



DERIVAS IONOSFÉRICAS VERTICAIS: COMPARAÇÃO ENTRE IONOSSONDA DIGITAL E RADAR DE ESPALHAMENTO INCOERENTE

Bertoni, F. C. P.; Batista, I. S.; Abdu, M. A.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Resumo

Medidas de velocidades de derivas ionosféricas obtidas por meio da ionossonda digital DGS256, na localidade de São Luís (2,3°S; 44°O), foram comparadas com aquelas geradas pelo radar de espalhamento incoerente de Jicamarca (12°S; 76,9°O). Esses resultados foram discutidos, procurando-se hipóteses que explicassem o comportamento das curvas.

INTRODUÇÃO

Os constituintes do plasma ionosférico sob ação do campo geomagnético e de campos elétricos de polarização, sofrem deriva eletromagnética. Os campos elétricos de polarização são criados nas regiões E e F, pelos processos de dínamo atmosférico. Esses mesmos campos elétricos são capazes de gerar, em determinadas circunstâncias, fenômenos denominados como irregularidades de plasma. As irregularidades de plasma podem exercer, dependendo de suas dimensões, influência sobre as ondas eletromagnéticas que atravessam a ionosfera.

Os estudos de derivas ionosféricas e, mais especificamente, derivas eletromagnéticas, visam conhecer melhor o comportamento de campos elétricos. A velocidade de deriva eletromagnética pode ser expressa, em uma primeira aproximação por

$$\vec{v} = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{B^2}$$

onde \vec{E} e \vec{B} , representam respectivamente o campo elétrico de polarização e o campo geomagnético. Dessa expressão, podemos perceber que não há dependência da velocidade de deriva em função da carga da partícula, portanto, íons e elétrons movem-se na mesma direção e sentido.

Na região equatorial magnética, o campo magnético é horizontal e dirigido para norte. Portanto, campos elétricos verticais dirigidos para baixo (para cima), induzem derivas zonais com direção horizontal e sentido apontando para leste (oeste). Campos elétricos zonais para leste (oeste) induzem derivas verticais ascendentes (descendentes).

Diversas técnicas têm sido utilizadas para estudar as derivas ionosféricas. Por exemplo, radares de espalhamento incoerente (Woodman e Hagfors, 1969; Woodman, 1970 e 1972; Fejer et al., 1991), ionossondas digitais (Reinisch, 1986; Reinisch et al., 1989; Scali et al., 1995; Grant et al., 1995), sondas a bordo de satélites (Coley e Heelis, 1989; Maynard et al., 1988).

INSTRUMENTAÇÃO

Os radares de espalhamento incoerente utilizam o princípio de espalhamento Thomson. Em várias localidades do globo, têm se mostrado como uma boa alternativa na medição de velocidades de deriva ionosférica. Entretanto ainda assim, são instrumentos de elevados custos de instalação, manutenção e funcionamento, daí não haverem tantos desses instrumentos efetivamente em operação.

No Rádio Observatório de Jicamarca (12°S; 76,9°O; dip 2°), no Peru, vêm sendo efetuadas medidas de derivas ionosféricas há mais de 30 anos com um radar de espalhamento incoerente que opera com frequência de 50MHz. As curvas médias de deriva ionosférica do radar de Jicamarca têm sido aceitas como um bom parâmetro de comparação com resultados obtidos a partir de outros instrumentos para regiões de baixas latitudes. Diante disso, neste trabalho foram comparadas justamente as curvas de derivas verticais e zonais do radar de Jicamarca levantadas por Fejer et al. (1991) com as curvas obtidas por meio da ionossonda digital DGS256 instalada em São Luís.

As ionossondas digitais são instrumentos relativamente novos e utilizam o princípio de reflexão de pulsos eletromagnéticos que varrem uma faixa de 1 a 20MHz para sondagens de ionogramas. Juntamente com a técnica de interferometria de deslocamento Doppler em frequência dos ecos recebidos na linha de visada, efetua as sondagens de deriva (Reinisch, 1986 e Reinisch et al., 1989). Devido à utilização de tal técnica, bem como à utilização do princípio de reflexão dos pulsos eletromagnéticos pelo plasma ionosférico, as medidas de derivas ionosféricas efetuadas pela DGS256 (ou por qualquer outra ionossonda digital), contêm em si, todas as contribuições de ventos neutros, difusão, forças gravitacionais e eletromagnéticas que ocasionam a movimentação do plasma ionosférico e, além desses efeitos dinâmicos, contêm também os efeitos de movimentação aparente decorrente das reações químicas de produção e recombinação eletrônica. Então, as velocidades de deriva ionosférica, medidas pela DGS são denominadas como velocidades de deriva aparente, pois trazem em si as contribuições tanto dos efeitos dinâmicos como dos químicos. Contudo, Abdu et al. (1981) e Bittencourt e Abdu (1981) utilizando dados de ionossondas convencionais, concluíram

que para determinados horários, a velocidade de deriva ionosférica calculada através da técnica de variação temporal da altura mínima da camada F ($\Delta h'F/\Delta t$) a partir de ionogramas, representa a deriva eletromagnética do plasma ionosférico. Acredita-se então que as ionossondas digitais possam fornecer valores confiáveis de deriva que representem as derivas eletromagnéticas, em horários após o crepúsculo e próximo à ocorrência do pico pré-inversão o qual será explicado mais à frente.

POR SUA VEZ, OS DADOS DE DERIVAS IONOSFÉRICAS GERADOS PELO RADAR DE JICAMARCA EM VIRTUDE DA TÉCNICA UTILIZADA (ESPALHAMENTO THOMSON) REFLETEM QUASE QUE UNICAMENTE A DERIVA ELETROMAGNÉTICA DO PLASMA IONOSFÉRICO.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Analisaram-se 15 dias de dados da DGS256, entre 3 e 17 de outubro de 1997. Tal período foi escolhido devido à boa qualidade desses dados. Procuraram-se dias que apresentassem o fenômeno de dispersão-F (spread-F), pois para a técnica de interferometria utilizada pela DGS, é necessária a presença de irregularidades no plasma ionosférico para ter melhor resolução nos cálculos de velocidade. Esse tipo de irregularidade (a dispersão-F) é um fenômeno noturno e ocorre sobre São Luís, durante a maior parte do ano – fato que viabiliza as medições com a DGS.

Na Figura 1, são apresentadas as curvas de derivas médias obtidas com ambos instrumentos: a DGS256 (Bertoni, 1998) e o radar de espalhamento incoerente de Jicamarca (Fejer et al., 1991). Foi incluída ainda nesta figura, a curva levantada através de cálculo indireto da velocidade de deriva vertical a partir da variação temporal da altura virtual mínima da camada F ($\Delta h'F/\Delta t$), lida em ionogramas gerados a cada 15min pela DGS. A curva de deriva ionosférica vertical, gerada pelas médias dos dados de Jicamarca referentes a equinócio e baixa atividade solar ($F_{10.7} < 100$) mostra que das 8 às ~20h, a deriva é ascendente (velocidade positiva); das 20h às ~7h30min, a deriva é descendente (velocidade negativa); por volta das 18h30min, ocorre o pico pré-inversão. O comportamento da curva gerada pela DGS é praticamente o oposto: durante o dia, a velocidade apresenta-se negativa; durante a noite, positiva. Uma possível razão para essa diferença de comportamento entre as curvas é de ordem instrumental. Conforme foi dito anteriormente, o radar de espalhamento incoerente fornece valores de velocidade de deriva eletromagnética, enquanto a ionossonda digital, fornece valores de deriva aparente. Acredita-se, no momento, que as medidas de deriva efetuadas pela ionossonda digital DGS256 devam ser mais confiáveis à noite quando cessam os efeitos fotoquímicos.

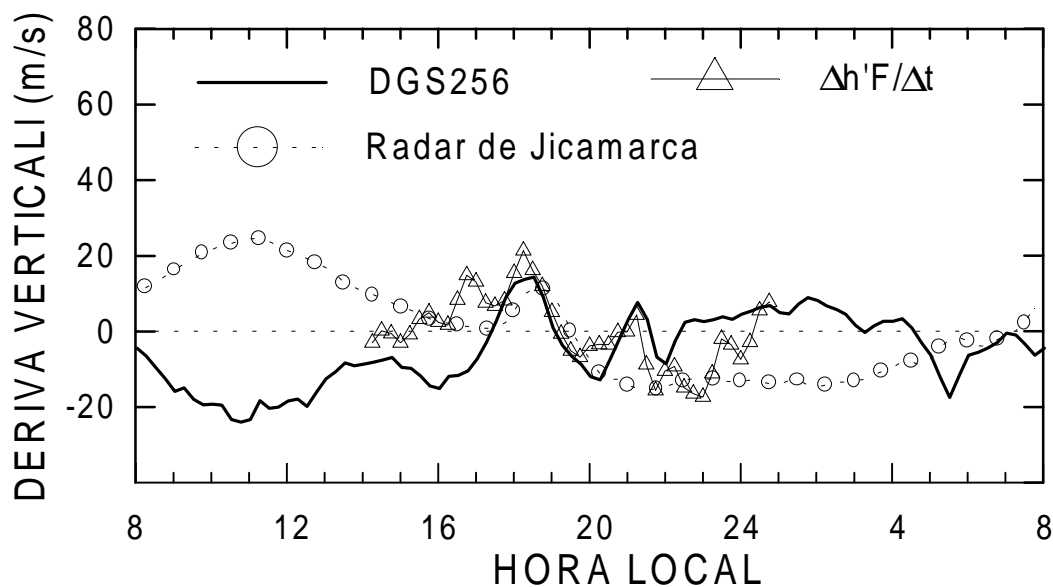


Fig. 1 – Comparação entre as curvas médias de deriva vertical obtidas com a DGS256 tanto através do modo de sondagem de deriva como através do método indireto de cálculo da variação temporal da altura mínima da camada F ($\Delta h'F/\Delta t$), por Bertoni (1998) e pelo radar de espalhamento incoerente de Jicamarca, por Fejer et al. (1991).

Nota-se na Figura 1, que há uma boa concordância quanto ao horário de aparecimento do pico pré-inversão. Trata-se este de um aspecto positivo para as medidas feitas pela DGS. Neste horário, a velocidade de deriva obtida pelo instrumento traz mais contribuição da deriva eletromagnética do plasma ionosférico: a camada está mais alta e os campos elétricos das regiões E e F estão se somando (Rishbeth, 1971; Heelis et al., 1974; Batista et al., 1986), ou seja, a componente de velocidade de deriva devido às forças eletromagnéticas, é mais significativa e as outras contribuições (devido aos ventos neutros, difusão e força gravitacional) passam a ser de segunda ordem; além disso as reações de produção já cessaram, havendo equilíbrio fotoquímico e, portanto, também deixa de haver tanta influência de aspectos químicos. Levando em conta que as velocidades de deriva ionosférica fornecidas pelo radar de espalhamento incoerente representam quase que exclusivamente as derivas eletromagnéticas, a concordância quanto ao horário de aparecimento do pico pré-inversão entre as curvas, demonstra que os dados gerados pela DGS256 podem ser confiáveis.

Ainda na Figura 1, pode-se perceber que houve também boa concordância entre as curvas de ambos instrumentos com a de velocidade de deriva calculada através da relação $v = \Delta h'F/\Delta t$, fato que corrobora uma vez mais a confiabilidade

deste método indireto de obtenção de velocidade de deriva do plasma ionosférico.

CONCLUSÕES

Foram apresentadas as médias de velocidades de deriva ionosférica vertical fornecidas pelo radar de espalhamento incoerente de Jicamarca (a partir do trabalho de Fejer et al., 1991) e pela ionossonda digital DGS256 de São Luís. Constatou-se que a deriva ionosférica vertical da DGS256 comporta-se de maneira oposta à do radar de Jicamarca, ou seja, durante o dia é negativa e à noite é positiva. Acredita-se que por razões de ordem instrumental é que aconteça tal diferença no comportamento das curvas. Contudo, evidenciou-se que há concordância no horário de aparecimento do pico pré-inversão, aspecto positivo nos dados fornecidos pela DGS, pois trata-se de um horário no qual a maior contribuição à velocidade de deriva fornecida pelo instrumento deve-se à deriva eletromagnética. Conhecer a deriva eletromagnética do plasma ionosférico é importante, não só para sabermos um pouco mais a respeito do comportamento da atmosfera terrestre (e mais especificamente da ionosfera) mas, também, para conhecer melhor o comportamento dos campos elétricos de polarização os quais através da geração de irregularidades do plasma ionosférico, podem exercer influências sobre a propagação transionosférica de ondas eletromagnéticas transionosféricas em grande parte utilizadas, atualmente, nas telecomunicações.

REFERENCES

- Abdu, M. A.; Batista, I. S.; Bittencourt, J. A., 1981, *Some characteristics of spread F at magnetic equatorial station Fortaleza*, *Journal of Geophysical Research*, 86, A8, 6838-6842.
- Batista, I. S.; Abdu, M. A.; Bittencourt, J. A., 1986, *Equatorial F region vertical plasma drifts: seasonal and longitudinal asymmetries in the american sector*. *Journal of Geophysical Research*, 91, A11, 12055-12064.
- Bertoni, F. C. P., 1998, *Estudos de derivas ionosféricas por meio de ionossondas digitais: Dissertação de Mestrado*, INPE, São José dos Campos.
- Bittencourt, J. A.; Abdu, M. A., 1981, *Theoretical comparison between apparent and real vertical ionization drift velocities in the equatorial F region*, *Journal of Geophysical Research*, 86, A4, 2451-2454.
- Coley, W. R.; Heelis, R. A., 1989, *Low-latitude zonal and vertical ion drifts seen by DE-2*. *Journal of Geophysical Research*, 94, A6, 6751-6761.
- Fejer, B. G.; Paula, E. R. de; Gonzalez, S. A.; Woodman, R. F., 1991, *Average vertical and zonal F region plasma drifts over Jicamarca*. *Journal of Geophysical Research*, 96, A8, 13901-13906.
- Grant, I. F.; MacDougall, J. W.; Ruohoniemi, J. M.; Bristow, W. A.; Sofko, G. J.; Koehler, J. A., Danskin, D.; André, D., 1995, *Comparison of plasma flow velocities determined by the ionosonde Doppler drift technique, SuperDARN radars, and patch motion*. *Radio Science*, 30, 5, 1537-1549.
- Heelis, R. A.; Kendall, P. C.; Moffett, R. J.; Windle, D. W.; Rishbeth, H., 1974, *Electrical coupling of the E- and F-regions and its effect on F-region drifts and winds*. *Planetary Space Science*, 22, 743-756.
- Maynard, N. C.; Aggson, T. L.; Herrero, F. A.; Liebrecht, M. C., 1988, *Average low-latitude meridional electric fields from DE 2 during solar maximum*. *Journal of Geophysical Research*, 93, A5, 4021-4037.
- Reinisch, B. W., 1986, *New techniques in ground-based ionospheric sounding and studies*, *Radio Science*, 36, 372-377.
- Reinisch, B. W.; Bibl, K.; Kitrosser, D.; Sales, G.; Tang, J.; Zhang, Z.-M.; Bullet, T.; Ralls, J., 1989, *The digisonde 256 ionospheric sounder*. In: Liu, C. H. ed. *World Ionosphere/Thermosphere Study: WITS Handbook*, SCOSTEP, 2, 350-382.
- Rishbeth, H., 1971, *Polarization fields produced by winds in the equatorial F-region*. *Planetary and Space Science*, 12, 2, 263-267.
- Scali, J. L.; Reinisch, B. W., 1995, *F-region drift velocities in the dusk sector mid-latitude trough*. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 57, 9, 1045-1056.
- Woodman, R. F.; Hagfors, T., 1969, *Methods for the measurement of vertical ionospheric motions near the magnetic equator by incoherent scattering*. *Journal of Geophysical Research*, 74, 5, 1205-1212.
- Woodman, R. F., 1970, *Vertical velocities and east-west electric fields at the magnetic equator*. *Journal of Geophysical Research*, 75, 31, 6249-6259.
- Woodman R. F., 1972, *East-west ionospheric drifts at the magnetic equator: Space Research XII*, 969-974.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao suporte dado pelo INPE e pela CAPES, bem como aos meus orientadores que também são co-autores deste trabalho.