

## ARTIGO TÉCNICO

# Estruturação Profunda na Província Mineral do Tapajós Evidenciada por Magnetometria: Implicações para a Evolução Tectônica do Cráton Amazonas

Cleyton de Carvalho Carneiro - IG/USP, IG/UNICAMP, GEOCIAM; Saulo Alves Carreiro-Araújo - Petrobras-UO-AM/EXP; Caetano Juliani - IG/USP, GEOCIAM; Alvaro Penteado Crósta - IG/UNICAMP, GEOCIAM; Lena Virginia Soares Monteiro - IG/USP, GEOCIAM; e Carlos Marcello Dias Fernandes - IG/UFPA, GEOCIAM

## Abstract

The Tapajós Province is located in Amazonian Craton, southwestern of Pará State in Brazil. The region is an important metallogenetic province, with several world order ore deposits. This paper aims to understand the magnetometric arrangement of the structures related to the crustal framework of Tapajós Province in various depths. Additionally, the result aims to suggest some implications about the tectonic evolution of the south of Amazonian Craton. The analysis was developed using magnetometric data from three airborne geophysical projects. The result shows that E-W structures compose tectonic systems associated with ductile compressive regime, observed at depths up to 15.4 km. Moreover, structures NNW-SSE were associated mainly with shallow depths. The analysis of the vertical derivatives in various depths allowed associating the E-W structures with blocks dipping predominantly from south to north.

## Introdução

A Província Mineral do Tapajós, localizada no Cráton Amazonas, sudoeste do estado do Pará (Fig. 1), é uma das mais representativas províncias metalogenéticas do Brasil. O atual arcoabouço tectônico dessa província dentro do cráton foi definido, sobretudo, com base na interpretação de dados em superfície. A abordagem interpretativa, no entanto, teve como subsídio as análises de diferentes tipos de dados, tais como geologia isotópica, sensoriamento remoto, geoquímica, petrologia, geologia estrutural, dentre outros.

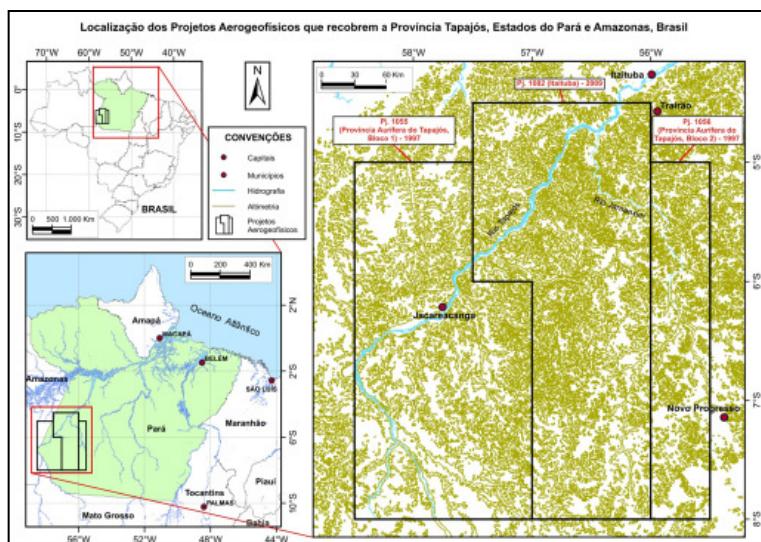


Fig. 1: Localização da Província Mineral do Tapajós e dos projetos aerogeofísicos utilizados para as análises magnetométricas.

O Cráton Amazonas foi estudado por diversos autores, que a partir de uma série de análises, caracterizaram as rochas aflorantes e propuseram alguns modelos de evolução crustal (Tassinari & Macambira, 1999; Santos et al., 2003; Juliani & Fernandes, 2011). Uma investigação complementar empregando métodos potenciais poderia contribuir para o entendimento da evolução tectônica da região.

Métodos potenciais são amplamente utilizados para entender a configuração tectônica interna em diversas regiões do mundo (Ferreira, 1982; Ussami et al., 1993; Mantovani & Brito Neves, 2005; Oliveira, 2005; Carreiro-Araújo, 2012). No Cráton Amazonas, no entanto, as análises de dados magnetométricos para o entendimento da evolução crustal ainda são pouco discutidas.

O objetivo deste trabalho é entender o arranjo das estruturas relacionadas ao arcabouço crustal da Província Mineral do Tapajós em diferentes profundidades, especialmente para melhor entender a estruturação sob as rochas vulcânicas. Para isso, serão utilizados dados magnetométricos adquiridos nos anos de 1997 e 2008 pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

Os resultados que serão apresentados devem gerar algumas implicações relacionadas à evolução tectônica do escudo sul do Cráton Amazonas.

## Métodos

Para compor a base de dados, fonte das análises, foram utilizados dados magnetométricos adquiridos a partir de três projetos aerogeofísicos executados pela LASA S/A e contratados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), apresentados na Figura 1: (i) Província Aurífera do Tapajós - Bloco 1; (ii) Província Aurífera do Tapajós - Bloco 2; e (iii) Itaituba. O projeto (i) foi adquirido entre junho e setembro de 1997 e consiste em 49.282 km<sup>2</sup> de área sobrevoada. O projeto (ii) foi levantado entre outubro e novembro de 1997 e sobrevoou uma área de 21.279 km<sup>2</sup>. Em ambos os projetos foram geradas linhas de produção na direção N-S, espaçadas em 1 km e linhas de controle E-W espaçadas em 13 km. O intervalo de amostragem nesses projetos variou entre aproximadamente 50 e 60 m, e a altura média do voo foi de 100 m. Os dados do projeto (iii) foram adquiridos entre julho e dezembro de 2008, e recobriram uma área de 51.967 km<sup>2</sup>. As linhas de produção são N-S, com 0,5 km de espaçamento, e as linhas de controle foram sobrevoadas, segundo a direção E-W, com espaçamento de 10 km. O intervalo de amostragem deste projeto foi de 0,1 s e a altura de voo foi de aproximadamente 100 m.

Os três projetos foram integrados em uma mesma base de dados. Para reduzir os contrastes relativos ao campo magnético em diferentes aquisições, essa base foi nivelada a partir das linhas de controle e, em seguida, foi realizado o micronivelamento para a remoção dos pequenos ruídos remanescentes (Uruhart, 1988; Minty, 1991; Luyendyk, 1997).

O campo magnético anômalo (CMA) resultante é mostrado na Figura 2A. Em seguida, foi aplicado o filtro de amplitude do sinal analítico para a melhor definição geométrica das fontes magnéticas, realçadas pelo gradiente (Fig. 2B). A utilização deste filtro ocorreu porque a região está localizada em baixas latitudes (Nabghian et al., 2005; Mello et al., 2011).

Posteriormente, o espectro do campo magnético foi analisado a partir da técnica desenvolvida por Spector & Grant (1970) e refinado em um algoritmo por Phillips (2001, 2007), denominado “matched filtering”. Esse filtro é apropriado para ser usado em dados magnéticos no mapeamento de fontes em diferentes profundidades.

## ARTIGO TÉCNICO

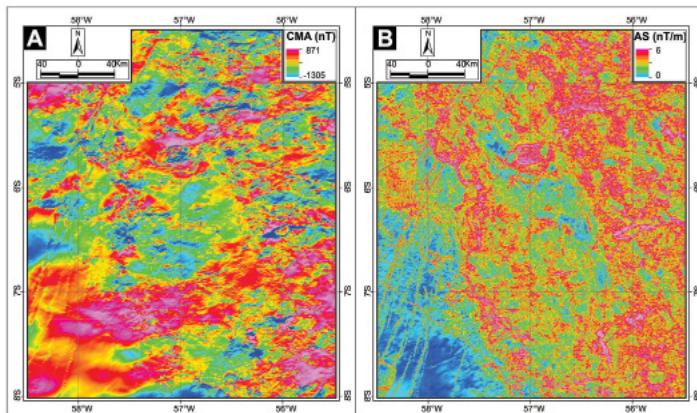


Fig. 2: (A) Campo magnético anômalo nivelado e micronivelado; (B) Amplitude do Sinal Analítico do CMA.

### Resultados

A partir do espectro radial da potência do CMA, foi possível a identificação de quatro regiões distintas. A Figura 3 mostra os resultados da aplicação do algoritmo “matching filtering”, com a individualização de quatro curvas (em vermelho) ajustadas de acordo com o espectro original (em verde). A curva resultante da aplicação do algoritmo indicou um ajuste adequado à interpretação do espectro de potência original. A partição do espectro em quatro regiões correspondeu às seguintes profundidades: (A) 1,48 km; (B) 6,27 km; (C) 15,4 km; e (D) definida por valores espúrios, relacionados a profundidades maiores que 38 km, incoerentes com a teoria da Temperatura Curie (Nabghian et al., 2005). Estas classificações foram associadas a fontes magnéticas (A) rasas; (B) intermediárias; e (C) profundas.

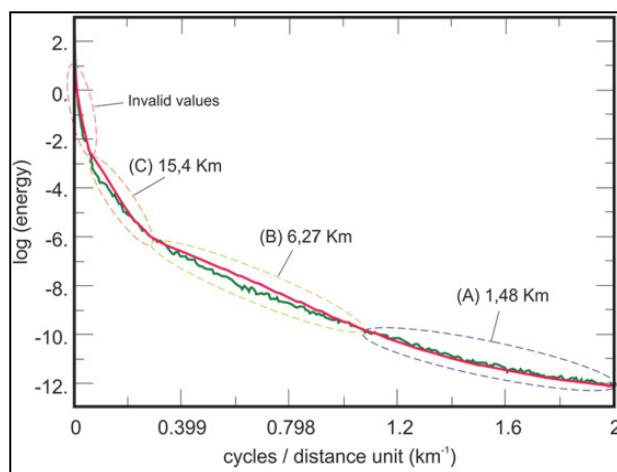


Fig. 3: Espectro radial da potência (em verde) sobreposto pelas curvas ajustadas (em vermelho) em diferentes profundidades.

Na Figura 4, são demonstrados os “grids” da primeira derivada vertical do CMA em diferentes níveis de profundidade, definidos a partir da segmentação do espectro mostrado na Figura 3. Nesse sentido, a disposição das variações do campo magnético em diferentes níveis crustais permitiu algumas observações quanto à geometria das fontes magnéticas e suas respectivas relações com feições geológicas.

Na Figura 4A, correspondente à profundidade rasa (1,48 km), é possível observar variações no CMA que indicam estruturas de direção E-W, sobreposta por uma tendência NNW-SSE bem marcada. Por fim, estruturas de direção NNE-SSW truncam as direções ora descritas.

Quando observadas em profundidades crustais intermediárias (6,27 km), a primeira derivada vertical do CMA (Fig. 4B) demonstra uma tendência estrutural semelhante à da Figura 4A.

No entanto, as relações de sobreposição entre as estruturas neste quadro estão atenuadas. Ainda assim, são observadas feições de truncamento que permitem observar as estruturas E-W sobrepostas pelas estruturas de direção NNW-SSE.

Em maiores profundidades (15,4 km), a variação do CMA observado pela primeira derivada vertical demonstra a predominância de expressivas estruturas alongadas na direção E-W (Fig. 4C). Estas estruturas são anastomosadas, irregulares e apresentam-se expressas nas diferentes variações de magnitude do CMA.

Por último, a composição ternária das derivadas verticais do CMA em diferentes profundidades R(15,4 km)-G(6,27 km)-B(1,48 km), Figura 4D, proporcionou algumas observações relacionadas às direções de mergulho das fontes de anomalias magnéticas. Esses resultados demonstram que expressivas estruturas alongadas na direção E-W apresentam tonalidades próximas ao branco. Isto indica que essas estruturas estão presentes nos três diferentes níveis crustais. Além disso, essas estruturas apresentam em suas bordas norte a predominância da cor vermelha, indicativa de fontes mais profundas. Já nas suas bordas sul, há a predominância da cor azul, indicativa das fontes mais rasas. Isso permite uma fácil associação de que tais regiões anômalas alongadas na direção E-W estariam mergulhando, predominantemente, de sul para norte.

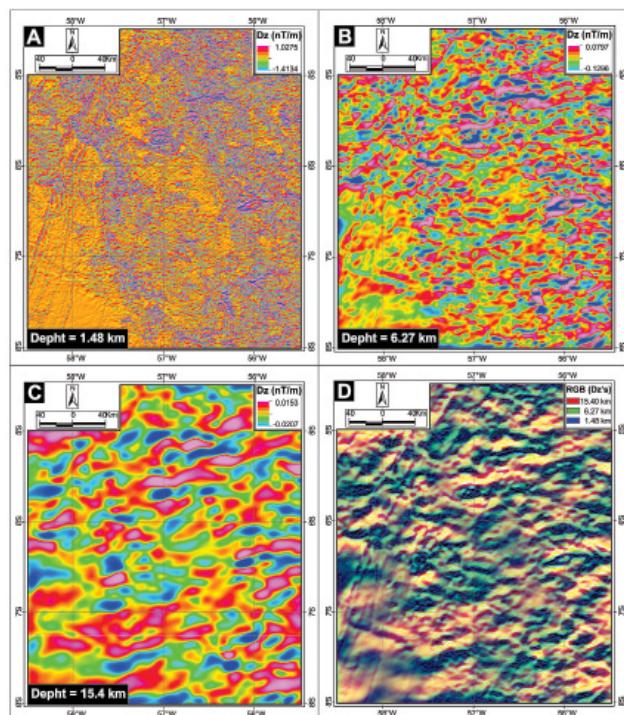


Fig. 4: Primeira derivada vertical do Campo Magnético Anômalo nas seguintes profundidades: (A) 1,48 km; (B) 6,27 km e (C) 15,4 km; (D) Composição ternária R(C)-G(B)-B(A).

### Discussão

Estruturas E-W, identificadas de forma discreta em regiões crustais mais rasas, apresentam-se mais expressivas com o aumento da profundidade. Por outro lado, estruturas NNW-SSE apresentam suas maiores expressões em profundidades de até 6,27 km. Quando observadas em profundidades maiores, as direções NNW-SSE não apresentam grandes expressões geométricas se comparadas com aquelas dispostas segundo E-W. Esse quadro tectônico, realçado por produtos do CMA, sugere que a Província Mineral do Tapajós, conhecida em superfície por intrusões ígneas de direção predominantemente NNW-SSE, teria um embasamento em profundidade composto por blocos alongados dispostos na direção E-W, o que corrobora a interpretação de

Juliani (2011), que sugere que as estruturas arqueanas aflorantes em Carajás continuam até além do rio Tapajós. Essas estruturas também condicionaram a colocação de magmas do evento Uatumã. Esses blocos mergulham de sul para norte, segundo as análises do espectro da potência do CMA.

Alternativamente, Klein et al. (2001) e Santos & Coutinho (2008) relacionam as estruturas E-W a um sistema extensional tardio, uma vez que estas estruturas controlariam grande parte das bacias sedimentares proterozoicas e alguns corpos máficos paleo- e meso-proterozoicos aflorantes.

No entanto, a análise dos dados magnetométricos em profundidades distintas, permite-nos entender que essas estruturas também estão associadas a sistemas dúcteis, compressivos, observados em profundidades de até 15,4 km, com evidências de movimentação de blocos de sul para norte, o que é compatível com um ou mais processos de subducção de sul para norte.

### Conclusões

O conjunto de análises nos dados magnéticos permitiu algumas observações a cerca da evolução tectônica da Província Mineral do Tapajós. Grandes blocos crustais estruturados segundo E-W, concordantemente com as zonas de cisalhamento arqueanas de Carajás (de ~2,8 Ga e com reativações posteriores), encontram-se em regiões crustais mais profundas da província. Sobre esses blocos, houve a sobreposição de estruturas com direção predominantemente NNW-SSE. O conhecimento da geologia em superfície demonstra que a colocação das intrusões vulcânicas felsicas fissurais e granitos mais evoluídos, tardia pós-orogênicos, obedecem a uma estruturação NNW-SSE, compatíveis com as regiões mais rasas do espectro analisado, como definido por Juliani & Fernandes (2010). As direções NNE-SSW, expressas, sobretudo em regiões crustais mais rasas, estão relacionadas aos diques descritos para a região. A presença de blocos dispostos na direção E-W em profundidade sugere a presença de um regime dúctil pretérito ao magmatismo ígneo de direção NNW-SSE que compõe a Província Tapajós. Esses resultados destacam a necessidade de maiores observações aos modelos de evolução tectônica para o Cráton Amazonas. Os resultados ora obtidos estão condizentes com a proposta de evolução destacada por Juliani (2012).

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Serviço Geológico do Brasil, especialmente à Dra. Maria Laura Azevedo e ao Dr. Alexandre Lisboa Lago pela concessão dos projetos aerogeofísicos. À FAPESP pela concessão da bolsa ao primeiro autor (Processo 2010/10498-8); Ao Instituto de Geociências da Amazônia (INCT-GEOCIAM) pelo apoio a esta pesquisa.

### Referências

- CARREIRO-ARAÚJO, S. A. 2012. Metódos potenciais aplicados ao estudo do arcabouço crustal da porção meridional da Faixa Ribeira, margem continental da Bacia de Santos. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília UnB.
- FERREIRA, F.J.F. 1982. Geologia da Bacia do Paraná - alinhamentos estruturais-magnéticos da região centro-oriental da Bacia do Paraná e seu significado tectônico. IPT. 143-166p.
- JULIANI, C. 2012. A Província Aurífera Tapajós-Xingu: Avanços no Conhecimento Geológico-Metalogenético. V Simpósio Brasileiro de Exploração Mineral. Ouro Preto. Site: [http://www.adimb.com.br/simexmin2012/wp-content/themes/simexmin/palestras/07tapajos-xingu/VI\\_1\\_Juliani.pdf](http://www.adimb.com.br/simexmin2012/wp-content/themes/simexmin/palestras/07tapajos-xingu/VI_1_Juliani.pdf)
- JULIANI, C & FERNANDES, C.M.D. 2010. Well-preserved late paleoproterozoic volcanic centers in São Félix do Xingu region, Amazonian Craton, Brazil. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 191, p. 167–179.
- KLEIN E.L., SANTOS R.A., FUZIKAWA K., ANGÉLICA R.S. 2001. Hydrothermal fluid evolution and structural control of the brittle-style Guarim lode-gold mineralisation, Tapajós Province, Amazonian Craton, Brazil. *Miner. Depos.*, 36:149-164.
- LUYENDYK A.P.J. 1997. Processing of airborne magnetic data: *Journal of Australian Geology and Geophysics*, 17, 31–38.
- MANTOVANI, M.S.M., & BRITO NEVES, B.B. 2005. Geophysical boundaries of Paranapanema Proterozoic block: its importance for the Rodinia to Gondwana evolutionary theories. *Gondwana Research*, 8, 18-22.
- MELLO, A.C., SANTOS, R.B., CARLOS, D.U., PONTE NETO, C.F., BARBOSA, V.C.F. 2011. Filtro de Redução ao Polo: Potencialidades e Limitações. In: SBGf, 12º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica.
- MINTY, B.R.S. 1991. Simple micro-leveling for aeromagnetic data: *Exploration Geophysics*, 22, 591–592.
- NABIGHIAN, M.N., GRAUCH, V.J.S., HANSEN, R.O., LAFEHR, T. R., LI Y., PEIRCE, J. W., PHILLIPS, J. D., & RUDER M. E. 2005. The historical development of the magnetic method in exploration. *Geophysics*, 70(6), 33-61.
- OLIVEIRA, RG. 2008. Arcabouço geofísico, isostasia e causas do magmatismo cenozoico da província Borborema e de sua margem continental (Nordeste do Brasil). Tese de Doutorado, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, UFRN.
- PHILLIPS, J.D. 2001. Designing matched bandpass and azimuthal filters for the separation of potential-field anomalies by source region and source type: 15th Geophysical Conference and Exhibition, Australian Society of Exploration Geophysicists, Expanded Abstracts, CD-ROM.
- PHILLIPS J.D. 2007. Geosoft e Xecutables (GX's) developed by U.S Geological Survey, version 2.0, with notes on GX development from Fortran code: U.S. Geological Survey Open-File Report, 1355 p.
- SANTOS J.O.S. 2003. Geotectônica dos Escudos da Guiana e Brasil Central. In: BIZZI L.A., SCHOBENHAUS C., VIDOTTI R.M, GONÇALVES J.H. (Eds.). Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil. Texto, mapas e SIG. CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Brasília, p.169-226.
- SANTOS R.A. & COUTINHO M.G.N. 2008. Geologia estrutural. In: COUTINHO M.G.N. (Ed.) Província Mineral do Tapajós: Geologia, metalogenia e mapa provisional para ouro em SIG. CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Rio de Janeiro, 97-135 p.
- SPECTOR, A., & GRANT, F. S. 1970. Statistical models for interpreting aeromagnetic data. *Geophysics*, 35(2), 293-302.
- TASSINARI CCG & MACAMBIRA MJB. 1999. Geochronological Provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, 22:174-182.
- URQUHART, T. 1988. Decorrelation of enhanced magnetic field maps: 59th Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstracts, 371-372.
- USSAMI, N., SÁ, N. C., & MOLINA, E.C. 1993. Gravity signature of the western Paraná basin, Brazil. *Earth and Planetary Sciences Letters*, 159(3/4), 117-132.

Os dois artigos técnicos publicados nesta edição do Boletim SBGf fazem parte dos anais do 13º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica