

Efeito do Fluxo Solar (F10.7) na deriva vertical pré-reversão da ionosfera equatorial no setor brasileiro

Santos, A.M.¹, Abdu M. A.¹, Nogueira, P. A. B.¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - S. J. Campos - SP

Copyright 2009, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, August 24-28, 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11th 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

This study presents an analysis of the evening F-region prereversal vertical drift variation over Brazil as a function of the solar flux (F10.7). The vertical drift is determined using true heights data obtained from ionograms recorded by digisondes operated at in São Luis and Fortaleza. Data collected from October to December in the solar minimum years of 2006 and 2007 were used in the analysis. The results show that for both São Luis and Fortaleza the evening vertical drift presents significant dependence on solar flux variation, i.e., the vertical drift increases with the increase in solar flux.

Introdução

A ionosfera, por definição, é uma região ionizada da atmosfera superior onde há concentração suficiente de elétrons e íons para influenciar a propagação de ondas de rádio. Ela estende-se aproximadamente entre ~ 60km à 1000km de altura. Sua ionização advém, principalmente, da fotoionização dos componentes neutros atmosféricos promovidos pela radiação solar (raios X e EUV). Ela pode ser classificada em 3 regiões/camadas, D, E e F, situadas em alturas diferentes que são caracterizadas pelo perfil de distribuição dos elétrons livres ou simplesmente densidade eletrônica. O objeto deste estudo será a região F. Este trabalho visa estudar a velocidade de deriva vertical do plasma da camada F nas horas de entardecer, baseada em dados obtidos por sondagem ionosférica, utilizando para isso as digissondas de superfície, DGS 256 em São Luís – MA(2°3'S, 44°7'O) e DPS 4 em Fortaleza - CE(3.8°S, 38°45'O,). Os dados analisados correspondem aos meses de outubro novembro e dezembro de 2006 e 2007, uma época de atividade mínima solar. Os dados de sondagem ionosféricas foram pré-processados pelo software ARTIST (*Automatic Real Time Ionogram Scaler with Trueheight*) e depois manualmente editados através de uso do software SAO-Explorer (*Standard Archive Output Format*). A deriva vertical da camada F é produzida pela interação do plasma com o campo elétrico zonal e o campo magnético da terra que é horizontal e dirigido para norte, e pode variar sua intensidade de acordo com o fluxo solar, fato

observado principalmente nas horas de entardecer e noturnas. Este campo elétrico que durante as horas do dia é dirigido para leste, sofre uma intensificação no horário do pôr-do-sol antes da sua inversão para oeste, denominado intensificação de pré-inversão, que combinado com o campo magnético causa uma brusca subida da camada F para alturas superiores na região do equador. Devido aos gradientes de pressão e o efeito gravitacional, esta subida do plasma resulta na sua difusão para as regiões de baixa latitude ($\pm 20^\circ$), levando também ao desenvolvimento de irregularidades das bolhas de plasma, conhecido como *Spread-F*.

Nos dados em estudo, o pico pré-inversão da deriva foi observado próximo as 2130 UT (1830 LT) e é representado nas figuras por Vz.

Metodologia

A deriva vertical foi calculada a partir dos dados fornecidos pelos ionogramas - registros obtidos pelos sondadores ionosféricos - na qual é fornecida a altura da camada em função da frequência de sondagem, como mostra a figura 1:

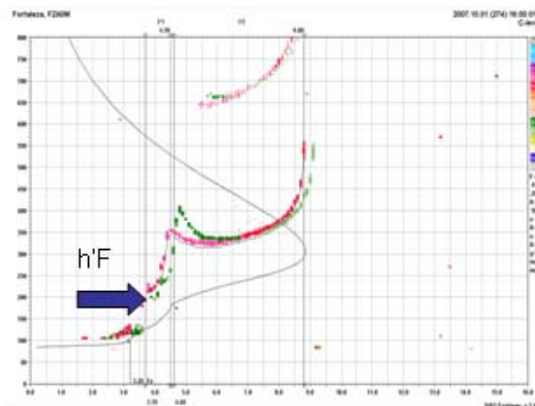


Figura 1: Exemplo de um ionograma de Fortaleza mostrando a altura da camada h'F.

A deriva vertical foi calculada da seguinte maneira:

$$V_z = \frac{dhF}{dt}$$

Onde hF é a altura da camada calculada neste análise para as frequências de 5 e 6 MHz. A altura hF foi calculada a partir de ionogramas registrados com 10 ou 15 minutos de resolução. para um determinado instante de tempo. A figura 2 mostra um exemplo da altura em função do tempo para esses dois valores de frequência.

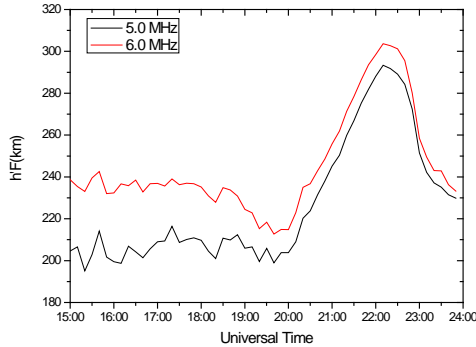


Figura 2. Altura da camada F para 5 e 6 MHz.

Segundo Bittencourt e Abdu (1981), o cálculo de deriva vertical só é válida para valores próximos ou superiores a 300 km, que geralmente ocorre nos horários do pico pré-inversão.

Resultados

Como a ionosfera é um meio eletricamente ativo, isso faz com que ocorra um grande número de processos dinâmicos e eletrodinâmicos. Uma das consequências disso é o transporte de volumes ionizados por ventos ou por efeitos difusivos e também, a movimentação dos íons/elétrons com origens nas interações deles com o campo elétrico e geomagnético. Essa movimentação é denominada de deriva eletromagnética.

As medidas de deriva apresentadas abaixo, foram calculadas efetuando-se o cálculo da velocidade vertical com o uso de alturas reais referentes às frequências de 5 e 6 MHz, como explicado anteriormente.

A seguir serão apresentadas as derivas calculadas para São Luis e Fortaleza, respectivamente. O estudo se restringiu aos meses de outubro, novembro e dezembro dos anos de 2006 e 2007, na qual os valores de F10.7 variaram de 65 a 100, e portanto representa uma época de atividade solar mínima.

Na figura 3, nota-se uma variação da deriva (painel abaixo) bem como a variação F10.7 (painel acima), ambas em função do dia juliano. As oscilações notadas na deriva pode ser resultado das oscilações em ventos termosféricos ou perturbações em campos elétricos devido a atividade magnética.

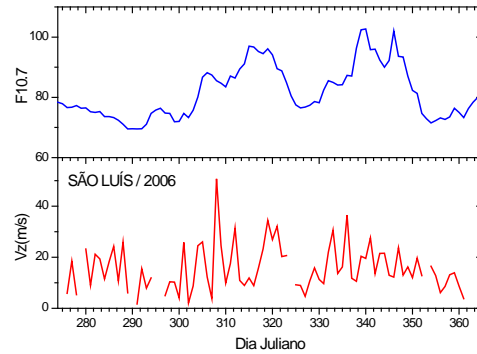


Figura 3. Deriva vertical noturna, com F10.7 variando de 70 a 110.

A partir deste resultado foi feito um ajuste linear para se observar como a deriva vertical da camada F varia em função do fluxo solar (figura 4).

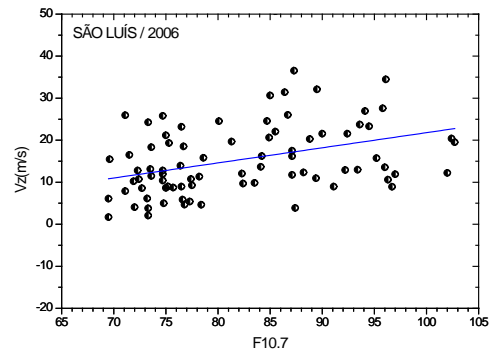


Figura 4. Pico da deriva vertical sobre São Luis em função do fluxo solar.

As figuras 5 e 6 mostram a mesma análise anterior, mas agora para Fortaleza. Os resultados desta análise também apontam para uma dependência da deriva vertical com o fluxo solar.

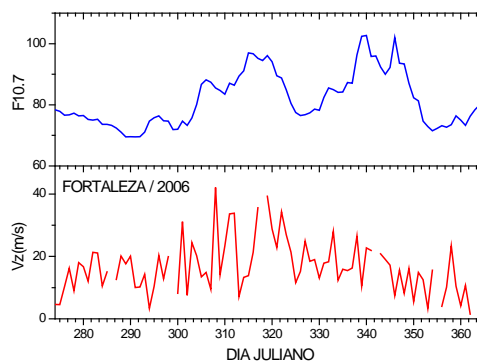


Figura 5. Similar a figura 3, mas para Fortaleza.

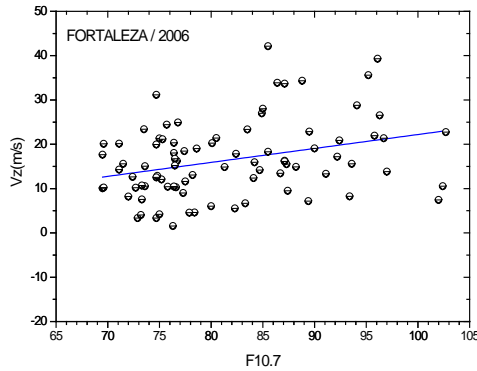


Figura 6. Similar a figura 4, mas para Fortaleza.

As figuras 7 e 8 apresentam os resultados de Fortaleza para o ano de 2007. A mesma análise não foi feita para São Luís devido à falta de dados nos meses de interesse.

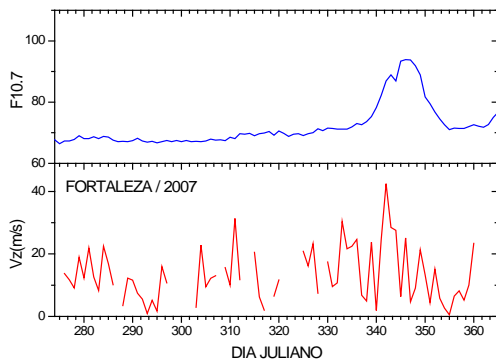


Figura 7. Deriva vertical noturna, para Fortaleza / 2007, com F10.7 variando de 70 a 110.

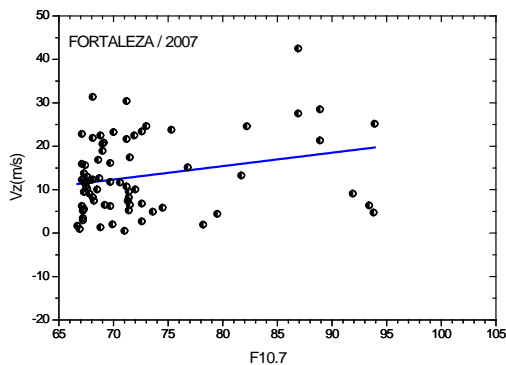


Figura 8. Pico da deriva vertical em função do fluxo solar para Fortaleza / 2007.

De uma maneira geral, nota-se que a estatística feita para a amplitude do pico de pré-inversão da deriva mostra que a mesma varia entre 10 e 20 m/s. Já num

estudo feito por Abdu et al (2008), para os anos de 2001 e 2004, com F10.7 variando entre 70 a 245, esse pico varia entre 40 a 60 m/s. A partir desses valores, pode-se notar como o fluxo solar pode influenciar na deriva vertical.

Por fim, as figuras 9 e 10 mostram uma comparação entre o ajuste linear da deriva vertical em função de F10.7. Na figura 9, percebe-se que à medida que o fluxo aumenta, os valores de deriva entre São Luís e Fortaleza se aproximam cada vez mais. Já na figura 10, na qual os valores de F10.7 chegam a 300, a velocidade entre essas duas estações se encontram e logo após se distanciam, sendo cada vez mais inferior para Fortaleza. Esse fato pode estar associado a inclinação magnética e também o vento meridional sob Fortaleza.

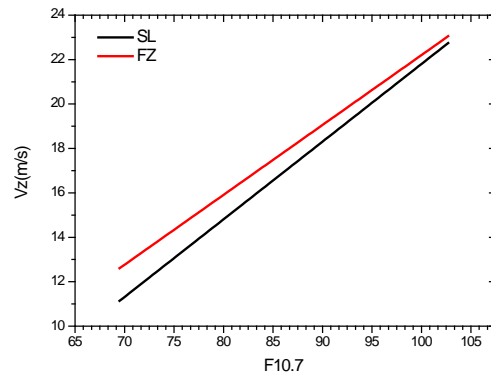


Figura 9. Comparação entre os ajustes lineares feitos para São Luís e Fortaleza com fluxo solar variando entre 70 a 105

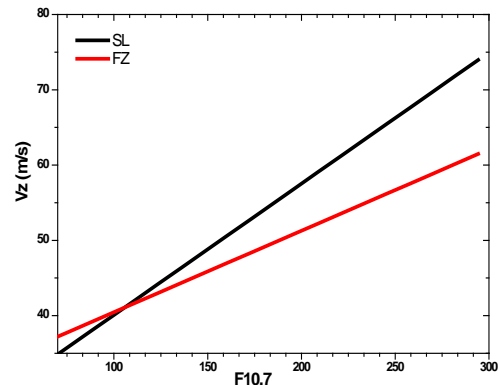


Figura 10. Comparação entre os ajustes lineares feitos para São Luís e Fortaleza com fluxo solar variando entre 75 a 300. Fonte: Abdu et al, 2008.

Conclusões

Este trabalho mostrou a dependência da deriva vertical com o fluxo solar. Pode-se perceber pelas figuras, que a amplitude deste pico aumenta com o fluxo solar, no entanto é menos intenso quando comparadas com o um

estudo feito por Abdu et al (2008), na qual F10.7 atinge valores superiores a $100(\text{W}/\text{m}^2\text{Hz}^{-1})$. As oscilações da deriva vertical, além da variabilidade do fluxo solar, podem ser devido também a propagação de ondas planetárias (Abdu et al., 2006a), penetração de campos elétricos (Sastri et al., 1997), campos elétricos do dínamo perturbado, bem como a ação dos ventos.

Agradecimentos

A autora gostaria de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pela sua bolsa de mestrado (Processo nº 135572/2008-8), e também a Maria Goreti dos Santos Aquino e aos alunos Paulo Alexandre Bronzato Nogueira e Lucas Rodrigues pela redução de alguns dados utilizados neste trabalho.

Referências

- Abdu, M. A., Batista, I.S., Brum, C.G.M., MacDougall, J.W., Souza, J.R., e Sobral, J.H.A., Solar flux effects on the equatorial vertical drift and meridional winds over Brazil: A comparison between observational data and the IRI model and the HWM representations.
- Abdu, M. A., P. P. Batista, I. S. Batista, C. G. M. Brum, A. J. Carrasco, and B. W. Reinisch, 2006a, Planetary wave oscillations in mesospheric winds, equatorial evening prereversal electric field and spread F, 33, L07107, doi:10.1029/2005GL024837, 2006a,
- Bittencourt, J. A.; Abdu, M. A. Theoretical comparison between apparent and real vertical ionization drift velocities in the equatorial F region. *Journal of Geophysical Research*, v. 86, n. A4, p. 2451-2454, 1981.
- Sastri, J.H., Abdu, M. A., Batista, I. S., and Sobral, J.H.A. Onset conditions of equatorial (range) spread F at Fortaleza, Brazil, during the June solstice. *J. Geophys. Res.*, 102(A11):24013-24021, 1997.