

# Estudo comparativo da ocorrência de espalhamento do tipo “range” na região-F nos setores brasileiro e japonês

Rodolfo de Jesus<sup>1</sup>, Yogeshwar Sahai<sup>1</sup>, Paulo Roberto Fagundes<sup>1</sup>, Valdir Gil Pilat<sup>1</sup>, Kiyoshi Igarashi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade do Vale do Paraíba/IP & D, Avenida Shishima Hifumi, 2911, São José dos Campos, SP, 12244-000

<sup>2</sup>National Institute of Information and communications Technology (NICI), Koganei, Tokyo, Japão.  
rodolfodejesus21@yahoo.com.br

## Resumo

O objetivo desta investigação consiste em estudar as ocorrências do aparecimento de espalhamento do tipo “range” na região-F (spread-F) em São José dos Campos (SJC, hemisfério sul), Brasil e Okinawa (OKI, hemisfério norte), Japão, durante o período de atividade solar alta (ASA; outubro de 2000 a setembro de 2001) e atividade solar baixa (ASB; março de 2005 a fevereiro de 2006). As duas estações estão separadas em aproximadamente 180° em longitude. As comparações durante ASA e ASB em SJC mostram que a presença de spread-F está mais forte, em geral, durante ASA do que ASB, no entanto em OKI as ocorrências de spread-F, em geral, durante ASA e ASB não apresentam muita diferença. As comparações entre SJC e OKI durante ASA mostram que enquanto em SJC apresenta máxima ocorrência de spread-F no solstício de dezembro em OKI durante este período praticamente não existe a ocorrência de spread-F. Por outro lado durante os meses de maio até agosto (solstício de junho) normalmente não ocorre spread-F em SJC, mas durante o período de julho até setembro tem ocorrência de spread-F em OKI. As comparações entre SJC e OKI referente à ASB não mostram tendências de diferença tão clara.

## 1 Introdução

A atmosfera é dividida em regiões distintas (troposfera, estratosfera, mesosfera e termosfera), sendo que na parte superior da atmosfera (mesosfera e termosfera) coexiste com a porção ionizada da atmosfera, denominada ionosfera, na qual desempenha um papel importante na propagação de rádios-comunicação (RF) de longa distância. Esta região ionizada está localizada entre 70 km até aproximadamente 1000 km de altitude e pode ser dividida em diferentes camadas (regiões) de acordo com suas características. As camadas da ionosfera terrestre são a camada-D, localizada entre 70 e 90 km de altitude, a camada-E localizada entre 90 e 150 km de altitude, a camada-F1 localizada entre 150 e 200 km de altitude e a camada-F2 localizada entre 200 e 1000 km de altitude.

A ionosfera é ionizada através da radiação solar na faixa espectral do extremo ultravioleta (EUV) e dos raios-X, processo chamado fotoionização.

A ionosfera é formada por cargas elétricas negativas (elétrons) e positivas (íons), chamado de plasma ionosférico. O plasma ionosférico apresenta características elétricas e, portanto interage com as ondas eletromagnéticas (RF) podendo causar a refração ou a reflexão das mesmas. A camada-F localizada entre 250 - 400 km de altitude é a região da ionosfera com maior

densidade de plasma e dependendo do tempo e do lugar, esta camada é considerada a mais importante para as rádio-comunicações. Por esta razão o grupo de pesquisa em Física espacial da Univap, concentra os seus estudos nesta camada.

O trabalho pioneiro [1] em 1938 utilizando observações de sondagens ionosféricas em Huancayo, Peru, (região do equador magnético) mostrou a presença dos traços de espalhamento na região-F, que indica a presença de irregularidades ionosféricas que são denominadas “spread-F” (Figura 1). As “spread-F” distinguem-se em pequena escala do tipo frequência e de grande escala do tipo “range”. As “spread-F” do tipo “range” geradas na região equatorial quando evoluem e ocupam as regiões de baixas latitudes são chamadas de bolha de plasma trans-equatorial. Caracterizam-se por uma região de baixa densidade eletrônica comparada ao plasma ambiente e são alinhadas ao campo magnético terrestre. As irregularidades ionosféricas de grande escala são geradas e evoluem no equador magnético independentemente da ocorrência ou não de tempestade geomagnética. Mas em algumas ocasiões foram observadas geração ou supressão das irregularidades ionosféricas equatorial durante tempestade geomagnética [2]. Durante os últimos setenta anos foram obtidos grandes avanços nessa área de pesquisa, mas ainda existem muitos assuntos que necessitam de mais estudos [3 - 12].

Como discutido por [13] existem três níveis de “spread-F” que são observados na região equatorial e de baixa latitude: total BSSF (bottom side spread-F) e forte BSSF, (ambos observados próximo ao equador magnético dip), e o terceiro nível ocorre quando o forte BSSF evolui e gera bolhas macroscópicas que podem às vezes se estender na região da anomalia ionosférica equatorial ou latitudes mais altas. No setor brasileiro (região equatorial e de baixa latitude) o espalhamento do tipo “range” (spread-F) ocorre com mais frequência durante a noite entre outubro até março, com picos de ocorrência aproximadamente às 21:00 LT (hora local).

A presença de “spread-F” do tipo “range” observada pela CADI em SJC indica a formação de bolha de plasma. As observações ópticas das emissões 777.4 nm e 630.0 nm da região-F utilizando o imagiador tipo “all sky” mostra as bolhas de plasma como bandas com depleções de intensidade alinhadas quase em direção ao norte-sul magnético [14].

O estudo do “spread-F” é muito importante pois esse fenômeno pode causar interferências nas rádio comunicações de longa distância.

Neste artigo estudou-se a ocorrência de irregularidade ionosférica equatorial do tipo “range” (spread-F) sobre São José dos Campos (SJC, hemisfério sul), Brasil (23,2° S, 45,9° O; latitude dip 17,6° S) localizado na região sul da anomalia ionosférica equatorial, e a ocorrência de “spread-F” do tipo “range” sobre Okinawa (OKI, hemisfério norte), Japão (26,3° N, 127,8° L; latitude dip 21,2° N). Os estudos incluem a atividade solar alta (ASA) entre os meses de outubro de 2000 a setembro de 2001 e atividade solar baixa (ASB) entre os meses de março de 2005 a fevereiro de 2006 (Figura 3). Pode-se indicar como mencionado anteriormente que a presença de “spread-F” do tipo “range” nessas duas localidades são indicadores da ocorrência de bolhas de plasma.

O objetivo principal deste estudo é realizar comparações de ocorrência de “spread-F” tipo “range” em função do ciclo solar, em dois setores distintos do globo terrestre. Neste estudo foram utilizadas as estações localizadas em SJC (45,9 O) e OKI (127,8 L) que estão localizadas em longitudes opostas.

## 2 Materiais e métodos

Este trabalho foi desenvolvido utilizando os dados obtidos por uma *Canadian Advanced Digital Ionosonde (CADI; [15])* instalada em SJC e utilizando o site <http://wdc.nict.go.jp/cgi-bin/ionog/manualfv> para adquirir os dados ionosféricos obtidos em OKI (Japão). Os dados analisados foram obtidos em SJC e OKI durante os meses de outubro de 2000 a setembro de 2001 e março de 2005 a fevereiro de 2006 para atividade solar alta e baixa, respectivamente. Os ionogramas obtidos da CADI são analisados utilizando-se o programa *Univap Digital Ionosonde Data Analysis (UDIDA)*. Nesse trabalho foi

analisada a presença de “spread-F” do tipo “range” nos ionogramas obtidos em SJC e Okinawa a cada 30 minutos entre as 19:00 e 05:00 horas local. A Figura 1 mostra um ionograma obtido em SJC com a presença de “spread-F” e a Figura 2 mostra um exemplo de um ionograma noturno típico obtido em SJC.

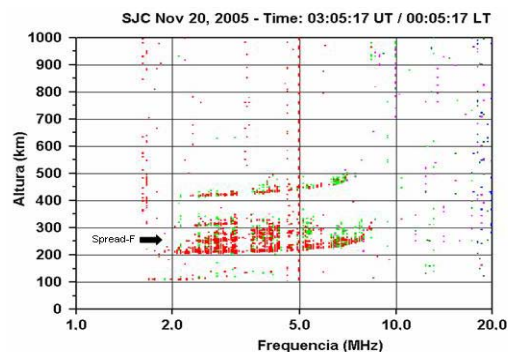


Figura 1: Ionograma com a presença de “spread-F” obtido em São José dos Campos durante a noite em 20 de novembro de 2005, às 03:05 Universal Time (UT).

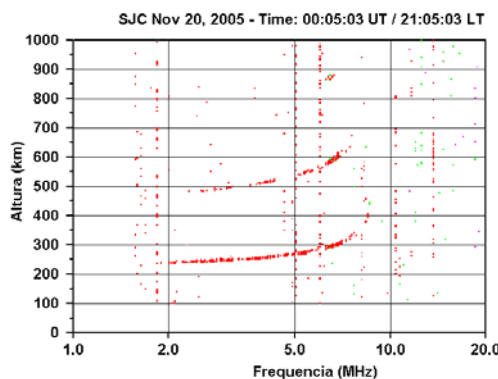


Figura 2: Ionograma típico obtido em São José dos Campos durante a noite em 20 de novembro de 2005, às 00:05 Universal Time (UT).

A Figura 3 mostra a variação da atividade solar utilizando as médias mensais das emissões solares na frequência de 2800 MHz (10,7 cm) durante o período de janeiro de 1995 a maio de 2006. Sendo que os dados ionosféricos obtidos durante os meses analisados são indicados em azul.

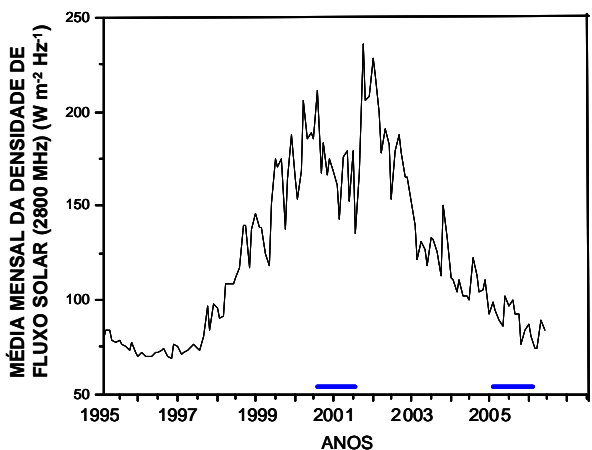


Figura 3: Média mensal da densidade de fluxo solar (2800 MHz) de janeiro de 1995 a maio de 2006, indicando a variação da atividade solar. Os meses analisados são indicados em azul.

### 3 Resultados

A Figura 4 mostra a porcentagem da ocorrência de “spread-F” do tipo “range” (preto) em cada mês durante ASA em SJC, consideradas nessas investigações (19:00 até 5:00 hora local). Os números acima de cada barra em preto corresponde ao valor total em horas com presença de “spread-F” em cada mês.

Similarmente a Figura 4, as Figuras 5, 6 e 7 mostram a presença de “spread-F” do tipo “range” em Okinawa (ASA), SJC (ASB) e Okinawa (ASB), respectivamente.

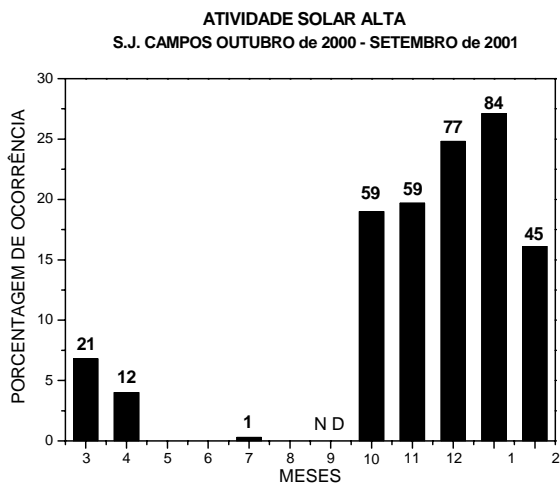


Figura 4: Porcentagem de ocorrência de “spread-F” do tipo “range” observadas em SJC durante os meses de outubro de 2000 a setembro de 2001. No mês de setembro de 2001 não houve observação. O número acima de cada barra em preto corresponde ao valor total em horas com presença de “spread-F” em cada mês.

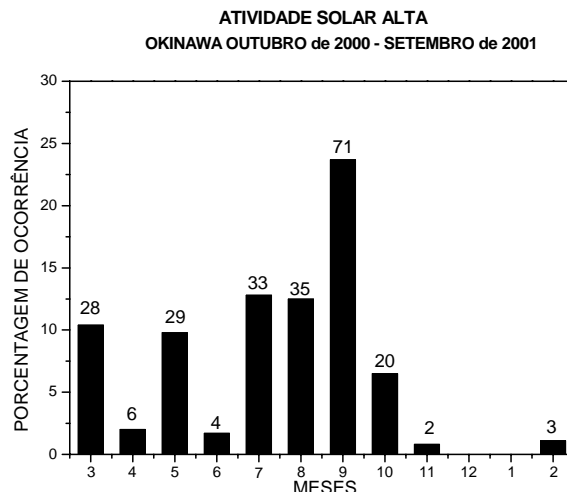


Figura 5: Porcentagem de ocorrência de “spread-F” do tipo “range” observadas em Okinawa durante os meses de outubro de 2000 a setembro de 2001. O número acima de cada barra em preto corresponde ao valor total em horas com presença de “spread-F” em cada mês.

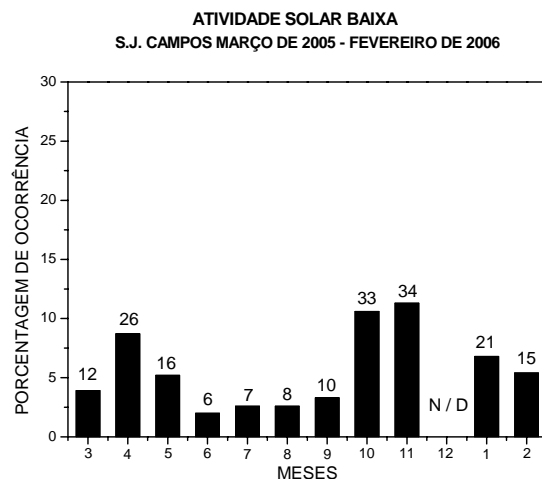


Figura 6: Porcentagem de ocorrência de “spread-F” do tipo “range” observadas em SJC durante os meses de março de 2005 a fevereiro de 2006. No mês de dezembro de 2005 não houve observação. O número acima de cada barra em preto corresponde ao valor total em horas com presença de “spread-F” em cada mês.

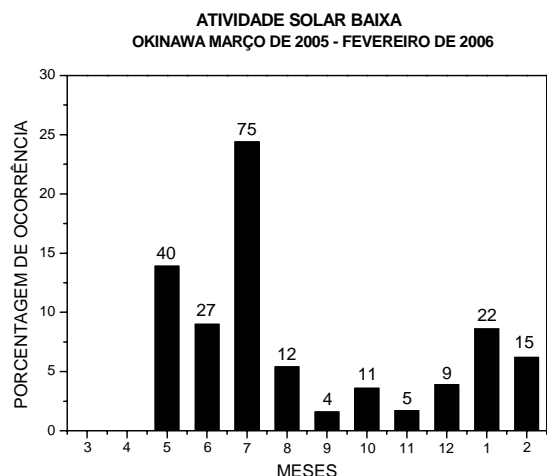


Figura 7: Porcentagem de ocorrência de "spread-F" do tipo "range" observadas em Okinawa durante os meses de março de 2005 à fevereiro de 2006. O número acima de cada barra em preto corresponde ao valor total em horas com presença de "spread-F" em cada mês.

## 4 Discussão

As comparações entre as Figura 4 e 6 mostra aumento na presença de spread-F em SJC durante os meses de outubro até abril, mas a presença de spread-F está mais forte durante ASA do que ASB. Estes resultados estão de acordo com o trabalho [15] que utilizou as observações de imageamento do tipo céu total da emissão 630 nm.

As comparações entre as Figuras 5 e 7 não mostram tendência clara da variação sazonal em Okinawa durante ASA e ASB. A Figura 5 mostra máximo em setembro durante ASA e a Figura 7 mostra máximo em julho durante ASB. Também pode-se mencionar que as ocorrências de spread-F em geral em Okinawa durante ASA e ASB não apresentam muita diferença. Estes resultados são bem diferentes do que os resultados apresentados em [16] e [17], que mostraram diminuição na ocorrência de spread-F durante ASA comparando com ASB.

As comparações entre as Figura 4 e 5 referentes à ASA mostram máxima ocorrência de spread-F durante os meses de dezembro e janeiro em SJC (solstício de dezembro), mas a máxima ocorrência de spread-F em Okinawa ocorre durante o mês de setembro (equinócio). As Figuras também mostram que enquanto em SJC apresenta máxima ocorrência de spread-F no solstício de dezembro em Okinawa durante este período praticamente não existe a ocorrência de spread-F. Por outro lado durante os meses de maio até agosto (solstício de junho) normalmente não ocorre spread-F em SJC, mas durante o período de solstício de junho tem ocorrência de spread-F em Okinawa.

As Figuras 6 e 7 referente a ASB não mostram tendências de diferença tão clara entre SJC e Okinawa.

Pode-se mencionar a ocorrência máxima em spread-F durante o mês de julho em Okinawa.

As diferenças sazonais entre as ocorrências de spread-F observadas nos dois setores estão possivelmente relacionadas com a diferença na declinação magnética [18] ou diferença no vento meridional [19].

## 5 Conclusões

Neste trabalho foi apresentado o estudo das ocorrências do aparecimento do "spread-F" do tipo "range" (spread-F) em São José dos Campos (SJC, hemisfério sul), Brasil e Okinawa (OKI, hemisfério norte), Japão, durante o período de atividade solar alta (ASA; outubro de 2000 a setembro de 2001) e atividade solar baixa (ASB; março de 2005 a fevereiro de 2006). As duas estações estão separadas em aproximadamente 180° em longitude. Os resultados principais apresentados são:

1- O estudo atual mostrou que em SJC a presença de spread-F é mais freqüente durante ASA do que ASB, no entanto em OKI não apresenta uma diferença significativa na freqüência de ocorrência durante ASA e ASB.

2- As comparações entre SJC e OKI durante ASA mostram que enquanto em SJC apresenta máxima ocorrência de spread-F no solstício de dezembro em OKI durante este período praticamente não existe a ocorrência de spread-F. Por outro lado durante os meses de maio até agosto (solstício de junho) normalmente não ocorre spread-F em SJC, mas durante o período de julho até setembro tem ocorrência de spread-F em OKI.

3- As comparações entre SJC e OKI referente ASB não mostram tendências de diferença tão clara na freqüência de ocorrência de spread-F.

## Referências

- [1] BOOKER, H.G., WELLS, H.W., Scattering of radio waves by the F-region of the ionosphere. *J. Geophys. Res.* **43**, 249-256, 1938.
- [2] MARTINIS, C.R., MENDILLO, e AARONS, J. Toward a synthesis of equatorial spread-F onset and suppression during geomagnetic storms. *J. Geophys. Res.*, **110**, A07306, doi: 10.1029/2003JA010362, 2005.
- [3] OSSAKOW, S.L., CHATURVEDI, P.K., Morphological studies of rising equatorial spread-F bubbles. *J. Geophys. Res.*, **83**, 2085-2090, 1978.
- [4] TSUNODA, R.T., BARON, M.J., OWEN, J., TOWEL, D.M., 1979. ALTAIR: an incoherent scatter radar for equatorial spread-F. *Radio Sci.*, **14**, 1111-1119.

- [5] KELLEY, M.C., LARSEN, M.F., LAHOZ, C., McCLURE, J.P., Gravity wave initiation of equatorial spread-F: A case study. *J. Geophys. Res.*, **86**, 9087 – 9100, 1981.
- [6] TSUNODA, R. T., LIVINGSTON, R.C., McCLURE, J.P, e HANSON, W.B.: Equatorial plasma bubbles: Vertically elongated wedges from the bottomside F layer, *J. Geophys. Res.*, **87**, 9171-9180, 1982.
- [7] MENDILLO, M., BAUMGARDNER, J., Airglow characteristics of equatorial plasma depletions. *J. Geophys. Res.*, **87**, 7641-7652, 1982.
- [8] KELLEY, M.C., Equatorial spread-F: Recent results and outstanding problems. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **47**, 745-752, 1985.
- [9] HANSON, W.B., CRAGIN, B.L., DENNIS, A., the effects of vertical drift on the equatorial F-region stability. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **48**, 205-212, 1986.
- [10] RAGHAVARÃO, R., GUPTA, S.P., SEKAR, R., NARAYANAN, R., DESAI, J.N., SRIDHARAN, R., BABU, V.V., SUDHAKAR, V., In-situ measurements of winds, electric fields and electron densities at the onset of equatorial spread-F. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **49**, 485-492, 1987.
- [11] SULTAN, P.J., Linear theory and modeling of the Rayleigh-Taylor instability leading to the occurrence of equatorial spread-F. *J. Geophys. Res.*, **101**, 26,875-26,891, 1996.
- [12] BITTENCOURT, J.A., SAHAI, Y., FAGUNDES, P.R., TAKAHASHI, H., Simultaneous observations of equatorial F-region plasma depletions and thermospheric winds. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **59**, 1049-1059, 1997.
- [13] WHALEN, A. JAMES. Dependence of equatorial bubbles and bottomside spread-F on season, magnetic activity, and  $E \times B$  drift velocity during solar maximum. *J. Geophys. Res.*, **107**, no. A2, 10.1029/2001JA000039, 2002.
- [14] ABALDE, J.R., FAGUNDES, P.R. Observations of equatorial F-region plasma bubbles using simultaneous OI 777.4 nm and 630.0 nm imaging: New results. *Journal of Geophysical Research*, 2001.
- [15] SAHAI, Y., FAGUNDES, P.R., BITTENCOURT, J.A., 2000. Transequatorial F-region ionospheric plasma bubbles: solar cycle effects, *J. Atmos. Solar Terr. Phys.*, **62**, 1377-1383, 2000.
- [16] IGARASHI, K., KATO, H. Solar cycle variations and latitudinal dependence on the mid-latitude spread-F occurrence around Japan, *WDC-A for Solar-Terrestrial Physics- report UAG 104*, January 1995.
- [17] HUANG, Y.N., CHENG, K., HUANG, W.T, 1987. Seasonal and solar cycle variations of spread F at the equatorial anomaly crest zone, *J. Geomag. Geoelectr.*, **39**, 639-657, 1987.
- [18] TSUNODA, R.T., Control of the seasonal and longitudinal occurrence of equatorial scintillations by the longitudinal gradient in integrated E region Pedersen conductivity. *J. Geophys. Res.*, **90**, 447-456, 1985.
- [19] MARUYAMA, T., MATURA, N., Longitudinal variability of annual changes in activity of equatorial spread-F and plasma bubbles. *J. Geophys. Res.*, **89**, 10,903-10,912, 1984.