

VALOR DA COMPONENTE VERTICAL DO CAMPO ELÉTRICO TERRESTRE ATRAVÉS DO ESTUDO DA DINÂMICA TEMPORAL DAS IRREGULARIDADES IONOSFÉRICAS.

Bruno Brambilla Soubhia¹, José Ricardo Abalde².

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

Resumo – O trabalho apresenta, através da expressão vetorial que relaciona a velocidade de deriva do plasma ionosférico e os campos elétricos e de indução magnética, os valores da componente vertical do campo elétrico na região da ionosfera da Terra. Do modelo IGRF (International Geomagnetic Reference Field) tiramos o valor da componente latitudinal do campo magnético terrestre e calculando a componente longitudinal ou zonal da velocidade de deriva a partir do deslocamento das irregularidades de plasma ionosférico foi possível inferir a componente vertical do campo elétrico terrestre. Das imagens obtidas nas emissões em OI 630,0 nm pelo fotômetro imageador all-sky de alta resolução do Grupo de Física e Astronomia da UNIVAP instalado no Observatório Pico dos Dias do Laboratório Nacional de Astrofísica (longitude 45° 34' 57" O, latitude 22° 32'04" S) foi inferido o valor da velocidade de deriva zonal do plasma ionosférico por meio do cálculo do valor do deslocamento das irregularidades em intervalos de tempo conhecidos.

Palavras-chave: ionosfera terrestre, irregularidades de plasma, deriva de plasma latitudinal ou zonal, campo elétrico terrestre.

Área do Conhecimento: I – Ciências exatas e da Terra.

Introdução

Com origem na ionosfera equatorial e auroral, as irregularidades ionosféricas são constituídas de zonas nas camadas E e/ou F onde o valor da densidade de plasma local é menor do que seu valor na região circundante. As irregularidades da região F equatorial somente ocorrem durante a noite, sendo geradas em consequência de uma rápida subida da camada F, depois do entardecer. Prontamente após a formação das irregularidades, estas iniciam uma deriva longitudinal ou zonal (leste-oeste) ocasionada pela presença do campo magnético terrestre e um campo elétrico vertical, sendo controlada pela magnitude e direção deste último campo citado.

Fotômetros imageadores “all-sky” de alta resolução são aparelhos amplamente utilizados no estudo da dinâmica espaço temporal da termosfera e ionosfera terrestre (Mendillo e Baumgardner, 1982; Sobral e Abdu, 1991; Fagundes et al., 1995 e 1997; Abdu et al., 1997; Sobral et al., 1999; Abalde et al., 2001 e 2004; Pimenta et al., 2001 e 2003; Soubhia e Abalde, 2004). Neles tem sido empregado o acompanhamento da dinâmica da intensidade da luminescência de algumas emissões quimiluminescentes como veículo traçador do movimento das partículas carregadas da

atmosfera terrestre, ou seja, o movimento do plasma ionosférico.

Uma destas emissões é originada na reação química de recombinação dissociativa do oxigênio molecular presente nessa região. O estudo da variação espaço temporal da intensidade da emissão OI 630,0 nm nos permite ter um valor da densidade dos íons de oxigênio presentes e da sua dinâmica.

Os fótons que foram emitidos por estes átomos excitados atingem a superfície da Terra e, deste modo podem ser detectados por equipamentos ópticos como os fotômetros imageadores mencionados (Kirchhoff, 1991; Bittencourt, 1995).

Um dos processos de transporte de plasma ionosférico é a deriva eletromagnética do plasma, ou seja o efeito dos campos elétrico e magnético terrestre presentes na região 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 por:

¹ Girofrequência: $\omega = eB / m$

$$\vec{V} = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{B^2} \quad (1)$$

Como a velocidade de deriva eletromagnética não depende nem do sinal nem da massa das partículas carregadas, e estas se movimentam na mesma direção, o fluxo de corrente resultante é nulo. Segundo Rishbeth (1997) existem duas origens para os campos elétricos envolvidos na deriva eletromagnética do plasma na região ionosférica: 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

Utilizou-se o programa de computador UASDA - Univap All Sky Data Analysis (Valdir e Fagundes, 2004a), próprio e específico para a visualização e análise das imagens obtidas pelos fotômetros imageadores do Grupo de Física e Astronomia da UNIVAP. Este programa, que foi desenvolvido e vem sendo aprimorado pelo Grupo, entre outras funções faz a linearização das imagens para permitir o tratamento quantitativo e qualitativo das mesmas. Também foram utilizados dados ionosféricos provenientes de uma das digisondas CADI que o Grupo tem instalado no próprio Campus Urbanova da UNIVAP e o programa de computador denominado UDIDA (Univap Digital Ionosonde Data Analysis, Valdir e Fagundes, 2004b) que permite a análise de seus dados, permitindo obter os valores da altura virtual da base da camada F ionosférica, $h'F$ e da altura máxima virtual de reflexão, $h_p F2$ necessários para um cálculo mais real dos valores da velocidade de deriva zonal do plasma.

Um exemplo das imagens obtidas com o fotômetros imageador all-sky instalado no Observatório do Pico dos Dias do Laboratório Nacional de Astrofísica – LNA em Brazópolis – MG (longitude 45° 34' 57" O, latitude 22° 32'04" S) 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 é apresentado na Figura 1. As estruturas escuras, orientadas aproximadamente na direção Norte-Sul, ou seja ao longo das linhas do campo magnético terrestre, são assinaturas características das irregularidades ou bolhas de plasma ionosférico, que utilizamos neste trabalho para inferir o valor da componente vertical do campo elétrico terrestre ionosférico.

A tonalidade de cinzas observada na figura está diretamente relacionada com a

magnitude da emissão ionosférica nessa frequência (número de fótons emitidos e que chegam a impressionar a CCD do equipamento), das quais as regiões de baixas intensidades são as partes mais escuras e as regiões de maiores intensidades são as partes mais claras. Nas duas imagens da Figura 1 nota-se que as estruturas mais escuras (bolhas) sofreram um deslocamento, há uma velocidade de deriva do plasma ionosférico.

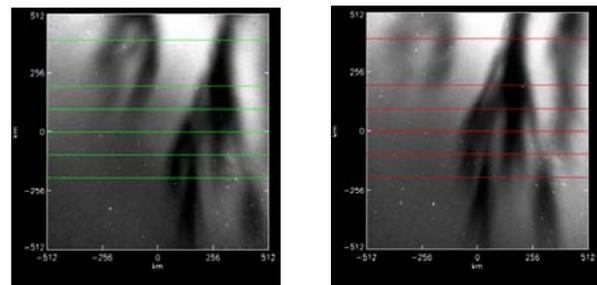


Figura 1 - Imagens linearizadas da emissão OI 630,0 nm obtida com o imageador all-sky do Grupo de Física e Astronomia da UNIVAP no LNA em Brazópolis no dia 28 de setembro de 2002 às 20:15:36 e 21:29:33 horas.

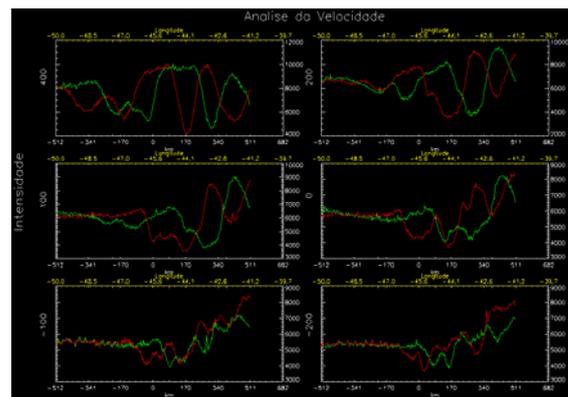


Figura 2 – Exemplo dos perfis das bolhas de plasma apresentadas na Figura 1 onde se pode observar o deslocamento temporal das mesmas e consequentemente de plasma ionosférico (é o jogo das duas linhas que aparecem em cada um dos seis gráficos apresentados).

Podemos também observar nas duas imagens da Figura 1 uma série de linhas horizontais verdes e vermelhas que indicam os lugares escolhidos onde foram feitos os cortes dos perfis de intensidade de emissão ionosférica apresentados na Figura 2. A partir destes perfis, que mostram a morfologia das bolhas de plasma em movimento em diferentes latitudes, é que determinamos a velocidade de deslocamento longitudinal ou zonal. O cálculo da deriva é baseado no acompanhamento do deslocamento do ponto de menor densidade, ou uma das paredes da bolha de plasma onde temos sua posição geográfica e conhecida a variação do tempo entre as duas imagens. Este estudo de pares de imagens linearizadas e consecutivas é que nos permite conhecer a variação temporal das

irregularidades e, portanto, a deriva do plasma ionosférico local.

Resultados e Conclusões

Empregou-se a relação vetorial entre a velocidade e os campos elétrico e magnético para o cálculo do campo elétrico ionosférico vertical. 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.

Apresenta-se na Figura 3 os dados obtidos na digisondas do Grupo de Física e Astronomia instalada no Campus Urbanova 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 na Figura 4. Estes valores foram obtidos e corrigidos aproximadamente a cada 15 minutos de observação para 14 das 18 noites analisadas, nas outras 4 noites (07-08 de Janeiro, 08-09 de Janeiro, 24-25 de Fevereiro e 28 de Fevereiro-01 de Março de 2003) utilizou-se um valor para altura média da camada fixado em 270 km resultante de uma média mensal dos valores para essa época e região.

O valor da componente do campo magnético foi obtido do modelo IGRF (International Geomagnetic Reference Field), apresentando valores aproximadamente constantes para as dezoito noites estudadas (Tabela 1). Os valores da velocidade de deriva zonal para os horários das dezoito noites onde é observada a ocorrência de bolhas ionosféricas são apresentados na Figura 4. 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 consequência de que as bolhas diminuem e até chegam a parar no seu deslocamento leste – oeste.

Ano 2002	Ano 2003
28-29 de Setembro	07-08 de Janeiro
02-03 de Outubro	08-09 de Janeiro
08-09 de Outubro	24-25 de Fevereiro
08-09 de Novembro	28 de Fevereiro – 01 de Março
09-10 de Novembro	20-21 de Setembro
	22-23 de Setembro
	23-24 de Setembro
	24-25 de Setembro
	28-29 de Setembro
	14-15 de Outubro
	16-17 de Outubro
	17-18 de Outubro
	14-15 de Dezembro

Tabela 2: Relação de noites observadas no LNA onde foi possível calcular a deriva zonal de plasma e o valor do campo elétrico vertical.

Embora não apontada nos gráficos é importante destacar que na noite do dia 23-24 de Setembro de 2003, a partir das 1h30min aproximadamente a velocidade de deriva da bolha de plasma em análise não somente chegou a deter-se como inverteu o sentido do seu deslocamento chegando a uma velocidade oeste-leste próxima a 19 m/s e conseqüentemente gerando uma componente do campo elétrico vertical negativa de 0,31 mV/m. O valor negativo indica o sentido, ou seja, a componente do campo elétrico já não era para “cima” e sim passou a ser para “baixo”.

Na Figura 5 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.

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 0,5 mV/m no início da madrugada. É necessário fazer um estudo mais abrangente, com um número maior de noites observadas e analisadas para confirmar este comportamento temporal e ainda discriminá-lo para cada época do ano.

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 (1) acima.

Na Figura 6 temos uma média horária dos valores da componente vertical do campo elétrico terrestre para os dados das 18 noites dos anos 2002 e 2003 observadas com o fotômetro imageador do Grupo de Física e Astronomia da UNIVAP instalado no LNA, Brazópolis, MG.

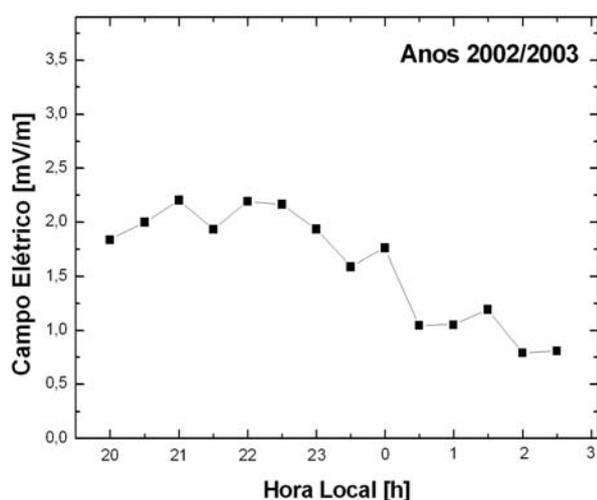


Figura 6 – Variação temporal do valor médio da componente vertical do campo elétrico ionosférico para as 18 noites dos anos de 2002 e 2003 em estudo.

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] Abalde, J.R., Fagundes, P.R., Sahai, Y., Pillat, V.G., Pimenta, A.A., and Bittencourt, J.A. *Oeight-resolved ionospheric drifts at low latitudes from simultaneous OI 777.4 nm and OI 630.0 nm imaging observations*, Journal of Geophysical Research, 109(A11): 10560, 2004.
- [3] 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.
- [4] Bittencourt, J.A. *Fundamentals of Plasma Physics*. Co-Edition FAPESP, 1995.
- [5] 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.
- [6] Fagundes, P. R., Y. Sahai, I. S. Batista, J. A. Bittencourt, M. A. Abdu, and H. Takahashi, *Vertical and zonal equatorial F-region plasma bubble velocities determined from OI 630 nm nightglow imaging*, Adv. Space Res., 20(6), 1297-1300, 1997.
- [7] IGRF – *International Geomagnetic Reference Field*, http://www.geomag.bgs.ac.uk/gifs/igrf_form.shtml.
- [8] Kirchhoff, V.W.J.H., *Introdução à geofísica espacial*, Editora da USP, 1991.
- [9] Mendillo, M. and J. Baumgardner, *Airglow characteristics of equatorial plasma depletions*, J. Geophys. Res., 87, 7641-7652, 1982.
- [10] Pimenta, A. A., P. R. Fagundes, J. A. Bittencourt, Y. Sahai, D. Gobbi, A. F. Medeiros, M. J. Taylor, H. Takahashi, *Ionospheric plasma bubble zonal drift: a methodology using OI 630 nm all-sky imaging systems*, Adv. Space Res., 27(6/7), 1219-1224, 2001.
- [11] 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
- [12] 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.
- [13] Pillat, V.G. e Fagundes, P.R., *Calibração da lente do fotômetro imageador utilizando o programa UASDA – Univap All Sky Data Analysis*, INIC, 2004a.
- [14] Pillat, V.G. e Fagundes, P.R., *UDIDA – Univap Digital Ionosonde Data Analysis*, INIC, 2004b.
- [15] Sobral, J. H. A. and M. A. Abdu, *Solar activity effects on equatorial plasma bubble zonal velocity and its latitude gradient as measured by airglow scanning photometers*, J. Atmos. Terr. Phys., 53(8), 729-742, 1991.
- [16] Sobral, J. H. A., M. A. Abdu, H. Takahashi, H. Sawant, C. J. Zamlutti and G. L. Borda, *Solar geomagnetic activity effects on nocturnal zonal velocities of ionospheric plasma depletions*, Adv. Space Res., 24(11), 1507-1510, 1999.
- [17] Soubhia, B.B. and Abalde, J.R; *Determinação do campo elétrico vertical associado à deriva zonal do plasma ionosférico*; Anais do INIC 2004: 63-66, 2004.

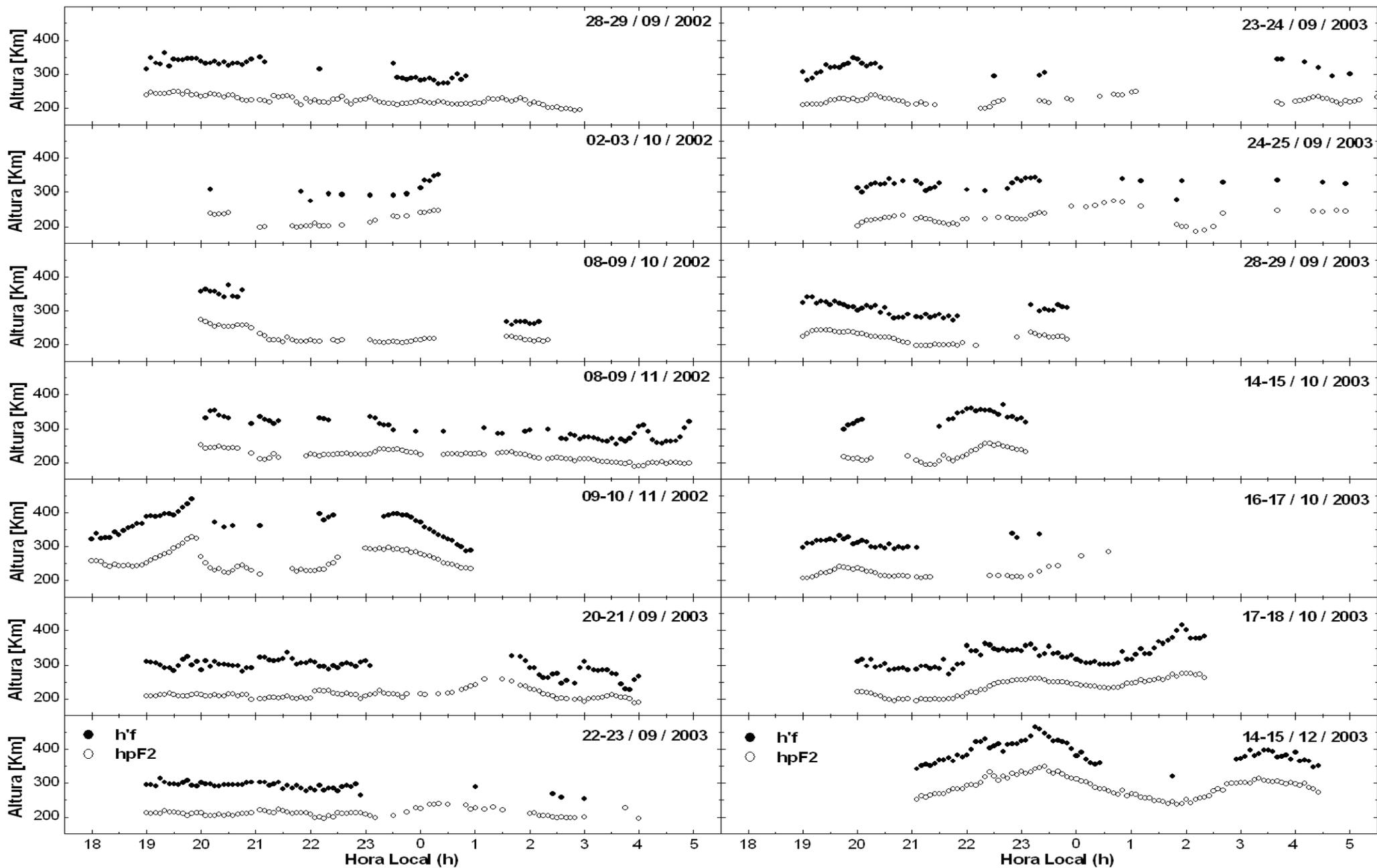


Figura 3 – Parâmetros ionosféricos obtidos na digisonda CADI do Grupo de Física e Astronomia da UNIVAP em São Jose dos Campos – SP para as 18 noites dos anos de 2002 e 2003 estudadas.

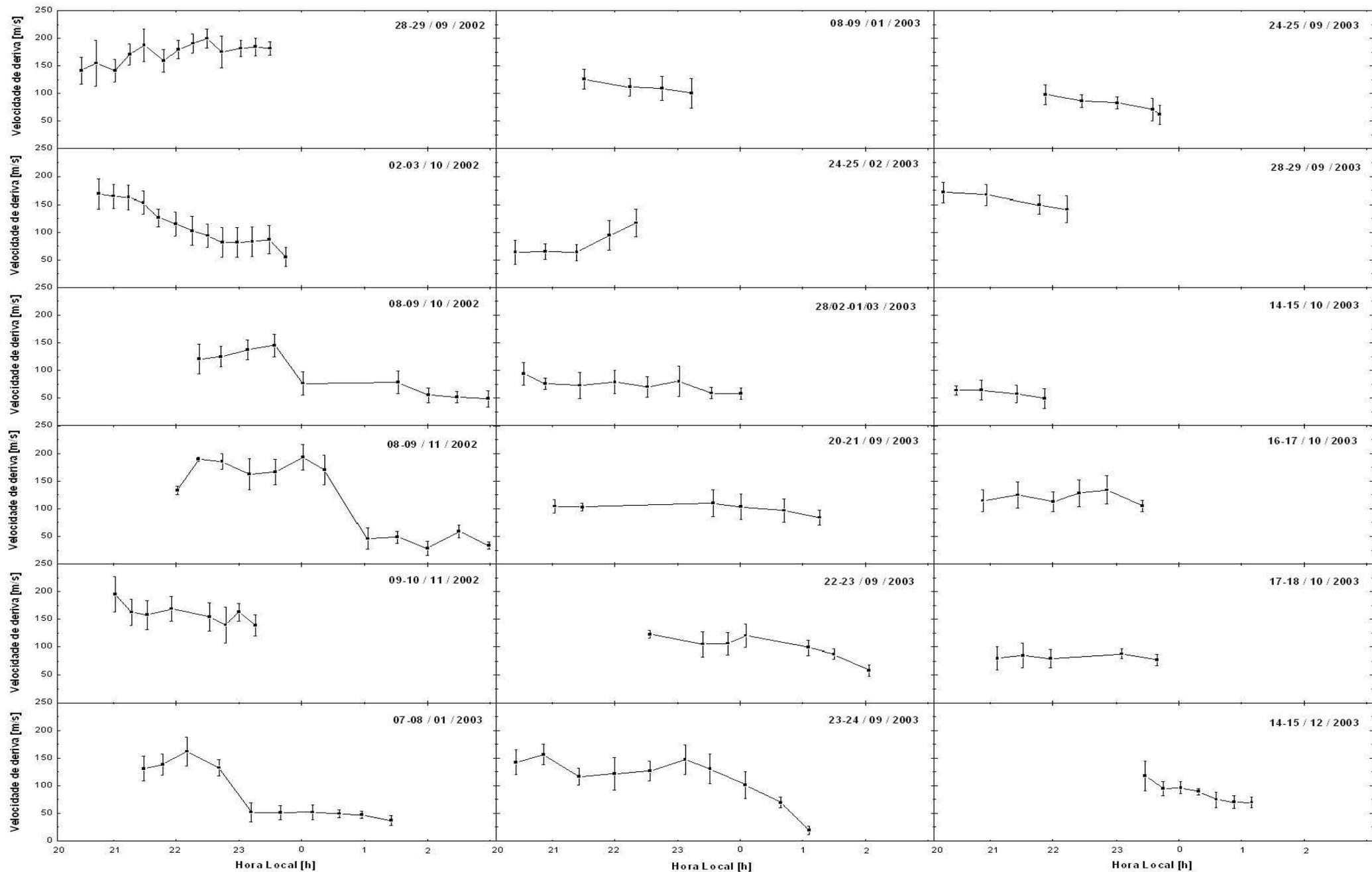


Figura 4 – Velocidade de deriva zonal para as 18 noites dos anos 2002 e 2003 analisadas.

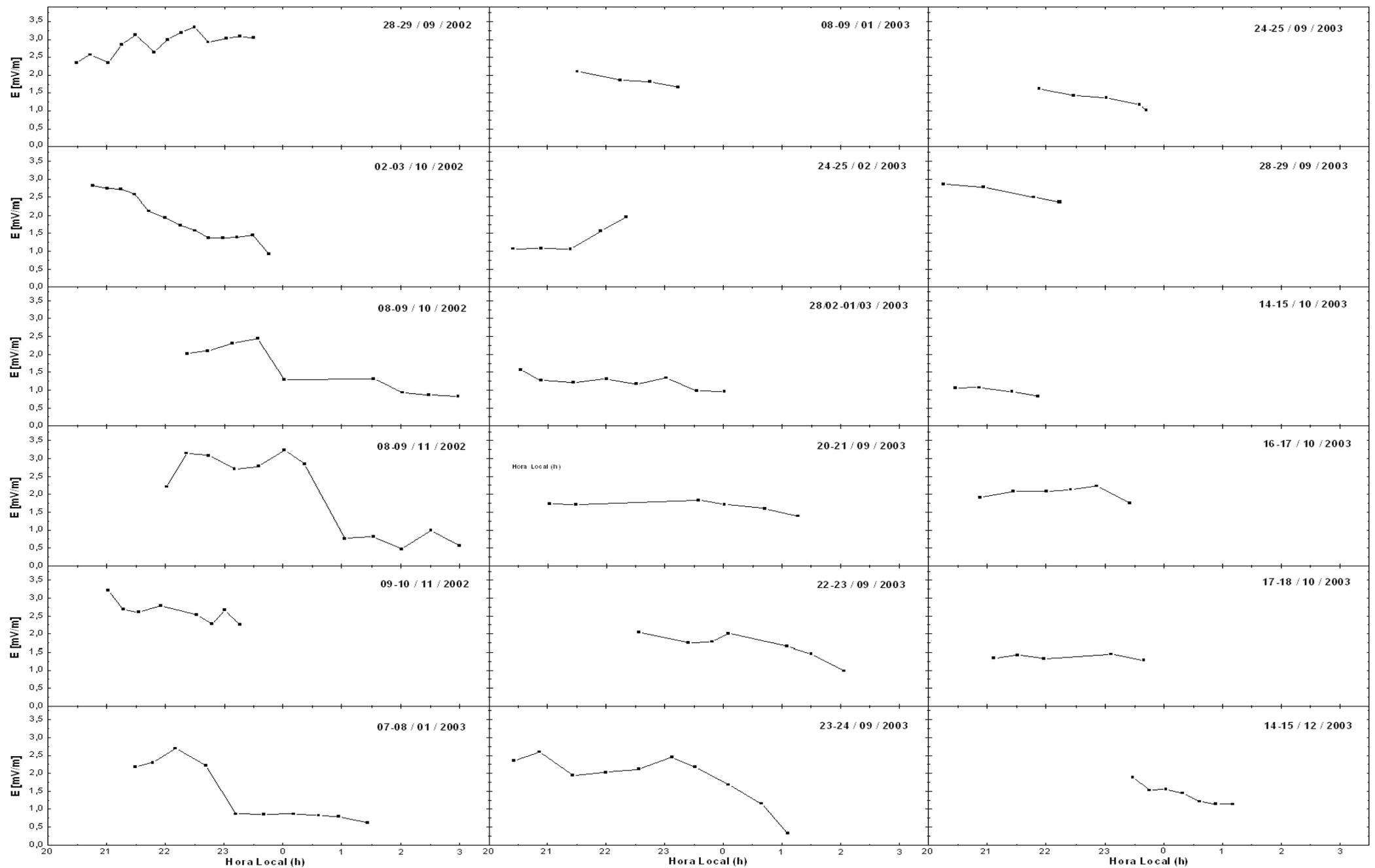


Figura 5– Valor da componente vertical do campo elétrico ionosférico para as 18 noites dos anos de 2002 e 2003.