



MINERALIZAÇÃO CUPRÍFERA NEOARQUEANA-PALEOPROTEROZOICA DA PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS: IMPLICAÇÕES PARA A EVOLUÇÃO DO SISTEMA DE ÓXIDO DE FERRO-COBRE-OURO

Luiz Fernandes Dutra¹ & Lena Virgínia Soares Monteiro¹

luizdutra@usp.br; lena.monteiro@usp.br

¹ Universidade de São Paulo / USP

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia; Instituto de Geociências / IGc

RESUMO

A particular evolução geológica da Província Carajás propiciou o desenvolvimento de diversos depósitos de óxido de Fe-Cu-Au em diferentes épocas metalogenéticas no Neoarqueano e Paleoproterozoico. Como consequência, além de zonas mineralizadas com distintas idades, os depósitos apresentam complexos padrões de alteração hidrotermal e distintas assinaturas químicas e isotópicas. Esses refletem tanto a herança e mobilização de zonas mineralizadas preexistentes como processos de sobreposição de eventos hidrotermais. Tal complexidade dificulta o reconhecimento de fontes de metais e fluidos especificamente relacionadas a cada evento e, conseqüentemente, impede a identificação de parâmetros úteis que possam nortear a pesquisa mineral. Nesse contexto, esse trabalho é centrado no estudo de três depósitos cupríferos, que apresentam padrões de alteração semelhantes aos identificados nas raízes de sistemas IOCG (*iron oxide-copper-gold deposits*) neoarqueanos em Carajás (depósitos Jatobá e Castanha) e fortes evidências de sobreposição de processos hidrotermais neoarqueanos e paleoproterozoicos (depósito Bacuri). Esse estudo visa a reconstituição da história de interação fluido-rocha, dependente da natureza das rochas hospedeiras e de parâmetros físico-químicos críticos para o transporte e deposição de metais no sistema hidrotermal. Dessa forma, essa pesquisa possibilitará avanços na caracterização das relações espaço-temporais das mineralizações cupro-auríferas da Província Carajás com eventos magmáticos e tectônicos já registrados na província, a partir da identificação de assinaturas químicas relativas às distintas fases de mineralização (*ca.* 2,70–2,68 Ga, *ca.* 2,57 Ga, *ca.* 2,05 Ga e *ca.* 1,88 Ga) registradas em cada depósito.

PALAVRAS-CHAVE: Cobre, Metalogênese, Geocronologia U-Pb, Química Mineral.

INTRODUÇÃO

A Província Carajás (Figura 1), localizada na porção sudeste do Cráton Amazônico, inclui rochas essencialmente arqueanas que encerram o registro de uma evolução geológica com múltiplas fases de magmatismo e instalação de bacias vulcanossedimentares. Essa província é setorizada em dois domínios tectônicos segundo a particular evolução geológica, associação litológica e assinatura geocronológica de cada porção, Rio Maria (a sul) e Carajás (a norte) (Vasquez *et al.* 2008).

A Província Carajás se destaca mundialmente pela grande diversidade de depósitos polimetálicos associados aos granoitoides e *greenstone belts* (*e.g.*, Au, Cu, Fe, W, Ni e Mn). Os depósitos cupro-auríferos da província, incluindo os depósitos atribuídos à classe dos depósitos de óxido de ferro-cobre-ouro, concentram-se no Domínio Carajás (Monteiro *et al.* 2014; Costa *et al.* 2017). Sua gênese é atribuída a quatro épocas associadas a eventos hidrotermais durante o Neoarqueano ao Paleoproterozoico (*ca.* 2,70–2,68 Ga, *ca.* 2,57 Ga, *ca.* 2,05 Ga e *ca.* 1,88 Ga; Réquia *et al.* 2003; Tallarico *et al.* 2005; Moreto *et al.* 2015a, 2015b). Esses depósitos IOCG são espacialmente relacionados às zonas de cisalhamento regionais de

direção E-W e WNW-ESE, localizadas no contato norte e sul da bacia Carajás com as unidades pretéritas e, dessa forma, definem o Cinturão Norte e Sul do Cobre, respectivamente. O Cinturão Norte do Cobre hospeda os depósitos de Salobo, Igarapé Bahia-Alemão, Paulo Afonso, Furnas, Polo e Alto GT46, enquanto a contraparte meridional, Sossego, Cristalino, Alvo 118 e vários depósitos satélites como Bacaba, Bacuri, Visconde e Jatobá (Grainger *et al.* 2008; Moreto *et al.* 2015a).

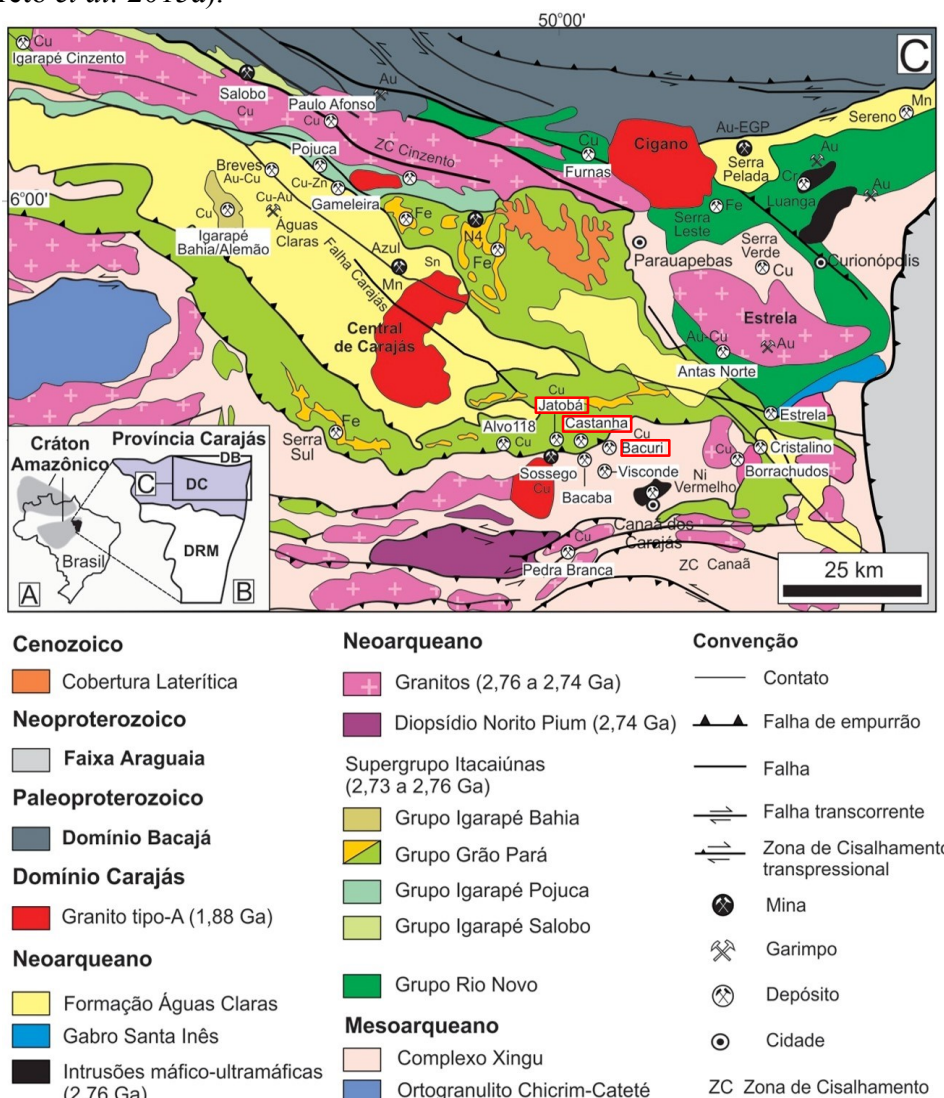


Figura 1 – (A) Localização da Província Carajás no Cráton Amazônico; (B) Divisão da Província Carajás nos domínios Rio Maria (DRM) e Carajás (DC), limitado a norte pelo Domínio Bacajá (DB); (C) Mapa geológico do Domínio Carajás da Província Carajás e áreas adjacentes (modificado de Vasquez *et al.* 2008) com a localização dos depósitos minerais. Os retângulos vermelhos apresentam os depósitos alvo dessa pesquisa.

O completo entendimento da relação entre os eventos magmáticos e os sistemas mineralizados é uma questão em aberto, cujo esclarecimento depende de estudos geocronológicos das zonas mineralizadas e rochas hospedeiras, assim como quanto à geotectônica, magmatismo e fontes do fluido hidrotermal e de metais (Moreto *et al.* 2015a; Bettencourt *et al.* 2016). Nesse sentido, esse estudo visa avançar na compreensão do significado das assinaturas químicas características dessas distintas épocas metalogenéticas, visando à identificação dos processos e dos atributos



relacionados com a formação dos importantes depósitos de classe mundial e sua distinção dos depósitos sub-econômicos. Esse trabalho é centrado em três depósitos cupríferos, Jatobá, Castanha e Bacuri, que são parte de um *cluster* de depósitos IOCG associados ao Cinturão Sul do Cobre da Província Mineral de Carajás (Monteiro *et al.* 2011; Moreto *et al.* 2011, 2015a, 2015b; Moreto 2013).

DEPÓSITOS CUPRÍFEROS

Os depósitos Jatobá, Castanha e Bacuri distam cerca de 3 km a norte, 8 km a nordeste e 20 km a leste-nordeste do depósito de Sossego, respectivamente (Figura 1). Esses depósitos são espacialmente relacionados à Zona de Cisalhamento Canaã.

As rochas hospedeiras dos depósitos Jatobá e Castanha compreendem metadiabásio, metabasalto amigdaloidal, brecha metavulcanoclástica félsica, metalapilli tufo máfico e metariodacito porfirítico, com idade de cristalização U-Pb em zircão de 2700 ± 16 Ma (Veloso 2017), atribuídas ao Supergrupo Itacaiúnas. O desenvolvimento da zona de cisalhamento Canaã exerceu um papel importante na evolução do sistema de mineralização nesses depósitos. Mudanças significativas nas condições físico-químicas do fluido hidrotermal relacionam-se com o nível crustal e regime tectônico, dúctil ou rúptil, associado à formação das zonas mineralizadas. As zonas mineralizadas nos depósitos Jatobá e Castanha são subverticais e localizadas preferencialmente no contato entre o metariodacito e o metabasalto. Nesses depósitos são notáveis as zonas enriquecidas em Ni-Zn com pirrotita-pentlandita-esfalerita, espacialmente vinculadas a corpos de magnetita-apatita (Veloso 2017), semelhantes aos identificados nos depósitos IOCG vinculados ao sistema mineralizante neoarqueano em Carajás (*e.g.*, Corpo Sequeirinho; Moreto *et al.* 2015a). A mineralização cuprífera com calcopirita é tardia em relação ao enriquecimento em Ni-Zn e associada às alterações potássica, clorítica e carbonática. Também é comum aos dois depósitos, a predominância de fluidos magmáticos, como evidenciado tanto por estudos de isótopos estáveis como de inclusões fluidas, sem participação significativa de fluidos externamente derivados (*cf.*, Pestilho 2011; Veloso 2017). O depósito Bacuri, por sua vez, é hospedado pelo Granito Serra Dourada com idade de cristalização de 2848 ± 6 Ma (Moreto *et al.* 2015a) e por rochas metavulcânicas ácidas, máficas e ultramáficas, que representam segmentos de uma sequência *greenstone belt* mesoarqueana, cortados por diques de gabro e pelo Pórfiro Bacuri (Melo *et al.* 2014). Esse depósito apresenta evidências de *overprinting* e sobreposição de processos hidrotermais neoarqueanos e paleoproterozoicos. Em especial, são notáveis zonas mineralizadas com calcopirita controladas por sistemas de estruturas rúpteis, tais como brechas com fragmentos de quartzo e muscovita, envolvidas por calcopirita, além de zonas de alteração hidrotermal clorítica e hidrolítica. O controle das mineralizações por estruturas rúpteis do depósito Bacuri é semelhante aos de depósitos cupríferos com idades de mineralização em *ca.* 1,88 Ga (*e.g.*, Alvo 118; Tallarico 2003). Assim, nos depósitos Jatobá e Castanha a canalização em estruturas profundas de fluidos magmáticos foi expressiva. Dessa forma, é sugerido vínculo com o extensivo magmatismo neoarqueano, com herança da assinatura química dos granitos tipo A, de gabros, e de intrusões máfico-ultramáficas (*e.g.*, Ni-Co-EGP), a partir de intensos processos de interação fluido-rocha. Contudo, dados geocronológicos precisos ainda não são disponíveis para esses depósitos, impossibilitando a associação da sua assinatura fortemente magmática com eventos magmáticos específicos e amplamente reconhecidos na Província Carajás.

Decréscimo de temperatura devido à interação fluido-rocha causou precipitação da calcopirita nos depósitos de Castanha e Jatobá. No depósito Bacuri, por sua vez, influxo de fluidos diluídos e processos de mistura de fluidos podem ter favorecido a precipitação de minério de cobre devido à diminuição da temperatura e salinidade. Tais mudanças podem indicar um sistema



hidrotermal híbrido, refletindo uma complexa evolução em múltiplos eventos fortemente conectados aos eventos magmáticos e tectônicos registrados na Província Carajás.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bettencourt J.S., Juliani C., Xavier R.P., Monteiro L.V.S., Bastos Neto A.C., Klein E.L., Assis R.R., Leite W.B., Moreto C.P.N., Fernandes C.M.D., Pereira V.P. 2016. Metallogenic systems associated with granitoid magmatism in the Amazonian Craton: An overview of the present level of understanding and exploration significance. *Journal of South American Earth Sciences*, **68**:22–49.
- Costa U.A.P., Silva D.P.B., Barbosa J.P.O., Oliveira J.K.M., Paulo R.R., Araújo R.N., Souza M.J. 2017. Carajás project. In: Teixeira N.A. & Carvalho M.T.N. (eds.) *Brazil: Geological Survey Under the Spotlight*. Brasília, Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais, p. 6–14.
- Grainger C.J., Groves D.I., Tallarico F.H.B., Fletcher I.R. 2008. Metallogenesis of the Carajás Mineral Province, Southern Amazon Craton, Brazil: Varying styles of Archean through Paleoproterozoic to Neoproterozoic base- and precious-metal mineralisation. *Ore Geology Reviews*, **33**(3-4):451–489.
- Melo G.H.C., Monteiro L.V.S., Moreto C.P.N., Xavier R.P., Silva M.A.D. 2014. Paragenesis and evolution of the hydrothermal Bacuri iron oxide–copper–gold deposit, Carajás Province (PA). *Brazilian Journal of Geology*, **44**:73–90.
- Monteiro L.V.S., Xavier R.P., Roberto Souza Filho C., Moreto C.P.N. 2014. Metalogênese da Província Carajás. In: Silva M.G., Rocha Neto M.B., Jost H., Kuyumjian R.M. (orgs.) *Metalogênese das Províncias Tectônicas Brasileiras*. Belo Horizonte, Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais, p. 43–92.
- Monteiro L.V.S.M., Xavier R.P., Pestilho A.L.S., Moreto C.P.N., Juliani C., Torresi I., Souza Filho C.R. 2011. O cinturão sul do cobre na Província Mineral de Carajás: reconstituição do paleossistema hidrotermal associado aos depósitos de óxido de ferro-cobre-ouro. In: Frantz J.C., Marques J.C., Jost H. (orgs.) *Contribuições à metalogenia do Brasil*. Porto Alegre, Instituto de Geociências/Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 41–70.
- Moreto C.P.N. 2013. *Geocronologia U-Pb e Re-Os aplicada à evolução metalogénica do Cinturão Sul do cobre da Província Mineral de Carajás*. Tese de doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 215 p.
- Moreto C.P.N., Monteiro L.V.S., Xavier R.P., Amaral W.S., Santos T.J.S., Juliani C., Souza Filho C.R. 2011. Mesoproterozoic (3.0 and 2.86 Ga) host rocks of the iron oxide–Cu–Au Bacaba deposit, Carajás Mineral Province: U–Pb geochronology and metallogenetic implications. *Mineralium Deposita*, **46**:789–811.
- Moreto C.P.N., Monteiro L.V.S., Xavier R.P., Creaser R.A., DuFrane S.A., Tassinari C.C.G., Sato K., Kemp A.I.S., Amaral W.S. 2015a. Neoproterozoic and Paleoproterozoic Iron Oxide–Copper–Gold Events at the Sossego Deposit, Carajás Province, Brazil: Re–Os and U–Pb Geochronological Evidence. *Economic Geology*, **110**:809–835.
- Moreto C.P.N., Monteiro L.V.S., Xavier R.P., Creaser R.A., DuFrane S.A., Melo G.H.C., Silva M.A.D., Tassinari C.C.G., Sato K. 2015b. Timing of multiple hydrothermal events in the iron oxide–copper–gold deposits of the Southern Copper Belt, Carajás Province, Brazil. *Mineralium Deposita*, **50**:517–546.
- Pestilho A.L.S. 2011. *Sistemática de isótopos estáveis aplicada à caracterização da evolução dos paleo-sistemas hidrotermais associados aos depósitos cupríferos Alvo Bacada e Alvo Castanha, Província Mineral do Carajás, PA*. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 63 p.
- Réquia K., Stein H., Fontboté L., Chiaradia M. 2003. Re–Os and Pb–Pb geochronology of the Archean Salobo iron oxide copper–gold deposit, Carajás mineral province, northern Brazil. *Mineralium Deposita*, **38**:727–738.
- Tallarico F.H.B. 2003. *O cinturão cupro-aurífero de Carajás, Brasil*. Tese de doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 229 p.
- Tallarico F.H.B., Figueiredo B.R., Groves D.I., Kositsin N., McNaughton N.J., Fletcher I.R., Rego J.L. 2005. Geology and SHRIMP U–Pb Geochronology of the Igarapé Bahia Deposit, Carajás Copper–Gold Belt, Brazil: An Archean (2.57 Ga) Example of Iron–Oxide Cu–Au–(U–REE) Mineralization. *Economic Geology*, **100**:7–28.
- Vasquez M.L., Rosa-Costa L.T., Silva C.M.G., Klein E.L. 2008. Compartimentação tectônica. In: Vasquez M.L. & Rosa-Costa L.T. (orgs.) *Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará: Sistema de Informações Geográficas —SIG: texto explicativo dos mapas Geológico e Tectônico e de Recursos Minerais do Estado do Pará 1:1.000.000*. Belém, Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais, p. 39–112.
- Veloso Â.S.R. 2017. *Evolução metalogénica do depósito de Cu–(Ni–Zn) Jatobá, Província Mineral de Carajás*. Tese de doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 201 p.