



# Os Efeitos da Pressão Atmosférica na Padronização dos Dados de Muons Estudados pela Análise Espectral.

Nivaor Rodolfo Rigozo (CRS/INPE), Alisson Dal Lago (DGE/INPE), Daniel Jeann Roger Nordemann (DGE/INPE), Nelson Jorge Schuch (CRS/INPE), Carlos Roberto Braga (DGE/INPE)

Copyright 2011, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 12<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 15-18, 2011.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 12<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent 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 (Font: Arial Bold, 9)

**This paper presents a study of the effects of atmospheric pressure in ground cosmic ray muon time series, using the method of spectral analysis of iterative regression. It was observed that the periods of 4.8, 5.7, 7.0, 8.7, 10.7, 14.1, 16.2, 21.0, 31.2, 149 and 356.7 days present in the amplitude spectrum of atmospheric pressure, are also present in the amplitude spectra of muons data. We find that the standardization of muons data to eliminate the effects of atmospheric pressure is efficient for periods under 7 days.**

## Introdução

A área de estudo denominada “clima espacial” vem tendo um grande crescimento nos últimos anos, no mundo inteiro, na tentativa de se conhecer melhor os fenômenos físicos gerados no Sol, suas consequências no meio interplanetário e principalmente no planeta Terra. Dá-se atenção à fenômenos como a interação do vento solar com o campo magnético da Terra, as variações no fluxo de partículas e energia que ocorrem no Sol e suas consequências na atmosfera e clima da Terra (Hoyt and Schatten, 1997). A preocupação do estudo do clima espacial é de coleta dados de fenômenos provenientes do Sol e da magnetosfera da Terra, para que se possa fazer uma previsão desses fenômenos antes que eles ocorram. Dentre os principais fenômenos solares, as Ejeções de Massa Coronal (EMC/CME) são as principais causadoras de tempestades magnéticas intensas na Terra (Gosling et al., 1990, 1991).

As EMC/CMEs são erupções de plasma a partir da atmosfera solar envolvendo regiões de linhas de campo fechadas que são expelidas no meio interplanetário. Tais regiões, e os choques que elas podem gerar, têm efeitos pronunciados na densidade de raios cósmicos galácticos, tanto localmente, nas visinhanças da Terra, quanto a distâncias consideravelmente grandes dentro da heliosfera. Esses efeitos nas partículas energéticas muitas vezes podem ser usados para identificar EMC/CMEs no meio interplanetário, onde elas são chamadas de “ejeções interplanetárias” (Cane, 2000). Daí a importância de se utilizar os raios cósmicos (através de suas componentes secundárias) como “informantes” da

presença de EMC/CMEs em direção a Terra. Uma vez que os raios cósmicos viajam a velocidade da luz conseguindo chegar a Terra muito antes que as EMC/CME, é possível determinar com antecedência a ocorrência de uma tempestade geomagnética.

Uma das componentes secundárias dos raios cósmicos são os Muons. Eles são partículas de alta energia originadas da interação de prótons de alta energia da radiação cósmica na atmosfera da Terra. Sua formação e propagação na atmosfera dependem da pressão e temperatura atmosférica. Segundo Pomerantz & Duggal (1971) as variações diárias da radiação cósmica são causadas pelas variações atmosféricas. Assim, os efeitos da pressão e temperatura representam a principal interferência no estudo das variações de intensidade da radiação cósmica primária. Isso faz com que variações das massas de ar produzam variações no fluxo de raios cósmicos que entram nos detectores (Simpson et al., 1953; Dorman & Yanke, 1975). Devido a esse efeito o que se faz é uma correção dos efeitos atmosféricos (pressão e temperatura) nos dados de raios cósmicos (Kurguzova & Charakhchian, 1979). Esta correção, ou padronização, remove os efeitos atmosféricos (pressão e temperatura) através da equação:

$$\frac{\Delta I}{I} = \beta \Delta p + \int \alpha(h) \Delta T(h) dh \quad (1)$$

onde  $\Delta p$  é a variação da pressão atmosférica e  $\Delta T$  é a variação da temperatura em função da altitude  $h$ . O primeiro termo da equação representa o efeito barométrico, onde  $\beta$  é o coeficiente barométrico. O Segundo termo da equação representa os efeitos da temperatura, onde  $\alpha$  é coeficiente de temperatura que depende da altitude (Bercovitch, 1967).

Este trabalho apresenta um estudo da série temporal de muons (2006-2010) através da análise espectral pelo método da regressão iterativa a fim de verificar se a Eq. (1) esta realmente removendo os efeitos atmosféricos nos dados de muons.

## Método

Os dados utilizados da componente secundária da radiação cósmica (muons) foram medidos pelo telescópio cintilador de muons instalado em São Martinho da Serra – Brasil (29.3°S, 53.5°O, rigidez magnética de aproximadamente 14GV), no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE, financiado pela NSF - National Science Foundation dos Estados Unidos, através do Instituto Bartol (Newark), pela Universidade de Nagoya do Japão, e pelo governo brasileiro.

A série temporal de muons e pressão utilizada foi de 1 de dezembro de 2006 a 18 de setembro de 2010. Neste estudo foram utilizadas apenas as médias diárias dos dados brutos (Figura 1) e dos dados padronizados pela Eq. (1) (Figura 2) para as direções Vertical (V), Norte (N), Sul (S), Leste (L) e Oeste (O).

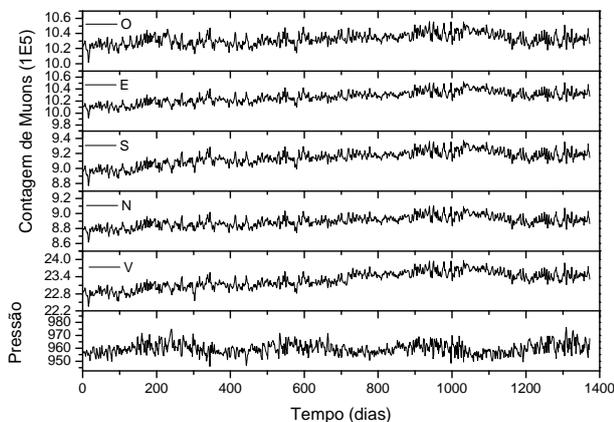


Figura 1 – Série temporal da média diária do detector de muon (dados não padronizados) para os canais V, N, S, L, O e pressão de 2006 a 2010.

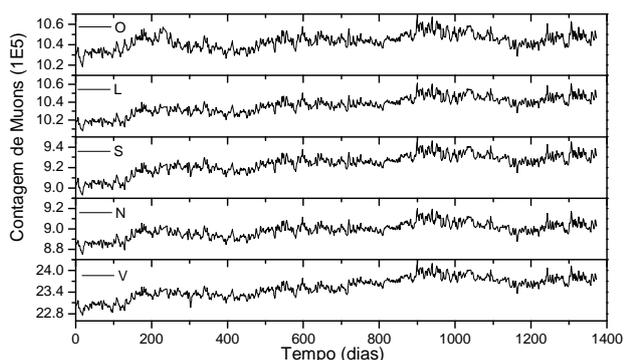


Figure 2 - Série temporal da média diária padronizada do detector de muon para os canais V, N, S, L, O, de 2006 a 2010.

Neste estudo foi utilizada a análise espectral pela regressão iterativa na procura de periodicidades presentes na série temporal dos muons e da pressão. O método da regressão iterativa usa uma simples função seno com três parâmetros desconhecidos:  $a_0$  = amplitude,  $a_1$  = frequência e  $a_2$  = fase (Wolberg, 1967; Rigozo et al., 2005). O ponto inicial do método é a definição da função condicional que é:

$$F = Y + a_0 \sin(a_1 t + a_2) \quad (2)$$

onde  $Y$  é o sinal (série temporal),  $t$  é o tempo e  $a_0$ ,  $a_1$  e  $a_2$  são os três parâmetros a serem determinados. O número máximo de interações usado para determinar os três parâmetros foi de 200 (Rigozo et al., 2005). Uma das vantagens deste método é que ele determina o desvio padrão de cada parâmetro. Isso permite a seleção das amplitudes mais importante (com níveis de confiança acima de 95% de confiabilidade), que representa valores maiores do que a razão amplitude/desvio padrão.

## Resultados

As series temporais de muons apresentam uma correlação alta entre os canais de 0.88 a 0.98 para os dados brutos e os dados padronizados. Isto é um indicio de que os canais estão respondendo da mesma maneira há possíveis variações caudas por fenômenos físicos. Assim, esperara-se que as análises espectrais de cada canal apresentem praticamente os mesmo resultados.

A Figura 3 apresenta o espectro de amplitude da série temporal da pressão atmosférica e dos muons para os canais V, N, S, L e O com os níveis de confiança 66% e 95%. Como esperado, os espectros de cada canal não apresentaram diferenças significativas.

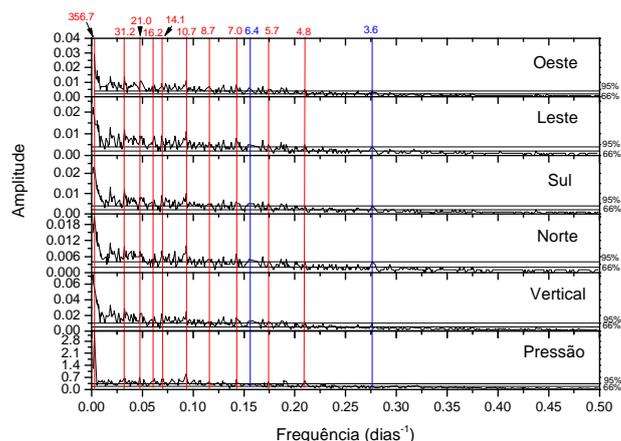


Figura 3 – espectro de amplitude dos dados de muons (não padronizados) e da pressão.

A Figura 4 apresenta o espectro de amplitude da série temporal, também, da pressão atmosférica e dos dados padronizados dos muons para os canais V, N, S, L e O com os níveis de confiança 66% e 95%. Aqui também não se observou diferenças significativas nos espectros de cada canal.

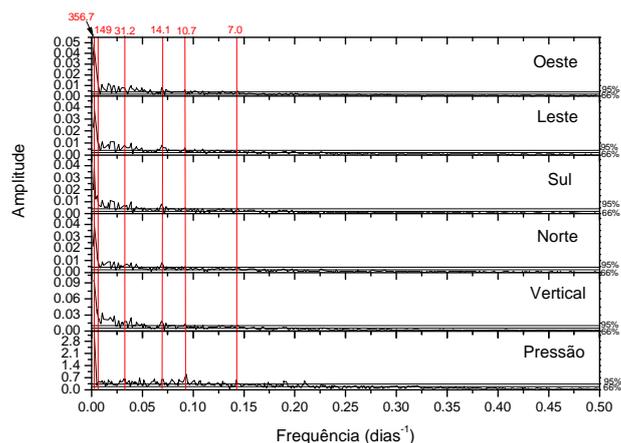


Figura 4 – espectro de amplitude dos dados de muons padronizados e da pressão.

A Figura 3 apresenta algumas periodicidades selecionadas (retas em vermelho e azul) para uma melhor visualização e discussão dos resultados encontrados. As periodicidades de 4.8, 5.7, 7.0, 8.7, 10.7,

14.1, 16.2, 21.0, 31.2, 149, 356.7 dias, salientadas pela reta em vermelho, representam as periodicidades encontradas na série temporal da pressão atmosférica, com nível de confiança acima de 95%, e que também estão presentes nos dados de muons (não padronizados) para todos os canais.

Os coeficientes de correlação ( $r$ ) da reconstrução dos sinais periódicos encontrados nas séries temporais da pressão atmosférica e dos dados de muons (para todos os canais) são apresentados na Tabela 1. Observa-se que as duas séries temporais apresentam uma correlação negativa, ou seja, quando aumenta a pressão atmosférica ocorre uma diminuição na detecção dos muons, para todos os canais. Isso só não correu para o período de 356.7 dias, no qual se observou uma correlação positiva para os canais. Uma hipótese para explicar essa correlação positiva entre a pressão atmosférica e os dados de muons é que essa variação anual da pressão é devida aos parâmetros orbitais (movimento de translação da Terra) e não atmosféricos.

Tabela 1 – Correlação das periodicidades da pressão atmosférica com os dados de muons (não padronizados) para os canais V, N, S, L e O.

Período (dias)	V	N	S	L	O
356.7	0.62	0.69	0.51	0.70	0.83
149	-0.93	-0.93	-0.92	-0.87	-0.74
31.2	-0.96	-0.83	-0.96	-0.96	-0.84
21.0	-0.86	-0.79	-0.83	-0.82	-0.84
16.2	-0.98	-0.98	-0.99	-0.92	-0.91
14.1	-0.80	-0.64	-0.79	-0.68	-0.70
10.7	-0.94	-0.83	-0.96	-0.98	-0.86
8.7	-0.97	-0.98	-0.99	-0.98	-0.96
7.0	-0.70	-0.98	-0.72	-0.77	-0.82
5.7	-0.98	-0.94	-0.96	-0.96	-0.98
4.8	-0.91	-0.73	-0.85	-0.79	-0.88

Já as periodicidades de 3.6 e 6.4 dias, salientadas pelas retas em azul, representam as periodicidades encontradas nos dados de muons, com nível de confiança acima de 95%, mas que não se observou na série temporal da pressão atmosférica com um nível significativo de confiança.

Comparando essas periodicidades encontradas nos dados não padronizados de muons (Figura 3) com as periodicidades encontradas nos dados padronizados de muons (Figura 4) observaram-se alguns aspectos diferentes entre eles:

1 – Fica claro que a padronização faz uma filtragem nos dados de muons, eliminando e “suavizando” algumas periodicidades;

2 – A eliminação dos efeitos da pressão atmosférica através da padronização dos dados de muons é realmente eficiente para períodos abaixo de 7 dias apenas;

3 – Das periodicidades maiores que 7 dias, apenas os período de 8.7, 16.2 e 21.0 foram eliminados com a padronização da pressão;

4 – As periodicidades de 3.6 e 6.4 dias, salientadas pelas retas em azul, que não correspondem às variações atmosféricas, foram eliminadas dos dados de muons para todos os canais. Isto implica que a padronização pode estar eliminando possíveis fenômenos físicos que não são efeitos atmosféricos.

Nossa proposta para tornar a eliminação dos efeitos da pressão atmosférica mais eficiente nos dados de muons é: 1 - Identificar todas as periodicidades que são devido a influência da pressão atmosférica; 2 - Reconstruir essa dependência (periodicidades) nos dados de muons; 3 – Subtrair essa reconstrução nas séries temporais de muons. Com isso teremos uma série temporal de muons mais purificada em relação aos efeitos da pressão atmosférica.

### Conclusões

Este trabalho apresentou um estudo dos efeitos da pressão atmosférica nas séries temporais do detector de muons através da análise espectral clássica utilizando método da regressão iterativa.

Foi observado que os períodos de 4.8, 5.7, 7.0, 8.7, 10.7, 14.1, 16.2, 21.0, 31.2, 149 e 356.7 dias pertencentes a pressão atmosférica estão presentes nos dados de muons, tanto na série de dados não padronizados quanto na série padronizada pela Eq.(1). Apenas o período de 356.7 dias apresenta uma correlação positiva entre as duas séries temporais, enquanto as periodicidades menores que 356.7 dias apresentam uma correlação negativa.

Também foi constatado que a Eq.(1) elimina eficientemente os efeitos da pressão atmosférica para períodos abaixo de 7 dias, apenas. Somente três periodicidades maiores que 7 dias foram eliminadas. Essa padronização pode estar eliminando outros sinais, que não são devidos aos efeitos da pressão atmosférica, como os períodos observados de 3.6 e 6.4 dias.

Para finalizar, foi apresentada uma proposta de estudo (mas que ainda não foi testada) para tomar a eliminação dos efeitos da pressão atmosférica mais eficiente nos dados de muons.

### Agradecimentos

Os autores agradecem o suporte financeiro a esta pesquisa: N. R. Rigozo - CNPq (APQ 470252/2009-0 e produtividade a pesquisa, 301033/2009-9). A. Dal Lago – CNPq (481368/2010-8 e 303798/2008-4).

### Referências

- Bercovitch M. 1967. Atmospheric Effects on Cosmic Ray Monitors. Proceedings of the 10th International Cosmic Ray Conference, Calgary, Canada, June 19-30, p. 269.
- Cane, H. V.: 2000. Coronal mass ejections and forbush decreases. *Space Science Reviews* 93: 55–77, 2000.
- Dorman Lli & Yanke VG. 1975. Development of the Theory of Meteorological Effects in Cosmic Rays. Proceedings from the 14th International Cosmic Ray Conference, München, Germany, 15-29 August, 1975. Volume 4 (MG Session and Pioneer Symposium), p. 1385.

Gosling, J. T., D. J. McComas, J. L. Phillips, & S. J. Bame, Geomagnetic activity associated with earth passage of interplanetary shock disturbances and coronal mass ejections, *J. Geophys. Res.*, 96, 7831-7838, 1991.

Gosling, J. T., S. J. Bame, D. J. McComas, & J. L. Phillips, Coronal mass ejections and large geomagnetic storms, *Geophys. Res. Lett.*, 17, 901-904, 1990.

Hoyt, D. V. & Schatten, K. H.: 1997, *The Role of the Sun in climate change*, Oxford University Press.

Kurguzova & Charakhchian, 1979

Pomerantz MA & Duggal SP. 1971. The cosmic ray solar diurnal anisotropy. *Space Science Reviews*, 12: 75–130.

Rigozo, N.R., Echer, E., Nordemann, D.J.R., Vieira, L.E.A., Faria, H.H., 2005. Comparative study between four classical spectral analysis methods. *Applied Mathematics and Computation* 168, 411–430.

Simpson JA, Fonger W & Treimant SB. 1953. Cosmic radiation intensity-time variations and their origin. I. Neutron intensity variation method and meteorological factors. *Physical Review*, 90(5): 934–950.

Wolberg, J.R., 1967. *Prediction Analysis*. D. Van Nostrand