

Título: Comportamento geoquímico dos metais pesados produzido pela alteração supergênica de rochas mineralizadas em cobre e ouro: estudo de caso na mina Igarapé Bahia, Carajás (PA)

Rosely Aparecida Liguori Imbernon¹, Cláudio Gerheim Porto², Sonia Maria Barros de Oliveira³, Maria Cristina Motta de Toledo^{1,3}, Nely Palermo⁴,

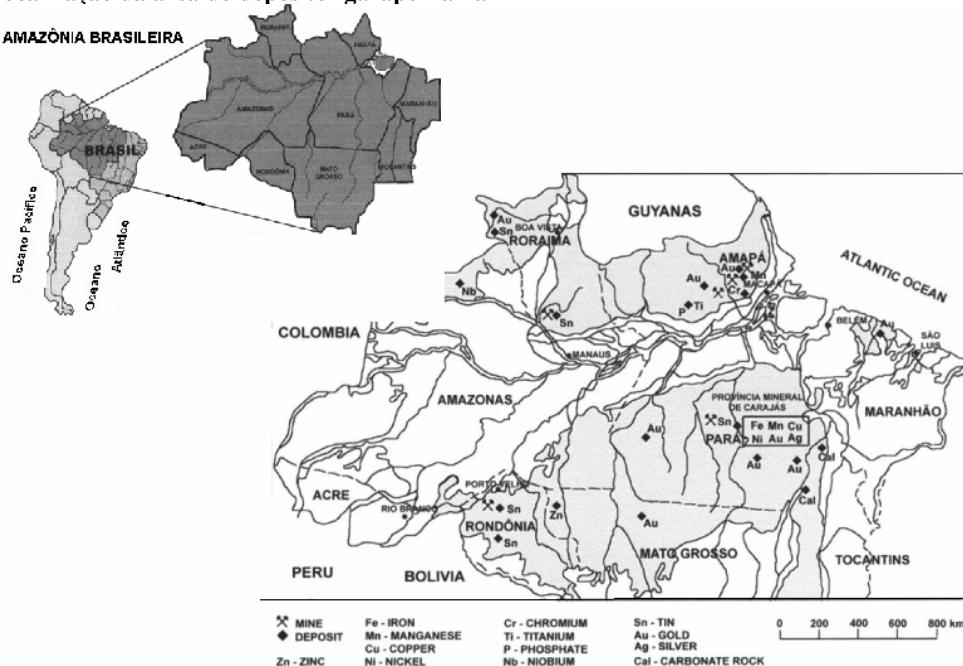
The Igarapé-Bahia primary Cu-Au deposits in the Carajás Mineral Province, Pará, Brazil, is hosted by hydrothermally altered fragmental rocks of the major Archean metavolcano-sedimentary Itacaiúnas Group. Amphibole, quartz, gold and a series of accessory minerals containing elements such as Co, Mo, W, F, P, U, Mn, Pb, Sn, Te, Ag, B, Cl, and REE are also present in the matrix.

The Igarapé Bahia deposit is an example of supergene gold mineralization in which gossans system is recovered by laterite system formed by brecciated lateritic iron crust, a dismantled iron crust or stone-lines and latossols. Geochemical associations of trace elements are variable and reflect mainly the chemical and mineralogical variations from the primary rock which geochemical signatures were characterized by Au, Ag, Cu, As, REE and others trace elements.

Introdução:

O depósito Igarapé Bahia está localizada cerca de 450 km a sudoeste de Belém, Estado do Pará, no distrito mineral de Carajás (Fig. 1). Ocorre no domínio transcorrente do cinturão de cisalhamento Itacaiúnas, de idade Arqueana, representado pelo Grupo Grão-Pará, e constituído pelas Formações Parauapebas (metabasaltos e metadacitos), Carajás (formações ferríferas bandadas) e Águas Claras (rochas metassedimentares) (Dreher *et al.*, 2005).

Figura 1 – Localização da área do depósito Igarapé Bahia



O depósito, explorado pela Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), consiste de uma cobertura *gossan-laterita* a partir da qual é extraído ouro. A mineralização de cobre e ouro primários está associada a zonas de sulfetos maciços ou disseminados, com extensão e espessura variável, com nítido controle estrutural por zonas de cisalhamento, além de um intenso hidrotermalismo caracterizado pela forte mistura de litologias e brechação (Dreher *et al.*, 2005).

A assinatura geoquímica no depósito é bem definida, principalmente pelos elementos Au-Cu-Mo, além de ETR, Pb, U e Te. Angélica *et al.* (1999), definem três grandes fases que resumem a evolução geológica supergênica: a fase de formação, na qual se desenvolveram os *gossans*; a lateritização matura, diferentemente da formação dos *gossans*, de

1 Escola de Artes, Ciências e Humanidades – Universidade de São Paulo - EACH/USP

2 Departamento de Geologia – Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

3 Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo

4 Departamento de Geologia – Universidade Estadual do Rio de Janeiro - UERJ

abrangência regional; e a pós-lateritação matura que envolve a transformação/intemperismo dos perfis, com a formação de latossolos e denudação da paisagem.

Para Angélica *et al.* (1999), as assinaturas geoquímicas observadas nos *gossans*, seriam incorporadas, em grande parte, pelas crostas lateríticas, diminuindo e/ou atenuando progressivamente em direção aos latossolos.

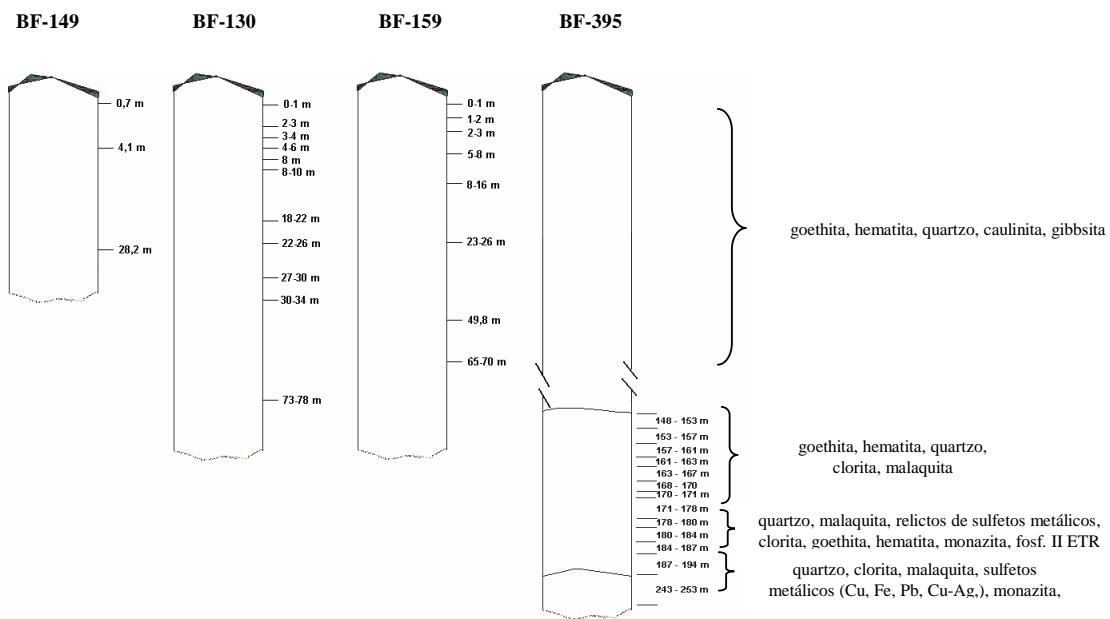
Evolução supérgea do depósito:

O regolito foi amostrado desde o latossolo, passando pelas zonas de crosta e ferruginosa nos furos de sondagem BF-130, BF-149, BF-159, e na passagem rocha fresca-saprolito no furo BF-395.

As análises por microscopia óptica, associadas às análises por difratometria de raios-X (DRX), indicaram uma mineralogia que bem distingue essa superposição dos materiais (Fig. 2). Para as amostras correspondentes a laterita (BF-130, 149 e 159) a composição mineral indicada por DRX é basicamente composta por óxi-hidróxidos de ferro, principalmente hematita e goethita, associadas a caulinita e gibbsita.

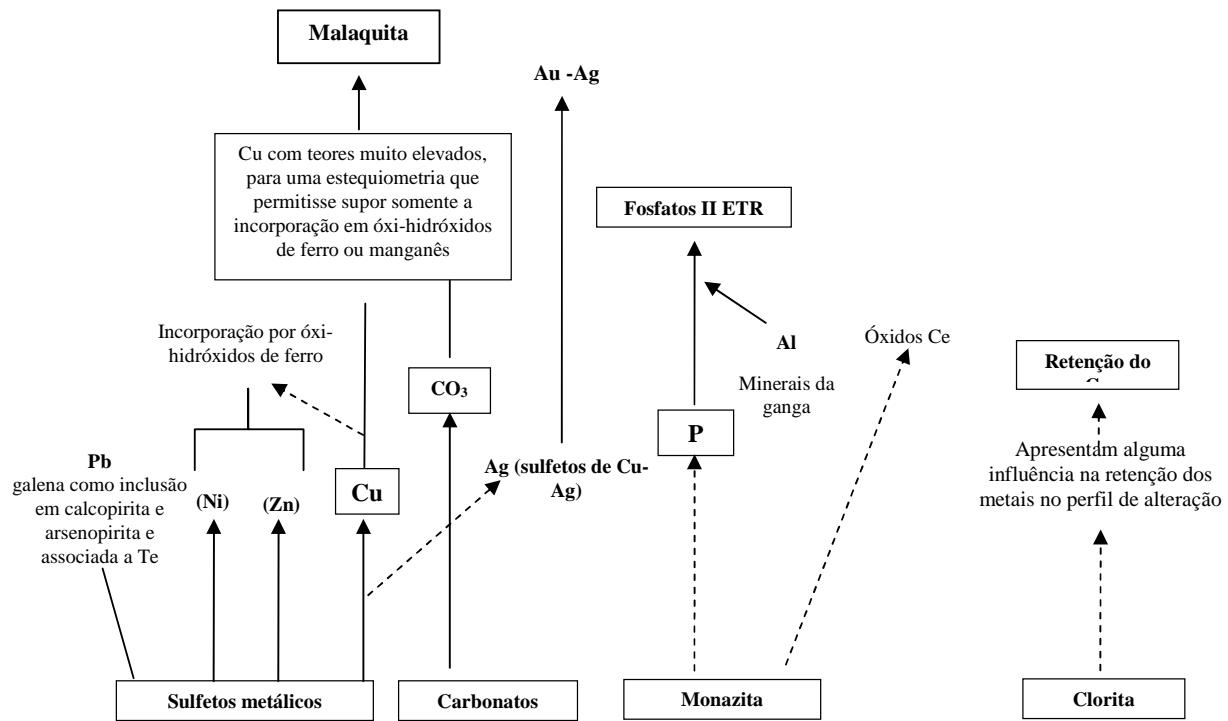
As amostras referentes ao conjunto BF-395, na profundidade de aproximadamente 180 metros, apresenta a mineralização primária em cobre (calcopirita e arsenopirita) associada a carbonatos (calcita), opacos (hematita, magnetita, ilmenita) e filossilicatos (flogopita, clorita). A mineralização primária, sob ação dos processos intempéricos, evolui para fases secundárias de cobre (malaquita).

Figura 2 – Esquematização espacial dos perfis amostrados



A evolução e maturação do *gossan* ocorrem com a liberação do cobre para o meio de alteração e fases secundárias outras, que não a malaquita. Os óxi-hidróxidos de ferro, assim como a clorita, são fases que podem incorporar metais pesados no perfil de alteração, e são descritos em depósitos de níquel (Silva *et al.* 1995), zinco (Imbernon *et al.*, 1998) e cobre (Toledo-Groke *et al.* 1989; Oliveira *et al.*, 1995) exercendo o papel de armadilhas para tais metais. Esse comportamento geoquímico está associado a uma paragênese secundária que pode ser indicativa da mineralização subjacente.

Os estudos realizados nas amostras do depósito Igarapé-Bahia sugerem uma evolução geoquímica e mineralógica que pode ser sintetizada no esquema da Figura .



O cobre, nos sulfetos primários, ao decorrer e evolução do processo de formação do *gossan*, é liberado no meio de alteração sem, no entanto, ser solubilizado e lixiviado do mesmo. A presença de carbonatos associados à mineralogia sulfetada primária libera íons CO₃⁻² no meio, que permitirão a retenção parcial do Cu no perfil, formando carbonatos secundários de cobre (malaquita), e a precipitação de cuprita e cobre metálico são observadas. Minerais como os óxi-hidróxidos de ferro e filossilicatos (clorita), que também podem sofrer lixiviação de elementos estruturais mais solúveis (como potássio, cálcio, etc), podem incorporar o cobre, promovendo a retenção do metal no perfil ou no capeamento em superfície. De fato, as microanálises efetuadas em óxi-hidróxidos de ferro (Fig. 5) e em filossilicatos indicaram teores de Cu associados, que responderiam pelos teores do metal para as amostras, quando são observadas as análises das mesmas para elementos traços.

Os elementos terras raras (ETR) ocorrem principalmente como monazita, em diferentes níveis do perfil. Nas partes superiores, no entanto, é nítido o empobrecimento em cério na monazita, e observa-se a formação de fosfatos aluminosos secundários ricos em lantâncio e óxido de cério (Fig. 5).

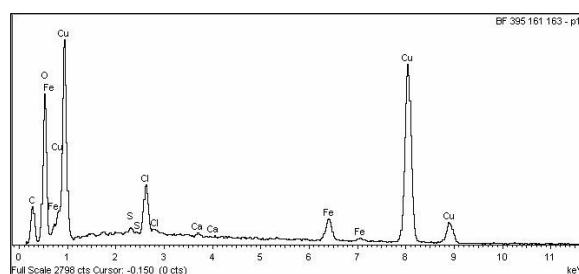
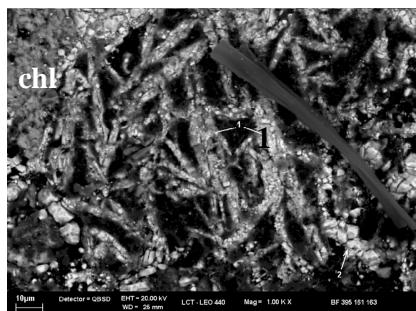


Figura 4 – Cristais de malaquita em matriz de goethita e filossilicatos

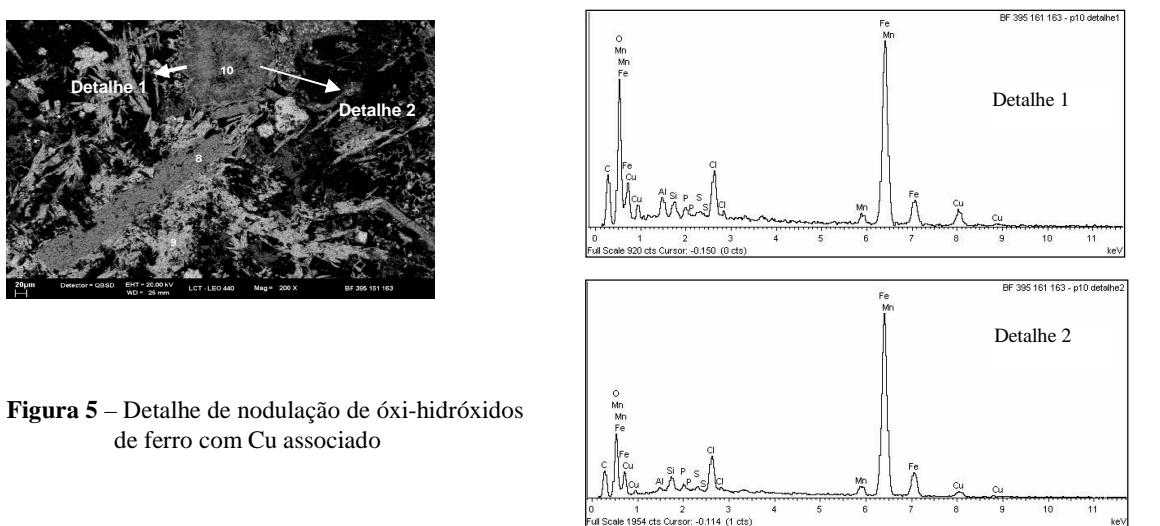


Figura 5 – Detalhe de nodulação de óxi-hidróxidos de ferro com Cu associado

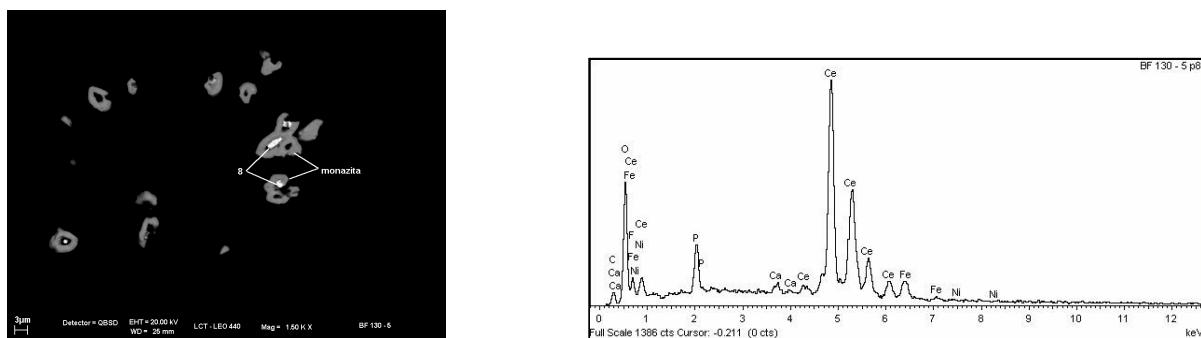


Foto 2 – Detalhe de nodulação de óxi-hidróxidos de ferro com Cu associado

Figura 5 – Detalhes em espectro da amostra

Referências Bibliográfica:

- Angélica, R.S.; Costa, M.L.; Poellmann, H. 1999. Mineralogy and geochemistry of gold-bearing gossans and laterites from the Igarapé-Bahia and Águas Claras deposits, Carajás, Brazil. In: 19th. Int. Geochemical Exploration Symposium. Vancouver.
- Carvalho e Silva, M.L.M. & Oliveira, S.M.B. 1995. As fases portadoras de níquel do minério laterítico do Vermelho, Serra dos Carajás (PA). Rev. Bras. Geociências. **25**(1):69-78.
- Dreher, A.M.; Xavier, R.P.; Martini, S.L. 2005. Fragmental rocks of the Igarapé Bahia Cu-Au deposit, Carajás Mineral Province, Brazil. Rev. Bras. Geociências. **35**(3):359-368.
- Ildefonse, Ph.; Manceau, A.I.P.; Prost, D.; Toledo-Groke, M.C. 1986. Hidroxy-Cu vermiculite formed by the weathering of Fe-biotites at Salobo, Carajás, Brazil. Clay and Clay Min. **34**(3):338-345.
- Imbernon , R.A.L.; Oliveira, S.M.B.; Blot, A.; Magat, P. 1999. Os chapéus de ferro associados ao depósito de Pb-Zn-Ag na região de Canoas, Adrianópolis (PR) – Evolução geoquímica e mineralógica. Geoch. Bras. **13** (2): 145 – 16. Brasil.
- Oliveira, S.M.B.; Silva, M.L.M.C.; Toledo, M.C.M. de . 1995. The role of residual 2:1 phyllosilicates in lateritic metallogenesis:Ni and Cu deposits in Serra dos Carajás, Brazilian Amazonia. Geoch. Bras. **9**(2):161-171.
- Porto, C. G. 1998. Gold and tellurium distribution in the stone line lateritic profile of the Posse deposit, Central Brazil. In: REGOLITH 98. Kalgoorlie.
- Santos, P.F. (2006). Abordagem estraqtigrafica dos regolitos na mina de Ig Bahai, Carajás. Tese MSc IGEO, UFRJ, 115p.
- Toledo-Groke, M.C.; Parisot, J.C.; Melfi, A.J.; Boulange, B. 1989. Altération dês biotites dans lés roches cuprifères de Salobo 3 A, Carajás, Brésil – Association du cuivre aus phyllosilicates secondaires. Geodynamique. Paris:ORSTOM-France. **4**(2):151-160.