

DETERMINAÇÃO DO CAMPO ELÉTRICO VERTICAL ASSOCIADO À DERIVA ZONAL DO PLASMA IONOSFÉRICO

Bruno Brambilla Soubhia¹, **José Ricardo Abalde**² e **Paulo Roberto Fagundes**²

¹ Bolsista, FAPESP, FEAU, Universidade do Vale do Paraíba. Avenida Shishima Hifumi, 2911, Urbanova, 12244-000, São José dos Campos – SP, e-mail: bruno@univap.br

² Professor Orientador, LFA, IP&D, Universidade do Vale do Paraíba, Avenida Shishima Hifumi, 2911, Urbanova, 12244-000, São José dos Campos – SP, e-mail: abalde@univap.br, fagundes@univap.br

Resumo – Este trabalho apresenta os valores da componente vertical do campo elétrico na região da ionosfera da Terra a partir da expressão vetorial que relaciona a velocidade de deriva e os campos elétricos e de indução magnética. Utilizando o modelo IGRF (International Geomagnetic Reference Field) para a componente do campo magnético terrestre e calculando a velocidade de deriva zonal a partir do deslocamento das bolhas de plasma equatoriais foi possível inferir a componente vertical do campo elétrico terrestre. O valor da velocidade de deriva zonal das bolhas de plasma é obtido das imagens observadas nas emissões em OI 630,0 nm realizada utilizando técnicas ópticas pelo Grupo de Física e Astronomia da UNIVAP. O monitoramento espaço-temporal da intensidade desta emissão por meio de imageadores all-sky de alta resolução permite estudar a evolução das irregularidades ionosféricas. A velocidade das bolhas de plasma é calculada medindo-se o deslocamento das mesmas em intervalos de tempo determinados.

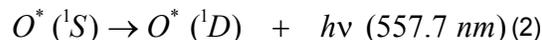
Palavras-chave: ionosfera terrestre, bolha de plasma, campo elétrico, deriva de plasma zonal.

Área do Conhecimento: I – Ciências exatas e da Terra

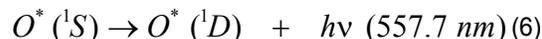
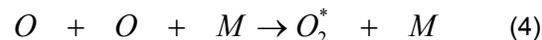
Introdução

Uma das maneiras de se estudar a dinâmica e as variações dos parâmetros da alta atmosfera é a utilização de técnicas ópticas de sensoriamento remoto. Por exemplo, a observação da luminescência noturna por fotômetros, imageadores “all-sky” e interferômetros foram amplamente utilizados nos últimos anos (Woodman, 1972; Fagundes *et al.*, 1995; Abdu *et al.*, 1997; Abalde *et al.*, 2001; Pimenta *et al.*, 2003). Neste caso, a luminescência de algumas emissões quimiluminescentes tem sido empregada como veículo traçador do movimento das partículas carregadas da atmosfera terrestre, ou seja o plasma ionosférico.

As emissões do oxigênio atômico OI 630,0 nm e OI 557,7 nm são amplamente utilizadas para estudar a dinâmica da alta atmosfera e estas emissões têm duas componentes físico-químicas distintas. Na componente termosférica, (240 km de altura aproximadamente), os átomos de oxigênio são excitados pela reação química de recombinação dissociativa,



Enquanto que, na componente mesosférica (95 km de altura aproximadamente), o oxigênio atômico é excitado por uma reação química de recombinação em dois passos,



Posteriormente, os átomos excitados emitem fótons nos comprimentos de onda 630,0 nm e 557,7 nm. Os fótons que foram emitidos por estes átomos excitados atingem a superfície da Terra, e portanto podem ser detectados por equipamentos ópticos (Kirchhoff, 1991; Bittencourt, 1995).

As irregularidades ionosféricas têm origem na ionosfera equatorial e auroral, e constitui-se de regiões onde a densidade de plasma é menor do que a densidade do plasma ambiente, podendo ocorrer tanto na região E quanto na região F. As

irregularidades da região F equatorial somente ocorrem durante a noite, e são geradas em consequência de uma rápida subida da camada F, logo após o entardecer. Imediatamente após a formação das irregularidades, estas iniciam uma deriva zonal (leste-oeste) causada pela presença de um campo elétrico vertical, sendo controlada pela magnitude e direção deste campo.

A deriva eletromagnética do plasma é um dos processos de transporte de plasma ionosférico e se refere ao efeito provocado pelos campos elétrico e magnético sobre o movimento das partículas carregadas. Na região F, $\omega_{e,i} \gg v_{en,in}$, onde ω é a girofrequência¹ da partícula e v é a frequência de colisão entre uma partícula carregada e uma partícula neutra. Tanto os íons como os elétrons se movem na mesma direção, com uma velocidade de deriva dada

$$\text{por: } V = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{B^2} \quad (7)$$

onde o valor do campo de indução magnética B é adotado do modelo IGRF (International Geomagnetic Reference Field).

Como a velocidade de deriva eletromagnética não depende nem do sinal nem da massa das partículas carregadas, e estas se movimentam na mesma direção, não há fluxo de corrente resultante. Segundo Rishbeth (1997) os campos elétricos envolvidos na deriva eletromagnética do plasma na região ionosférica têm duas origens: podem ser induzidos por ventos neutros, $E_i = V \times B$, (E_i sendo os campos elétricos zonais e V a velocidade das partículas) e podem estar relacionados ao potencial eletrostático, dado por $E_p = -\nabla\phi$, onde E_p são campos de polarização, ϕ é o potencial eletrostático associado à distribuição de cargas eletrostáticas.

Metodologia

Para a visualização e análise das imagens obtidas pelos fotômetros imageadores all-sky do Grupo de Física e Astronomia da UNIVAP foi utilizado um programa de computador próprio e específico denominado UASDA (Univap All Sky Data

Analysys, Valdir e Fagundes, 2004a) que, entre outras funções, faz a linearização das imagens para posteriormente permitir um tratamento qualitativo das mesmas. Um outro programa de computador utilizado foi o UDIDA (Univap Digital Ionosonde Data Analisys, Valdir e Fagundes, 2004b) que facilita a análise dos dados obtidos pelas digissondas CADI do mesmo Grupo, e nos permite obter os valores da altura virtual da base da camada F ionosférica, $h'F$ e da altura máxima virtual de reflexão, h_pF2 .

A Figura 1 apresenta um exemplo das imagens obtidas com um dos fotômetros imageadores all-sky instalado no Observatório do Pico dos Dias do Laboratório Nacional de Astrofísica – LNA em Brazópolis – MG no dia 28 de setembro de 2002 às 20:15:36 horas e 21:29:33 horas na emissão OI 630,0 nm obtidas com o uso de filtros de interferência. As estruturas escuras, orientadas na direção Norte-Sul (ao longo das linhas do campo magnético terrestre) são assinaturas típicas das bolhas de plasma, de que se fez uso neste trabalho para determinar os valores do campo elétrico ionosférico vertical. A tonalidade de cinzas observadas nas figuras esta diretamente relacionada com a intensidade das emissões ionosféricas nessa frequência, onde as regiões de baixas intensidades são as partes mais escuras e as regiões de maiores intensidades são as partes mais claras na concentração da emissão do oxigênio atômico. Comparando as duas imagens da Figura 1 nota-se que as estruturas mais escuras (bolhas) sofreram um deslocamento, devido à velocidade de deriva do plasma ionosférico.

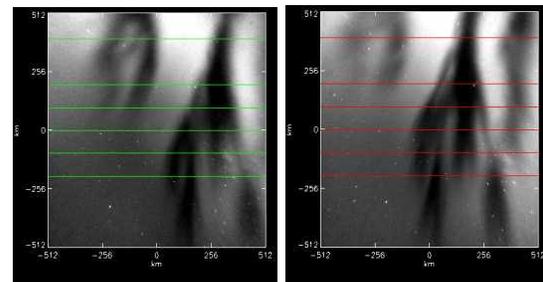


Figura 1 - Imagens linearizadas da emissão OI 630,0 nm obtida com o imageador all-sky do Grupo de Física e Astronomia da UNIVAP no LNA em Brazópolis no dia 28 de setembro de 2002 às 20:15:36 e 21:29:33 horas.

¹ Girofrequência: $\omega = eB / m$

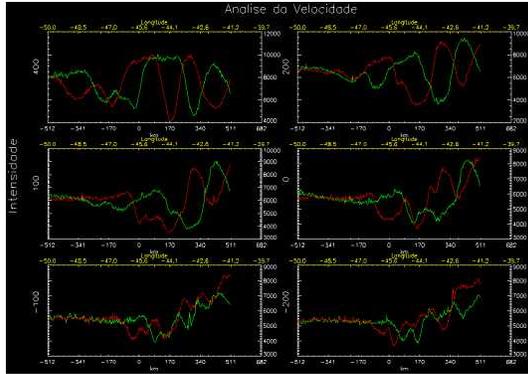
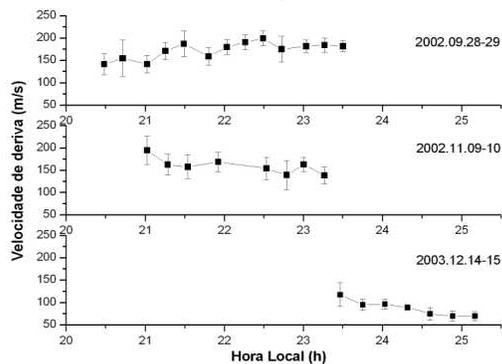


Figura 2 – Exemplo dos perfis das bolhas de plasma apresentadas na Figura 1 onde se pode observar o deslocamento temporal das mesmas e conseqüentemente de plasma ionosférico (é o jogo das duas linhas que aparecem em cada um dos seis gráficos apresentados).

As linhas horizontais na Figura 1 indicam os lugares escolhidos onde foram feitos os cortes para obtenção dos perfis de intensidade de emissão ionosférica apresentados na Figura 2. São estes perfis que determinam a morfologia das bolhas de plasma em movimento a partir das quais determinamos a velocidade de deslocamento zonal visto que temos sua posição geográfica e o tempo que empregam para a mudança. Este estudo de imagens linearizadas e consecutivas é que nos permite conhecer a variação temporal das irregularidades e conseqüentemente do plasma ionosférico local.

Resultados e Conclusões

Para o cálculo do campo elétrico ionosférico vertical utilizamos a relação vetorial entre a velocidade e os campos elétrico e magnético. O valor da componente vertical do campo elétrico é obtido a partir dos valores da indução do campo magnético longitudinal e da componente zonal da velocidade de deriva do plasma.



O valor da componente do campo magnético foi obtido do modelo IGRF (International Geomagnetic Reference Field), apresentando valores aproximadamente constantes para as três noites estudadas. Os valores da velocidade de deriva zonal para os horários das três noites onde é observada a ocorrência de bolhas ionosféricas são apresentados no Gráfico 1. Em geral o valor da velocidade apresenta um incremento no seu valor que vai do início da noite (entardecer) até a meia noite, logo do qual o valor da velocidade decai em conseqüência de que as bolhas diminuem e até chegam a parar no seu deslocamento leste – oeste.

Gráfico 1 – Cálculo da velocidade de deriva zonal para as três noites analisadas.

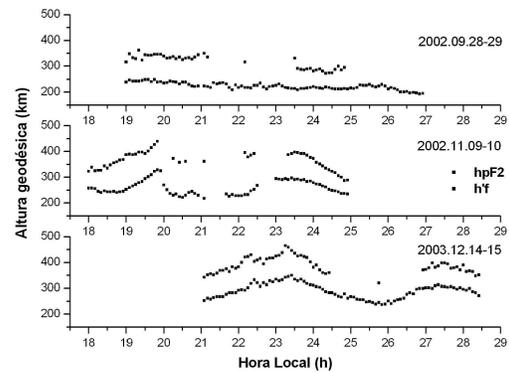


Gráfico 2 – Parâmetros ionosféricos obtidos na digisonda CAD1 em São Jose dos Campos – SP para as três noites estudadas.

No Gráfico 2 apresentamos os dados obtidos na digisondas do Grupo de Física e Astronomia instalada no Campus Urbana em São Jose dos Campos – SP da UNIVAP. Seus valores nos permitem fazer a correção em altura para fazer uma adequada linearização das imagens obtidas com os fotômetros imageadores para posteriormente deduzir as velocidades apresentadas no Gráfico 1.

No Gráfico 3 apresentamos os resultados dos valores obtidos para a componente vertical do campo elétrico ionosférico em Brazópolis, baixas latitudes 22° 32'04" S. O valor do campo acompanha a variação da velocidade zonal devido a termos um valor do campo magnético praticamente constante.

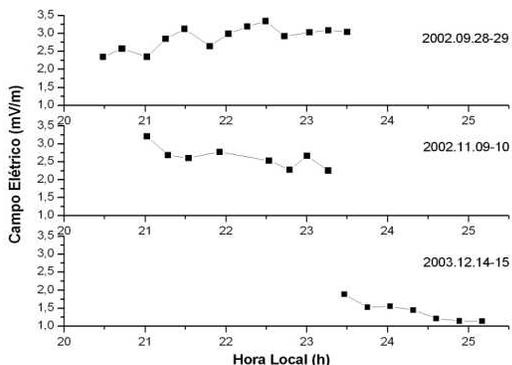


Gráfico 3 – Valor da componente vertical do campo elétrico ionosférico para as três noites em estudo.

Observamos que a componente vertical do campo elétrico ionosférico (280 a 350 km de altura) varia acompanhando as mudanças da velocidade de deriva zonal do plasma local apresentando um incremento que vai do início da noite até a meia noite aproximadamente aonde chega a valores próximos a 3,5 mV/m, a partir do qual diminui chegando a valores próximos a 1 mV/m no início da madrugada. Será necessário um estudo mais abrangente, com um número maior de noites, para confirmar este comportamento temporal.

Antecipadamente, e como é observado um valor de campo magnético que apresenta muito pouca variação temporal, podemos falar que a componente vertical do campo elétrico ionosférico e a velocidade de deriva zonal, ou velocidade leste – oeste, do plasma deve apresentar uma mesma dinâmica temporal e espacial. É importante indicar que não é o campo elétrico que acompanha a velocidade das partículas e sim que a velocidade das partículas carregadas na ionosfera terrestre e determinadas pelos valores dos campos elétrico e magnético como foi apresentado na Equação (7) acima.

Referências Bibliográficas

[1] Abalde, J.R., Fagundes, P.R., Bittencourt, J.A. and Sahai, Y., *Observations of equatorial F region plasma bubbles using simultaneous*

OI 777.4 nm and OI 630.0 nm imaging: New results, Journal of Geophysical Research, 106(A12): 30331-30336, 2001.

[2] Abdu, M.A., Sobral, J.H.A., Nelson, O.R. and Batista, I.S., *Solar cycle related range type spread -F occurrence characteristics over equatorial and low latitude stations in Brazil*, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 47(8-10): 901-905, 1997.

[3] Bittencourt, J.A. *Fundamentals of Plasma Physics*. Co-Edition FAPESP, 1995.

[4] Fagundes, P.R., Sahai, Y., Bittencourt, J.A. and Takahashi, H. *Relationship between generation of equatorial F-region plasma bubbles and thermospheric dynamics*, Advances in Space Research, 16(5): 117-120, 1995.

[5] IGRF – *International Geomagnetic Reference Field*, http://www.geomag.bgs.ac.uk/gifs/igrf_form.shtml.

[6] Kirchhoff, V.W.J.H., *Introdução à geofísica espacial*, Editora da USP, 1991.

[7] Pimenta, A.A., Fagundes, P.R., Sahai, Y., Bittencourt, J.A. and Abalde, J.R., *Equatorial F-region plasma depletion drifts: latitudinal and seasonal variations*, Annales Geophysicae, 21: 2315-2322, 2003

[8] Rishbeth, H. *The ionospheric E-layer and F-layer dynamos – a tutorial review*, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 59(15): 1873-1880, 1997.

[9] Pillat, V.G. e Fagundes, P.R., *Calibração da lente do fotômetro imageador utilizando o programa UASDA – Univap All Sky Data Analysis*, INIC, 2004a.

[10] Pillat, V.G. e Fagundes, P.R., *UDIDA – Univap Digital Ionosonde Data Analysis*, INIC, 2004b.

[11] Woodman, R.F., *East-west ionospheric drifts at the magnetic equator*, Space Research, 12: 968-974, 1972.