



## Assinatura Eletromagnética do Depósito de Cu-Au Cristalino, Carajás – PA

Aline T. M. Coelho-Silva (Vale S.A), Mônica Giannoccaro Von Huelsen (Universidade de Brasília), Amanda Almeida Rocha (Universidade de Brasília), Reinhardt Adolf Fuck (Universidade de Brasília), Cantidiano Freitas (Vale S.A) e Benevides Aires (Vale S.A).

Copyright 2010, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no IV Simpósio Brasileiro de Geofísica, Brasília, 14 a 17 de novembro de 2010. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do IV SimBGf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

### Resumo

O Depósito de Cu-Au Cristalino está localizado na Província Mineral de Carajás. A área do depósito foi coberta por levantamento eletromagnético terrestre no domínio do tempo (TEM) com o objetivo de identificar as zonas condutoras e assim estudá-las em detalhe. Foi realizada a análise das imagens dos 20 canais TEM e a integração com a geologia local. Com essa metodologia foi possível identificar de forma clara a zona mineralizada, nos primeiros canais há forte influência da cobertura de intemperismo e laterização, mas após o canal 10 as anomalias correspondentes à zona mineralizada, têm sua área e amplitude aumentadas, representando apenas a zona sulfetada.

### Introdução

O Depósito de Cu-Au Cristalino está localizado no domínio Neoarqueano de Carajás, localizado na porção sudeste do Cráton Amazônico, sendo limitado a leste pela Faixa Araguaia e a oeste por terrenos proterozóicos (Docegeo, 1988; Huhn et al., 1988a,b).

Tassinari & Macambira (2004) consideram que a Província Amazônia Central é o segmento mais antigo do Cráton Amazônico, sendo dividida em dois blocos tectônicos principais, Carajás e Xingu-Iricoumé. Santos et al. (2006) consideram o bloco Arqueano de Carajás como província independente, havendo consenso que a região de Carajás constitui o principal núcleo arqueano do Cráton Amazônico (Figura 1; Almeida, 2010).

Com base na idade e natureza das seqüências supracrustais, na idade dos eventos magmáticos e deformacionais, na natureza das séries granitóides e no ambiente tectônico, a Província Carajás foi dividida em dois domínios tectônicos (Souza et al., 1996; Althoff et al., 2000; Dall'Agnol et al., 2000, 2006; Santos et al., 2006; Vasquez et al., 2008; Almeida, 2010): O domínio de idade Mesoarqueana (3,0 – 2,86 G.a) denominado de Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria (Machado et al., 1991; Macambira & Lafon, 1995; Macambira & Lancelot, 1996; Althoff et al., 2000; Souza et al., 2001; Leite et al., 2004; Dall'Agnol et al., 2006; Almeida, 2010) e o domínio Neoarqueano de Carajás (2,76 – 2,54 Ga;

Machado et al., 1991; Huhn et al., 1999; Barros et al., 2004; Sardinha et al., 2006; Almeida, 2010).

Dall'Agnol et al. (2006) consideram que o domínio Carajás foi originado provavelmente em período similar ao do Terreno Rio Maria, sendo, porém afetado a seguir pela formação de profundo rift continental, de modo que esses autores optaram por designar o domínio de Carajás como Bacia de Carajás (Almeida, 2010). Hipótese alternativa considera que o domínio de Carajás foi originado em ambiente de subducção (Meirelles & Dardenne, 1991; Teixeira & Egger, 1994; Lobato et al., 2006; Silva et al., 2006).

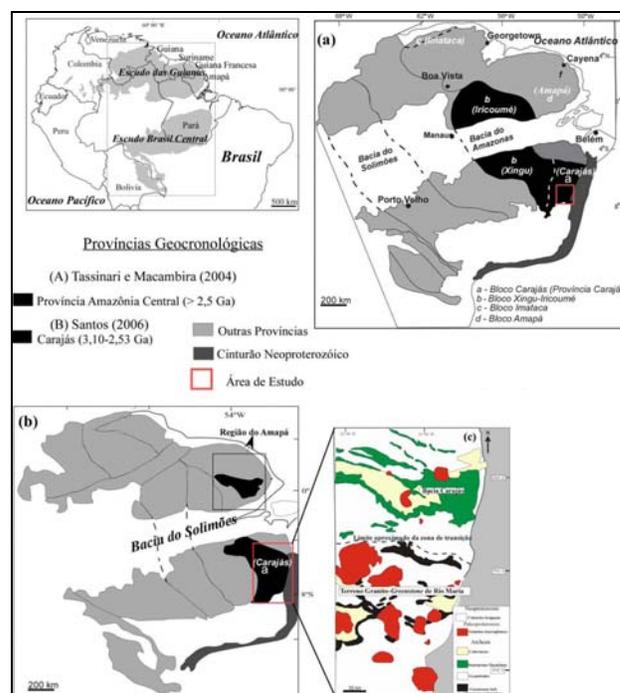


Figura 1 – Domínios Arqueanos do Cráton Amazônico, de acordo com os modelos de (a) Tassinari & Macambira (2004) e (b) Santos et al. (2006); (c) Mapa geológico simplificado da Província Mineral de Carajás (Almeida, 2010).

A mineralização de Cu-Au do Depósito Cristalino está hospedada em rochas vulcânicas intermediárias a félsicas hidrotermalmente alteradas e intercaladas com formações ferríferas do Grupo Grão Pará. A mineralização ocorre em brechas, como *stockworks*, disseminações na rocha hospedeira e preenchendo

fraturas que cortam a sequência. O depósito está estimado em mais de 500 Mt com teor de 1.0% Cu e 0.3 g/t Au (Huhn et al., 1999).

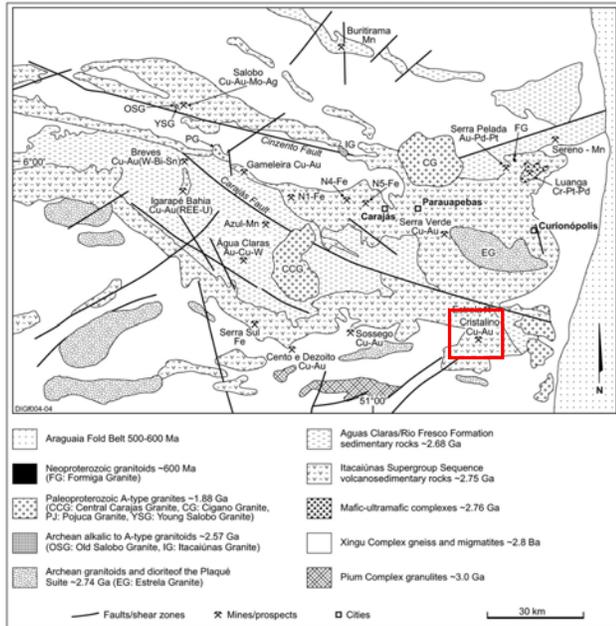


Figura 2 – Mapa geológico simplificado do Domínio Neoarqueano Carajás, mostrando a área de estudo (segundo Docege, 1988; Grainger et al., 2008).

### Metodologia/ Problema Investigado

Os métodos eletromagnéticos no domínio do tempo (TEM) são de fundamental importância para a prospecção de depósitos associados a sulfeto maciço. A área do depósito foi coberta por levantamento TEM terrestre com o objetivo de identificar as zonas mais condutoras e assim estudá-las em detalhe. Os dados foram adquiridos com o equipamento PROTEM 57, domínio do tempo, frequência de 30 Hz, registrando as componentes X, Y e Z, dB/dt; corrente de 8 A, 20 canais, arranjo com loops de 200 x 200m e leituras *in-loop*. O espaçamento entre as estações foi de 200m (de centro a centro dos loops).

Os dados foram processados utilizando o software Geosoft™ versão 7.2. Foi realizada uma interpolação utilizando o método de Mínima Curvatura e malha de 50m.

Geologicamente, o problema investigado por estes dados se insere em região (Carajás) que em geral possui espessa cobertura de solo com processos de laterização localmente intensos. A cobertura intemperizada, caso seja condutora, pode diminuir a resolução dos dados, pois dificulta a passagem da corrente em profundidade (Lei de Lenz). Por outro lado, em áreas heterogêneas essas zonas lateríticas de alta condutividade respondem com fortes anomalias, produzindo o ruído geológico.

Assim, devido às grandes profundidades que o perfil de intemperismo pode alcançar na Região Amazônica é importante fazer uma análise criteriosa dos dados TEM para eliminar as anomalias provenientes de zonas intemperizadas / laterizadas.

### Resultados

As imagens dos 20 canais TEM foram analisadas e posteriormente integradas com a geologia local. Foi comprovada a eficiência do método na identificação do depósito, mesmo não sendo um único corpo de sulfeto maciço e sim vários estilos de mineralizações (brechas, *stockworks*, disseminações e preenchimento de fraturas) interligados.

É possível verificar que ocorre mudança significativa da localização e amplitude das anomalias à medida que se avança para os canais mais tardios, ou seja, mais profundos. A partir do canal 1 até o canal 9 há uma forte influência da cobertura que é mapeada como Depósito Coluvionar Laterizado (Figura 3a). Essas coberturas são fontes de ruído para os dados, observa-se que nos primeiros canais aparecem três anomalias e como mostra o canal 4 (Figura 3b), a anomalia de maior amplitude é o Depósito Coluvionar Laterizado, e as outras duas anomalias correspondem à zona mineralizada.

A anomalia correspondente ao intemperismo diminui até que não aparece mais após o canal 10, e as anomalias correspondentes à zona mineralizada têm sua área aumentada conforme o aumento da profundidade (iniciando com largura de 300m no canal 4 e chegando a 750m no canal 17; Figuras 3c e d). Os perfis da linha de número 100NW (Figura 4) mostram claramente o aumento relativo da amplitude da zona sulfetada em relação ao ruído geológico, principalmente a partir do canal 4. As regiões de maior amplitude refletem diretamente a maior concentração de sulfeto (Figuras 3c e d). A comparação entre a imagem do canal 17 e o mapa geológico mostra bem a correlação entre a anomalia e a zona mineralizada que foi modelada a partir da sondagem realizada na área.

### Discussão e Conclusões

A integração dos dados de EM terrestre com a geologia da área foi fundamental para avaliação das anomalias como resposta da zona mineralizada ou da laterização. Essa análise é vital para a priorização de alvos. Ainda que a ambigüidade do método não permita discriminar de forma tão direta se existe uma zona com sulfeto maciço abaixo da zona intemperizada ou em nível mais raso que as outras zonas mineralizadas. Para isso é necessário análise do decaimento do sinal em cada ponto do perfil com o objetivo de avaliar a qualidade do condutor (bons condutores têm decaimento lento enquanto condutores ruins têm decaimento rápido) e modelagem, utilizando o processo de inversão dos dados, que dará continuidade ao trabalho.

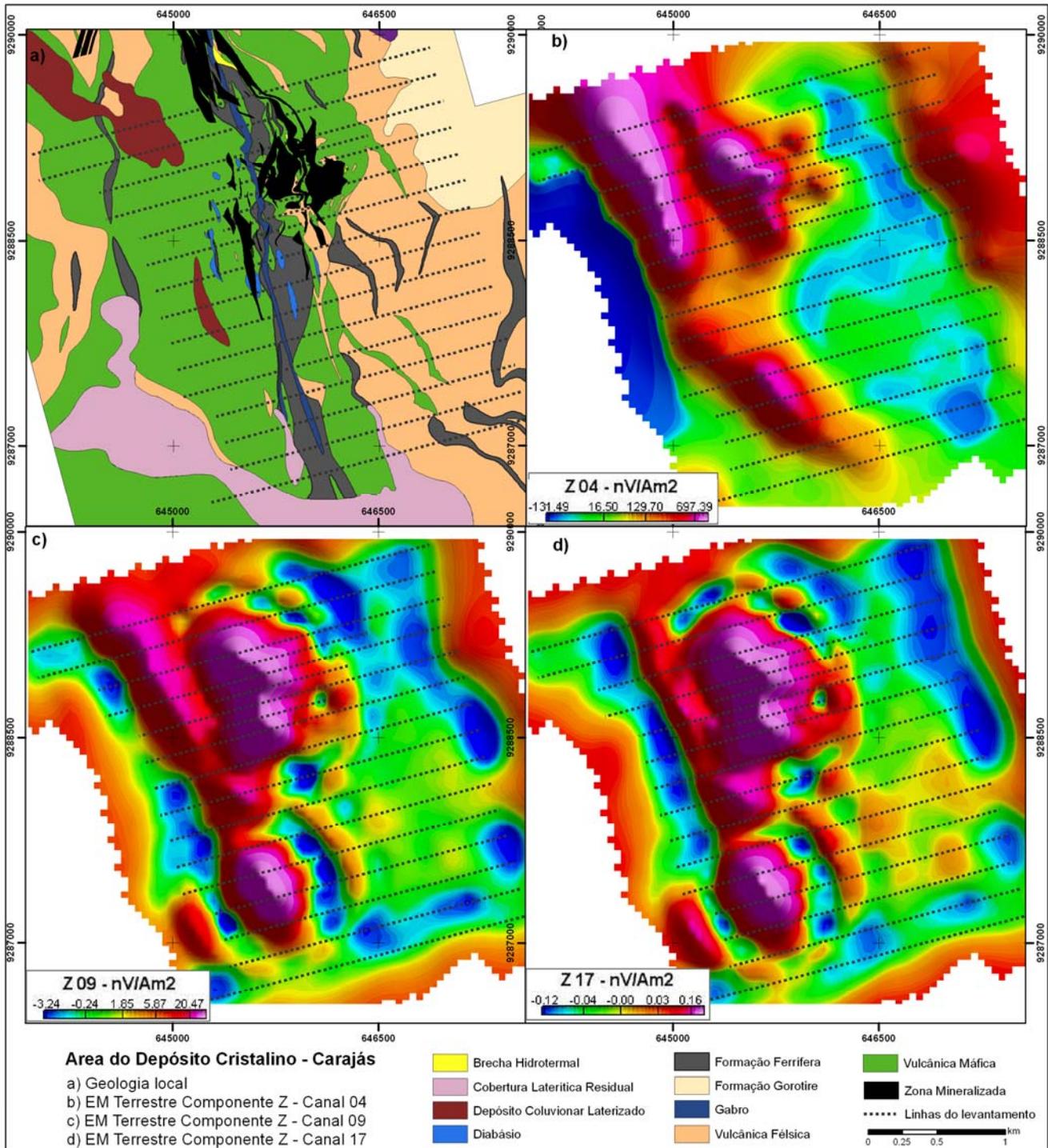


Figura 3 – Mapa geológico do Depósito Cristalino e imagens das malhas da componente Z. a) Geologia local do depósito, b) Canal 04, c) Canal 09 e d) Canal 17.

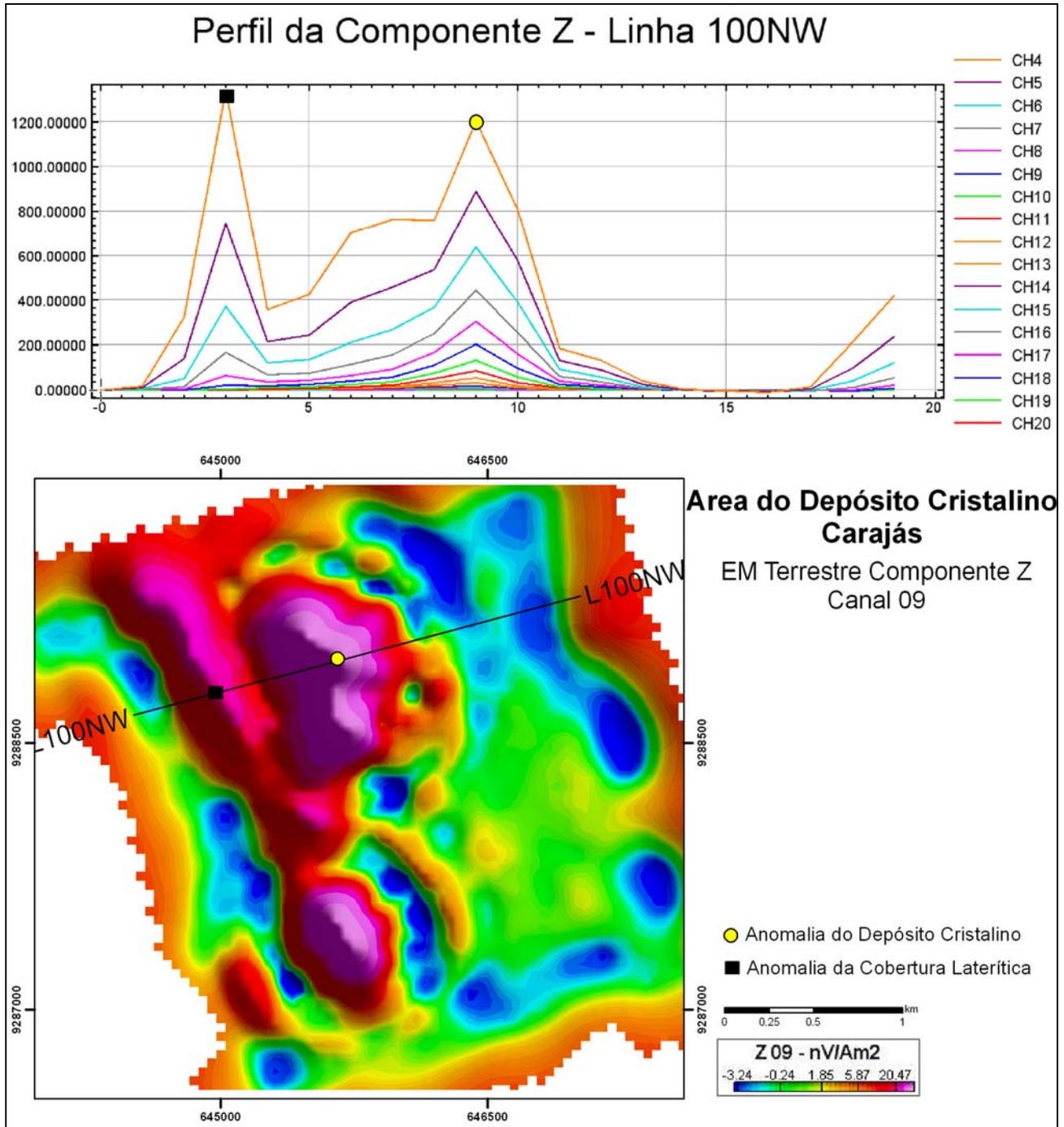


Figura 4 – Perfil da componente Z, canais 04 a 20 e imagem da componente Z, canal 09 com a localização das anomalias do Depósito Cristalino e da Cobertura Coluvionar Laterizada.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a Vale S.A. por ter concedido os dados para esse trabalho e ao Observatório Sismológico da Universidade de Brasília pelo apoio logístico

## Referências

- Almeida, J. A. C. 2010. Geologia, Geoquímica, Geocronologia e Petrogênese das Suítes TTG e dos Leucogranitos Arqueanos do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, sudeste do Cráton Amazônico. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Pará (PPGG/UFGPA) Pará, Brasil.
- Althoff, F.J., Barbey, P., Boullier, A.M., 2000. 2.8–3.0 Ga plutonism and deformation in the SE Amazonian craton: the Archean granitoids of Marajoara (Carajás Mineral province, Brazil). *Precambrian Res.* 104, 87–206.
- Barros, C.E.M., Macambira, M.J.B., Barbey, P., Scheller, T., 2004. Dados isotópicos Pb-Pb em zircão (evaporação) e Sm-Nd do Complexo Granítico Estrela, Província Mineral de Carajás, Brasil: Implicações petrológicas e tectônicas. *Rev. Bras. Geociências* 34, 531-538.
- Dall'Agnol, R., Lafon, J.M., Fraga, L.M., Scandolara, J., Barros, C.E.M. 2000. The Precambrian Evolution of the Amazonian Craton: one of the last Unknown Precambrian Terranes in the World. In: *International Geological Congress*, 31. Rio de Janeiro. Abstracts. Rio de Janeiro: CPRM. K.4 (CD ROM).
- Dall'Agnol, R., Oliveira, M.A., Almeida, J.A.C., Althoff, F.J., Leite, A.A.S., Oliveira, D.C. & Barros, C.E.M. 2006. Archean and Paleoproterozoic granitoids of the Carajás metallogenetic province, eastern Amazonian craton. In: Dall'Agnol, R., Rosa-Costa, L.T., Klein, E.L. (eds.). *Symposium on Magmatism, Crustal evolution, and Metallogenesis of the Amazonian Craton. Abstracts Volume and Field Trips Guide*. Belém, PRONEX-UFGPA/SBGNO, 99-150.
- Docegeo (Rio Doce Geologia e Mineracao - Distrito Amazonia) 1988. Revisao litoestratigrafica da Provincia Mineral de Carajas, Para. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 35, Belem. Anexos..., vol. Provincia Mineral de Carajas - Litoestratigrafia e Principais Depositos Mineraiis. p. 11-54.
- Huhn, S.R.B., Santos, A.B.S., Amaral, A.F., Ledsham, E.J., Gouveia, L.J., Martins, L.P.B., Montavo, R.M.G., Costa, V.C., 1988a. O terreno granite greenstone da regio de Rio Maria — Sul do Pará. *Congresso Brasileiro de Geologia*, Belém, Anais, vol. 35, pp. 1438–1452.
- Huhn, S.R.B., Souza, C.I.J., Albuquerque, M.C., Leal, E.D., Brustolin, V., 1999. Descoberta do depósito Cu (Au) Cristalino: geologia e mineralização associada—Região da Serra do Rabo-Carajás- PA. VI Simpósio de Geologia da Amazônia, pp. 140–143.
- 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 mineralization. *Ore Geology Reviews*, vol. 33, pp. 451–489.
- Lobato, L.M., Rosière, C.A., Silva, R.C.F., Zucchetti, M., Baars, F.J., Sedane, J.C.S., Javier Rios, F., Pimentel, M., Mendes, G.E., Monteiro, A.M., 2006. A mineralização hidrotermal de ferro da Província Mineral de Carajás – controle estrutural e contexto na evolução metalogenética da província. In Marini O.J., Queiroz E.T., Ramos W.B. (Eds.) *Caracterização de Depósitos Mineraiis em Distritos Mineiros da Amazônia*. Brasília, DNPM, CT-Mineral / FINEP, ADIMB, 21-92.
- Machado, N., Lindenmayer, Z.G., Krogh, T.E., Lindenmayer, D. 1991. U-Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás area, Amazon shield, Brazil. *Precambrian Res.*, 49: 329-354.
- Meirelles, M.R., Dardenne, M.A., 1991. Vulcanismo basáltico de afinidade shoshonítica em ambiente de arco Arqueano, Grupo Grão-Pará, Serra dos Carajás, Estado do Pará. In: *Congresso Brasileiro Geologia*, 33, Rio de Janeiro, 1991. Anais. Rio de Janeiro, SBG, v. 5: 2164-2174.
- Santos, J.S.O., Hartmann, L.A., Faria, M.S., Riker, S.R., Souza, M.M., Almeida, M.E. Mcnaughton, N.J. 2006. A compartimentação do Cráton Amazonas em províncias: avanços ocorridos no período 2000-2006. In: *Simpósio de geologia da Amazônia*, 9, Belém. Resumos Expandidos, Belém, SBG.
- Sardinha A.S., Barros C.E.M., Krymsky R. 2006. Geology, geochemistry, and U–Pb geochronology of the Archean (2.74 Ga) Serra do Rabo granite stocks, Carajás Metallogenetic Province, northern Brazil. *J. South Am. Earth Sci.* 20, 327–339.
- Silva, M.G., Teixeira, J.B.G, Pimentel, M.M., Vasconcelos, P.M., Arielo, A., Rocha, W.J.S.F. 2006. Geologia e mineralização de Fe-Cu-Au do alvo GT46 (Igarapé Cinzento), Carajás. In Marini O.J., Queiroz E.T., Ramos W.B. (Eds.) *Caracterização de Depósitos Mineraiis em Distritos Mineiros da Amazônia*. Brasília, DNPM, CT-Mineral / FINEP, ADIMB, 93-151.
- Souza, S. Z., Dall'Agnol, R., Althoff, F. J., Leite, A. A. S., Barros, C. E. M. 1996. Carajás mineral province: geological, geochronological and tectonic constraints on the Archean evolution of the Rio Maria Granite-Greenstone Terrain and the Carajás block. In: *Simp. Arch. Terr. South Amer. Plataform*, Brasília, 1996, Extended abstracts, Brasília, SBG. p 31- 32.
- Tassinari, C.C.G., Macambira, M. 2004. A evolução tectônica do Cráton Amazônico. In: Mantesso – Neto, V.;

Bartorelli, A.; Carneiro, C.D.R.; Brito Neves, B.B. (Eds.), *Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques Almeida*. São Paulo, p. 471-486.

Teixeira, J. B. G., Eggler, D. H. 1994. Petrology, geochemistry, and tectonic setting of Archean basaltic and dioritic rocks from the N4 iron deposit, Serra dos Carajás, Pará, Brazil. *Acta Geologica Leopoldensia* 17 (40), 71-114.

Vasquez L.V., Rosa-Costa L.R., Silva C.G., Ricci P.F., Barbosa J.O., Klein E.L., Lopes E.S., Macambira E.B., Chaves C.L., Carvalho J.M., Oliveira J.G., Anjos G.C., Silva H.R. 2008. *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*. In Vasquez M.L., Rosa-Costa L.T. (Org.), Escala 1:1.000.000. Belém: CPRM.