

FILOSSILICATOS TRANSFORMADOS COMO ARMADILHAS PARA METAIS DE TRANSIÇÃO EM JAZIDAS LATERÍTICAS DE NÍQUEL E COBRE (SERRA DOS CARAJÁS, PA)

Sonia Maria Barros de Oliveira¹, Maria Luiza M. de Carvalho e Silva², Maria Cristina Motta de Toledo¹

¹ IGUSP/NUPEGEL, São Paulo, Brasil

² NUPEGEL, São Paulo, Brasil

Nos depósitos lateríticos, os níveis superiores do perfil de alteração consistem principalmente de óxido-hidróxidos de ferro e de minerais do grupo da caulinita. Entretanto, se a rocha-mãe contiver filossilicatos, ele podem permanecer, embora transformados, até os horizontes mais alterados, tornando-se assim, ao lado dos óxido-hidróxidos de ferro, eficientes armadilhas para os metais. É o caso de dois depósitos lateríticos formados sobre condições de clima tropical úmido na Amazônia: Salobo 3a e Vermelho.

O depósito de níquel do Vermelho

Trata-se de um exemplo clássico de depósito laterítico de níquel, formado por alteração intempérica de dunitos serpentinizados (Bernardelli et al., 1983). O perfil de alteração típico consiste de rocha fresca, saprolito grosseiro, saprolito fino e solo laterítico, sendo apenas os dois horizontes intermediários considerados minério. O saprolito grosseiro contém serpentina e clorita como fases principais, acompanhadas de pequenas quantidades de quartzo e goethita. Bolsões de esmectita são encontrados irregularmente distribuídos nesse nível. No saprolito fino a goethita predomina, existindo ainda quartzo e clorita em menores proporções.

As fases portadoras de níquel são, na base do perfil, predominantemente a serpentina, e, mais acima, a esmectita, a clorita e a goethita (Carvalho e Silva, 1994). As serpentinas portadoras de níquel são as serpentinas da rocha que sofreram transformações, geralmente evidenciadas pela mudança de cor do branco ao amarelo. Podem conter até 5,2%NiO, porém, em média, o teor não passa de 3%NiO. A exemplo de outras serpentinas niquelíferas estudadas em alguns depósitos brasileiros, o níquel deve ocupar os octaedros da estrutura das folhas, ou encontrar-se adsorvido aos cristais de serpentina, associado a produtos amorfos ricos em ferro.

As esmectitas são minerais neoformados, provavelmente à custa de piroxênios, como de natureza nontronítica, com níquel em posições octaédricas, em teores de até 9%NiO. As cloritas ocorrem ao longo de todo o intervalo mineralizado, como mineral residual, porém cada vez mais transformadas em direção aos níveis superiores do perfil. Foi possível acompanhar sua evolução desde a rocha fresca, e o que fica desde logo evidente é o gradual e progressivo enriquecimento em níquel, chegando a valores da ordem de 18% NiO. As principais transformações que as cloritas sofrem, ao passarem para níveis cada vez mais oxidados, compreendem, na camada brucítica interfoliar, além da incorporação do Ni, ligeira incorporação de Al, e na camada octaédrica componente das folhas TOT, a oxidação do Fe e uma discreta substituição do Mg por Ni; a camada tetraédrica praticamente não é afetada.

A goethita é um mineral neoformado, originado principalmente da alteração das serpentinas, através da lixiviação do Mg e Si, e concentração relativa de Fe. Apresenta teores médios de NiO de 1,3%, variando entre 0,9 e 1,8%, e má cristalinidade. Foi encontrada correlação positiva significativa entre os valores do parâmetro b da cela unitária e os teores de NiO, assim como correlação negativa entre os teores de NiO e Fe₂O₃. Esses dados sugerem que o níquel é, pelo menos parcialmente, diadóquico, ocupando os sítios do Fe na estrutura cristalina da goethita.

O depósito de cobre do Salobo 3A

No Salobo, o depósito consiste principalmente de minério primário, formado por sulfetos (bornita, calcocita e calcopirita) disseminados em níveis concordantes com a estrutura do xisto encaixante. O manto de alteração que o recobre compreende um saprolito de natureza isalterítica e um saprolito fino aloterítico que compõem um conjunto denominado minério oxidado (Toledo-Grohe, 1986). No saprolito isalterítico, os principais minerais presentes são quartzo, goethita e o interestratificado biotita-vermiculita. No saprolito aloterítico, a goethita é dominante, acompanhada de criptomelana e dos filossilicatos micáceos iniciando sua transformação em direção a esmectitas e à caulinita.

O Cu encontra-se associado às seguintes fases silicáticas: vermiculita e interestratificados vermiculita-biotita com até 13%CuO (média de 6 a 8%), pequenas quantidades de esmectitas deles derivadas, com até 6% CuO (média de 3%) e esmectitas verdes encontradas nas fissuras com até 5%CuO (2% em média). Ocorre também em fases ferruginosas: óxidos e hidróxidos de ferro mais ou menos bem cristalizados, com até 5%CuO (média de 1 a 2%). Em menor quantidade pode estar associado à criptomelana, instalada em fissuras, com até 25% CuO.

As biotitas, originalmente isentas de Cu, vão incorporando esse elemento à medida em que se alteram (Toledo-Groke et al., 1989), o que é evidenciado pela correlação negativa entre K e Cu, dosados em biotitas de vários graus de alteração. Além da perda de K, ocorre transferência do Mg para os sítios interfoliares, oxidação do ferro, que permanece nas posições octaédricas, e discreta diminuição do Si tetraédrico. O Cu está principalmente em posição interfoliar sob forma de camada hidróxi-cúprica, podendo ocupar também a posição octaédrica das camadas 2:1; outro modo de ocorrência do cobre é associado aos compostos ferruginosos depositados nos espaços interlamelares, mas nesse caso está fora da estrutura dos filossilicatos. A transformação de vermiculita em caulinita, através ou não de um estágio esmectítico, é acompanhada de perda de Cu. As esmectitas verdes encontradas nas físsuras dos horizontes menos alterados são de natureza intermediária nontronita-beidellita e contêm Cu tanto na camada octaédrica, quanto na camada interfoliar.

As fases ferruginosas, compostas principalmente por goethita e material amorfo, aparecem no minério, seja como pseudomorfoses das granadas e anfíbólios, seja como plasma secundário, e, nesse caso, associadas à caulinita, com teores de CuO muito heterogêneos, variando de 0,7 a 5,5%. Veiga et al., 1991 indicaram que os óxi-hidróxidos de ferro estão presentes em uma larga gama de cristalinidade e que o cobre está preferencialmente associado às fases menos bem cristalizadas.

O material fissural manganífero, de ocorrência extremamente restrita, é o produto secundário que apresenta os maiores teores de CuO, variando entre 3 e 25%. Trata-se de criptomelana, com o Cu ocupando tanto posições nos túneis da estrutura, como no centro dos octaedros.

Discussão

O processo pelo qual ocorre a transformação dos filossilicatos e a concomitante incorporação do cobre ou do níquel é semelhante nos dois casos estudados. De uma maneira geral, as maiores mudanças acontecem ao nível das camadas interfoliares, são mais moderadas nas camadas octaédricas das folhas TOT e quase não afetam as camadas tetraédricas dessas folhas. As biotitas, transformadas em vermiculitas cupríferas, são capazes de permanecer no perfil no nível isalterítico. Porém, nos níveis superiores do perfil entram em desequilíbrio e evoluem em direção à caulinita, com perda de Cu. Com as cloritas, o processo é semelhante, porém mostram-se mais resistentes ao intemperismo, podendo ser encontradas até o topo do perfil, embora nessa altura já comecem a apresentar sinais de dissolução nas bordas.

Os óxidos de ferro constituem a outra fase importante portadora de metais nos níveis superiores dos dois perfis estudados. Trata-se quase que exclusivamente de goethita, e, embora com teores mais baixos de Ni e Cu do que os encontrados nos filossilicatos, são, na verdade, os portadores mais importantes desses metais, já que são as fases predominantes. Veiga et al., 1991 calcularam que, a nível global do depósito, 80% do Cu do minério oxidado do Salobo está ligado à goethita mais ou menos bem cristalizada. Para o Vermelho, o conhecimento que se tem da jazida não permite esse tipo de estimativa, mas pela descrição dos poços estudados sabe-se que, apesar de a goethita ser também a principal fase portadora de Ni, pelo menos localizadamente, a clorita pode representar cerca de 20% em peso do horizonte de saprolito fino e, nesse caso, poderia responder por até 50% do total de Ni do minério.

O papel dos óxi-hidróxidos de Fe como fases capazes de reter metais de transição é bem conhecido. Os mecanismos propostos para a incorporação dos metais são principalmente a substituição diadógica e os fenômenos de adsorção concomitantes à precipitação, ou à coagulação coloidal, quando a goethita teria alta atividade de superfície. No caso do Vermelho, não há evidências conclusivas a esse respeito, já que não foi investigada a existência de fases ferruginosas amorfas. No entanto, há indicações de que pelo menos parte do Ni estaria incorporado no retículo cristalino da goethita de baixa cristalinidade. No Salobo, foi constatada uma grande quantidade de óxi-hidróxidos de Fe mal cristalizados ou amorfos, aos quais o Cu estaria preferencialmente ligado, através do mecanismo de adsorção-coprecipitação.

Do ponto de vista metalogenético, a existência de filossilicatos herdados do protominério tem um papel importante na elevação dos teores médios dos níveis oxidados dos minérios lateríticos do Salobo e do Vermelho. É a resistência à alteração dessas fases enriquecidas em Cu e Ni que leva os minérios a teores médios maiores que aqueles devidos apenas aos óxi-hidróxidos de Fe, de maior limitação na capacidade de retenção de metais. Por outro lado, é talvez a incorporação dos elementos de transição pelos filossilicatos em vias de transformação o que aumenta sua estabilidade, permitindo sua subsistência num ambiente fortemente lixiviante, já não mais propício à permanência de silicatos.

Comparando os dois casos, o efeito de melhoria dos teores do minério é mais conspícuo para o Ni, pois no Vermelho a clorita permanece até o topo do perfil, cada vez mais rica em Ni, enquanto que no Salobo pode-se observar a evolução da vermiculita para a caulinita, com perda de Cu, nos horizontes superiores do perfil. Isso é certamente devido à maior estabilidade ao intemperismo da clorita em relação à vermiculita, mas também pode ser causado por uma diferença no comportamento geoquímico entre os dois elementos, no sentido de uma maior tendência do Cu para migrar para as fases mais ferríferas do que o Ni. No perfil laterítico de Ora Banda, na Western Austrália (Smith, 77), a partir de rochas ultramáficas portadoras ao mesmo tempo de Cu e Ni, essa tendência é revelada pela associação do Ni a silicatos neoformados, num mesmo horizonte do perfil em que o Cu já está associado aos óxidos de Fe.

Quando do estabelecimento das técnicas de tratamento de minérios dessa natureza, para que a extração seja a mais eficiente, é necessário levar em conta que o elemento a ser extraído está ligado a duas diferentes fases por forças de ordem de grandeza bem diferentes. No caso da lixiviação ácida, técnica classicamente utilizada para esse tipo de material, é possível remover, através de um ataque relativamente brando, o Cu e o Ni associados aos óxidos de Fe. Porém, esse mesmo ataque pode não ser eficiente quando se trata dos metais associados aos filossilicatos, principalmente no caso das cloritas, cuja capacidade de troca catiônica é reconhecidamente baixa.

Referências bibliográficas

- BERNARDELLI, A.L. et al. (1993) - II Int. Sem Lat. Proc, São Paulo, IAGUSP: 107-118.
- CARVALHO E SILVA, M.L.M. DE (1994) - . Tese de doutoramento, IGUSP, 88p.
- OLIVEIRA, S.M.B. DE et al. (1992)- Min. Dep., 27:137-146.
- SMITH, B.H. (1977) - . Journal of Geoch. Expl., 8:259-281.
- TOLEDO-GROKE, M.C. (1986)- Tese de doutoramento, IGUSP, 173p.
- TOLEDO-GROKE, M.C. et al. (1989) Geodynamique, 4(2):151-160.
- VEIGA, M M. et al. (1991) Ore Geol. Rev. 6:245-255.