

ESTUDO DO COMPORTAMENTO DA IONOSFERA EM REGIÕES TROPICAIS DURANTE PERÍODOS GEOMAGNETICAMENTE PERTURBADOS

Diogo Akira Wakabayashi¹, Paulo Roberto Fagundes²

Universidade do Vale do Paraíba/ Departamento de Física e Astronomia, Avenida Shishima Hifumi, 2911 Urbanova, São José dos Campos, CEP 12244-000

¹Bolsista, CNPq (diakira@gmail.com)

²Orientador (fagundes@univap.br)

Resumo - Neste estudo investiga-se o comportamento da região F ionosférica durante a tempestade geomagnética que ocorreu entre 21-24 de julho de 2009 (atividade solar mínima). Os dados ionosféricos utilizados neste estudo foram obtidos através de sondagem ionosférica (ionossonda digital) em três estações: Jicamarca (12.0° S, 76.8° O), Peru e Palmas (10.2° S, 48.2° O) e São José dos Campos (23.2° S, 45.9° O), Brasil. Para caracterizar esta tempestade, utilizam-se índices geomagnéticos (Kp, Dst e AE) e dados do meio interplanetário (Vp, Np, Bz). Através destes dados geomagnéticos pode-se caracterizar a tempestade geomagnética como uma tempestade moderada, mas que provocou mudanças principalmente em baixas latitudes.

Palavras-chave: Ionosfera, Região F, Ionossonda, Tempestade Geomagnética.

Área do Conhecimento: Ciências Exatas e da Terra.

Introdução

O índice Dst (*Disturbance Storm Time Index*) é um dos índices geomagnéticos que auxiliam na classificação e caracterização das tempestades geomagnéticas. As tempestades podem ser classificadas da seguinte forma: muito intensas $Dst < -250$ nT, intensas $-250 < Dst < -100$, moderadas $-100 < Dst < -50$ e fracas $-50 < Dst < -30$. O índice Dst é obtido utilizando-se observações geomagnéticas em Hermanus – África do Sul (34,40° S), Kakiota – Japão (36,23° N), Honolulu – Hawái (21,32° N) e San Juan – Porto Rico (18,38° N). Outros índices geomagnéticos auxiliam na caracterização de um determinado período geomagneticamente perturbado, tais como Kp e AE. O índice planetário (Kp) indica o grau de perturbação do campo magnético terrestre global, e é obtido utilizando-se observações realizadas em 13 observatórios distribuídos ao redor da Terra. Por outro lado, o índice AE (Auroral Electrojet) indica a atividade geomagnética na região auroral (Campbell, 1997).

A caracterização da resposta ionosférica a perturbações geomagnéticas causadas por ejeção de massa coronal ou *solar flare* necessita de alguns parâmetros do meio interplanetário para melhor caracterizar um determinado evento. Estes parâmetros são: componente vertical do campo magnético interplanetário (Bz), velocidade do vento solar (Vp) e densidade de partículas (Np). Durante eventos do tipo ejeção de massa coronal o Sol libera plasma (principalmente prótons e elétrons) e este plasma pode atingir a Terra e sob

certas circunstâncias a interação entre plasma de origem solar com a magnetosfera terrestre pode gerar tempestades geomagnéticas, causando assim perturbações no campo magnético terrestre (da Silva, 2006).

Geralmente uma tempestade geomagnética possui três fases: inicial, principal e fase de recuperação. Na fase inicial, a magnetosfera é comprimida pelo plasma liberado do Sol. A fase principal da tempestade se caracteriza pelo decréscimo rápido do Dst indo para valores negativos. Na fase de recuperação, o campo magnético terrestre retorna lentamente para o estado não perturbado (Schunk; Nagy, 2000). Durante os períodos perturbados a ionosfera em baixas latitudes pode ser severamente perturbada pela penetração de campos elétricos e por distúrbios ionosféricos viajantes (TIDs, ondas com comprimento de onda horizontal grande e velocidade de propagação horizontal da ordem de 200 a 300 m/s).

Neste trabalho serão apresentadas e discutidas as observações ionosféricas realizadas na América do Sul (Jicamarca (12.0° S, 76.8° O; dip latitude 0.05° S), Peru, Palmas (10.2° S, 48.2° O; dip latitude 5.7° S) e São José dos Campos (23.2° S, 45.9° O; dip latitude 17.6° S), Brasil) (Figura 1), durante o período de 21-24 de julho de 2009, quando ocorreu uma tempestade moderada.

Mapa das localizações das estações de sondagem ionosférica

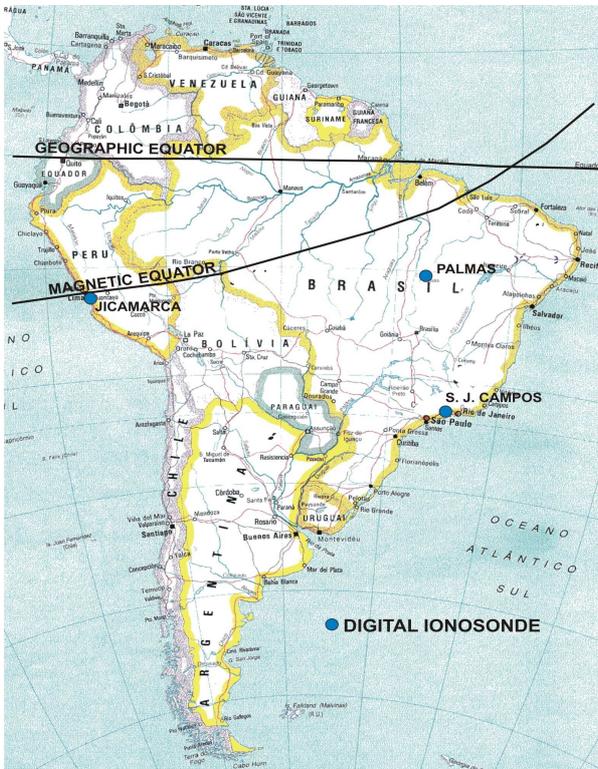


Figura 1 – Mapa com as localizações das estações de sondagem ionosféricas de Jicamarca, Palmas e São José dos Campos.

Metodologia e Resultados

Os dados ionosféricos utilizados neste estudo correspondem ao período geomagneticamente perturbado de 21 a 24 de julho de 2009, com início da tempestade efetivamente no dia 22. Os índices geomagnéticos (Dst, Kp e AE) e do meio interplanetário (Vp, Np e Bz) são apresentados na Figura 2. Note que o vento solar (Vp) teve seu valor incrementado lentamente até atingir a velocidade de 600 km/s em 24 de Julho de 2009 (fase de recuperação), mas o número de partículas apresentou uma rápida variação durante a fase principal da tempestade geomagnética. A componente vertical do campo magnético interplanetário estava para o sul durante o SSC (*sudden storm commencement*) e ainda durante a fase principal reverteu para norte e depois de aproximadamente 2 horas retornou para a direção sul. Os índices geomagnéticos (Dst, Kp e AE) indicam claramente uma perturbação causada pela atividade solar que atingiu a Terra às 3:49 UT do dia 22 de Julho de 2009.

Índices Geomagnéticos e Dados Interplanetário

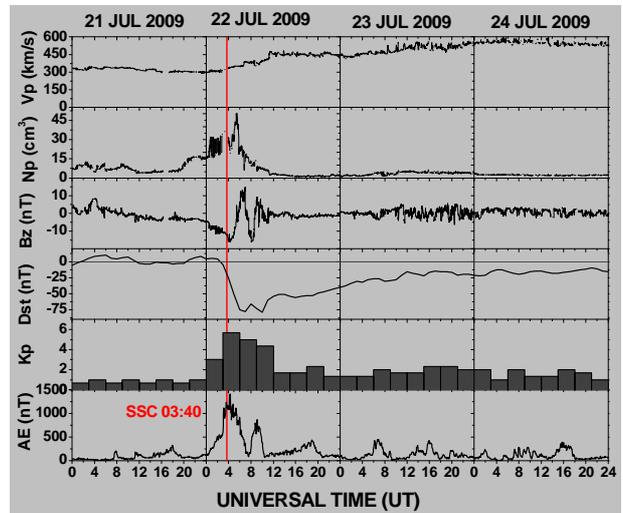


Figura 2 – Variação da velocidade do vento solar (Vp), do número de prótons (Np), da componente vertical do campo magnético interplanetário (Bz) e os índices geomagnéticos Dst, Kp e AE durante o período entre 21 e 24 de julho de 2009. A linha vermelha indica o horário do início súbito da tempestade. Os dados do meio interplanetário (Vp, Np, Bz), foram obtidos pelo satélite *Advanced Composition Explorer* (ACE) <http://www.srl.caltech.edu/ACE/>. Os índices geomagnéticos (Kp, Dst e AE) foram obtidos através do *World Data Center for Geomagnetism*, em Kyoto <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/wdc/Sec3.html>.

O objetivo deste trabalho é estudar a resposta ionosférica a tempestade geomagnética e, portanto, faremos uso dos parâmetros ionosféricos foF2 e h'F, para descrever as alterações. Também utilizaremos observações realizadas durante dias calmos como referência para estudar as alterações durante o período perturbado. Os parâmetros ionosféricos podem ser extraídos dos ionogramas (espectro de frequência em função da altitude) (Figura 3). O primeiro parâmetro é a altura mínima (h'F) e se localiza onde ocorreu a primeira reflexão na camada F. O segundo parâmetro é a frequência crítica (foF2) e se localiza onde ocorreu a última reflexão do traço ordinário. Finalmente uma aproximação da altura do pico da camada F (hpF2), é obtida como sendo a altura onde ocorre a seguinte relação $0,834 \times \text{foF2}$ (Freitas, 2007).

Ionograma

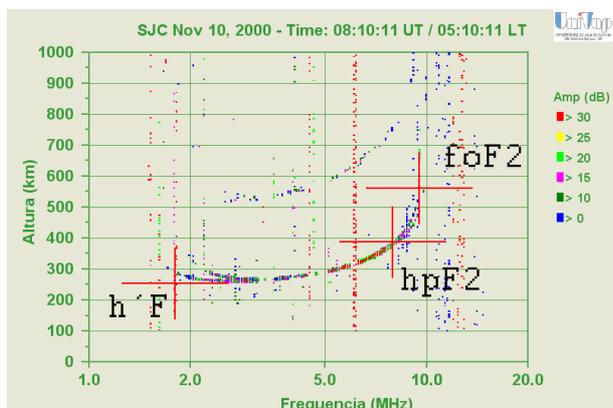


Figura 3 – Exemplo de ionograma, com indicação da altura mínima virtual da camada ($h'F$), frequência máxima ou crítica ($foF2$) e altura no pico da densidade da camada F ($hpF2$).

A Figura 4 apresenta a variação diurna da frequência crítica ($foF2$) durante o período geomagneticamente perturbado (linha vermelha), a banda cinza escura apresenta o comportamento da ionosfera durante os dias calmos onde os limites superiores e inferiores da banda são dados por média + desvio padrão e média - desvio padrão, respectivamente. O comportamento de $foF2$ em JIC (equador magnético - dip latitude 0.05° S) não foi severamente perturbado pela tempestade geomagnética. Por outro lado, PAL (próxima à região equatorial - dip latitude 5.7° S) mostrou uma variação ondulatória com 2 picos acentuados durante as primeiras horas da fase de recuperação. O comportamento de $foF2$ nos outros dias da fase de recuperação mostrou oscilações com uma amplitude menor. A maior perturbação foi observada em baixas latitudes (SJC - dip latitude 17.6° S), durante toda a fase de recuperação pode-se notar oscilações com amplitudes que superaram o comportamento da ionosfera calma.

De maneira análoga a Figura 4, a Figura 5 apresenta a variação diurna da altura da base da camada F ($h'F$). O comportamento da $h'F$ em JIC também não sofreu grandes alterações durante a tempestade geomagnética. Já para PAL, pode-se observar um pico acentuado do $h'F$ durante o começo da fase de recuperação e para os outros dias apresentam alturas superiores em torno das 12:00 ~ 16:00 UT em relação ao comportamento da ionosfera calma. O comportamento com mais variações ocorreu em SJC, que apresenta oscilações superiores ao comportamento da ionosfera calma durante toda a fase de recuperação.

Parâmetro Ionosférico $foF2$

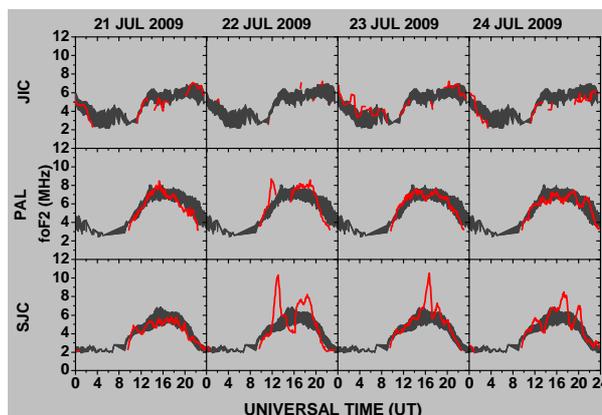


Figura 4 – Variação diurna do $foF2$ durante o período de 21 a 24 de Julho, obtido em Jicamarca, Palmas e São José dos Campos.

Parâmetro Ionosférico $h'F$

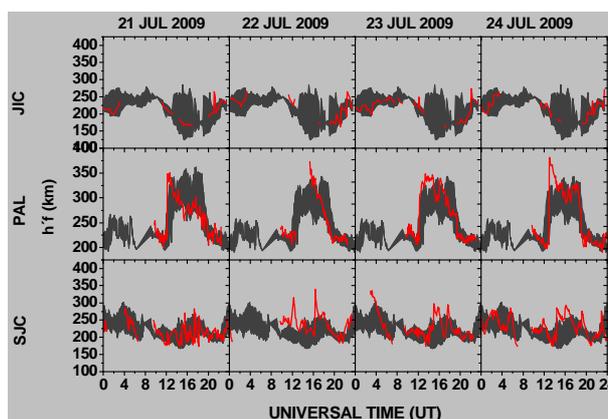


Figura 5 – Variação diurna do $h'F$ durante o período de 21 a 24 de Julho, obtido em Jicamarca, Palmas e São José dos Campos.

Discussões e Conclusões

Neste estudo, pode se notar que a ionosfera durante o mínimo solar, sofreu alterações durante uma tempestade geomagnética moderada. A tempestade geomagnética que está sendo analisada ocorreu recentemente e ainda não existem publicações para o mesmo evento. Portanto, uma comparação da resposta ionosférica utilizando outros instrumentos (GPS e radares) ou outros setores (Japonês, Asiático e Africano) ainda não pode ser realizada. Jesus et al., (2010) publicou recentemente um artigo com evento que ocorreu em 14 de dezembro de 2006 (atividade solar mínima), eles notaram fortes oscilações que foram devidas a propagação de distúrbios ionosférico viajantes (TIDs) que foram gerados em altas latitudes, por aquecimento Joule na região Auroral.

Possivelmente para essa tempestade geomagnética de julho de 2009, as oscilações observadas na frequência crítica (foF2) em baixas latitudes (SJC) e região próxima ao equador magnético (PAL) sejam causadas pela propagação de distúrbios ionosférico viajantes (TIDs). Estes distúrbios provavelmente foram gerados em altas latitudes e propagam-se até baixas latitudes e região equatorial (Abreu et al., 2010 e Jesus et al., 2010). Em um futuro trabalho pretende-se analisar dados de medias e altas latitudes para determinar as características de propagação da TID que o presente trabalho sugere.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro ao CNPq pela bolsa de iniciação científica: processo 118531/2010-7.

Referências

- Campbell, W. H. Introduction to Geomagnetic Fields, Cambridge University Press, USA, 1997.
- da Silva, A. V. R., Nossa Estrela: Sol. 1º ed., São Paulo, Editora Livraria da Física, 2006.
- Schunk, R.W., Nagy, A.F. Ionospheres: Physics Plasma Physics and Chemistry. Cambridge University Press, USA, 2000.
- Tomas Ferreira de Freitas, Determinação da densidade eletrônica no pico da camada F ionosférica utilizando as imagens na emissão do OI-777,4 nm. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física e Astronomia da Universidade do Vale do Paraíba, 2007.
- de Abreu, A.J., Fagundes, P.R., Sahai, Y., de Jesus, R., Bittencourt, J.A., Brunini, C., Gende, M., Pillat, V.G., Lima, W.L.C., Abalde, J.R., and Pimenta, A.A.. Hemispheric asymmetries in the ionospheric response observed in the American sector during an intense geomagnetic storm. JGR 2010 (in press).
- de Jesus, R., Sahai, Y., Guarnieri, F.L., Fagundes, P.R., de Abreu, A.J., Becker-Guedes, F., Brunini, C., Gende, M., Cintra, T.M.F., de Souza, V.A., Pillat, V.G., and Lima, W.L.C.. Effects observed in the ionospheric F-region in the South American sector during the intense geomagnetic storm of 14 December 2006. 46(7), 909-920, ASR, 2010.