

PALEOMAGNETISMO DAS BACIAS EDIACARANAS JIFN E ANTAQ (ARÁBIA SAUDITA): DADOS PRELIMINARES

Aruã S. Leite^{1*}, Ricardo I.F Trindade¹, Ben McGee^{1,2}

¹ Universidade de São Paulo, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, São Paulo, Brasil

² School of Earth and Environmental Sciences, University of Adelaide, Australia

ABSTRACT

The Edicaran Jifn and Antaq basins comprehend a volcano-sedimentary succession with a mafic vulcanism at the base, covered by conglomerates, carbonates and pelites in the Umm al ‘Aisah and Jifn formations. New paleomagnetic data were obtained in both basins in order to determine paleomagnetic poles of Edicaran-Cambrian ages for the mid-west Saudi Arabia. In total, 92 stratigraphic levels were collected in the two basins as well as samples for stability tests (conglomerate test and fold test). The main goal is to rebuild the local paleogeography and establish its relation with the paleoambiental changes (climate, atmospheric and ocean composition) that occurred just before the multi-cellular organism. The preliminary data is coherent with the Gondwana apparent polar wander path for ages between 530-500 Ma.

Keywords: Saudi Arabia, Cambrian, Gondwana, Paleomagnetism, Precambrian

RESUMO

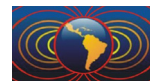
As bacias Jifn e Antaq tem idade inferida Ediacarana e compreendem uma sucessão vulcanos-sedimentar, com vulcanismo máfico na base, coberto por conglomerados, carbonatos e pelitos das Formações Umm al ‘Aisah e Jifn. Com isso a fim de gerar novos dados paleomagnéticos no intervalo de idades Ediacarano-Cambriano ao longo das Bacias Jifn e Antaq, na porção centro-oeste da Arábia Saudita, foram coletadas ao longo dos perfis das duas bacias, 92 níveis estratigráficos e também amostras para testes de estabilidade (testes do conglomerado e da dobra). Sendo assim temos como objetivo central reconstruir a paleogeografia local e estabelecer suas relações com as importantes mudanças paleoambientais (clima, composição da atmosfera e dos oceanos) que precedem o surgimento dos organismos multi-celulares. Os dados preliminares são coerentes com a curva de deriva polar para o Gondwana, com idades entre 530 e 500 Ma.

Palavras Chave: Arábia Saudita, Cambriano, Gondwana, Paleomagnetismo, Pré-cambriano

Introdução

A paleogeografia no Ediacarano e Cambriano tem sido motivo de debates na literatura. A posição das massas continentais e das cadeias de montanhas é um fator importante no controle do clima terrestre (*e.g.*, Fluteau *et al.*, 2001), tendo sido evocado por Hoffman *et al.* (1998) e Godderis *et al.* (2003) como um dos elementos condicionantes de uma glaciação global. Isto se deve à necessidade de amplas superfícies continentais expostas próximo ao equador para que o consumo de CO₂ atmosférico pelo intemperismo seja capaz de gerar uma glaciação global. Além disso, a presença de diversos fragmentos continentais dispersos em torno do equador é mais favorável a um resfriamento global do que configurações com supercontinentes (Donadieu *et al.*, 2004). Embora os dados paleomagnéticos disponíveis permitam reconstruir o supercontinente Rodinia há cerca de 1100 Ma (D’Agrella-Filho *et al.*, 1998; Weil *et al.*, 1998; Meert & Powell, 2001; Cordani *et al.*, 2003), poucos dados existem para o intervalo entre 1000 Ma e 600 Ma.

Existem modelos com diferentes configurações, desde uma configuração fixa, onde os continentes teriam guardado uma paleogeografia semelhante ao Pangea (Piper, 2000), indo à rápidas trocas entre configurações polares e equatoriais induzidas pela troca dos eixos do tensor de inércia do planeta Terra (Evans, 2003).



Ainda mais escassas são as determinações diretas da paleolatidade da sedimentação em rochas glaciais neoproterozoicas ou nos carbonatos de capa correspondentes. Mais recentemente, três pólos paleomagnéticos de boa qualidade foram obtidos para carbonatos de capa aflorantes no cráton Amazônico (Trindade *et al.*, 2003), no sul da China (Macouin *et al.*, 2004) e em Omã (Kilner *et al.*, 2005). De acordo com a compilação de Trindade e Macouin (2007), pelo menos quatro desses pólos são suficientemente robustos para confirmar a existência de glaciações a baixas latitudes. Durante a transição entre o Precambriano e o Cambriano diversos cinturões orogênicos foram formados ao longo das margens dos blocos que viriam a formar o Gondwana. A porção nordeste do Gondwana é um exemplo clássico de acreção de diversos terrenos juvenis, separados por diversos remanescentes de ofiolitos (Stern, 1994). No entanto, as idades do processo de acreção e a reconstrução da paleogeografia dessa porção do Gondwana são ainda pouco conhecidas (*e.g.*, Johnson *et al.*, 2011).

As Bacias Jifn e Antaq

O escudo Árabe-Nubiano está dividido em diversos terrenos; separados por grandes zonas de cisalhamento, algumas delas decoradas por remanescentes ofiolíticos. O bloco Afif, compreende a porção leste do escudo e foi formado como resultado de acreção de material juvenil na porção nordeste do Gondwana entre 720 e 680 Ma (Johnson *et al.*, 2011). As bacias Jifn e Antaq são partes de um cortejo de pequenas bacias encaixadas em zonas de cisalhamento com direção NW-SE situadas na porção leste do bloco Afif (fig. 1).

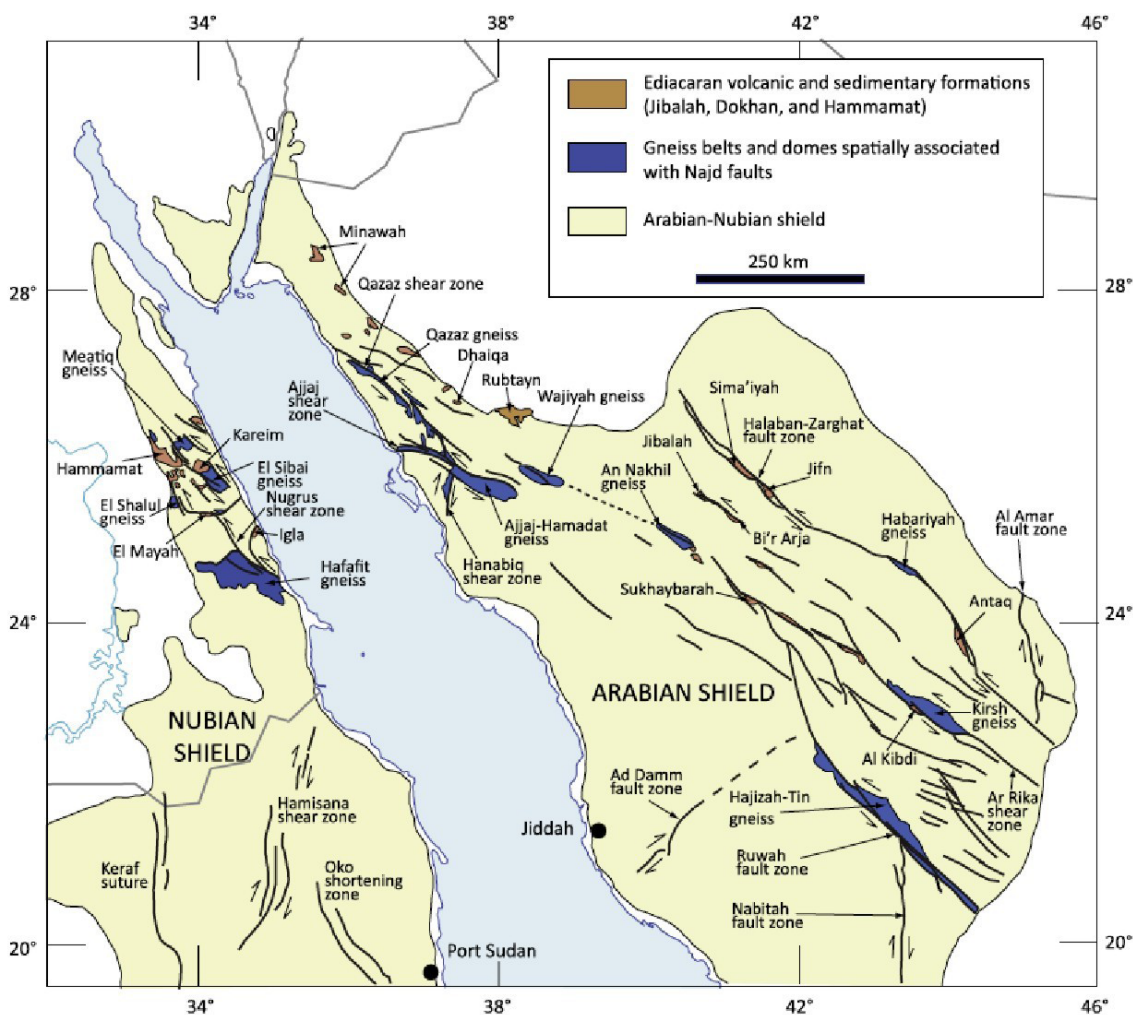
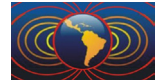


Figura1. Mapa de localização



As bacias Jifn e Antaq apresentam preenchimento bastante semelhante. A sucessão sedimentare de ambas as bacias é correlacionada ao Grupo Jibalah (Delfour, 1977, 1979) e compreende as formações Umm al ‘Aisah e Jifn. A Formação Umm al ‘Aisah é composta um conglomerado polimítico basal coberto por uma sucessão de carbonatos e margas com níveis de chert. A Formação Jifn é composta por arenitos com marcas onduladas e pelitos, Todo o pacote sedimentar apresenta intercalações de fluxos de lava máficos e níveis de cinza vulcânica.

A amostragem efetuada nas duas bacias é complementar. Na bacia Jifn foram coletadas ao longo da Formação Umm al ‘Aisah, compreendendo amostras do conglomerado basal (matriz e clastos) na porção NW da bacia para obtenção de um teste do conglomerado e de uma sucessão de fluxos de lava na porção sudeste da bacia, ao longo de dois flancos do sinclinal, para efetuar um teste da dobra. A amostragem nessa bacia envolveu ainda a coleta de 35 níveis estratigráficos nos carbonatos com o objetivo de estabelecer uma magnetoestratigrafia a ser comparada com os dados quimioestratigráficos a serem gerados pelo time do Geotop Quebec. Na bacia Antaq foram amostrados os depósitos da Formação Jifn. Toda a amostragem foi concentrada nas camadas pelíticas e nos níveis de tufos vulcânicos. Ao todo foram coletados 50 níveis ao longo de 150 m de espessura estratigráfica. Praticamente todas as amostras foram coletadas com perfuratriz portátil e orientadas com bússola magnética e solar. Em três sítios foram coletadas amostras em blocos, que foram orientadas com bússola magnética.

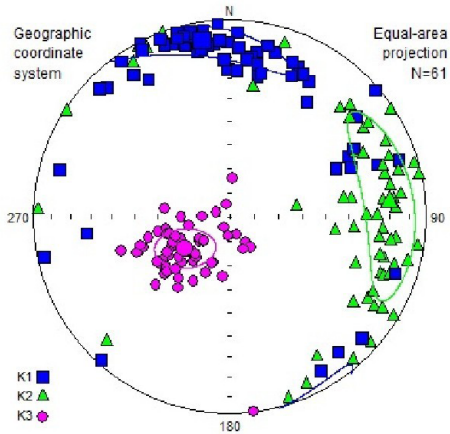
Metodologia

Para a análise de anisotropia magnética ao longo das bacias foram coletadas 200 amostras, e medidas no equipamento KappaBridge MFK1-FA com uma intensidade de campo de 200 A/m, frequência de 976 Hz e sensibilidade de 2×10^{-8} SI. As médias dos eixos principais de anisotropia foram obtidas a partir da estatística de Jelinek, implementada no programa ANISOFT (AGICO).

A desmagnetização térmica foi realizada em cem amostras, com o aquecimento realizado no forno TD48 (ASC Scientific) seguindo protocolo de vinte passos crescentes de temperatura, de 50° C entre 100° C e 500° C, e de 20° C entre 500° C e 700° C. As medidas foram realizadas no Magnetômetro SQUID (775U 2G Enterprises), do laboratório de Paleomagnetismo do IAG-USP. Esses equipamentos estão instalados em uma sala magneticamente blindada, com campo interno inferior a 1000 nT. As direções características foram obtidas a partir de análise por componentes principais e as direções médias foram calculadas utilizando estatística fisherina, ambas implementadas no programa REMASOFT (AGICO).

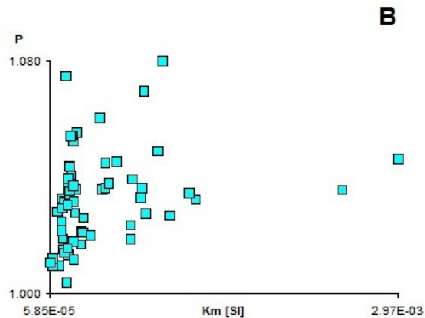
Anisotropia de susceptibilidade magnética

Os dados de anisotropia de susceptibilidade magnética da Bacia de Antaq mostram um excelente agrupamento, com eixo mínimo médio em 235/67, indicando foliação magnética próxima à horizontal, compatível com a orientação da estratificação medida em campo (fig. 2A). Os elipsoides são predominantemente oblatos e o grau de anisotropia ($P = k_{max}/k_{min}$) é sempre inferior a 1.08, com média de 1.03, também compatível com aqueles encontrados em sedimentos pouco deformados (figs. 2B, 2C). A lineação magnética é coerente na maior parte das amostras, apresentando orientação Norte-Noroeste (fig. 2A). Os dados da Bacia Jifn são mais dispersos (fig. 3A). Eles também concordam com a orientação do acamamento medida no campo. O grau de anisotropia magnética para a maior parte das amostras é ainda mais baixo do que aquele encontrado em Antaq, com valor médio de $P = 1.01$ (figs. 3A, 3B), com forma distribuída entre os campos oblato e prolato.

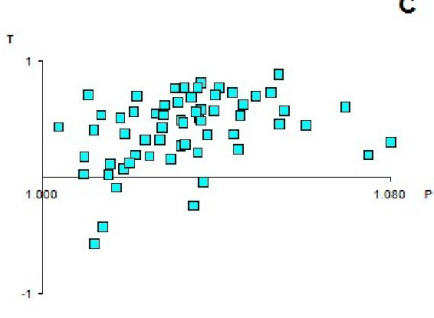


A

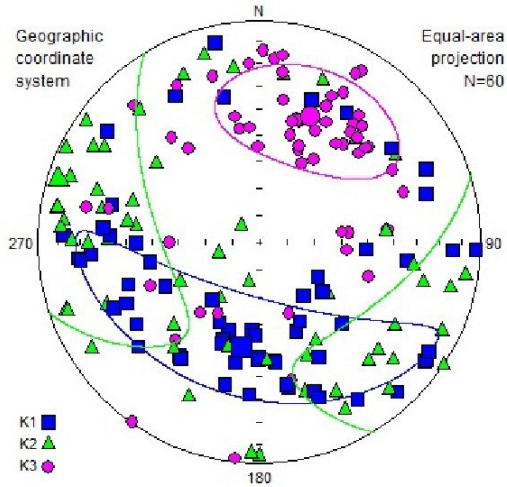
Figura 2. Dados de anisotropia de susceptibilidade magnética da Bacia de Antaq



B

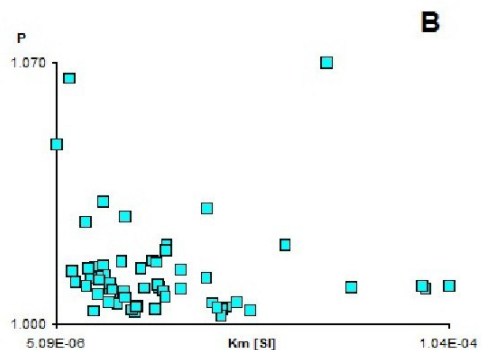


C

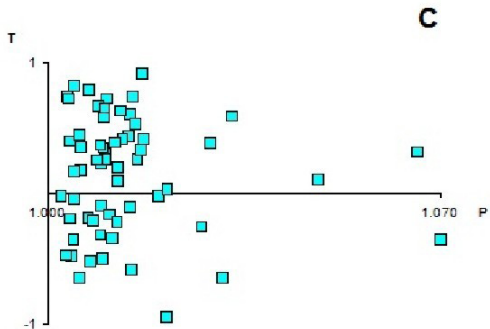


A

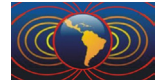
Figura 3. Dados de anisotropia de susceptibilidade magnética da Bacia de Jifn



B



C



Paleomagnetismo

A maioria das amostras, tanto em Antaq quanto em Jifn, mostraram padrões de desmagnetização ruidosos, em função da baixa intensidade de magnetização das rochas em ambas as bacias. Quando coerentes, os diagramas sugerem que o principal mineral portador da magnetização característica nas amostras é a magnetita, em função das temperaturas de queda entre 500 e 550°C. Os dados paleomagnéticos da Bacia de Antaq são bastante dispersos (figs. 4, 5a,5b). Somente 16 sítios apresentaram resultados coerentes, fornecendo uma direção média de inclinação moderada positiva para oeste-noroeste, com um polo paleomagnético correspondente em Lat = 7.6, Lon = -32.7 (A95 = 14.1, R = 14.8, k = 7.35). Os dados de desmagnetização para a Bacia Jifn também mostram uma certa dispersão (fig. 6, 7a,7b). Apenas 18 sítios apresentaram resultados coerentes, com uma direção média próxima ao centro da rede, com um polo paleomagnético correspondente em Lat = 17.4, Lon = 57.7 (A95 = 20.3, R = 13.63, k = 3.9).

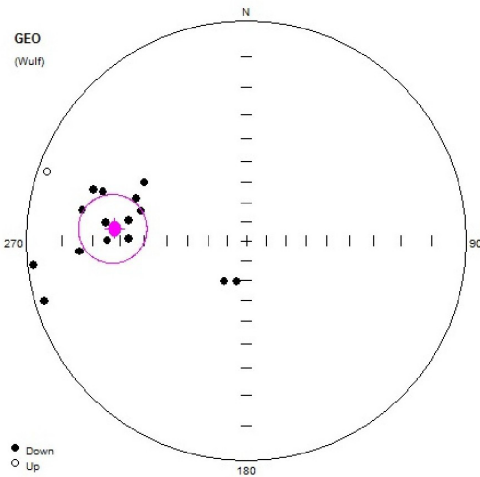
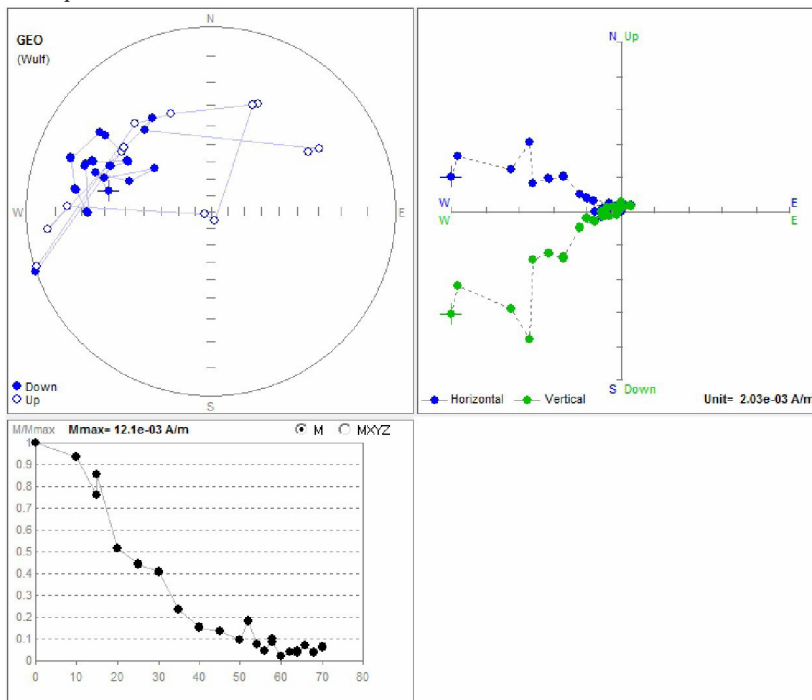


Figura 4. Direções medias por sitio da Bacia de Antaq

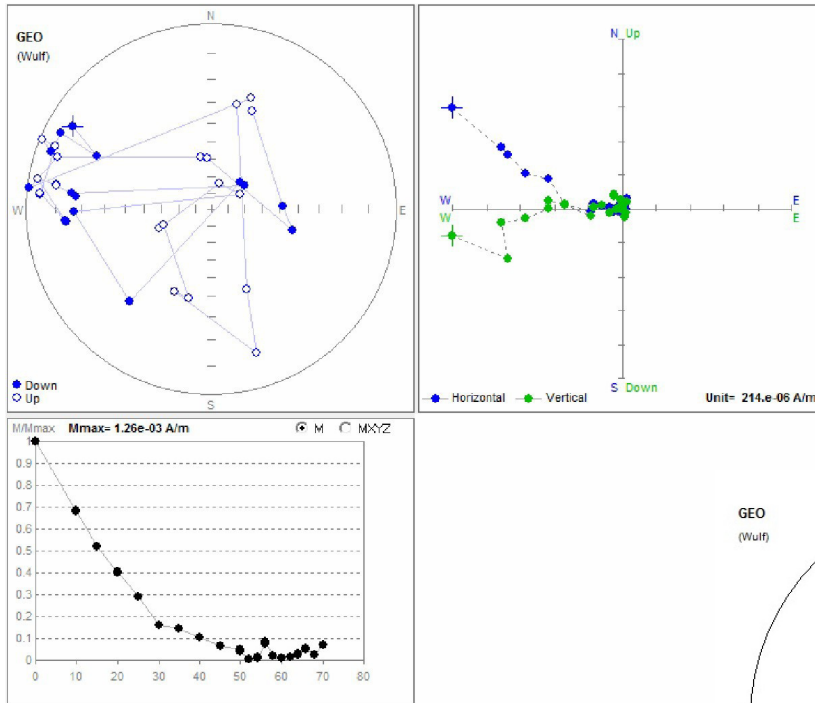
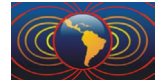
Discussão e perspectivas

Os dados de anisotropia magnética são bastante coerentes com os dados de acamamento medidos em campo, sugerindo que a trama magnética é fortemente condicionada pela trama original dos sedimentos; em nenhum sítio foi observada trama inversa (*i.e.*, k1 próximo à direção do k2 médio). Em Antaq, apesar da trama predominantemente oblata, ocorre uma lineação bem definida, com orientação norte-noroeste, que pode estar associada a efeitos de deformação pós-sedimentar. Em Jifn esse efeito não é observado e a orientação do k1 é mais dispersa, sugerindo uma trama menos perturbada por efeitos pós-deposicionais.

Os dados paleomagnéticos para as Bacias Jifn e Antaq podem ser comparados com o polo para as vulcânicas Dokhan, Egito, e também com a curva de deriva polar



Figuras 5a y b. Comportamento magnético representativo da amostras da Bacia de Antaq



Figuras 5a y b. Comportamento magnético representativo da amostras da Bacia de Antaq

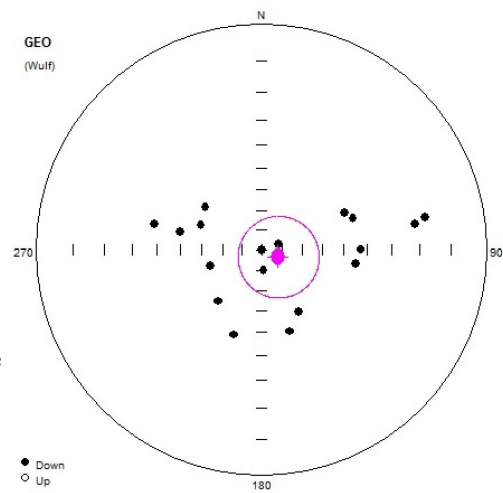
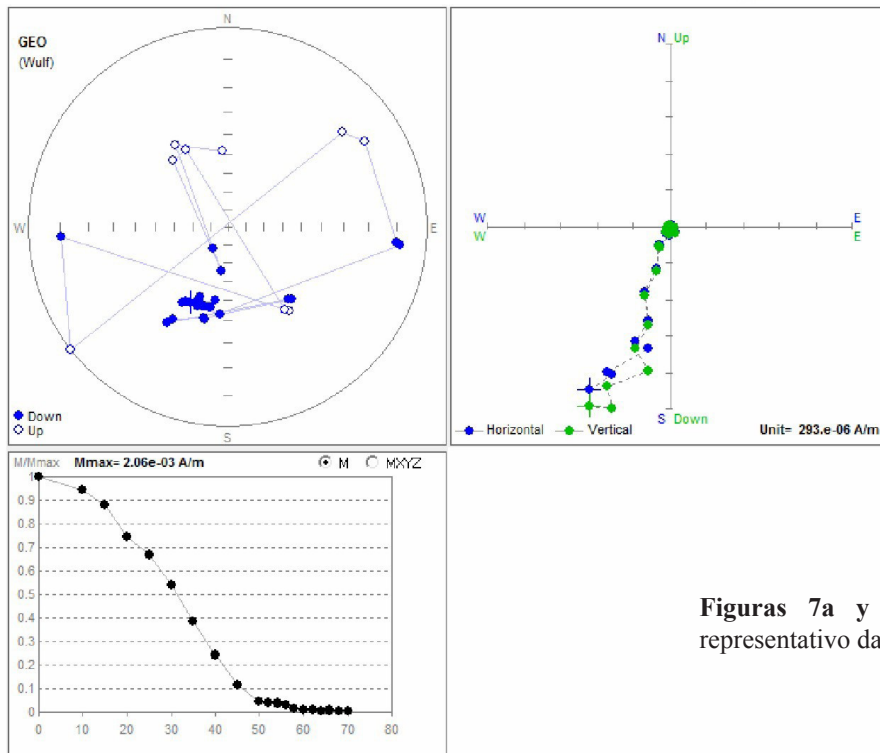
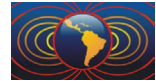


Figura 6. Direções medias por sitio da Bacia de Jifn

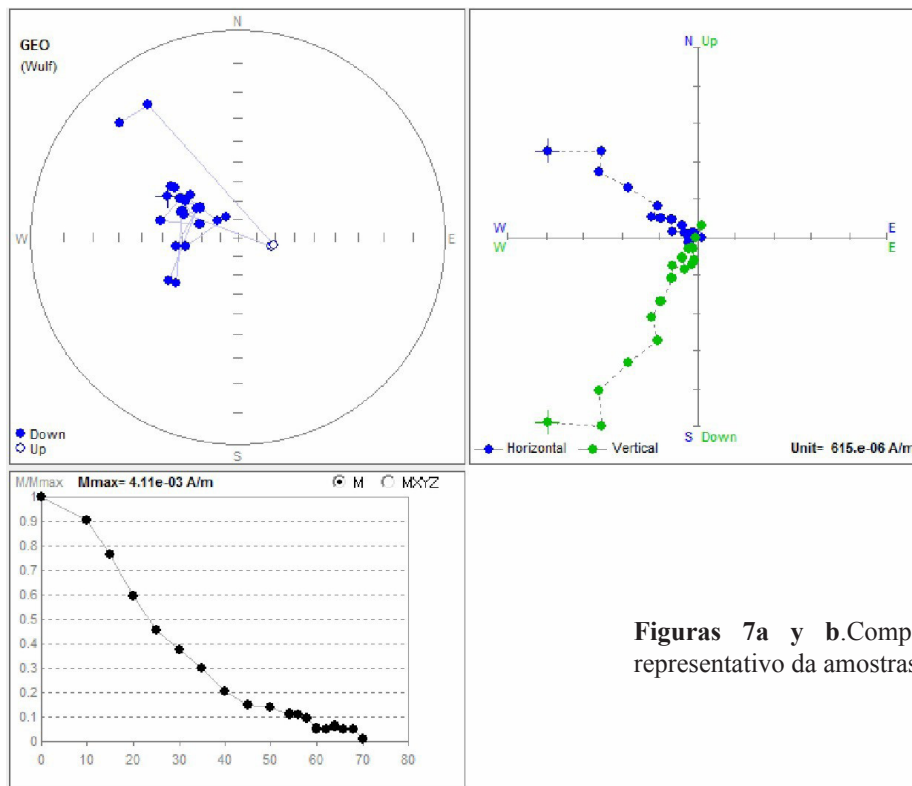


Figuras 7a y b. Comportamento magnético representativo da amostras da Bacia de Jifn



aparente para o Gondwana (ver Trindade *et al.*, 2006). Os polos preliminares, obtidos para as amostras da Arábia Saudita situam-se próximo ao polo Todd River (Australia), no caso da Bacia Antaq, e ao polo Piquete (América do Sul), no caso da Bacia Jifn. Esses polos possuem idades de 530 e 490, respectivamente.

Mais análises estão sendo efetuadas, para estabelecer o caráter primário da magnetização, via testes de campo e também para melhorar a estatística dos polos, por meio da análise de amostras irmãs em sítios com resultados pouco estáveis durante a desmagnetização. Além disso, será efetuada uma campanha de medidas de ciclos de histerese, curvas de aquisição de IRM e também curvas termomagnéticas para identificar com maior precisão os portadores magnéticos.



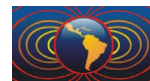
Figuras 7a y b. Comportamento magnético representativo da amostras da Bacia de Jifn

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todos os amigos e amigas pela paciência e ajuda neste trabalho: professor Ricardo, Vanessa, Dani e ao Plínio. Gostaria de agradecer especialmente a Mari, por preparar as amostras. Também gostaria de agradecer a FAPESP pelo apoio financeiro.

Referências

- Cordani, U.G., D'Agrella-Filho, M.S., Neves, B.B.B., Trindade, R.I.F. 2003. Tearing up Rodinia: the Neoproterozoic palaeogeography of South American cratonic fragments. *Terra Nova* 15, 350-359.
- Delfour, J. 1977. Geology of the Nuqrah Quadrangle, Sheet 25E. Kingdom of Saudi Arabia. Saudi Arabian Directorate General of Mineral Resources Geologic Map GM 28.
- Delfour, J. 1979. Explanatory notes to the geologic map of the Halaban quadrangle, Sheet 23G. Kingdom of Saudi Arabia. Saudi Arabian Directorate General of Mineral Resources Geologic Map GM 46-A.
- Donnadieu Y., Godderis Y., Ramstein G., Nedelec A., Meert J. 2004. A 'snowball Earth' climate triggered by continental break-up through changes in runoff. *Nature*, 428 (6980), 303-306.



- D'Agrella-Filho, M.S., Trindade, R.I.F., Siqueira, R., Ponte-Neto, C.F., Pacca, I.I.G., 1988, Paleomagnetic constraints on the Rodinia supercontinent: Implications for its neoproterozoic break-up and the formation of Gondwana, *International Geology Review* 40, 171-188.
- Evans, D.A.D. 2003. True polar wander and supercontinents. *Tectonophysics*, 362, 303-320.
- Fluteau, F., Besse, J., Broutin, J., Ramstein, G. 2001. The late Permian climate. What can be inferred from climate modelling concerning Pangea scenarios and Hercynian range altitude? *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* 167, 39-71.
- Godderis Y., Donnadiou Y., Nedelec A., Dupre B., Dessert C., Grard A., Ramstein G. & Francois L.M., 2003. The Sturtian "Snowball" Glaciation: Fire And Ice. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 211, 1-12.
- Hoffman, P.F., Kaufman, A.J., Halverson, G.P., & Schrag, D.P. 1998. A Neoproterozoic snowball Earth. *Science* 281, 1342-1346.
- Johnson, P.R., Andresen, A., Collins, A.S., Fowler A.R., Fritz, H., Ghebreab, W., Kusky, T., Stern, R.J., 2011. Late Cryogenian–Ediacaran history of the Arabian–Nubian Shield: A review of depositional, plutonic, structural, and tectonic events in the closing stages of the northern East African Orogen. *Journal of African Earth Sciences* 61, 167–232.
- Kilner, B., MacNiocail, C., Brasier, M. 2005. Low-latitude glaciation in the Neoproterozoic of Oman. *Geology*, 33, 413-416.
- Macouin, M., Besse, J., Adern M., Gilder, S., Yang, Z., Zhiming, S., Agrinier, P. Combined paleomagnetic and isotopic data from the Doushantuo carbonates, South China: Implications for the "Snowball Earth" hypothesis. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 224, 387-398.
- Meert, J.G. and Torsvik, T.H., 2003. The making and unmaking of a Supercontinent: Rodinia revisited. *Tectonophysics*, 375, 261-288
- Piper J.D.A. 2000. The Neoproterozoic Supercontinent: Rodinia or Palaeopangaea? *Earth Planet. Sci. Lett.*, 176, 131-146.
- Stern, R. J. 1994. Neoproterozoic (900-550 Ma) Arc Assembly and continental collision in the East African Orogen. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 22, 319-351.
- Tohver, E.; D'agrella Filho, M.S.; Trindade, R.I.F. Paleomagnetic record of Africa and South America for the 1200-500 Ma interval, and evaluation of Rodinia and Gondwana assemblies. *Precambrian Research* (no prelo).
- Trindade, R.I.F., Font, E., D'agrella Filho, M.S., Nogueira, A.C.R., Riccomini, C. 2003. Low-latitude and multiple geomagnetic reversals in the Neoproterozoic Puga cap carbonate of Amazonia. *Terra Nova*, 15, 441-446.
- Trindade, R.I.F., D'Agrella-Filho, M.S., Epof, I., Britto Neves, B.B. 2006 Paleomagnetism of Early Cambrian Itabaiana mafic dikes (NE Brazil) and the final assembly of Gondwana, 224, 361-377.