



Detecção de impulsos na variação secular geomagnética, no observatório magnético de Vassouras

K. J. Pinheiro^(1,2) & J. M. Travassos⁽²⁾

(1) SMS, Petrobras, anteriormente em (2)

(2) Observatório Nacional

Copyright 2003, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 14-18 September 2003.

Contents of this paper was reviewed by The Technical Committee of The 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does not necessarily represents any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction, or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of The Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

The time variations of the Earth's magnetic field have a wide spectrum. Low periods are due to perturbations in the Earth's ionosphere and magnetosphere. The long period, known as secular variation of the geomagnetic field, are related to the generation and maintenance of the field in the core-mantle boundary (CMB). However, the distinction between the inner and outer sources is not always straightforward. There are intermediate periods like the solar cycle with a period of eleven years and shorter periods from one to two years that are probably generated in the Earth's core. The geomagnetic jerks are examples of this short period variation being identified by the abrupt changes in the geomagnetic secular variation. Several works have been published about the subject, but the origin, definition and characteristics of the geomagnetic jerks remains an open discussion within the scientific community. Even fundamental parameters, like time of occurrence and distribution of the events are not a consensus among the researchers. The main occurrences identified are 1901, 1913, 1925, 1969, 1978, and more recently in 1992 and 1999.

This work identifies the geomagnetic jerks occurred at Vassouras Observatory between 1915 and 2001 using both classical methods and *wavelet* analysis. The latter has advantages for this study as they are particularly useful to detect abrupt changes in a particular series. The geomagnetic jerks are discontinuities in an α derivative of the field. Another advantage of that analysis is that it is not necessary to introduce any information a priori about the origin of the geomagnetic jerks.

Introdução

As variações do campo geomagnético abrangem um amplo espectro temporal e normalmente atribuem-se as variações de longo período ao campo principal (variação secular) e as variações mais rápidas ao campo externo. Courtillot & Le Mouel (1984) citam que a variação secular sofre rápidas acelerações de menor duração do que os sinais anteriormente reconhecidos como geradores do campo interno, com cerca de um ano. Esses eventos são denominados de impulsos da variação secular geomagnética (IVS), sendo caracterizados como mudanças bruscas na segunda derivada temporal do

campo. Antes do reconhecimento da existência dos IVS, a variação secular era representada por uma tendência parabólica e os resíduos interpretados como uma influência dos efeitos solares. Depois foi constatado que a variação secular seria melhor representada por dois ajustes, um antes e outro após 1970. Esta mudança de tendência foi identificada como o IVS de 1970, sendo amplamente descrita pelas referências sobre o assunto. Outras ocorrências de IVS foram relatadas, principalmente nos anos de 1901, 1913, 1925, 1969 e 1978 (Macmillan, 1996). Há sugestões para outras datas dependendo dos observatórios, das componentes e dos métodos utilizados (Mandea *et al.*, 2000).

Entretanto, a definição e características dos IVS ainda são motivo de debate na comunidade científica. Até mesmo parâmetros fundamentais como as datas de ocorrência, a duração do impulso ou o caráter global do evento ainda não são um consenso entre os pesquisadores.

Foram utilizados dois tipos de análise para a detecção e caracterização dos IVS no Observatório de Vassouras (VSS) (Figura 1): uma análise clássica dos dados e a análise de *wavelet*. Este último é um método novo, aplicado em diversas áreas do processamento de sinais, que tem mostrado grande utilidade na filtragem e compressão de dados e identificação de características localizadas no sinal, como são as singularidades. Os IVS são considerados descontinuidades em uma α derivada do sinal, sendo α a regularidade da singularidade do campo geomagnético. O método de *wavelets* não necessita de informações a priori, simplesmente admite-se que bruscos eventos de natureza desconhecida, e em datas indefinidas, ocorram no campo geomagnético (Alexandrescu *et al.*, 1995).

A maior parte das publicações engloba observatórios do Hemisfério Norte, tornando o estudo de observatórios no Hemisfério Sul importantes para uma contribuição em questões ainda não solucionadas, como determinação dos principais parâmetros em observatórios com diferentes posições geográficas.

Método

A análise de *wavelet* foi proposta pelo geofísico Jean Morlet como uma modificação na transformada de Fourier, visando um melhor tratamento de sinais geofísicos. As duas principais características que diferem o método de *wavelet* dos demais são as propriedades de *dilatação* dada pela variação na escala e a *translação*, que corresponde ao deslocamento da janela ao longo do sinal. Ao invés de manter o tamanho da janela fixo com contribuições de diferentes frequências, como é feito na análise de Fourier, fixa-se o número de oscilações da janela e varia-se a extensão desta. Quando a janela é estendida há uma diminuição da frequência e quando é comprimida, altas frequências são analisadas. As *wavelets* se adaptam a diferentes componentes do sinal,

usando uma pequena janela para analisar as altas frequências e grandes janelas para baixas frequências (Mallat, 1998; Gomes & Velho, 1998).

As bruscas mudanças de tendência na variação secular (IVS), isto é, singularidades na α derivada do campo geomagnético, podem ser detectadas seguindo o módulo máximo da transformada de *wavelet* ao longo das escalas. Em adição esta análise pode também estimar a regularidade α .

Resultados

Foram utilizadas as médias mensais e anuais das componentes X e Y, obtidas das componentes declinação magnética (D) e horizontal (H), medidas no Observatório VSS, de 1915 a 2001. A componente vertical (Z), de elevado nível de ruído, não foi utilizada. Hiatos de dados nos anos de 1959 a 1967, 1973 a 1978 e de 1993 a 1997, foram recuperados para este trabalho. Os hiatos de 1947 e 1948, restritos ao registro fotográfico, ou magnetograma, não puderam ser recuperados.

A série temporal das médias mensais da componente Y, mostra uma clara mudança de tendência no período de 1925-30 e outra próxima a 1980, conforme mostra a Figura 2. A componente X mostra outra na faixa de 1940-50. Há outras possíveis mudanças, indicadas pelas setas na Figura 2, que não são tão perceptíveis quanto os intervalos mencionados. Esse tipo de análise apresenta um elevado grau de incerteza e não pode ser usado para a determinação de uma data exata, mas sim de possíveis intervalos de tempo em que os IVS ocorreram.

A variação secular foi estimada através das diferenças sucessivas dos valores médios mensais, VS_m , e dos valores médios anuais, VS_a , das componentes X e Y, Figuras 3 e 4, respectivamente. Este procedimento amplifica tanto a variação secular como o seu ruído, ao mesmo tempo permitindo e dificultando a detecção dos IVS. Isto é mais agudo no caso da VS_m que da VS_a , devido ao maior grau de filtragem representada pela extração das médias anuais.

A variação secular VS_m não apresenta variações de tendência (Figura 3) devido à amplificação do ruído. Isto é visto em outros observatórios, como o caso de Eskdalemuir (Stewart & Whaler, 1995).

Outra forma clássica para a detecção dos IVS é através da filtragem do sinal uma média móvel de 12 meses, que foi aplicada nos dados médios mensais no Observatório de VSS. Foram observadas mudanças de tendência em X próximo aos anos de 1940 e 1950 e em Y próximo as datas de 1925, 1940, 1960, 1970 e 1980 (Pinheiro, 2003). Para a transformada de *wavelet* utilizou-se uma *wavelet de análise* ("mother wavelet") expressa pela terceira derivada temporal da gaussiana, apresentando três momentos tendendo a zero, o que permite o estudo de singularidades com $\alpha < 3$. Esta *wavelet* é adequada ao estudo dos IVS, que correspondem teoricamente a uma descontinuidade na segunda derivada do campo ($\alpha = 2$).

A análise de *wavelet* foi aplicada à variação secular VS_m . Os resultados desta análise estão mostrados na Figura 5, para a componente Y de 1915 a 1946. As linhas de máximo dos coeficientes da expansão por *wavelet* no plano tempo-escala de X e Y, podem ser utilizados para a estimativa da regularidade dos possíveis IVS em VSS.

Isto pode ser obtido pelo valor da inclinação dos gráficos $\log(s) \times \log(C)$ (logaritmo da dilatação da *wavelet* x logaritmo do módulo dos máximos coeficientes da *wavelet*), na faixa de dilatação entre 4 e 5. A regularidade é então estimada como a inclinação, positiva e próxima a 2, das retas ajustadas no espaço log-log. Os possíveis IVS correspondem ao LM7 em X e LM4, LM10 (Figura 6) e LM15a em Y. A tabela 1 arrola os valores das regularidades encontradas.

É também possível aplicar as *wavelets* para filtrar as médias anuais, que são usadas na maior parte das publicações sobre esse assunto, sendo esta uma modificação da análise clássica. As médias anuais apresentam um nível de ruído muito inferior às médias mensais, mas ainda restam *outliers*, que prejudicam uma determinação mais exata das datas de ocorrência dos IVS. Isto é resolvido satisfatoriamente pela filtragem por *wavelets* diminuindo consideravelmente a influência de pontos espúrios, não influenciando o restante do sinal, conforme mostra a Figura 07.

O critério adotado para a identificação dos prováveis IVS nas médias anuais filtradas do Observatório de Vassouras foram variações de longo período com formato em V (Nevanlinna, 1985). As mudanças de inclinação dos dados filtrados, são então identificados por meio de segmentos de retas ajustadas, como mostra a Figura 7.

Conclusões

As médias mensais do Observatório VSS não mostram o padrão típico em V dos IVS. O Observatório VSS está localizado em uma área onde a amplitude do sinal geomagnético é muito baixa, por isso as variações do campo magnético ficam ao nível de ruído presente nas médias mensais.

A análise de *wavelet* concentrou-se nas maiores escalas, que são representativas dos IVS. Os possíveis IVS detectados no Observatório VSS (Tabela 2) pela transformada de *wavelet*, podem ser correlacionados a eventos previamente identificados em outros observatórios. Como por exemplo, o IVS de 1932 não foi detectado nos observatórios da Europa, mas foi identificado em quatro observatórios no hemisfério sul, além dos observatórios de Fredericksburg e Honolulu (Alexandrescu *et al.*, 1996). As datas de detecção do IVS de 1932 nestes observatórios variam entre 1930.58 a 1934.08 e as regularidades entre 1.46 e 1.92.

A filtragem com *wavelet* aplicada nos valores médios anuais permitiu uma melhor visualização das variações de longo do campo geomagnético, possibilitando uma detecção aproximada dos anos de ocorrência de mudança de tendência na variação secular.

Existem duas principais limitações desta análise, que são a proximidade da borda do sinal, que representa uma descontinuidade, e a presença de ruído que pode ser causadora de singularidades. Outra desvantagem para o Observatório VSS é que não há observatórios próximos, para possibilitar uma correlação entre os eventos identificados. Por isso é importante uma análise conjunta entre os métodos clássicos e de *wavelet*, mostrados na Tabela 2.

A determinação das datas de ocorrência dos IVS somente pelas médias mensais, anuais e rolante apresentam um alto grau de incerteza, e por isso, foi dado um maior peso para a análise de *wavelet*. O IVS de 1925 foi detectado em Vassouras nas duas componentes estudadas, variando entre as datas de 1925.5 (em Y) a 1927.5 em (X). O IVS de 1932 foi detectado na transformada de *wavelet* no ano de 1932.9 e na filtragem em 1933.5, somente na componente X (Pinheiro, 2003). Já o IVS de 1969, observado somente em Y mostra uma faixa de variação de 1969 a 1971.5.

Finalmente, é necessário ressaltar a importância da análise dos IVS nos vários observatórios geomagnéticos, de acordo com diversos métodos empregados. Acredita-se que, através do estudo dos IVS no maior número possível de observatórios, seja possível contribuir para, a determinação dos principais parâmetros e para as teorias de origem e manutenção dos IVS.

Agradecimentos

Ao Luiz Bampa e Luiz Muniz Barreto pelo apoio e confiança dados ao longo deste trabalho;

Aos técnicos do Observatório Nacional, Ronaldo Marins, Elisabeth Lima, Constantino Motta e Alberto Faria, pela ajuda na aquisição e correção dos dados do Observatório Magnético de Vassouras;

A CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

Referências

Alexandrescu, M., Gilbert, D., Hulot, G. Le Mouél, J-L., Saracco, G. Detection of geomagnetic jerks using wavelet analysis. *JGR*, 100, 12,557-12,572, 1995.

Alexandrescu, M., Gilbert, D., Hulot, G. Le Mouél, J-L., Saracco, G. Worldwide wavelet analysis of geomagnetic jerks. *JGR*, 101, 21,975-21,994, 1996.

Courtillot, V., Le Mouel, J-L. Geomagnetic secular variation impulses. *Nature*, 311, 709-716, 1984.

Gomes, J. & Velho, L. From Fourier analysis to wavelets. *Course Notes- SIGGRAPH98, Instituto de Matemática Pura e Aplicada, IMPA, 1998.*

Macmillan, S., A geomagnetic jerk for the early 1990's. *Earth and Planetary Science Letters*, 137, 189-192, 1996.

Mallat, S. A wavelet tour of signal processing, *Academic Press*, 1998.

Mandea, M., Bellanger, E., Le Mouél, J. L., A geomagnetic jerk for the end of the 20 th century ? *Earth and Planetary Science Letters*, 183, 369-373, 2000.

Nevanlinna, H., On external and internal parts of the geomagnetic jerk of 1970. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 39, 265-269, 1985.

Pinheiro, K. J., Detecção de impulsos na variação secular geomagnética, no observatório de magnético de Vassouras. Dissertação de Mestrado, 2003.

Stewart, D. N. & Whaler, K. A., Geomagnetic disturbance fields: an analysis of observatory monthly means. *Geophysical Journal Interiors*, 121, 710-724, 1995.

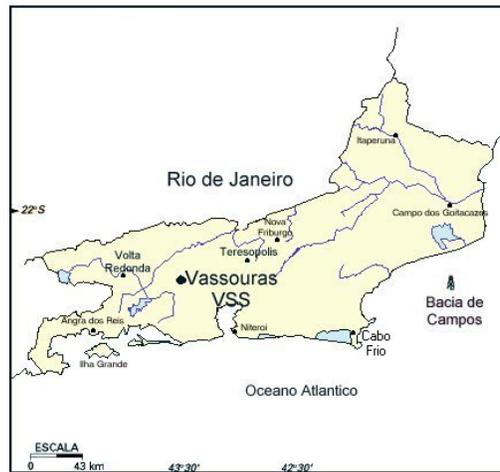


Figura 1: Mapa da localização do Observatório Magnético de Vassouras.

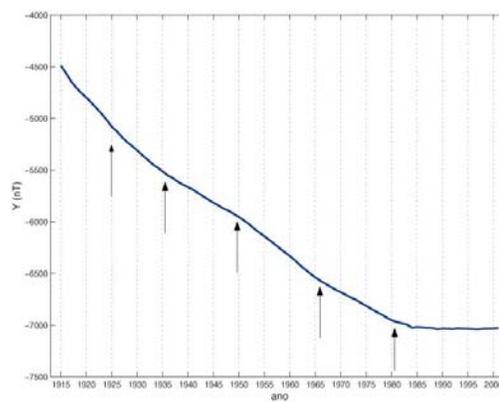


Figura 2: Média mensal da componente Y do campo geomagnético do Observatório Magnético de Vassouras, no período de 1915 a 2001.

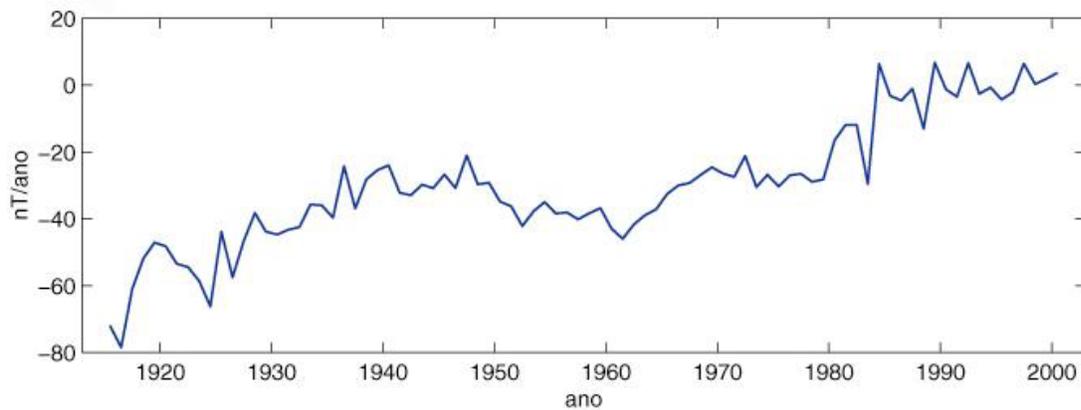


Figura 3: Variação Secular (média anual) da componente Y no Observatório Magnético de Vassouras.

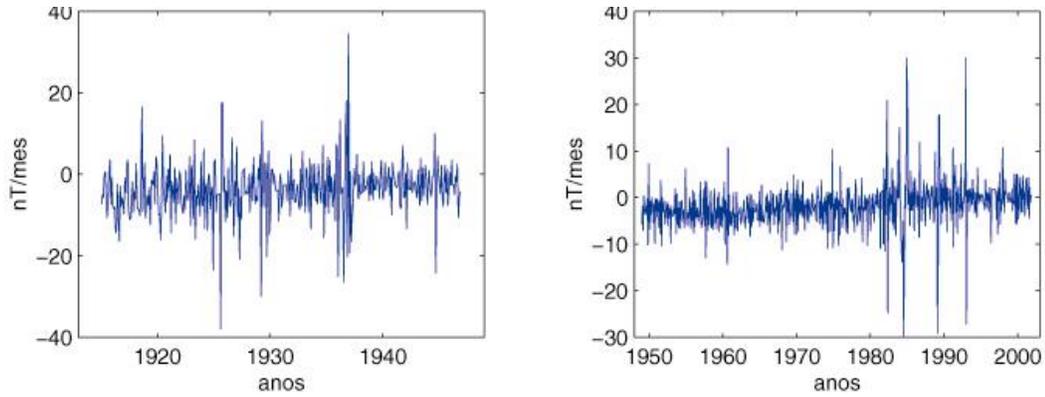


Figura 4: Variação Secular (médias mensais) da componente Y no Observatório Magnético de Vassouras, de 1915 a 2001.

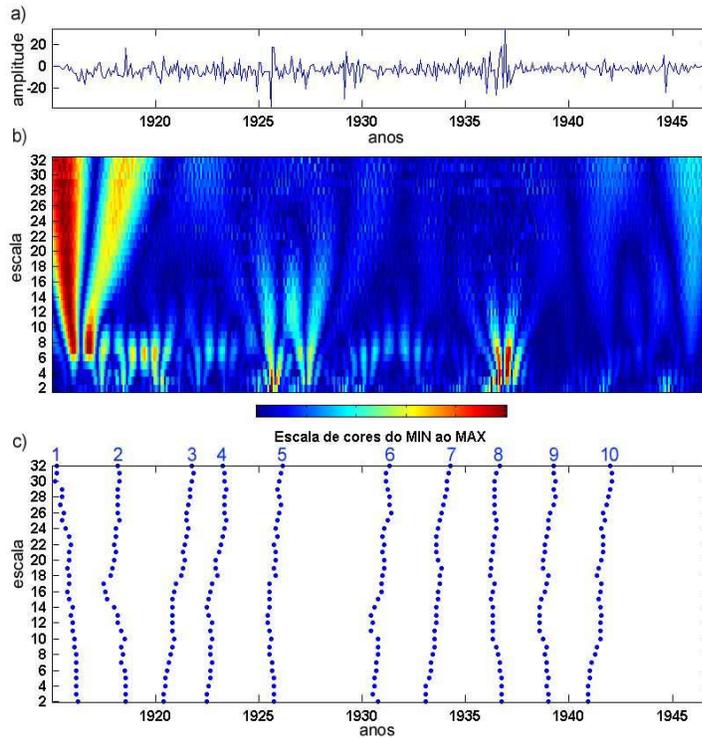


Figura 5: (a) Médias mensais da componente Y de 1915 a 1946; (B) transformada de *wavelet* de (a); (c) linhas de valores máximos dos coeficientes da transformada de *wavelet*.

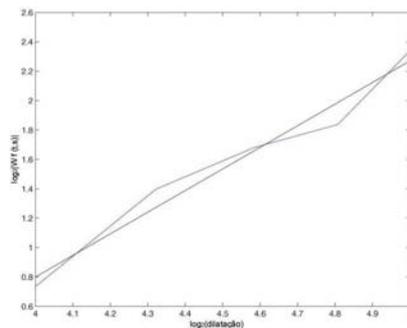


Figura 6: Gráfico da linha de máximo coeficiente da transformada de *wavelet*, de número 10 (em azul), mostrada na figura 5 (c). A reta preta corresponde ao ajuste linear à linha de máximo coeficiente, para o cálculo da regularidade.

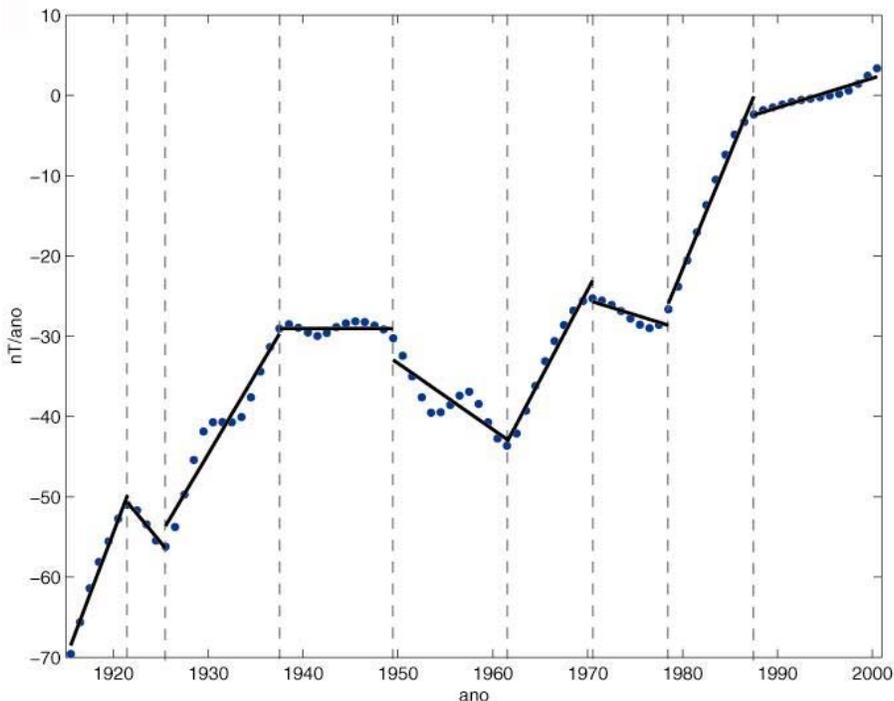


Figura 7: Filtragem das médias anuais da componente Y do Observatório Magnético de Vassouras de 1915 a 2001, pelo método de *wavelets*. Os pontos em azul correspondem aos dados filtrados e as retas mostram as principais mudanças de tendência, que indicam a ocorrência dos IVS.

Tabela 1: Data dos possíveis IVS detectados e as regularidades encontradas no Observatório Magnético de Vassouras.

LM	Ano	Regularidade
X7	1932.9	2.03
Y4	1922.5	1.67
Y10	1941.0	1.47
Y15a	1969.0	1.37

Tabela 2: Prováveis datas de ocorrência dos IVS no Observatório Magnético de Vassouras, segundo os métodos aplicados neste trabalho.

	Bruto ¹	MR ²	TW ³	Filtro ⁴
1922	---	---	Y	X e Y
1925	Y	Y	---	X e Y
1932	---	---	X	X
1941	X	X e Y	Y	Y
1949	X	X	---	---
1960	---	Y	---	Y
1969	---	Y	Y	Y
1978	Y	Y	---	Y

¹ Análise dos dados brutos (médias mensais)

² Média Rolante de 12 meses aplicada às médias mensais

³ Transformada de *wavelet* (médias mensais)

⁴ Filtragem através da *wavelet* (médias anuais)