



RESULTADOS PALEOMAGNÉTICOS PRELIMINARES EM TIJOLOS COLONIAIS DO SUDESTE E NORDESTE DO BRASIL

Wilbor Poletti^{1*}, Gelvam Hartmann¹, Ricardo Trindade¹

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

Resumo

O campo magnético da Terra varia em diferentes escala de tempo, que vão desde milissegundos até bilhões de anos. Variações do chamado “período arqueológico”, i.e. entre 10^0 e 10^4 anos, são importantes para compreensão de diferentes aspectos do campo geomagnético. No entanto, os dados arqueomagnéticos são mal distribuídos no espaço e tempo ao redor do globo; a América do Sul contribui com cerca de 5% dos dados para os últimos milênios. Neste trabalho serão apresentados resultados preliminares de desmagnetização por campos magnéticos alternados e mineralogia magnética determinados em tijolos das regiões Nordeste e Sudeste do Brasil datados para os últimos 500 anos. A desmagnetização por campos alternados foi efetuada chegando a campos de até 100 mT, em 2 espécimes de 2 fragmentos do sítio “Real Fábrica de Ferro Ipanema”, localizado em Iperó, Estado de São Paulo. A componente magnética característica não foi definida nessas amostras, indicando a necessidade da desmagnetização térmica a fim de determinar o vetor original de magnetização. Ciclos de aquecimento e resfriamento da susceptibilidade magnética, aquisição de curvas de magnetização remanente isotérmica (MRI) e ciclos de histerese foram efetuados em 43 fragmentos de 5 sítios da região Sudeste do Brasil. Os resultados de susceptibilidade magnética indicaram uma forte estabilidade magnética para temperaturas de até ~ 600 °C. Medidas em altos campos (MRI e ciclos de histerese) indicaram a presença de mistura de minerais magnéticos de altas e baixas coercividades, provavelmente associados à existência de magnetita e hematita. Os resultados preliminares indicam a possibilidade de obtenção de dados de inclinação em tijolos, desde que se conheça a posição de queima.

Abstract

Earth's magnetic field oscillates in different timescales from milliseconds to billions of years. Variations in the so-called “archeological times”, i.e. between 10^0 and 10^4 years, are important to better understand different aspects of the geomagnetic field. However, the archeomagnetic data are poorly distributed in time and space around the world; South America contributes with only about 5% of the data over the past few millennia. Here, we will present the preliminary results of alternating field demagnetization and magnetic mineralogy determined in bricks from Northeast and Southeast Brazil dated for the past 500 years. Alternating field demagnetization up to 100 mT was performed in 2 specimens from 2 fragments of the “Real Fábrica de Ferro Ipanema”, Iperó, São Paulo State. Characteristic magnetic component was not defined in those specimens, indicating the need to apply thermal demagnetization in order to determine original vector of magnetization. Heating-cooling cycles of magnetic susceptibility, isothermal remanent magnetization (IRM) acquisition curves and hysteresis loops were performed in 43 fragments from the 5 sites of Southeast Brazil. Results from magnetic susceptibility indicate a strong stability up to ~ 600 °C. High-field measurements (IRM and hysteresis loops) indicate the presence of a mixture between low and high coercivity phases, probably the coexistence of magnetite and hematite. Our preliminary results indicate the possibility to determine inclination data from bricks, since knowing their firing position.



Introdução

O campo magnético da Terra (CMT) varia em diferentes escalas de tempo, que vão desde milissegundos até bilhões de anos. As variações do CMT de curto período de tempo (milissegundos até dias) são devidas à interação do fluxo de partículas eletricamente carregadas com a ionosfera e a magnetosfera, gerando o chamado *campo magnético externo*. As variações do CMT em escalas de tempo mais longas (dias a bilhões de anos) são produzidas pelo chamado *campo magnético interno* (e.g. Merrill et al., 1998). O campo geomagnético de origem interna apresenta duas contribuições distintas: (a) *campo crustal*, devido aos materiais magnetizados encontrados na crosta terrestre e que corresponde a pouco mais de 1% do campo geomagnético total observado na superfície, (b) *campo principal* ou *campo do núcleo*, gerado pelos movimentos do fluido eletricamente condutor do núcleo externo da Terra. As variações mais lentas, também conhecidas como “variação secular do CMT”, são as principais fontes de informação sobre a geração do campo geomagnético (e.g. Chapman e Bartels, 1940; Merrill et al., 1998; Olson e Amit, 2006).

A variação secular do campo produzido pelo núcleo pode ser determinada a partir de observações diretas e indiretas da direção (declinação e inclinação) e da intensidade total do CMT. A partir do século XVI, as observações diretas do campo começaram a ser feitas nos oceanos durante as grandes navegações e nos observatórios geomagnéticos distribuídos por todos os continentes, sendo que mais recentemente essas medidas são feitas também por meio de satélites (e.g. Bloxham et al., 1989; Jonkers et al., 2003). Para períodos de tempo anteriores (e mesmo para o histórico), os dados de variação secular do CMT provêm de medidas indiretas do campo, a partir da análise da magnetização remanente registrada em materiais arqueológicos e geológicos. Os materiais arqueológicos mais utilizados são cerâmicas, tijolos e telhas, para determinação da intensidade do CMT e, fornos, solo queimado e pinturas rupestres, para obtenção de dados direcionais. Outra possibilidade é a utilização de tijolos para obtenção da inclinação do CMT, desde que se conheça a posição de queima dos mesmos. Já os materiais geológicos utilizados para estudos da variação do CMT são rochas ígneas extrusivas, rochas sedimentares e sedimentos. Em todos esses materiais podem ser determinadas a paleodireção e a paleointensidade do CMT para diferentes intervalos de tempo, desde escalas de um ano até virtualmente a bilhões de anos, permitindo estudos da evolução do campo no passado (e.g. Hulot et al., 2010). O CMT de origem interna apresenta algumas peculiaridades na América do Sul. A Anomalia Magnética do Atlântico Sul (SAMA) é uma anomalia de baixa intensidade do campo magnético total que recobre grande parte da região Sudeste do Brasil, tendo caráter fortemente não-dipolar do campo. Para estudar a evolução temporal da SAMA e melhorar a base de dados do hemisfério Sul (que contribui com apenas ~5% dos dados mundiais), serão determinados dados de inclinação magnética em um conjunto de amostras do período colonial das regiões Nordeste e Sudeste do Brasil.

Materiais e Métodos

Neste trabalho, as variações do CMT serão determinadas a partir de dados de inclinação magnética em materiais arqueológicos (tijolos) das regiões Nordeste e Sudeste do Brasil datados para os últimos 500 anos. As idades de todos os sítios foram muito bem estabelecidas a partir de estudos arqueológicos e históricos de ambas as regiões (Hartmann, 2010). Para a região Sudeste estão sendo utilizados tijolos de fornos de uma antiga fábrica de ferro (Real Fábrica de Ferro Ipanema) localizada em Iperó-SP. Para a região Nordeste estão sendo utilizados tijolos de diversas construções históricas de Salvador-BA (Hartmann, 2010) (Figura 1).

Partindo da premissa de que os tijolos foram queimados, em sua confecção, com a maior face na posição horizontal, os mesmos foram levados para o laboratório em uma bancada plana e horizontal com uma perfuratriz acoplada (Figura 2a), de maneira a permitir a retirada de amostras cilíndricas utilizando uma broca diamantada, com diâmetro de 2.5 cm, perpendicularmente a essa face maior (Figura 2b). Em seguida os cilindros retirados dos tijolos foram cortados em espécimes com 2.2 cm de altura em uma serra adaptada (Figura 2c). Desta forma é possível garantir a



realização de medidas de inclinação, uma vez que em laboratório manteve-se a posição na qual os tijolos adquiriram a magnetização primária.

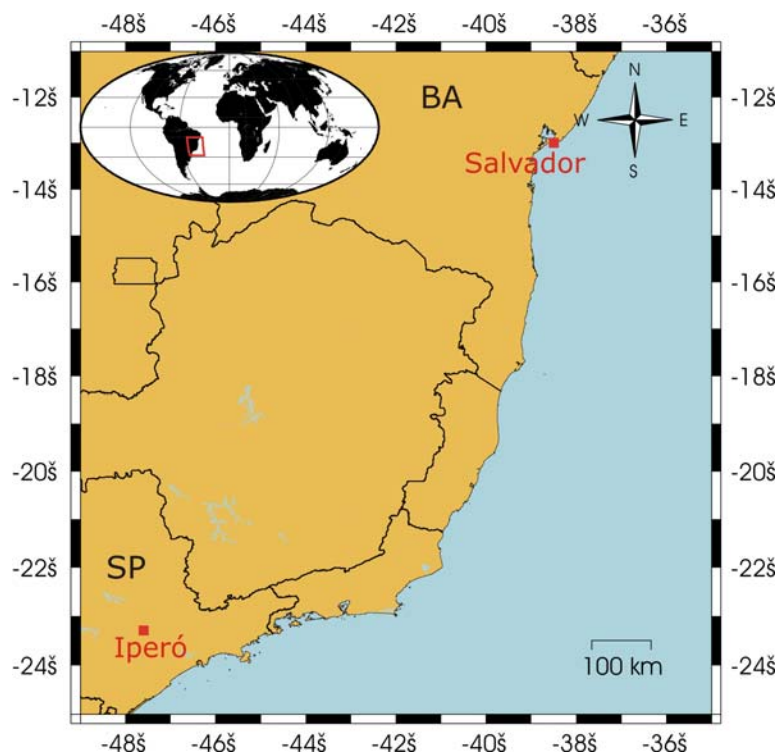


Figura 1: Mapa com a localização das amostras para as regiões Sudeste e Nordeste.

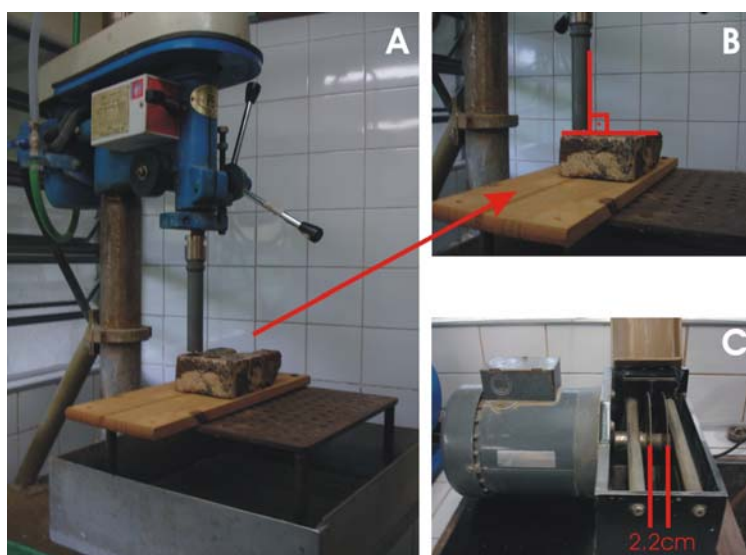


Figura 2: Fotos dos equipamentos utilizados na preparação das amostras. (a) Perfuratriz com base horizontal e broca diamantada para preparação de cilindros de 2.5 cm de diâmetro. (b) Representa a perpendicularidade do furo em relação ao tijolo. (c) Serra adaptada para preparação de espécimes de 2.2 cm de altura.

Após a confecção dos espécimes, foram realizadas as análises paleomagnéticas clássicas para a determinação das componentes do campo magnético registrado pelos mesmos. Primeiramente, realizou-se em um conjunto de “amostras piloto” a desmagnetização por passos utilizando campos magnéticos alternados chegando a um campo máximo de 100 mT. Para essas medidas utilizou-se um Desmagnetizador/Indutor de Magnetização Anisterética LDA-3A/AMU da Agico LTD e em Magnetômetro JR6A da Agico LTD. Como não houve a total desmagnetização das amostras devido à alta coercividade dos minerais magnéticos presentes nas amostras (ver abaixo), está sendo utilizada a desmagnetização térmica para a caracterização das componentes da Magnetização



Remanente Natural (MRN). Essas medidas estão sendo efetuadas com um Desmagnetizador Térmico TD-48 da ASC Scientific e um Magnetômetro JR6A da Agico LTD.

Para a investigação da mineralogia magnética foram feitas medidas de susceptibilidade magnética, aquisição da Magnetização Remanente Isotérmica (MRI) e ciclos de histerese magnética. Os ciclos de aquecimento e resfriamento da susceptibilidade magnética foram efetuados utilizando um Kappabridge KLY3-CS3 da Agico LTD do Laboratório de Paleomagnetismo do Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP), França. Os ciclos foram feitos da temperatura ambiente até ~ 550 °C. Essas curvas são feitas com o objetivo de determinar os portadores de magnetização e também servem para verificação da estabilidade magnética em função da temperatura. As aquisições de curvas de MRI foram feitas utilizando um indutor de campo magnético (desenvolvido pela equipe de Paleomagnetismo do IPGP) e as medidas de magnetização foram efetuadas no magnetômetro criogênico da 2G Enterprises, também do IPGP. As curvas de aquisição da MRI foram feitas em campos magnéticos de até 1.2 Tesla. Essas medidas têm como objetivo a determinação do campo de saturação das amostras, ou seja, a investigação da coercividade magnética das mesmas. Os ciclos de histerese foram efetuados utilizando o Magnetômetro de Amostra Vibrante (VSM) desenvolvido pela equipe de Paleomagnetismo do IPGP. As medidas foram efetuadas chegando até um campo máximo de 1 T. Os ciclos de histerese têm como objetivo a determinação dos portadores e a estrutura de domínio magnético.

Resultados preliminares

As medidas preliminares foram efetuadas em um conjunto de “amostras piloto” através da desmagnetização por passos utilizando campos magnéticos alternados, chegando a um campo máximo de 100 mT (Figura 3). Como não foi possível obter a completa caracterização das componentes da MRN das amostras ($\sim 30\%$ de desmagnetização), devido à alta coercividade dos minerais magnéticos, iniciou-se a desmagnetização térmica, que, por sua vez, encontra-se em andamento.

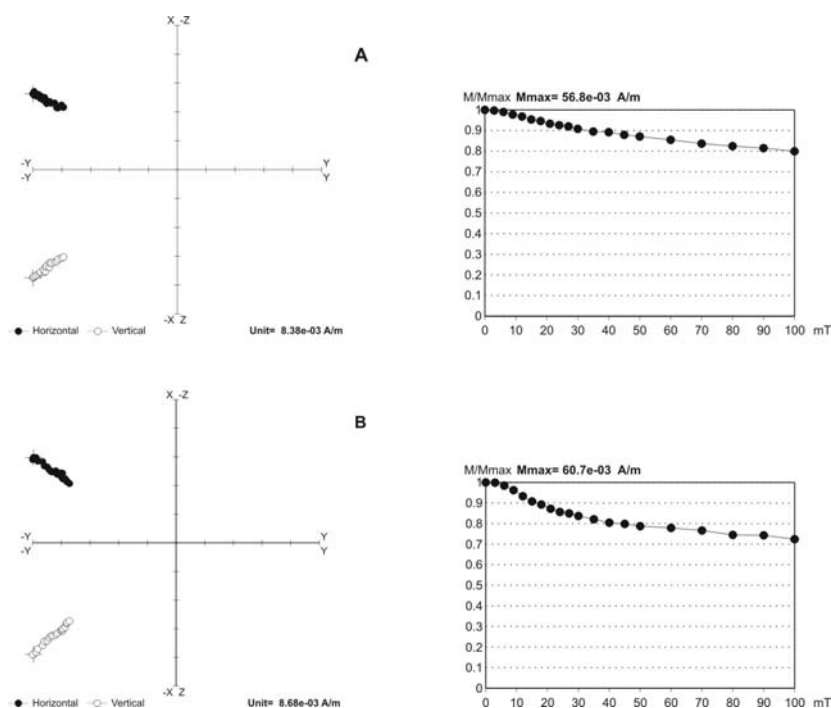


Figura 3: Diagramas de Zijderveld (Zijderveld, 1967) (à esquerda) e gráfico indicando a MRN perdida durante a desmagnetização por campos magnéticos alternados (à direita). A) representa uma amostra do sítio FFY-01 e B) representa uma amostra do sítio FFY-03.



A investigação da mineralogia magnética foi efetuada utilizando medidas de susceptibilidade magnética, aquisição da Magnetização Remanente Isotérmica (MRI) e ciclos de histerese magnética. Os ciclos de aquecimento e resfriamento da susceptibilidade magnética são reversíveis, indicando que as amostras são termicamente estáveis (Figura 4). As curvas que apresentam queda da susceptibilidade próxima de 580 °C indicam a presença dominante de magnetita (Figuras 4a e 4c) e as curvas que apresentam queda da susceptibilidade de forma mais lenta indicam mistura de minerais magnéticos (Figuras 4b e 4d), possivelmente com a presença de hematita. As diferenças nas curvas são dadas em função das diferentes temperaturas de bloqueio dos portadores magnéticos.

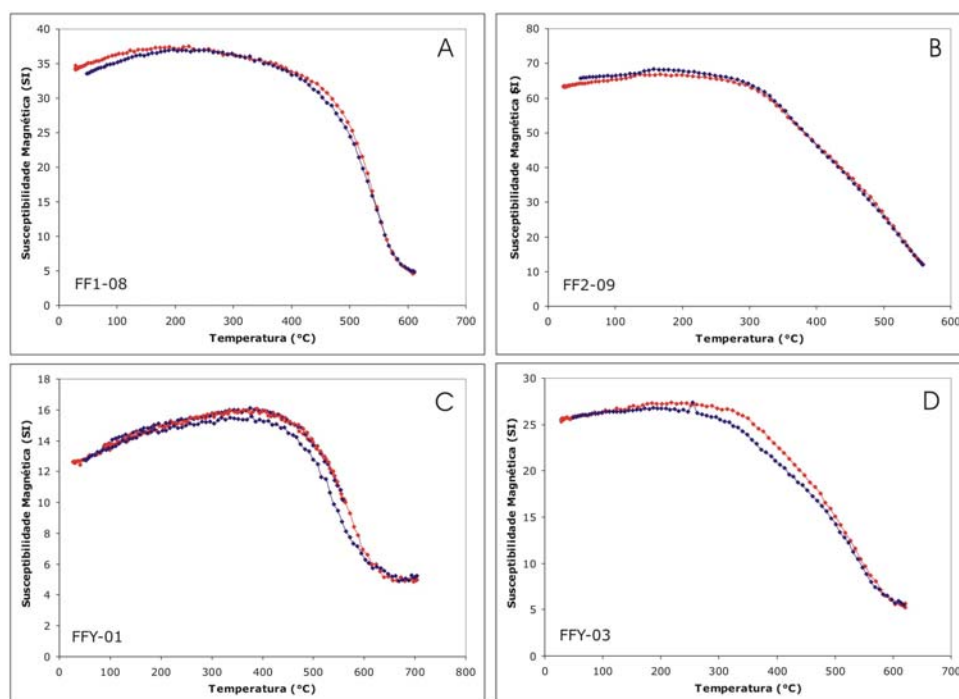


Figura 4: Exemplos de ciclos de aquecimento e resfriamento da susceptibilidade magnética. Os pontos em vermelho representam o ciclo de aquecimento e os pontos em azul representam o ciclo de resfriamento.

As curvas de aquisição de MRI (Figura 5) apresentaram dois comportamentos distintos da magnetização. O primeiro atinge o ponto de saturação dos minerais magnéticos com baixa coercividade, associado a campos de até ~0.1T, tendo como exemplo de minerais com esta característica a magnetita e a titanomagnetita. O segundo comportamento que pode ser observado refere-se a um aumento gradativo da magnetização das amostras em função do aumento da indução magnética (até ~1 T), indicando minerais magnéticos de alta coercividade, como por exemplo, hematita e titanohematita.

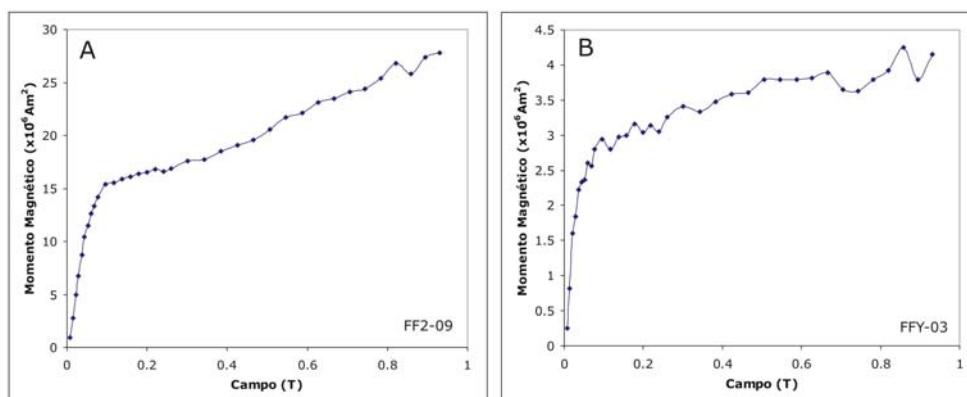


Figura 5: Exemplos de curvas de aquisição da MRI.



As curvas de histerese (Figura 6) evidenciaram a presença de uma pequena fração de minerais de alta coercividade pelo seu formato de cintura de vespa (*wasp-waisted*), tendo como exemplo análogo aos minerais magnéticos da aquisição de MRI, sendo a magnetita e titanomagnetita para minerais magnéticos de baixa coercividade e, a hematita e a titanohematita para minerais magnéticos de alta coercividade.

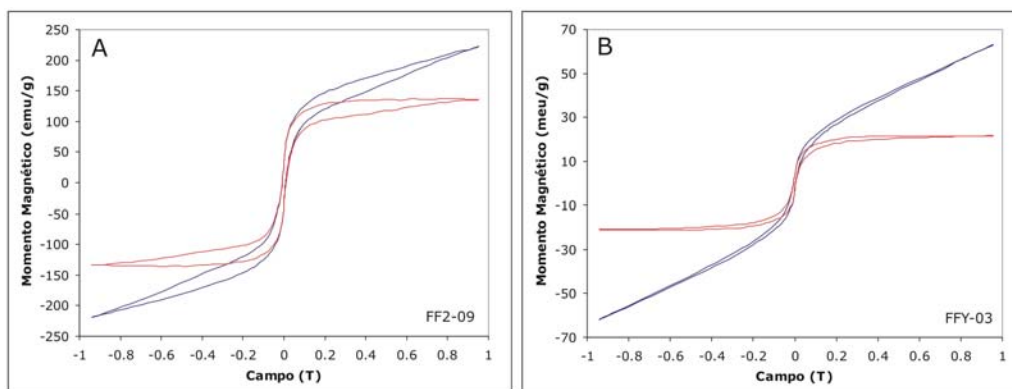


Figura 6: Exemplos de ciclos de histerese. As curvas em azul representam os valores sem correção paramagnética e as curvas em vermelho representam os valores com a correção paramagnética.

Uma vez investigada a mineralogia magnética dos tijolos e obtendo como resposta a presença de portadores magnéticos de alta coercividade, fica evidente a necessidade da realização da desmagnetização térmica para determinação da paleoinclinação. Essas medidas serão realizadas nas amostras das regiões Sudeste e Nordeste do Brasil com o objetivo de contribuir com o banco de dados direcionais da América do Sul, bem como avançar nos estudos de evolução da SAMA.

Referências

- Bloxham, J., Gubbins, D., Jackson, A., 1989. Geomagnetic Secular Variation. *Philos. Trans. R. Soc. London A*, 329, 415-502.
- Chapman, S., Bartels, J., 1940. *Geomagnetism*, vol I+II. University Press, Oxford.
- Hartmann, G.A., 2010. *Arqueomagnetismo no Brasil: variações da intensidade do campo magnético terrestre nos últimos cinco séculos*. 2010. Tese (Doutorado) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Hulot, G., Finlay, C.C., Constable, C.G., Olsen, N., Manda, M., 2010. *The Magnetic Field of Planet Earth*. *Space Sci. Rev.*
- Jonkers, A.R.T., Jackson, A., Murray, A., 2003. Four Centuries of Geomagnetic Data from Historical Records, *Rev. Geophys.*, 41, 2.
- Merrill, R.T., McElhinny, M.W., McFadden, P.L., 1998. *The Magnetic Field of the Earth: Paleomagnetism, the Core, and the Deep Mantle*. International Geophysics Series, vol 63, Academic Press.
- Olson, P., Amit, H., 2006. Changes in Earth's dipole, *Naturwissenschaften*, 93, 519-542.
- Zijderveld, J.D.A., 1967. AC demagnetization of rocks. In: *Methods in Paleomagnetism* (D. W. Collinson, K. M. Creer and S. K. Runcorn, eds.), p. 256-286, Elsevier, New York.