

PALEOMAGNETISMO E MAGNETISMO DAS ROCHAS DO ENXAME DE DIQUES FELSICOS E MAFICOS DO EVENTO UATUMA HA 1.88 GA (PARA)

Paul Y.J Antonio^{1,2*}, Manoel S. D'Agrella-Filho¹, Ricardo I. F. Da Trindade¹, Anne Nédélec²,
Davis C. De Oliveira³, Fernando F. Da Silva³

¹ Universidade de São Paulo (USP), Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG),
Rua do Matão, 1226, Cidade Universitária, 05508-090 São Paulo - Brasil.

² Université Paul Sabatier (UPS) - Toulouse III, Observatoire Midi-Pyrénées (OMP),
Géosciences Environnement Toulouse (GET), 14 Avenue Edouard Belin 31400 Toulouse - France.

³ Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências (UFPA), Rua Augusto Corrêa - até 937 -
lado ímpar Guamá 66075110 - Belém, PA - Brasil.

*e-mail: paul@iag.usp.br.

ABSTRACT

A large intraplate magmatism has covered various areas (1,500,000 km²) of the Amazon craton at *ca.* 1.88 Ga and defines a large felsic igneous province (SLIP) called “Uatumã event”. This study aims to get a paleomagnetic pole for felsic and mafic dykes of this event collected in the Tucumã region (NW- Pará). The magnetic mineralogy of the felsic dykes showed that the magnetization is carried by PSD magnetite and hematite. AF, thermal, LTD + AF and LTD + thermal demagnetization show a NW ChRM component with downward inclination for samples from 16 sites which mean direction is $D_m = 325.6$, $I_m = 28.4$ ($N = 16$, $\alpha_{95} = 11.2$, $R = 14.73$, $k = 11.84$). The paleomagnetic pole calculated with the average of the VGPs is 49.2°N e 251.7°E ($\alpha_{95} = 10.2$, $K = 14.08$). This new paleomagnetic pole allows proposing an apparent polar wander path for the Amazon craton for the time interval between 2000 and 1400 Ma.

Keywords: Paleoproterozoic, Amazon craton, SLIP Uatumã, Paleomagnetism

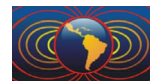
RESUMO

Um grande magmatismo intraplaca cobriu várias áreas (1,500,000 km²) do Cráton Amazônico ha 1.88 Ga e define uma grande província ígnea (SLIP) chamado o “evento Uatumã”. Este estudo tem como objetivo obter um pólo paleomagnético para diques félsicos e máficos deste evento coletados na região de Tucumã (NO-Pará). A mineralogia magnética mostra que a magnetização dos diques félsicos é portada pela magnetita PSD e a hematita. Desmagnetizações AF, térmica, LTD + AF e LTD + térmica mostram uma componente característica com direção noroeste A com inclinação positiva para as amostras a partir de 16 sítios com direção média $D_m = 325.6$, $I_m = 28.4$ ($N = 16$, $\alpha_{95} = 11.2$, $R = 14.73$, $k = 11.84$). O pólo paleomagnético calculado com a média dos PGVs é $49,21^\circ\text{N}$ e $251,7^\circ\text{E}$ ($\alpha_{95} = 10,2$, $K = 14,08$). Este novo pólo paleomagnético permite de propor um novo CDPA para o Cráton Amazônico durante o intervalo de tempo entre 2000 e 1400 Ma.

Palavras chaves: Paleoproterozoico, Craton Amazônico, SLIP Uatumã, Paleomagnetismo

Introdução

Uma grande parte do Cráton Amazônico (1,500,000 km²), situada no norte do Brasil e nos países vizinhos, é representada por rochas vulcânicas e rochas plutônicas datadas entre 1890 e 1870 Ma. Esta grande província ígnea e vulcânica é geralmente chamada o “Evento Uatumã” *sensu stricto*. Muitos argumentos reforçam a ideia que este evento pode ser um SLIP (Silicic Large Igneous Province) (Klein *et al.*, 2012). Observa-se a predominância de ignimbritos, riolitos e diques félsicos e máficos associados. Os diques que cruzaram as



unidades arqueanas são um alvo para o paleomagnetismo. Os diques félsicos foram recentemente datados em 1882 ± 4.1 Ma pelo método U-Pb em zircão (Oliveira et Da Silva, dados não publicados, comunicação pessoal). O estudo deste evento é particularmente importante para o paleomagnetismo, porque há apenas um pólo paleomagnético de baixa qualidade ($Q = 2$) obtido para o granito Carajás (Renne *et al.*, 1988), o que não permite ainda uma reconstituição válida para o Cráton Amazônico há 1880 Ma. Embora o Cráton Amazônico foi uma importante peça do edifício continental Proterozóico, ele ainda sofre com a falta de dados confiáveis para reconstruir sua curva de deriva polar aparente (CDPA). Uma quantidade significativa de pólos paleomagnéticos tem sido obtidos na última década para o Cráton Amazônico, com implicações consideráveis para a evolução geodinâmica durante o Proterozóico (Bispo-Santos *et al.*, 2013, 2014a; Bispo-Santos *et al.*, 2008; Bispo-Santos *et al.*, 2012; Bispo-Santos *et al.*, 2014b; D’Agrella-Filho *et al.*, 2012; D’Agrella-Filho *et al.*, 2015; Nomade *et al.*, 2001; Nomade *et al.*, 2003; Reis *et al.*, 2012; Théveniaut *et al.*, 2006). Este estudo apresenta novos dados paleomagnéticos e de mineralogia magnética sobre o enxame dos diques félsicos e maficos da região de Tucumã com implicações sobre a definição da curva de deriva polar aparentes do Craton Amazônico e sobre uma reconstrução paleogeográfica há 1880 Ma, durante a amalgamação do Supercontinente Columbia/Nuna.

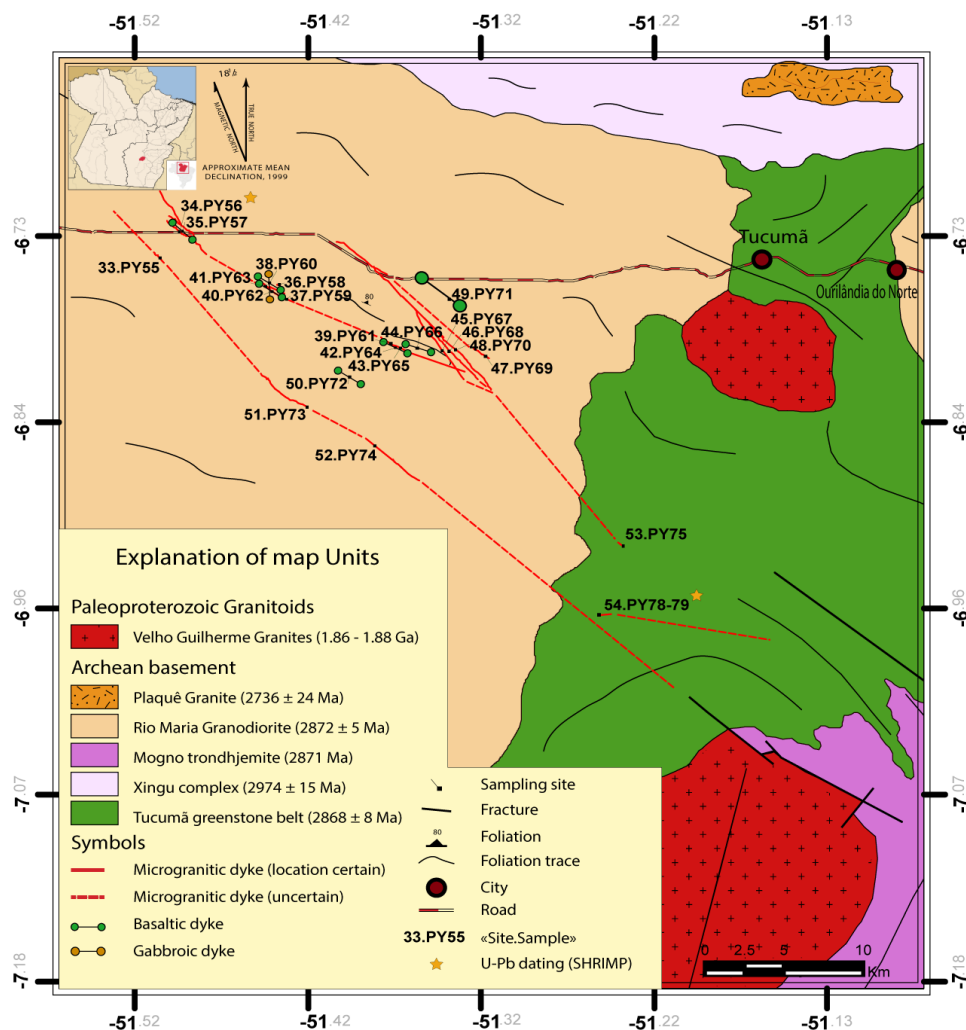
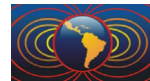


Figura 1. Mapa geológico de Tucumã simplificado a partir do Mapa Geológico do Estado do Pará (Vasquez *et al.*, 2008) mostrando os sítios coletados.



Contexto Geológico e Metodologia

A Província Carajás representa a porção crustal mais antiga e melhor preservada do Cráton Amazônico, localizada na sua borda sul-oriental. Ela faz parte da Província Amazônia Central (Tassinari & Macambira, 2004), considerada como uma região estável no final do Arqueano. O Domínio Rio Maria é caracterizado por uma crosta juvenil Meso-Arqueana, com sequências de xistos verdes e granitoides tipos TTG. O Grupo Tucumã (Figura 1) é um “greenstone belt” sensu stricto com rochas metavulcânicas ultramáficas a maficas e apresenta idade de 2868 ± 8 Ma (Pb-Pb em zircão, (De Avelar *et al.*, 1999). O Granodiorito Rio Maria (2872 ± 5 Ma) predomina no mapa de Tucumã. Ele faz parte da associação de granitóides e ortognaisses TTG Meso-Arqueanos.

O Orosiriano do Domínio Rio Maria é marcado por um magmatismo de tipo A típico de ambiente continental intraplaca, representado pelos granitos da Suíte Intrusiva Jamon, e diques associados, e englobados de modo genérico nas Suítes Plutônicas Alcalinas Intracontinentais (Granito Velho Guilherme). Três gerações de diques são encontrados na Província de Carajás (Rivalenti *et al.*, 1998). São rochas de tipo andesítico, basáltico e riolítico com direções, principalmente, NO e NE. Novas idades desses diques evidenciam que a região de Carajás foi afetada por eventos fanerozóicos. Datações dos diques máficos de direções NS forneceram idades de 535 ± 1 Ma na Província de Carajás pelo método U-Pb em badeleíta (Teixeira *et al.*, 2012; não publicado). Esses diques são contemporâneos com a orogenia Araguaia-Pampeana (540-520 Ma) que formou o leste do Gondwana, com a colisão do Cráton Amazônico e do Cráton do Oeste Africano com a região central do Gondwana. Novas datações U-Pb em badeleíta na província de Carajás forneceram idade de $199,3 \pm 0,3$ Ma para diques maficos (Teixeira *et al.*, 2012, não publicado). Esta idade pode estar relacionada com a extensão da grande província magmática Atlântica (CAMP-LIP), que levou à abertura do Atlântico. Este evento consiste em um gigante enxame de diques radiantes e é possível notar que a região de Tucumã está na zona de extensão do CAMP (Jourdan *et al.*, 2009).

O sistema de diques félsicos de Tucumã mostra uma direção dominante N125°. Os diques félsicos são largos, com média de 15 m, estendendo-se por algumas centenas de metros e claramente visíveis, já que estão em relevo na planície. Essa unidade consiste de microgranitos de cor rosa a vermelha com fenocristais de 1 a 3 mm de comprimento. Os diques máficos são bem menos preservados e é raro observar diques com extensões de centenas de metros.

Foram amostrados 207 cilindros orientados de 22 sítios (16 sítios de diques de microgranitos e 7 diques máficos associados, 3 sítios do embasamento e 2 sítios representados por um dique de Gabro N-S) para o estudo paleomagnético. No laboratório, um total de 702 espécimes, de tamanho padrão, foi preparado para as medidas de laboratório. Foram realizadas no laboratório do IAG-USP para a determinação da mineralogia magnética, anisotropia de suscetibilidade magnética (ASM), curvas termomagnéticas através do aparato KLY-4S/CS, curvas de histerese e aquisição de magnetização remanente isotérmica (MRI) usando um magnetômetro de amostra vibrante (VSM). As contribuições das diferentes componentes magnéticas foram identificadas através da análise das curvas de aquisição de MRI (Gong *et al.*, 2009; Heslop *et al.*, 2002; Kruiver *et al.*, 2001). Foram feitas sobre 346 espécimes, para isolar a componente principal, desmagnetizações por campos alternados (AF), desmagnetizações térmicas, desmagnetizações a baixa temperatura (LTD) seguida de desmagnetizações AF (LTD + AF) ou térmicas (LTD + T°C). Os dados foram analisados com o programa Remasoft de AGICO.

Resultados e análises

A maior parte das amostras de microgranitos tem uma suscetibilidade magnética entre 200 e 500 μ SI. Rochette *et al.* (1992) propõem que as valores de suscetibilidade inferior a 500 μ SI caracterizam rochas paramagnéticas sem (ou com pouca) magnetita. Vimos a presença de magnetita mesmo com rochas com suscetibilidade de 250 μ Si; isso sugere que para as amostras de Tucumã temos um limite entre as rochas

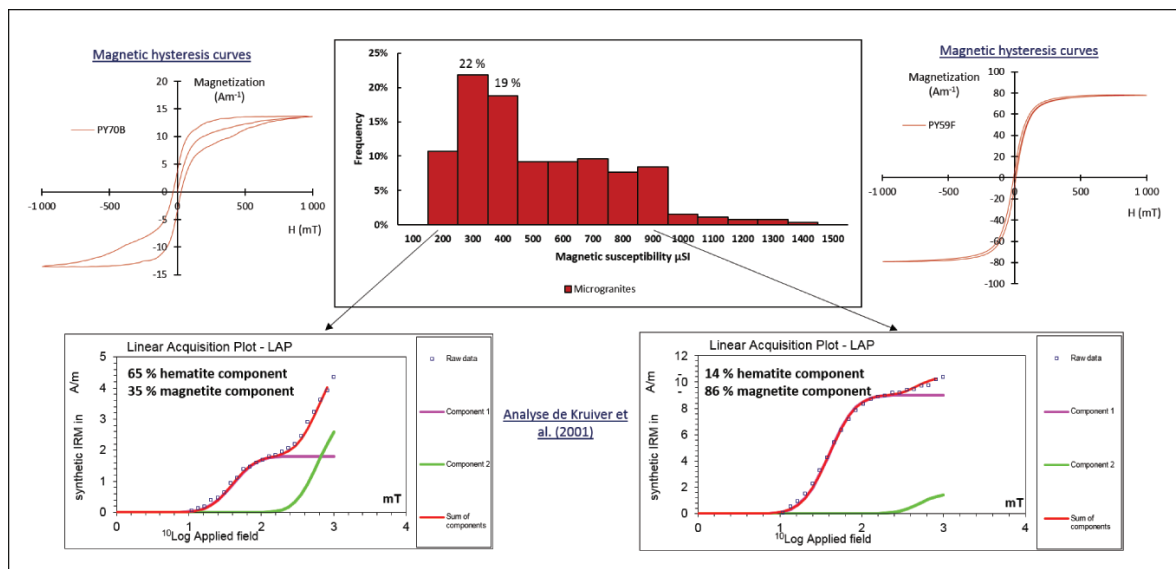
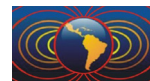


Figura 2. Frequência da susceptibilidade magnética para as amostras de microgranitos e síntese da mineralogia magnética para os microgranitos.

paramagnéticas e ferromagnéticas de baixa concentração. Os valores baixos podem também ser explicados pela quantidade baixa de óxidos de ferro e a presença de hematita, que tem uma susceptibilidade magnética baixa, como mostrando na curva de histerese (coercividade maior) e a análise de Kruiver *et al.* (2001). Os valores altos relacionam-se a presença da magnetita que controla a mineralogia magnética destas amostras. Em resumo, a mineralogia magnética dos microgranitos é controlada por magnetita PSD e hematita. As curvas termomagnéticas mostram uma queda da curva em torno de 600°C característica da presença de magnetita. Podemos notar que a presença de hematita, bem caracterizada na mineralogia magnética, não é visível nas curvas termomagnéticas, o que é normal, devido à sua baixa suscetibilidade e sua baixa concentração nas amostras investigadas. A mineralogia magnética dos basaltos e dos gabros é controlada pela magnetita PSD.

Os resultados direcionais são apresentados na Figura 3. Foi possível isolar 2 componentes. A maioria das amostras mostra uma componente característica A com direção noroeste com inclinação positiva. A componente A foi isolada em 16 sítios, diques félsicos e máficos. O tratamento térmico não foi eficiente para isolar a componente A comparado o tratamento por campos alternados. Uma componente B muito pervasiva na região foi isolada sobre as rochas félsicas e máficas, os microgranitos, os basaltos, o dique de Gabro e nas rochas arqueanas do encaixante. A componente B tem uma direção norte com inclinação negativa.

Discussão

A Figura 3 mostra as direções médias por sítios para cada componente. Em polaridade normal, a direção média da componente A é $D_m = 325.6$, $I_m = 28.4$ ($N = 16$, $\alpha_{95} = 11.2$, $R = 14.73$, $k = 11.84$) e o pólo paleomagnético é localizado em $49.21^\circ N$ e $251.7^\circ E$ ($A_{95} = 10.2$, $K = 14.08$). A presença da componente A principalmente nos microgranitos bem datados à 1.88 Ga e nos diques máficos associados sugere uma origem primária. Em contraste, o componente B esta presente em diques félsicos, máficos e mesmo nas rochas encaixantes arqueanas, o que sugere uma origem mais recente. O dique de Gabro corta os diques paleoproterozoicos e o granodiorito Rio Maria (2872 Ma). O tratamento AF consegue a isolar a componente B para as amostras do dique de Gabro e para as amostras da Granodiorita Rio maria no contato. Isso sugere que a componente seja primária para o dique de Gabro. A direção média da componente B é $D_m = 0.4$, $I_m = -36.3$ ($N = 9$, $\alpha_{95} = 14.5$, $R = 8.41$, $k = 13.64$) e o pólo paleomagnético é localizado em $76.6^\circ N$ e $127.1^\circ E$ ($A_{95} = 13.5$, $K = 15.45$). O

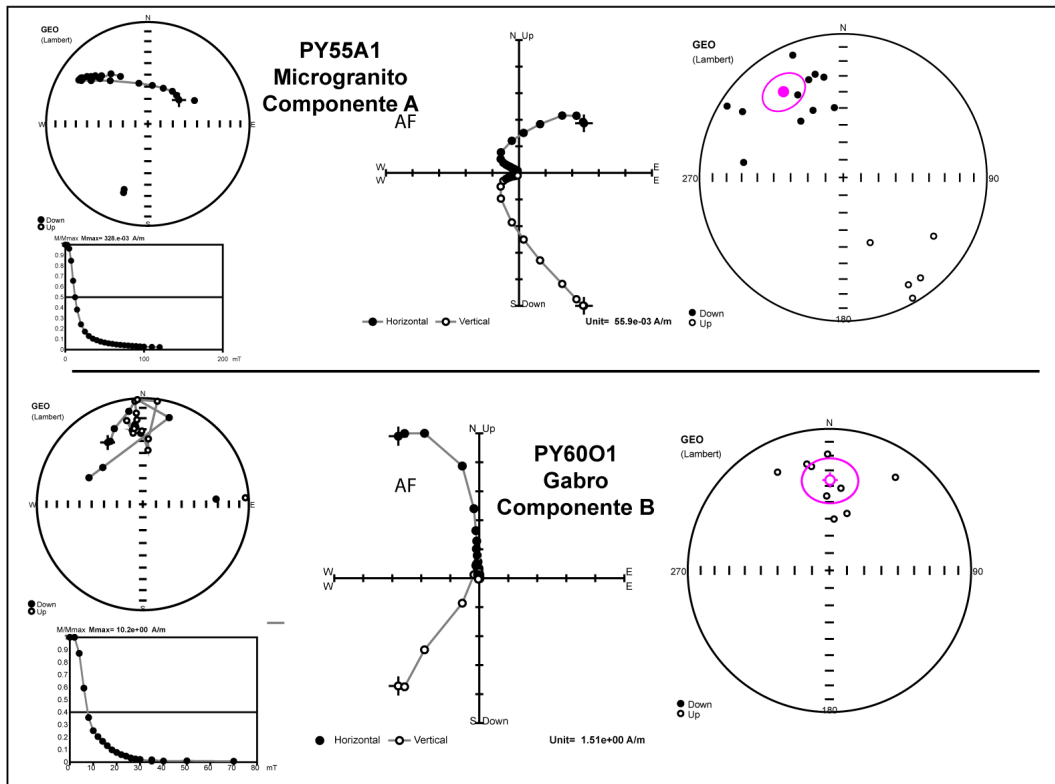
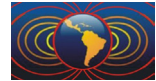


Figura 3. Desmagnetização AF para os componentes A e B. Curvas de intensidades normalizadas em função do campo aplicado. Projeções estereográficas: símbolos cheios (vazios) indicam inclinações positivas (negativas). Projeções ortogonais de Zijderveld: símbolos cheios (vazios) indicam inclinações horizontais (verticais). Direções médias por sítios para os dois componentes A e B: símbolos cheios (vazios) indicam inclinações positivas (negativas).

pólo paleomagnético obtido é muito parecido com os pólos paleomagnéticos mesozoicos características do magmatismo da CAMP.

Os testes de contato cozido inversos mostram que o magmatismo da CAMP (dique de Gabro) afetou os diques paleoproterozoico mas os testes não podem confirmar a origem primária do componente A.

Conclusões

O pólo de Tucumã da componente A satisfaz 5 dos critérios de qualidade ($Q = 5$) propostos por Van der Voo (1990): (1) A idade é bem definida com precisão pelo método U-Pb em zircão no SHRIMP, 1882 ± 4.1 Ma. (2) O pólo foi determinado para um número suficiente de amostra e apresenta parâmetros estatísticos de Fisher adequados. (3) As componentes de magnetização foram isoladas pelo método de Kirschvink (1980) após desmagnetização AF, térmica, LTD + AF, LTD + térmica. (4) 11 polaridades normais e 5 reversas foram isoladas para os sítios investigados. (6) Não há evidências geológica de eventos tectônicos posteriores na área, somente evento térmico (CAMP). (5) O critério do teste de contato não é satisfeito porque é muito difícil de achar um teste de contato cozido e os testes inversos não mostram a origem primária. (7) A componente A é diferente do campo atual, mas a direção poderia ser semelhante com a direção dos diques cambriano na região (Garcia *et al.*, 2013).

Com este pólo paleomagnético, é possível de propor a curva de deriva aparente polar do Cráton Amazônico entre 2000 Ma e 1.4 Ga (Figura 4). A posição do pólo de Tucumã permite propor um caminho diferente do que anteriormente proposto por Bispo-Santos *et al.* (2013), com implicações importantes para a ligação entre o Cráton Amazônico e o Cráton Oeste Africa.

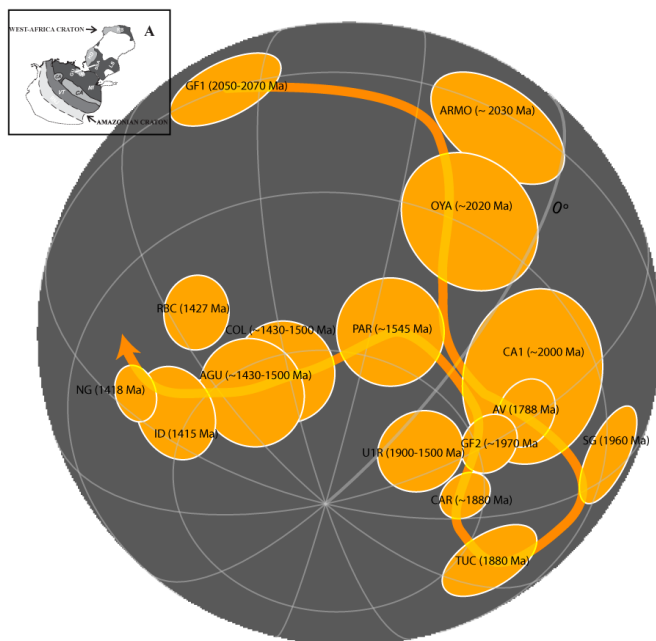
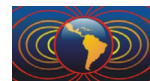


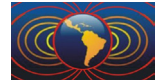
Figura 4. Curva de deriva polar aparente do Craton Amazonico entre 2000 e 1400 Ma. GF1: Média Approuague River granite. ARMO: Armontabo River Granite. OYA: Oyapo granitoids. CA1: Média Imataca e Encrucijada plutons. SG: Surumu volcanics. TUC: Tucumã diques (este estudo). CAR: Carajas granite. GF2: Média Costal Late Granite. UIR: Roraima Uairen Fm. AV: Avanavero pole. PAR: Parguaza granite. COL: Colider volcanics. AGU: Aguapai sills. RBC: Rio Branco Sills. NG: Nova Guarita. ID: Indiavaí dykes.

Agradecimentos

A FAPESP (2012/20335-4) pelo apoio financeiro.

Referencias

- Bispo-Santos, F., D'Agrella-Filho, M. S., Janikian, L., Reis, N. J., Trindade, R. I. F., Reis, M. A. A. A., 2014a. Towards Columbia: Paleomagnetism of 1980–1960 Ma Surumu volcanic rocks, Northern Amazonian Craton. *Precambrian Research*, 244, 123-138.
- Bispo-Santos, F., D'Agrella-Filho, M. S., Pacca, I. I. G., Janikian, L., Trindade, R. I. F., Elming, S.-A., Silva, J. A., Barros, M. A. S., Pinho, F. E. C., 2008, Columbia revisited: Paleomagnetic results from the 1790 Ma colider volcanics (SW Amazonian Craton, Brazil). *Precambrian Research*, 164 (1–2) p. 40-49.
- Bispo-Santos, F., D'Agrella-Filho, M. S., Trindade, R. I. F., Elming, S.-Å., Janikian, L., Vasconcelos, P. M., Perillo, B. M., Pacca, I. I. G., da Silva, J. A., Barros, M. A. S., 2012. Tectonic implications of the 1419Ma Nova Guarita mafic intrusives paleomagnetic pole (Amazonian Craton) on the longevity of Nuna. *Precambrian Research*, 196-197, 1-22.
- Bispo-Santos, F., D'Agrella-Filho, M. S., Trindade, R. I. F., Janikian, L., Reis, N. J., 2014b. Was there SAMBA in Columbia? Paleomagnetic evidence from 1790 Ma Avanavero mafic sills (northern Amazonian Craton). *Precambrian Research*, 244, 139-155.
- D'Agrella-Filho, M. S., Trindade, R. I. F., Elming, S.-Å., Teixeira, W., Yokoyama, E., Tohver, E., Geraldes, M. C., Pacca, I. I. G., Barros, M. A. S., Ruiz, A. S., 2012. The 1420 Ma Indiavaí Mafic Intrusion (SW Amazonian Craton): Paleomagnetic results and implications for the Columbia supercontinent. *Gondwana Research*, 22 (3–4), 956-973.
- D'Agrella-Filho, M. S., Franklin Bispo-Santos, Trindade, R. I. F., 2015. Paleomagnetism of the Amazonian Craton and implications for Palecontinents. Springer.
- De Avelar, V. G., Lafon, J.-M., Correia JR, F. C., and Macambira, E. M. B., 1999. O Magmatismo arqueano da região de Tucumã-Província Mineral de Carajás: novos resultados geocronológicos. *Brazilian Journal of Geology*, 29 (4) 453-460.
- Garcia, M. S., Trindade, R. I., Manoel, S., Pinho, F. E., 2013. Paleomagnetismo Do Complexo Alcalino Planalto Da Serra (Mato Grosso): Implicações Para A Formação Do Gondwana.



- Gong, Z., Dekkers, M. J., Heslop, D., and Mullender, T. A. T., 2009. End-member modelling of isothermal remanent magnetization (IRM) acquisition curves: A novel approach to diagnose remagnetization. *Geophysical Journal International*, 178 (2), 693-701.
- Heslop, D., Dekkers, M., Kruiver, P., Van Oorschot, I., 2002. Analysis of isothermal remanent magnetization acquisition curves using the expectation–maximization algorithm. *Geophysical Journal International*, 148 (1), 58-64.
- Jourdan, F., Marzoli, A., Bertrand, H., Cirilli, S., Tanner, L. H., Kontak, D. J., McHone, G., Renne, P. R., Bellieni, G., 2009. 40Ar/39Ar ages of CAMP in North America: Implications for the Triassic–Jurassic boundary and the 40K decay constant bias. *Lithos*, 110 (1–4) 167-180.
- Kirschvink, J. L., 1980. The least-squares line and plane and the analysis of palaeomagnetic data. *Geophysical Journal International*, 62 (3), 699-718.
- Klein, E. L., Almeida, M. E., Rosa-Costa, L. T., 2012. The 1.89-1.87 Ga Uatumã Silicic Large Igneous Province, northern South America: Large Igneous Provinces Commission, v. november 2012.
- Kruiver, P. P., Dekkers, M. J., Heslop, D., 2001. Quantification of magnetic coercivity components by the analysis of acquisition curves of isothermal remanent magnetisation. *Earth and Planetary Science Letters*, 189 (3–4), 269-276.
- Nomade, S., Chen, Y., Féraud, G., Pouclet, A., Théveniaut, H., 2001. First paleomagnetic and 40Ar/39Ar study of Paleoproterozoic rocks from the French Guyana (Camopi and Oyapok rivers), northeastern Guyana Shield. *Precambrian Research*, 109 (3–4), 239-256.
- Nomade, S., Chen, Y., Pouclet, A., Féraud, G., Théveniaut, H., Daouda, B. Y., Vidal, M., Rigolet, C., 2003. The Guiana and the West African Shield Palaeoproterozoic grouping: new palaeomagnetic data for French Guiana and the Ivory Coast. *Geophysical Journal International*, 154 (3), 677-694.
- Reis, N. J., Teixeira, W., Hamilton, M. A., Bispo-Santos, F., Almeida, M. E., D’Agrella-Filho, M. S., 2012. Avanavero mafic magmatism, a late Paleoproterozoic lip in the Guiana Shield, Amazonian Craton: U–Pb ID-TIMS baddeleyite, geochemical and paleomagnetic evidence. *Lithos*, 174, 175-195.
- Renne, P., Onstott, T., Jorge João, X., 1988. 40Ar/39Ar and paleomagnetic results from the Guaporé Shield: further implications for the nature of Middle-Late Proterozoic mobile belts of Gondwanaland: SBG, *Congr. Lat.-Amer. Geol*, 7, 348-362.
- Rivalenti, G., Williamson, A., Feyer, A. M., Mazzucchelli, M., Girardi, V. A. V., Cavazzini, G., Finatti, C., Barbieri, M. A., Teixeira, W., 1998, Petrogenesis of the Paleoproterozoic basalt-andesite-rhyolite dyke association in the Carajas region, Amazonian craton. *Lithos*, 43 (4), p. 235-265.
- Rochette, P., Jackson, M., Aubourg, C., 1992. Rock magnetism and the interpretation of anisotropy of magnetic susceptibility. *Reviews of Geophysics*, 30 (3), 209-226.
- Tassinari, C. C. G., Macambira, M., 2004, A evolução tectônica do Craton Amazonico, in (Org.), V. M.-N. A. B. C. D. R. C. B. B. d. B. N., ed., *Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da obra de F.F.M. de Almeida*: São Paulo, BECA, 471-486.
- Théveniaut, H., Delor, C., Lafon, J. M., Monié, P., Rossi, P., Lahondère, D., 2006. Paleoproterozoic (2155–1970 Ma) evolution of the Guiana Shield (Transamazonian event) in the light of new paleomagnetic data from French Guiana. *Precambrian Research*, 150 (3–4), 221-256.
- Vasquez, L., Rosa-Costa, L., Silva, C., Ricci, P., Barbosa, J., Klein, E., Lopes, E., Macambira, E., Chaves, C., Carvalho, J., 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: Organizadores, Vasquez ML, Rosa-Costa LT Escala, 1, no. 1000.