

**DERIVA ZONAL DO PLASMA IONOSFÉRICO NO PERÍODO DE MÍNIMO SOLAR, 2006 A 2010, NA REGIÃO BRASILEIRA DE BAIXA LATITUDE, SÃO JOSÉ DOS CAMPOS-SP, UTILIZANDO EMISSÃO OI 630,0 nm**

**ZONAL DRIFT OF IONOSPHERIC PLASMA IN THE SOLAR MINIMUM PERIOD, 2006 TO 2010, IN THE LOW LATITUDE REGION OF BRAZIL, SAO JOSÉ DOS CAMPOS, SP, USING OI 630.0 nm EMISSION**

**Flávia Elaine Coelho<sup>1</sup>**  
**José Ricardo Abalde Guede<sup>1</sup>**  
**Paulo Roberto Fagundes<sup>1</sup>**  
**Rodolfo de Jesus<sup>1</sup>**  
**Valdir Gil Pillat<sup>1</sup>**

**RESUMO:** O trabalho apresenta análises das velocidades de deriva zonal das irregularidades de plasma ionosférico de grande escala; essas irregularidades foram observadas utilizando técnica óptica de emissão OI 630,0 nm, obtida através de fotômetro imageador, instalado, no Campus Urbanova da UNIVAP, em São José dos Campos - SP designado por SJC, região de baixa latitude. Os dados analisados foram coletados no período de 2006 a 2010, período de baixa atividade solar. Do total de 337 noites, em SJC, analisadas, foram selecionadas um total de 09 noites de ocorrências de bolhas de plasma significativas, estudadas em duas condições: considerando altitude fixa de 280 km da camada de emissão OI 630,0 nm e com o cálculo da altitude dessa camada variável ao longo de cada uma das noites analisadas. Para encontrar essas altitudes variáveis ao longo de cada noite, fomos auxiliados com a análise de dados de ionossonda digital CADI, operando, conjuntamente, com o fotômetro imageador no respectivo observatório. Os dados de rádio disponíveis nas digissondas permitiram fazer a análise em altitudes variáveis de 08 das 09 noites estudadas para altitude fixa; isso ocorreu por causa de espalhamentos presentes nos ionogramas para essa noite e horário, devido à presença das bolhas de plasma em estudo passando pelo zênite do observatório. A análise realizada determinou a velocidade de deriva zonal, para cada uma das bolhas, no decorrer das 09 noites, considerando altitude fixa, e de 08 noites avaliando altitudes variáveis. Foram obtidas as médias das noites analisadas para ambos os métodos; a velocidade média de deriva zonal das bolhas de plasma em 09 noites, analisadas no método de altitude fixa, foi de  $84 \pm 18$  m/s. No processo com altitude variável de emissão de 08 noites analisadas, chegamos a um valor médio de  $87 \pm 12$  m/s.

**Palavras-chave:** ionosfera; região F; bolhas de plasma; imageadores; emissão OI 630,0 nm.

**ABSTRACT:** The work presents analysis of the zonal drifts of ionospheric plasma irregularities on a large scale. These irregularities were observed using optical techniques of OI 630.0 nm emission obtained with photometer images from the Urbanova Campus of UNIVAP at São José dos Campos, SP (designated SJC), a latitude low region. The analyzed data were collected for five years, 2006 to 2010, during a period of low solar activity. Out of the 337 nights analyzed in SJC, a total of 9 nights were selected with significant plasma bubbles, two conditions were studied: fixed altitude of 280 km of the OI 630.0 nm emission layer and the calculated altitude of this variable layer throughout each analyzed night. The variable altitude during each night was found by analyzing data of CADI digital ionosonde, along with the photometer images of the respective observatory. The radio data available in digisonde allowed analysis of variable altitudes 8 of the 9 nights studied for fixed altitudes, this occurred because of scatterings in ionogramas for these nights and times, due to the presence of the plasma bubble passing by the zenith of the observatory. The analysis determined the velocity of zonal drift for each of the analyzed bubbles in the course of 9 nights considering fixed altitude and 8 nights with varying altitudes during each night. Averages of the analyzed nights were obtained for both methods. The average velocity of the zonal drift of the plasma bubble in 9 analyzed nights in the method of the fixed altitude is  $84 \pm 18$  m/s. In the other process with variable altitude emission, in SJC for the 8 nights analyzed, the average value was  $87 \pm 13$  m/s.

**Keywords:** ionosphere; F region; plasma bubble; imager; emission OI 630.0 nm.

---

<sup>1</sup> Docente da Universidade do Vale do Paraíba - UNIVAP / Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento - IP&D - Laboratório de Física e Astronomia. E-mails: flaviaec@univap.br; abalde@univap.br; fagundes@univap.br; jesus.rodolfo@hotmail.com; valdirgp@univap.br.

## 1. INTRODUÇÃO

As bolhas de plasma são irregularidades do plasma que ocorrem na camada F ionosférica, são regiões onde a densidade do plasma é reduzida, derivam, geralmente, para o leste e para as baixas latitudes. As mudanças que ocorrem diariamente na ionosfera: topologia, altura da camada, frequência crítica do pico da camada F, altura real da base e do pico da camada F, entre outras, são fundamentais na determinação da velocidade de deriva zonal das bolhas de plasma. As medições das derivas zonais das bolhas nas regiões de baixas latitudes têm sido realizadas, por vários pesquisadores, por intermédio de satélites, técnica de rádio: radar de retro-espalhamento e cintilações, e técnicas ópticas. Neste trabalho, utilizamos o fotômetro imageador, tipo “All-Sky”, utilizado para inferir derivas zonais e longitudinais de plasma, esse tipo de instrumento vem ganhando importância, pois, dependendo da localização, é possível observar a formação e evolução de grandes irregularidades ionosféricas e seguir as suas variações espaciais e temporais. Utilizamos o filtro de interferência OI 630,0 nm, emissão que vem do processo de recombinação dissociativa ( $O_2^+ + e \rightarrow O + O^* (^1D)$ ), seguido pelo processo radiativo ( $S^* (^1D) \rightarrow O(^3P) + h\nu$  ( $\lambda = 630,0$  nm)). Essa emissão, cuja intensidade é proporcional ao produto das concentrações de  $O^+$  e  $O_2$ , vem de uma camada relativamente estreita, centrada abaixo do pico da região F (aproximadamente, 250-280 km de altitude) na região do aumento na abundância do  $O_2$ . É importante mencionar que o estado  $O (^1D)$  é metaestável e tem uma vida útil de radiação de 110 segundos.

No presente trabalho, apresentamos e discutimos a velocidade de deriva zonal

noturna, do plasma obtido a partir do deslocamento oeste para leste de grandes estruturas de depleção observadas em imagens no céu (campo de visão  $180^\circ$ ), para várias noites de 2006 a 2010, em SJC, consideramos uma altitude de emissão fixa em 280 km e considerando altitudes variáveis. Para a obtenção das altitudes variáveis, fizemos uso de dados da ionossonda digital do tipo CADI (*Canadian Advanced Digital Ionosonde*), equipamento instalado junto ao fotômetro imageador no Campus Urbanova, da UNIVAP (Universidade do Vale do Paraíba), em SJC. Para encontrarmos os valores das velocidades de deriva zonal das bolhas de plasma, as imagens, primeiramente, são linearizadas, utilizando um sistema de coordenadas geográficas apropriadas; em seguida, as regiões de intensidade de plasma reduzida são fatiadas em imagens consecutivas e utilizando a parede ocidental da bolha como ponto de depleção mínimo, muito mais estável que a parede oriental da bolha, é comparada de modo a obter os deslocamentos e velocidades de deriva zonal da bolha oeste-leste (PIMENTA *et al.*, 2001; ABALDE *et al.*, 2004).

## 2. DADOS E METODOLOGIA

As estruturas espaciais das irregularidades mostram um padrão de estrutura fina e única que abre e desenvolve-se em ramificações, à medida que avança para as baixas latitudes. As imagens cruas ou primárias são distorcidas, curvadas e comprimidas nas suas bordas (região onde o ângulo de elevação é baixo), e insufladas no centro ou zênite (ângulo de elevação elevado), devido ao efeito da lente olho de peixe. Portanto, essas imagens são, primeiramente, linearizadas, para remover

os efeitos da lente. Para calcular as velocidades de deriva zonal das bolhas de plasma (direção oeste-leste), em função da hora local, primeiro temos que considerar a altitude máxima da emissão em estudo e transformar as imagens cruas em imagens com uma grade linear, utilizando o método de linearização (GARCIA; TAYLOR; KELLEY, 1997; PIMENTA *et al.*, 2001, 2003; ABALDE *et al.*, 2004, 2009; SOUBHIA; ABALDE; FAGUNDES, 2004). As escolhas

dessas altitudes máximas de emissão são importantes, pois as imagens linearizadas são ligeiramente diferentes quando assumimos altitudes distintas dos picos.

A Tabela 1 indica as nove noites selecionadas, a data das noites escolhidas, a estação do ano, o período de operação, número de imagens capturadas, hora inicial e final das bolhas observadas e os diferentes números de bolhas analisados na noite escolhida.

**Tabela 1 - Data, estação do ano, período de operação, número de imagens capturadas, horário inicial e final da ocorrência de bolhas de plasma registradas e número de bolhas diferentes analisadas pelo fotômetro imageador, no Observatório do Campus Urbanova, da UNIVAP, na cidade de São José dos Campos - SP, Hora local (HL)**

DATA	ESTAÇÃO	PER. OPER.	Nº IMAGENS	PER. ANALIS.	Nº BOLHAS
23-24/11/2006	Primavera	21:00-03:46	60	22:35-00:38	1
11-12/01/2007	Verão	19:55-04:00	72	23:47-00:21	1
23-24/02/2007	Verão	21:30-04:53	66	22:31-00:06	3
01-02/04/2008	Equinócio	18:45-01:34	53	00:47-01:34	2
20-21/12/2009	Verão	21:55-04:25	50	22:03-22:43	1
07-08/02/2010	Verão	19:45-00:14	35	21:36-00:14	5
08-09/02/2010	Verão	19:45-01:04	41	21:45-00:40	3
09-10/03/2010	Equinócio	19:24-00:34	40	20:52-00:34	4
11-12/03/2010	Equinócio	19:23-02:16	46	20:18-23:53	4

### 3. ANÁLISE DE DADOS RESULTADOS

A Figura 1 mostra os gráficos com as velocidades da deriva zonal das bolhas de plasma para altitude fixa e altitudes variáveis. As imagens foram linearizadas em altitude fixa de emissão em 280 km, com base em pesquisas anteriores (MENDILLO; BAUMGARDNER, 1982; SOBRAL; ABDU, 1990, 1991; MENDILLO *et al.*, 1997) e nos deslocamentos das paredes ocidentais das bandas de depleção na intensidade, estruturas escuras (PIMENTA *et al.*, 2001, 2003; ABALDE *et al.*, 2004, 2009), em nove noites, para São José dos Campos, três no equinócio, uma na primavera e seis no verão. E análises de oito noites com altitudes variáveis, utilizando dados

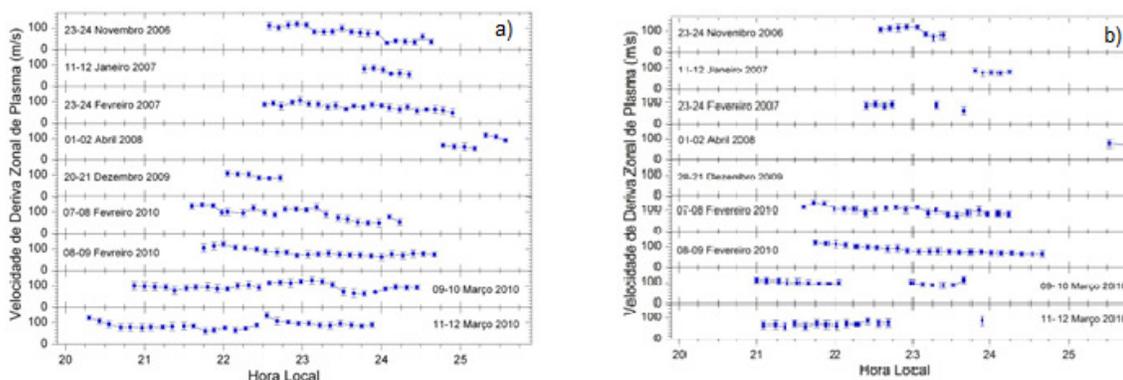
coletados pela ionossonda digital.

Na análise feita para as nove noites de emissão fixa, as médias máxima e mínima das velocidades de deriva zonal das bolhas de plasma ionosférico, encontradas em SJC, foram de  $116 \pm 7$  m/s e  $57 \pm 15$  m/s, respectivamente, e média das velocidades de deriva de  $84 \pm 18$  m/s. No cálculo utilizando altitudes variáveis, os valores da deriva zonal das bolhas de plasma foram de médias máxima e mínima de  $105 \pm 7$  m/s e  $70 \pm 11$  m/s e a velocidade média de  $87 \pm 12$  m/s. Na análise dos ionogramas das 08 das nove noites em que foi possível definir o valor da altura de base da camada ionosférica F, os valores obtidos, entre 212 km e 313 km, com um valor médio da altura

de  $249 \pm 12$  km, sempre inferior ao adotado para o cálculo da primeira parte, com altura fixa, que foi adotado o valor de 280 km.

As médias máxima e mínima, nas velocidades de deriva zonal obtidas durante o período de baixa atividade solar, 2006 a 2010, são similares para ambos os pontos de observação e inferiores aos já observados durante os anos 2000 e 2001, um período de alta atividade solar (ABALDE *et al.*, 2004), para SJC, as velocidades de deriva zonal das bolhas de plasma ionosférico média máxima e mínima encontradas foram de  $185 \pm 10$  m/s, e  $104 \pm 18$  m/s, respectivamente, para uma altitude de pico de emissão fixa em 300 km, e média máxima e mínima de  $172 \pm 2$  m/s, e  $89 \pm 15$

m/s, respectivamente, para uma altitude de pico de emissão variável entre 250 km e 300 km; ajuste obtido com dados de uma ionossonda digital. Se atentarmos aos valores das velocidades de deriva zonal das bolhas de plasma ionosférico na Figura 1 a) e b) mostram que elas diminuem no decorrer da noite, apresentando valores maiores no início do anoitecer e, diminuindo, e sendo mínimos, à medida que as irregularidades de plasma permanecem até próximas da meia-noite (horário local) e além. As irregularidades observadas nos anos de 2006 a 2010, em média, apresentam períodos de observações noturnas bem mais tardios do que as observadas por Abalde *et al.* (2004).



**Figura 1 - a) Velocidades de deriva zonal das bolhas de plasma ionosférico para as nove noites de céu limpo selecionadas no período de 2006 a 2010, extrema baixa atividade solar. Valores calculados para uma altura fixa da base da camada ionosférica F de 280 km. b) Velocidades de deriva zonal das bolhas de plasma ionosférico para oito das nove noites. Valores calculados para alturas variáveis, a partir dos ionogramas coletados pela ionossonda CADI.**

Na Tabela 2, podemos analisar os valores encontrados em altitude fixa e altitude variável, observa-se que os valores calculados para altitude variável são

ligeiramente maiores em seis das oito noites, em duas noites a tendência se inverte.

**Tabela 2 - Velocidades médias de deriva zonal das bolhas de plasma da camada ionosférica F para as nove noites de São José dos Campos, calculadas para altitudes fixa e variável**

DATA	ESTAÇÃO	MÉDIA FIXA [m/s]	MÉDIA VAR. [m/s]
23-24/11/2006	Primavera	75	99
11-12/01/2007	Verão	70	76
23-24/02/2007	Verão	77	84
01-02/04/2008	Equinócio	80	75
20-21/12/2009	Verão	97	-
07-08/02/2010	Verão	92	100
08-09/02/2010	Verão	83	84
09-10/03/2010	Equinócio	95	100
11-12/03/2010	Equinócio	88	72
Médias	-	84	86

#### 4. CONCLUSÕES

As principais conclusões foram que as velocidades médias da deriva zonal das bolhas de plasma, nesse período de mínimo solar, anos 2006 a 2010, são inferiores aos observados, no período de alta atividade solar, anos de 2000 e 2001, por Abalde *et al.* (2004), para SJC; anos 2006 e 2007, por Paulino *et al.* (2011), para São João do Cariri; anos 1998 a 2000, por Arruda *et al.* (2006), em Cachoeira Paulista. Os valores menores da velocidade de deriva zonal, no período de baixa atividade solar, podem ser parcialmente explicados devido às bolhas aparecem em horas mais tardias que as observadas nas noites de alta atividade solar, e a seu comportamento decrescente ao longo da noite.

#### REFERÊNCIAS

- ABALDE, J. R. *et al.* Height resolved ionospheric drift at low latitudes from simultaneous OI 777.4 nm and OI 630.0 nm imaging observations, *Journal of Geophysical Research*, v. 109, n. A11, p. A11308, 2004.
- ABALDE, J. R. *et al.* Day-to-day variability in the development of plasma bubbles associated with geomagnetic disturbances, *Revista Univap - Edição Especial - revista.univap.br São José dos Campos-SP-Brasil*, v. 19, n. 34, nov.2013. ISSN 2237-1753
- J. *Geophys. Res.*, v. 114, n. A4, p. A04304, 2009.
- ARRUDA, D. C. S. *et al.* Theoretical and experimental zonal drift velocities of the ionospheric plasma bubbles over the brazilian region. *Advanced in Space Research*, v. 38, n. 11, 2006, p.2610–2614. 2006.
- GARCIA, F. J.; TAYLOR, J. M.; KELLEY, M. C. Two-dimensional spectral analysis of mesospheric airglow image data. *Appl. Optics*, v. 36, n. 29, p. 7374-7385, 1997.
- MENDILLO, M.; BAUMGARDNER, J. Airglow characteristics of equatorial plasma depletions, *J. Geophys. Res.*, v. 87, p. 7641-7652, 1982.
- MENDILLO, M. *et al.* Imaging science contributions to equatorial aeronomy: initial results from the MISETA program. *J. Atmos. Terr. Phys.*, v. 59, n. 13, p. 1587-1599, 1997.
- PAULINO, I. *et al.* Plasma bubble zonal drift characteristics observed by airglow images over brazilian tropical region. *Brazilian Journal Geophysics*, v. 29, n. 2, p. 239-246, 2011.
- PIMENTA, A. A. *et al.* Ionospheric plasma bubble zonal drift: a methodology using OI

- 630 nm all-sky imaging systems. *Adv. Space Res.*, v. 27, n. 6-7, p. 1219-1224, 2001.
- PIMENTA, A. A. *et al.* Equatorial F-region plasma depletion drifts: latitudinal and seasonal variations, *Ann. Geophys.*, v. 21, p. 2315-2322, 2003.
- SOBRAL, J. H. A.; ABDU, M. A. Latitudinal gradient in the plasma bubble zonal velocities as observed by scanning 630-nm airglow measurements. *J. Geophys. Res.*, v. 95, n. A6, p. 8253-8257, 1990.
- SOBRAL, J. H. A.; ABDU, M. A. Solar activity effects on equatorial plasma bubble zonal velocity and its latitude gradient as measured by airglow scanning photometers, *J. Atmos. Terr. Phys.*, v. 53, n. 8, p.729-742, 1991.
- SOUBHIA, B. B.; ABALDE, J. R.; FAGUNDES, P. R. Determinação do campo elétrico vertical associado à deriva zonal do plasma ionosférico. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 8., ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO-EPG, 4.; 2004, São José dos Campos, SP. *Programação e anais de resumos...* São José dos Campos: UniVap, 2004. p. 24R.