



Avaliação da variação paleo-secular ao longo do Superchron Reverso do Permo-Carbonífero (~ 262-318 Ma)

Wellington Paulo de Oliveira (ON/MCTI)¹, Daniel R. Franco (ON/MCTI)²

¹ Mestrando em Geofísica (bolsista CNPq), Observatório Nacional (ON/MCTI)

² Coordenação de Geofísica, Observatório Nacional (ON/MCTI)

Copyright 2016, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no VII Simpósio Brasileiro de Geofísica, Ouro Preto, 25 a 27 de outubro de 2016. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do VII 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

In this work, we aimed to evaluate the time and latitudinal dependence of paleosecular variation (PSV) throughout the ~ 318-262 Ma Permo-Carboniferous Reversed Superchron by means of statistical analysis of angular dispersion (S_B) of pre-selected virtual geomagnetic pole (VGP) datasets. Our preliminary results indicate a slightly lower trending pattern of S_B as function of paleolatitude in comparison to the discussed for ~ 89-118 Ma Cretaceous Normal Superchron by Haldan et al. (2009).

Introdução

De especial interesse na comunidade científica, numerosos estudos sobre os mecanismos de geração do campo geomagnético (CG) vêm sendo propostos nas últimas décadas, e avanços têm sido alcançados por estudos visando uma melhor compreensão dos modos de operação do geodínamo. Por meio de modelagem numérica, simulações são conduzidas com o intuito de se investigar a estrutura e dependência temporal de convecção e geração de campo magnético no núcleo da Terra (e.g., Glatzmaier & Roberts, 1995; Katayama et al., 1999; Buffet, 2000; Glatzmaier, 2002; Holme & Olsen, 2006).

Dentre as importantes questões relacionadas a tais esforços, são bastante debatidas as possíveis causas para mudanças que teriam afetado o geodínamo ao longo do tempo geológico, como o crescimento do núcleo interno, processos convectivos do núcleo externo e o acoplamento manto-núcleo para processos que induzam as reversões geomagnéticas.

No entanto, são várias as questões que ainda permanecem em aberto – desde modelagens distintas que atribuem definições diferentes nas condições de contorno, bem como problemas relacionados aos limites computacionais e que, impedem modelagens realísticas do geodínamo que possibilitem uma melhor compreensão da dinâmica do campo geomagnético, como a evidenciada pela variação paleosecular do campo geomagnético através de estudos paleomagnéticos.

A variação paleo-secular (VPS), definida como a variação temporal do campo geomagnético de origem interna e observável à superfície da Terra, possibilita o entendimento de aspectos específicos do comportamento do campo, associadas às variações espaciais e temporais. A VPS é comumente quantificada pela dispersão angular (S_B) de um conjunto de polos geomagnéticos virtuais (PGVs).

Estudos vêm apontando uma relação entre os padrões de dispersão de PGVs em função da paleolatidade e a taxa de reversão geomagnética observado para um determinado período geológico (McFadden et al., 1991; Johnson et al., 2008; Biggin et al., 2008; Haldan et al., 2009, 2014; Franco et al., 2012) em que se verifica níveis de dispersão razoavelmente menores para baixas frequências de reversão, como da ocorrência de longos períodos (~ 10^7 anos), em que há completa ausência de reversões geomagnéticas denominados 'superchrons'. Assim, investigações desta natureza e relacionados ao estudo do Superchron Reverso do Permo-Carbonífero (SRPC) de 318 a 262 Ma (Opdyke & Channell, 1996; Opdyke et al., 2000; Menning et al., 2006), poderiam fornecer informações a respeito da estabilidade VPS e dos modos de operação do geodínamo.

Portanto, o objetivo deste trabalho é o de se avaliar a dependência temporal e latitudinal da variação paleosecular ao longo do SRPC, através de estudos de registros de PGVs obtidos na literatura, e comparação com modelos de variação paleo-secular atualmente disponíveis. E averiguar se o comportamento da dispersão da PGVs é predominantemente relacionado à contribuição dipolar do campo geomagnético.

Aspectos Teóricos e Metodologia

A VPS pode ser avaliada em termos da dispersão angular de polos geomagnéticos virtuais, que são as coordenadas geográficas dos pontos na superfície da Terra que representam as posições ocupadas pelo polo magnético da Terra, em um determinado período do tempo. Segundo alguns autores (Johnson et al., 2008; Biggin et al., 2008; Haldan et al. 2009, 2014; Lawrence et al., 2009; Linder & Gilder, 2011), a dispersão angular de uma distribuição de N dados de PGVs (S_B) é calculada pela seguinte equação:

$$S_B = \left(\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \theta_i^2 \right)^{1/2}$$

onde N é o número de sítios, θ_i é a distância angular entre i -ésimo PGV e a média dos PGVs permite a representação da posição relativa do polo geográfico do polo geomagnético para um determinado momento no passado – o chamado polo paleomagnético.

Uma variedade de modelos paramétricos (discutidos de maneira detalhada em Johnson & McFadden (2007)), foram desenvolvidos para tentar explicar os padrões de PGVs, sendo que estes diferem por suas suposições específicas e também quanto ao período que se aplica. Dentre os principais modelos que visam discutir a VPS, merece destaque o Modelo G (McFadden et al., 1988; 1991), que discute a VPS principalmente para os últimos 195 Ma. Este modelo é baseado na análise por harmônicos esféricos do campo geomagnético, e indica a forma da contribuição dipolar das componentes magnéticas em comparação às componentes não dipolares. Descreve o padrão de curvas de S_B em função da paleolatidade (λ), utilizando-se de dois parâmetros a e b .

$$S_B(\lambda) = \sqrt{a^2 + (b\lambda)^2}$$

Segundo este modelo, a dispersão de PGVs pode ser descrita aproximadamente pela soma quadrática de duas componentes independentes de natureza quadrupolar ($S_q = a$) e dipolar ($S_d = b\lambda$). Assim, S_B é constante com relação a latitude devido a contribuição quadrupolar, enquanto que a contribuição dipolar varia linearmente até altas paleolatitudes (Fig. 1)

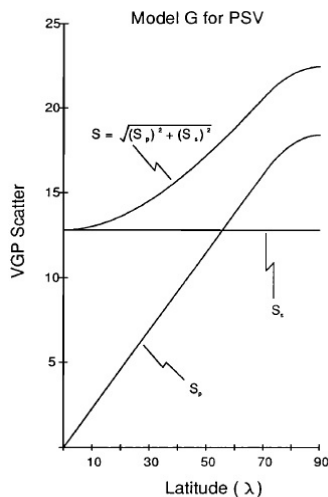


Figura 1: representação esquemática do Modelo G (modificado de McFadden et al., 1991).

Para a avaliação da VPS e sua dependência latitudinal ao longo do período compreendido pelo SRPC, realizou-se uma seleção de trabalhos paleomagnéticos

disponíveis na literatura. Isso possibilitou a preparação de um banco de dados paleomagnéticos, que fornecessem dados direcionais de magnetização remanente característica (MRC) e coordenadas de sítio. O conjunto de dados paleomagnéticos foi obtido a partir de periódicos internacionais indexados de interesse da comunidade em Paleomagnetismo (e.g., Geophysical Journal International, Geophysical Research Letters), por sites de busca especializados em pesquisa acadêmica (e.g, Scopus, Scielo) e a partir da base de dados paleomagnéticos da IAGA global paleomagnetic database (<http://www.ngu.no/geodynamics/gpmbd/>) segundo critérios de qualidade para estudos paleomagnéticos, aceitos como padrão pela comunidade científica relacionada (e.g., Van der Voo, 1990).

Esta etapa resultou em uma seleção preliminar de artigos de cerca de 500 artigos, publicados entre 1990 e 2015, dos quais foram selecionados os estudos empregados no processamento de dados, segundo os seguintes critérios apresentados a seguir, e discutidos em detalhe em Assunção (2014):

- (i) Seleção de estudos restritos ao período compreendido pelo SRPC. Foram considerados os trabalhos paleomagnéticos relacionados a idades entre 262 e 318 Ma;
- (ii) Exclusão de estudos que não fornecem os dados de MRC (declinação e inclinação magnética), assim como as coordenadas de sítio de amostragem;
- (iii) Os estudos selecionados deverão fornecer dados paleomagnéticos baseados em acurados trabalhos de magnetismo de rochas (uso de magnetômetros de alta sensibilidade, como os magnetômetros SQUID triaxiais e "spinner");
- (iv) Seleção de estudos que, preferencialmente, fornecessem polos paleomagnéticos de referência, especialmente aqueles suportados por datações absolutas.

Resultados

Dentre os cerca de 500 artigos compreendidos ao banco de dados paleomagnéticos, foram selecionados cinquenta trabalhos de acordo com os critérios definidos anteriormente. Tais trabalhos foram processados através de um 'script' MATLAB® desenvolvido por Daniel Franco em parceria com colaboradores do Observatório Nacional (ON/MCTI). Com os dados obtidos foi possível produzir a curva de dispersão de PGVs em função da paleolatidade (Fig. 2), assim como em função do tempo (Fig. 3) ao longo do SRPC.

A dependência de S_B em função da paleolatidade (Fig. 2), mostra a cobertura dos dados obtidos por este trabalho em associação aos resultados apresentados por Haldan

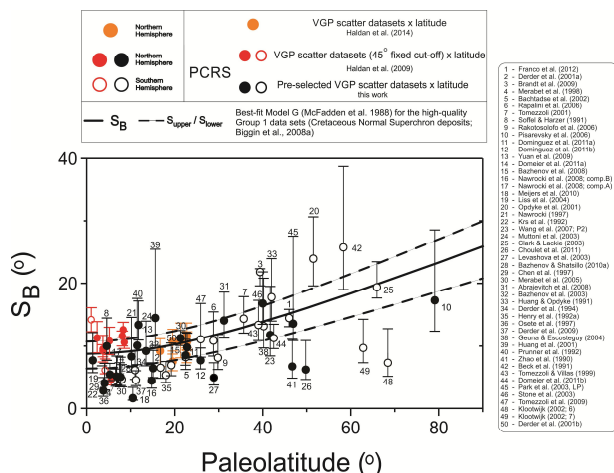


Figura 2 - Avaliação da dependência latitudinal da VPS através da comparação do Modelo G melhor ajustado (McFadden et al. 1988) – dentro de um limite de confiança de 95 % para o conjunto de dados referentes ao SNC apresentados por Haldan et al. (2009).

et al. (2009), que discutiram sobre resultados para dispersão de PGVs, para baixas paleolatitudes durante o SRPC e também com a curva do modelo G melhor ajustado para o SNC (por intermédio de dados de alta qualidade denominados “Grupo 1” por Biggin et al., 2008). É possível observar uma certa compatibilidade do modelo de ajuste de Biggin et al. (2008), com os dados resultantes desse trabalho. Nota-se também, que a dispersão de PGVs é ligeiramente menor em baixas paleolatitudes (0° a 20°), em comparação aos resultados obtidos por Biggin et al. (2008).

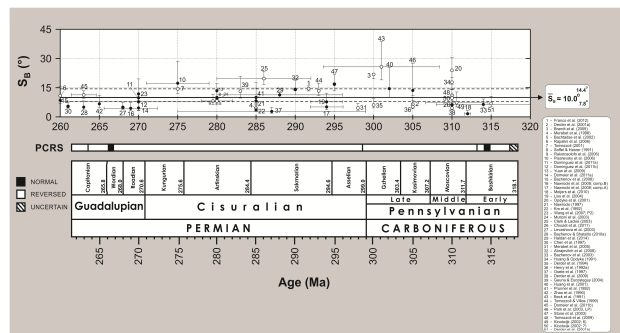


Figura 3: resultados do parâmetro de dispersão de PGVs em função do tempo para o SRPC.

Pela figura 3, podemos observar a dispersão angular de PGVs em função do tempo ao longo do SRPC. Como estimativa de medida, obteve-se um valor médio de aproximadamente $10,0^\circ$, com limites de incerteza superior e inferior de $13,2^\circ$ e $7,4^\circ$, respectivamente. Percebe-se uma ligeira flutuação de S_B nos dados, entre as idades de 280 a 295 Ma, isto pode ser indicativo de um curto período de reversão que supostamente teria ocorrido neste longo período de polaridade geomagnética. Investigações dessa natureza serão averiguadas, uma vez que é preciso ter uma quantidade

substantiva de dados para diagnosticar a variabilidade temporal da dispersão de PGVs para o SRPC.

Discussão e Conclusões

Os resultados obtidos apontam claramente para a possibilidade de um baixo regime de variação secular durante o SRPC, o que é, curiosamente, similar ao verificado para o SNC. Para o desenvolvimento deste trabalho mais informações serão atribuídas nas curvas de dispersão angular de PGVs, como o da obtenção de dados sobre tudo em altas paleolatitudes, no qual necessita-se de maior densidade de dados, de forma a contribuir no estudo do comportamento da VPS, e que porventura auxilie na proposição de um modelo, de cobertura inter-hemisférica da dispersão de PGVs em função da paleolatitude para o SRPC.

Agradecimentos

Wellington Paulo de Oliveira agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de sua bolsa de mestrado.

Referências

- Assunção, K.S., 2014. “Estabilidade do Geodínamo: o problema dos “Superchrons”. Monografia, Instituto de Física, Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 67 p.
- Biggin, A. J. et al., 2008. Geomagnetic secular variation in the Cretaceous Normal Superchron and in the Jurassic. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, vol. 169: 3-19.
- Buffet, B. A., 2000. Earth's core and the geodynamo. *Science*, n. 5473, vol. 288: 2007-2012.
- Franco, D. R., Ernesto, M., Ponte-Neto, C. F., Hinnov, L. A., Berquó, T. S., Fabris, J. D., Rosière, C. A., 2012. Magnetostratigraphy and mid-paleolatitude VGP dispersion during the Permo-Carboniferous Superchron: results from Paraná Basin (Southern Brazil) rhythmites. *Geophysical Journal International*, 191, n.3: 993-1014.

Glatzmaier, G. A.; Roberts, P. H., 1995. A three-dimensional convective dynamo solution with rotating and finitely conducting inner core and mantle. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, n.1, vol. 91:63-75.

Glatzmaier, G. A., 2002. Geodynamo simulations-how realistic are they?. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, n. 1, vol. 30: 237-257.

Haldan, M. M. et al., 2009. A comparison of detailed equatorial red bed records of secular variation during the Permo-Carboniferous Reversed Superchron.

Geophysical Journal International, n.3, vol. 177: 834-848.

Haldan, M. M. et al., 2014. New paleomagnetic results from the Oslo Graben, a Permian Superchron lava province. *Geophysical Journal International*, n.3, vol.199: 1554-1571.

Holme, R.; Olsen, N., 2006. Core surface flow modelling from high-resolution secular variation. *Geophysical Journal International*, n. 2, vol. 166: 518-528.

Johnson, C.L., McFadden, P. L., 2007. Paleosecular Variation and the Time-Averaged Paleomagnetic Field. In: Kono, M., *Treatise on Geophysics*, vol. 5: 417-453, Elsevier, Amsterdam (2007).

Johnson, C. L. et al., 2008. Recent investigations of the 0-5 Ma geomagnetic field recorded by lava flows. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, v. 9, n. 4.

Katayama, J. S. et al., 1999. Some characteristics of magnetic field behavior in a model of MHD dynamo thermally driven in a rotating spherical shell. *Physics of the earth and planetary interiors*, n. 1, v. 111: 141-159.

Lawrence, K. P. et al., 2009. Paleomagnetic field properties at high southern latitude. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, n. 1, v. 10. Linder, J.; Gilder, S. A., 2011. Geomagnetic secular variation recorded by sediments deposited during the Cretaceous normal superchron at low latitude. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, n. 3, v. 187: 245-260.

McFadden, P. L. et al., 1988. Dipole/quadrupole Family modeling of paleosecular variation. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978-2012)*, n.B10, vol. 93: 11583-11588.

McFadden, P. L. et al., 1991. Reversals of the Earth's magnetic field and temporal variations of the dynamo families. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978-2012)*, n. B3, vol. 96: 3923-3933.

Menning, M. et al., 2006. Global time scale and regional stratigraphic reference scales of central and west Europe, east Europe, Tethys, south China, and North America as used in the Devonian-Carboniferous-Permian Correlation Chart 2003 (DCP 2003). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, n. 1, v. 240: 318-372.

Opdyke, N. D.; Channell, J. E. T., 1996. *Magnetic stratigraphy*. Academic Press.

Opdyke, N. D. et al., 2000. Base of the Kiaman: Its definition and global stratigraphic significance. *Geological Society of America Bulletin*, n. 9. v. 112: 1315-1341.

Van Der Voo, R., 1990. The reliability of paleomagnetic data. *Tectonophysics*, n. 1, v. 184: 1-9.