

## Observação em Manaus (2,9<sup>0</sup> S; 60,0<sup>0</sup> W; dip. lat. 6,4 N) de uma Tempestade Magnética utilizando GPS (abril 2012).

Karyane Meazza<sup>1</sup>, Newton Silva de Lima<sup>1</sup>, Matheus da Rocha Pietzsch<sup>1</sup>, Felipe Céspedes<sup>1</sup>, Alan dos Santos Ferreira<sup>1</sup>, Kaio Barbosa<sup>1</sup> Verônica Zuim<sup>1</sup>.

1-Centro Universitário Luterano de Manaus-ULBRA;

Copyright 2012, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

*Este texto foi preparado para a apresentação no V Simpósio Brasileiro de Geofísica, Salvador, 27 a 29 de novembro de 2012. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do V 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

Monitoramento do ciclo solar #24, através de dados obtidos durante um período de mínima solar com ocorrência de tempestade magnética detectada através do sistema de posicionamento global (GPS) da rede de sensores ionosféricos nas regiões equatoriais e de baixa latitude pertencentes à LISN. Em Manaus (2,9<sup>0</sup> S; 60,0<sup>0</sup> W; dip. latitude 6,4 N). Utilizando os dados coletados pelo GPS foram calculados os valores de TEC (*Total Electron Content* – Conteúdo Eletrônico Total). Nesta pesquisa a tempestade magnética (Dst) foi melhor visualizada por transformada em Ondeletas. Os resultados mostraram que quando ocorre tempestade magnética por ejeção de massa coronal (CME – *Coronal Mass Ejection*) pode perturbar a rádio transmissão na rede GPS e causar danos na rede.

### Introdução

Para aprimorar o conhecimento científico dos processos solares e da magnetosfera, este estudo trabalha em cima de dados de TEC (conteúdo eletrônico total), durante um período de tempestade magnética registrada pela estação de Manaus, que faz parte da rede de sensores ionosféricos de baixa latitude da Universidade Luterana do Brasil (CEULM-ULBRA) e da Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP) que faz parte da rede LISN (*Low-Latitude Ionospheric Sensor Network*) de monitoramento. As ejeções de massa coronal consistem em bolhas de matéria (elétrons, prótons e íons) entrelaçados por campos magnéticos que são arremessados para o meio interplanetário durante várias horas. Algumas destas ejeções são voltadas em nossa direção e, quando essa matéria atinge a Terra, ela pode atrapalhar o funcionamento de satélites, confundir sistemas de navegação, interromper comunicações de longa distância e causar danos em geral a equipamentos elétricos e eletrônicos importantes para a sociedade (SILVA, 2006).

O estudo visa caracterizar o comportamento ionosférico na região, em função da sua morfologia, dinâmica e química. Na região equatorial onde se localiza a cidade de Manaus são encontrados maiores variações temporais e espaciais comparadas a outras regiões da esfera terrestre, além de números de elétrons presentes ao longo de um caminho entre dois pontos, com unidades de elétrons por metro quadrado, onde 10<sup>16</sup> elétrons / m<sup>2</sup> =

1TEC (TECU), o TEC é composto pelos elétrons livres da ionosfera, esses elétrons se tornam livres a partir do processo de fotoionização da ionosfera, que acontece pelo processo de absorção de radiação, predominante na faixa de ultravioleta e raios-X, por elementos atmosféricos neutros (KIRCHHOFF, 1991).

### Metodologia/ Problema Investigado

Conteúdo Eletrônico Total (CET)

O CET é definido (1) da densidade eletrônica ao longo do caminho percorrido pelo sinal entre o satélite S e o receptor R, numa coluna cilíndrica com seção transversal de área de 1m<sup>2</sup>.

$$TEC = \int_r^S n_e ds \quad (1)$$

O parâmetro ionosférico de conteúdo eletrônico total (TEC em inglês) é apresentado em unidades de TEC (TECU), onde um 1 TECU corresponde a 1x10<sup>16</sup> elétrons/m<sup>2</sup>. O principal motivo pelo qual o parâmetro TEC é intensamente estudado é o fato de este interferir diretamente no cálculo de posicionamento através do GPS.

Transforma em Ondelela

As funções *ondeletas* possuem a propriedade de dupla localização: em frequência e em tempo, com um compromisso entre elas. A localização temporal ocorre por ser a função *ondeleta* localizada em um intervalo finito. Dessa forma, à medida que a escala aumenta, as funções *ondeletas* dessas escalas ficam localizadas em intervalos de comprimento cada vez menores. Em cada nível de escala, todas as funções *ondeletas* possuem a mesma forma, só mudando seus pontos de localização.

A função de Morlet é uma ondeleta complexa, que fornece muitas informações sobre o sinal, tais como (Farge, 1992; Weng e Lau, 1994; Lau e Weng, 1995):

- i) o módulo  $L^2$  mostra a densidade de energia;
- ii) a fase em cada instante;
- iii) a parte real dos coeficientes das ondeletas.

A função ondeleta de Morlet tem a seguinte forma:

$$\Psi(t) = e^{ikt} \cdot e^{-t^2/2}$$

$\Psi(t)$  = ondeleta mãe

$$k=5$$

$i$  = número de interações desejadas

$t$  = tempo

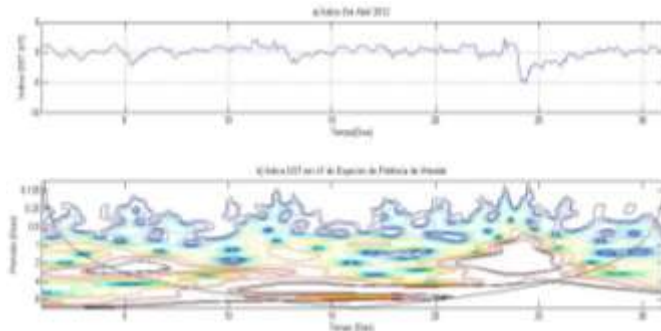
Por transformação contínua a mesma irá retornar informações sobre amplitude e fase e é mais bem adaptada para captar o comportamento oscilatório de um sinal não estacionário, portanto, a função pode combinar picos positivos e negativos em um único pico largo, se tornando mais ampla das demais dentro do espectro de potência. (Bolzan e Vieira, 2006).

Foi utilizado um receptor GPS (NovAtel), para coleta de dados (TEC), que foram tratados no *software* FEDORA (LINUX) para construção dos gráficos de TEC, posteriormente os dados foram processados no *software* MATLAB para construção dos gráficos em Transformada em Ondeletas. Para identificação e caracterização da Tempestade Magnética ( Disturbance Storm Time -*Dst*).

### Resultados

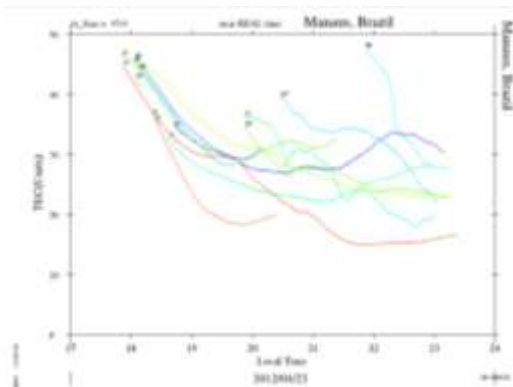
A Figura 1 apresenta o nível de significância do espectro de potência, através da transformação em ondeleta contínua dos dados, visto o grau percentual de relevância no cone de influência entre os dias 21 e 27 (eixo das abscissas) que ocorre período de grande relevância de *Dst*, bem localizado na série temporal.

**Figura 1-** Espectro de Potência de Ondeleta do índice *Dst*.

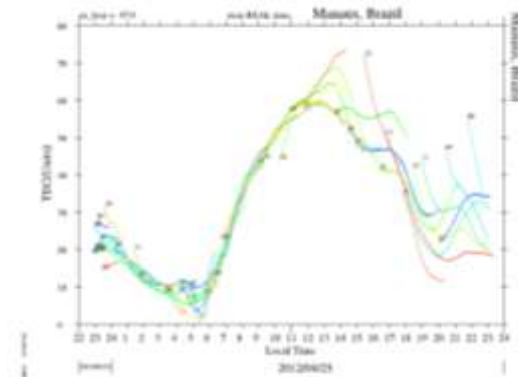


As figuras 2 e 3, apresentam os valores de TEC nos dias 23 e 24 de abril de 2012 respectivamente, onde foi detectado um distúrbio no sinal de GPS.

**Figura 2-** Detalhe do TEC do dia 23/04/2012.



**Figura 3-** Gráfico do TEC no dia 24/04/2012.



### Discussão e Conclusões

No dia 23 de abril de 2012 ocorreu uma irregularidade ionosférica de grande amplitude, que serviu para comprovar a eficácia em visualizar tal fenômeno na estação de Manaus.

Na figura 2 pode-se visualizar uma interferência no TEC, devido provavelmente a tempestade magnética que começou às 16:00 HL do dia 23.

Além de ter influência direta nos valores de TEC, as tempestades são melhores visualizadas utilizando a transformada em Ondeletas de Morlet, que mostrou tal fenômeno geofísico, devido à eficiência na verificação das mudanças de amplitude e de fase, tendo em vista, que ajuda a capturar o comportamento oscilatório do sinal não-estacionário.

Em estudos posteriores poderá ser usada esta ferramenta com melhor adaptação para análises de sinais.

### Agradecimentos

Gostaríamos de demonstrar nosso reconhecimento ao Dr. Maurício Bolzan (UFGO) pelas informações valiosas de Transformada em Ondeletas, aos Drs. Paulo R. Fagundes, Y. Sahai, Valdir Pillat e Ricardo Abalde todos da UNIVAP (SJC-SP), pelo suporte da pesquisa, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM, ao Centro Universitário Luterano de Manaus (ULBRA Manaus) e Ulbra (Canoas-RS).

### Referências

**Bolzan, M. J. A. e Vieira, P. C.** Wavelet Analysis of the Wind Velocity and Temperature Variability in the Amazon Forest. *Brazilian Journal of Physics*, v. 36, n. 4A, 2006.

**FARGE, M.** wavelet transform and their applications to turbulence. Annual Review of Fluid Mechanics, v. 24, p. 395–457, 1992.

**KIRCHHOFF, V.W.J.H.** Introdução à geofísica espacial. São Paulo: Nova Stella, Ed.USP/FAPESP, 1991.149p.

**LAU, K.-M.; WENG, H.** Climate signal detection using wavelet transform: How to make a time series sing. Bulletin of the American Meteorological Society, v. 76, n. 12, p. 2391–2402, 1995.  
(A Practical Guide to Wavelet Analysis).

**SILVA, A. V. R. 2006.** Nossa estrela: O Sol, Sociedade Brasileira de Física, Ed. Liv. da Física, São Paulo. 168 p.

**WENG, H.-Y.; LAU, K.-M.** Wavelet, period-doubling and time frequency localization with application organization of convection over the tropical western Pacific. Journal of Atmospheric Science, v. 51, n. 17, p. 2523–2541, 1994