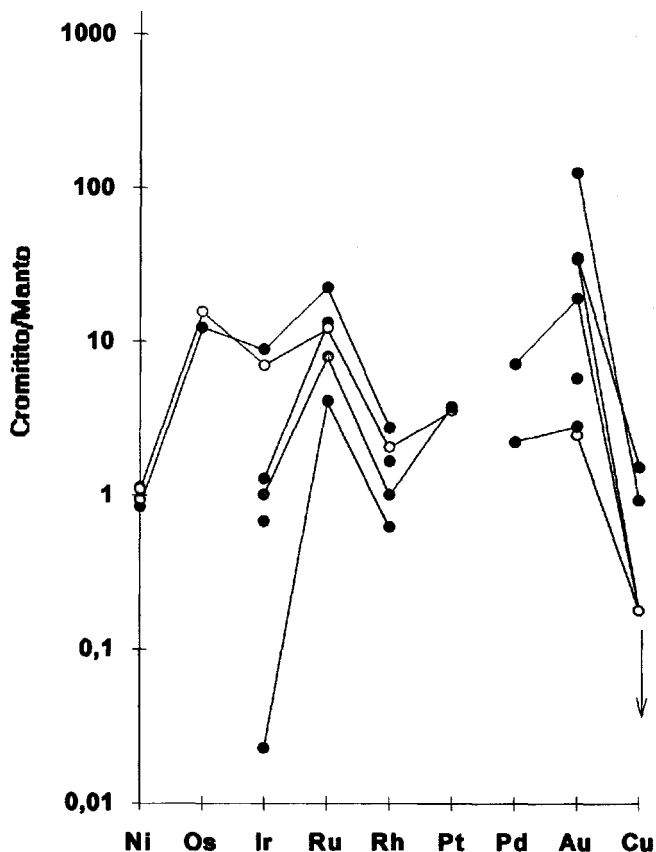


Figura 10 - Padrões de EGP+Au+Ni+Cu, normalizados ao "manto" (Barnes *et al.* 1988), de diferentes cromititos maciços deformados, metamorfizados em baixo grau e hidrotermalizados dos corpos da região de Abadiânia, Goiás (Suíta *et al.* 1993a). Símbolos: (↓) teores de elementos abaixo dos limites de detecção.

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.

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 acamadado (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

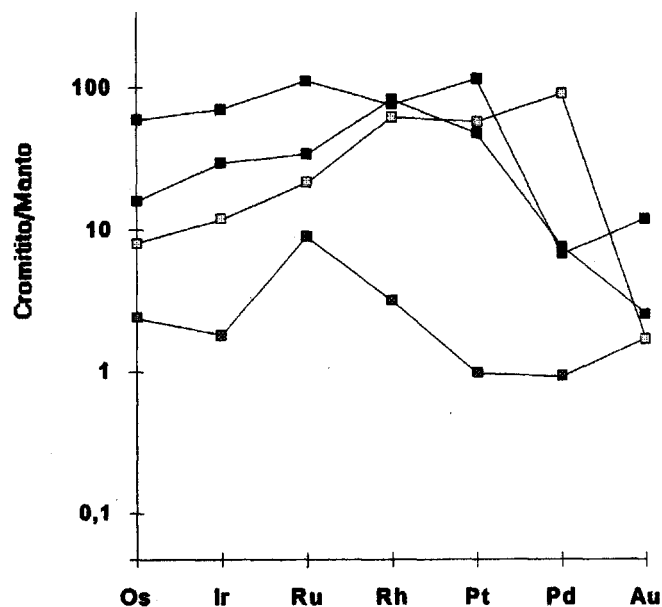


Figura 11 - Padrões de EGP+Au+Ni+Cu, normalizados ao "manto" (Barnes *et al.* 1988), de cromititos maciços, deformados e metamorfizados em baixo grau, dos Ofiólitos de Hockgrossen e Kraubath, Áustria (Talhammer *et al.* 1990).
Figure 11 - PGE+Au+Ni+Cu, normalized to "mantle" (Barnes *et al.* 1988), patterns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

especial em cromititos do tipo acamadado 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 cromitites, 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 Hochgrössen 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

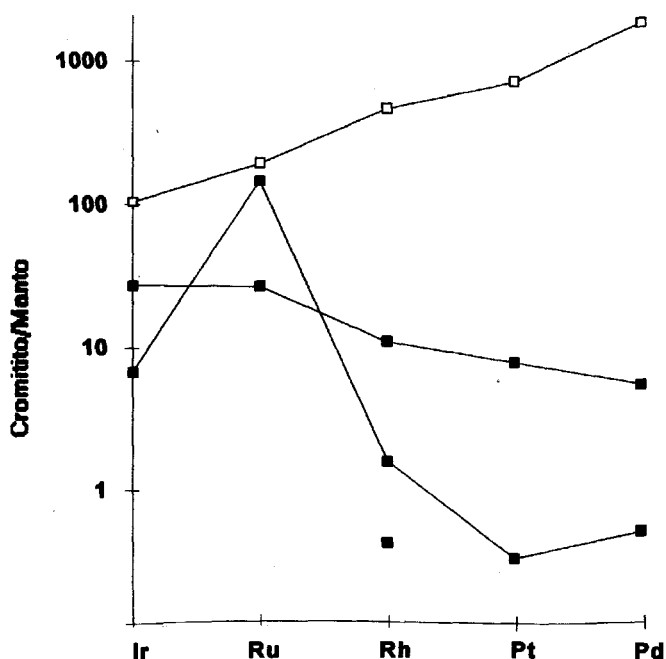


Figura 12 - Padrões de EGP+Au+Ni+Cu, normalizados ao "manto" (Barnes et al. 1988), de cromititos maciços, deformados e metamorfizados em baixo grau do Bloco Acoje, Ofolito Zambales, Filipinas (Bacuta et al. 1988, Orberger et al. 1988).

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 (Suíta 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-espínélios 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 anfíbolito, 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-espínélio 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. n.º 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 (1.º 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, BUG 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. -19&6-METALLOGENY OF BASIC AND ULTRASASIC 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. & Ghiorsio, 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. *Metalogenia & 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 seqüência 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 Constrains 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