

ESTUDO DE OCORRÊNCIA DE SPREAD-F AO LONGO DO MERIDIANO MAGNÉTICO DURANTE O MÍNIMO SOLAR (CICLO 23)

Moor, L. P.; De Jesus, R.; Pillat, V. G. ; Fagundes, P. R.; Sahai, Y.

Universidade do Vale do Paraíba/IP&D, Avenida Shishima Hifumi,
2911, Urbanova, São José dos Campos, SP, Brasil.
lilimoor@gmail.com

Resumo- As irregularidades de plasma geradas na ionosfera equatorial (Spread-F) se apresentam basicamente em dois diferentes tipos, Range Spread-F e Frequência Spread-F. Esta investigação tem como objetivo analisar a ocorrência de Spread-F ao longo do meridiano magnético utilizando observações realizadas em Palmas (10,2° S; 48,2° O; Dip latitude e 5,5° S) e São José dos Campos (23,2° S; 45,9° O; Dip latitude 17,6° S), próximo a região equatorial e em baixa latitude, respectivamente. Durante o período de atividade solar mínima pode-se notar quatro padrões distintos de ocorrência de Spread-F: (a) O primeiro, e mais comum, é quando observamos Spread-F somente na região equatorial; (b) O segundo caso, também comum, é quando há geração de Spread-F na região equatorial e depois de algum tempo observa-se o surgimento de spread-F em baixas latitudes; (c) O terceiro caso, o mais esporádico, é quando ocorre Spread-F em baixas latitudes e posteriormente em regiões equatoriais; e (d) O quarto e último caso, esporádico, é quando observamos espalhamento somente em baixas latitudes. Neste trabalho apresenta-se e discutem-se os quatro padrões de formação de irregularidades ionosféricas.

Palavras-chave: Ionosfera, Irregularidades Ionosféricas, Ionossonda.

Área do Conhecimento: Ciências Exatas e da Terra.

Introdução

As irregularidades de plasma vem sendo estudadas desde a década de trinta, Booker e Wells (1938). Até o presente momento, vários aspectos envolvendo as irregularidades ionosféricas equatoriais (Spread-F ou ESF) estão bem estabelecidas e compreendidas como, por exemplo, são geradas na base da camada F pela instabilidade de Rayleigh-Taylor, possui normalmente uma deriva zonal, a variabilidade sazonal, a dependência com o ciclo solar, as variações longitudinais e morfológicas (dimensões zonal e meridional da irregularidade). Porém, algumas características do fenômeno ESF não estão bem estabelecidas, como por exemplo, os fatores envolvidos na sua variação dia-a-dia, a geração de ESF durante períodos perturbados, o papel dos ventos termosféricos, do campo elétrico zonal durante o pico pré-reversão, das ondas de gravidade e das ondas planetárias na geração da ESF (FAGUNDES et al., 2009a e 2009b; WHALLEN, 2002; RAGHAVARAO et al., 1999).

O ESF se apresenta, em ionogramas, basicamente em dois diferentes tipos: (1) Range ESF, são irregularidades que se estendem desde a base até topo da camada F. A sua manifestação nos ionogramas se dá por múltiplos ecos em todas as frequências; (2) Frequência ESF, são irregularidades que também se estendem desde a base até topo da camada F, porém sua manifestação nos ionogramas se dá por múltiplos ecos nas frequências mais altas.

O presente estudo utiliza duas estações localizadas ao longo do meridiano magnético. Esta investigação tem por finalidade estudar os distintos tipos de ocorrência de geração de ESF durante o mínimo solar. Assim, contribuindo com o entendimento da variabilidade dia a dia da geração de diferentes tipos de irregularidades ionosféricas equatorial.

Metodologia

Neste estudo foram analisados dados de sondagem ionosférica obtidos por duas ionossondas do tipo CADI (Canadian Advanced digital Ionosonde) que operam rotineiramente em Palmas (10,2° S; 48,2° O; Dip latitude 5,5° S), região equatorial e São José dos Campos (23,2° S; 45,9° O; Dip latitude 17,6° S), região de baixa latitude, situada próximo à crista da anomalia equatorial de ionização. A observação do perfil vertical de densidade eletrônica é realizada através de um sistema de radar, chamado de ionossonda; o resultado da observação é apresentado na forma de um espectro frequência em função da altura virtual da região F, este espectro é chamado de ionograma. Através deste espectro (ionograma) podem-se extrair parâmetros que caracterizam a camada F da ionosfera ($h'F$, foF_2 , hpF_2 e hmF_2) e visualizar fenômenos ionosféricos, como ocorrência de ESF do tipo

range, tipo frequência e da camada E esporádica. Para visualizar e analisar as observações utiliza-se o programa UDIDA.

Todas as noites do período considerado neste estudo (ano de 2008) foram analisadas e inspecionadas manualmente. Registraram-se os horários de início e final da ocorrência de spread-F para cada estação. Também foram classificados três tipos de espalhamento: spread F do tipo range, do tipo frequência e do tipo misto (range+frequência).

Resultados

Durante o período de atividade solar mínima pôde-se notar quatro tipos distintos de ocorrência de ESF. As noites selecionadas estão dispostas na Tabela 1.

Caso 1: Observações de ESF somente na região equatorial, ver Figura 1.

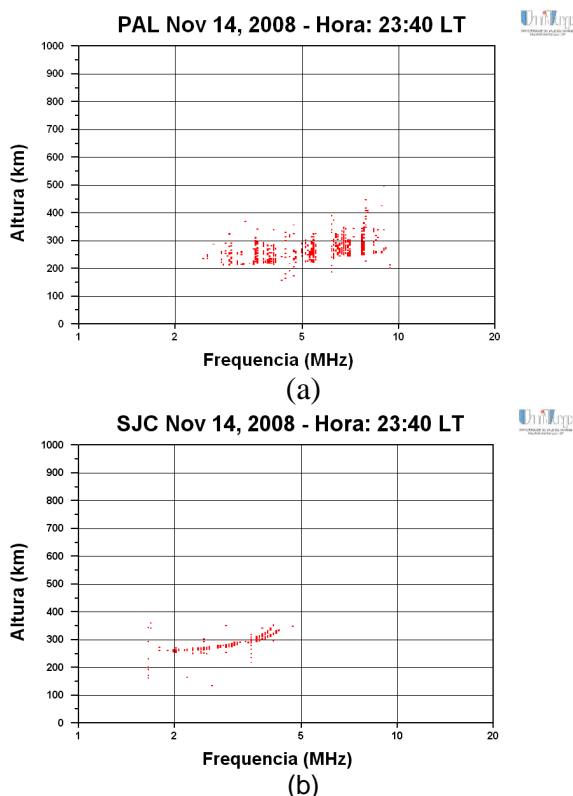


Figura 1- Ionogramas da noite de 14/11/2008, (a) com ESF do tipo range observado em Palmas e (b) sem SPF em São José dos Campos.

Caso 2: Este caso ocorre quando observamos a geração de ESF na região equatorial (Palmas) e posteriormente observa-se o surgimento de ESF em baixas latitudes, São José dos Campos, ver Figura 2. Na Tabela 1 (Caso 2) encontram-se as noites que verificamos formação de irregularidades de grande escala.

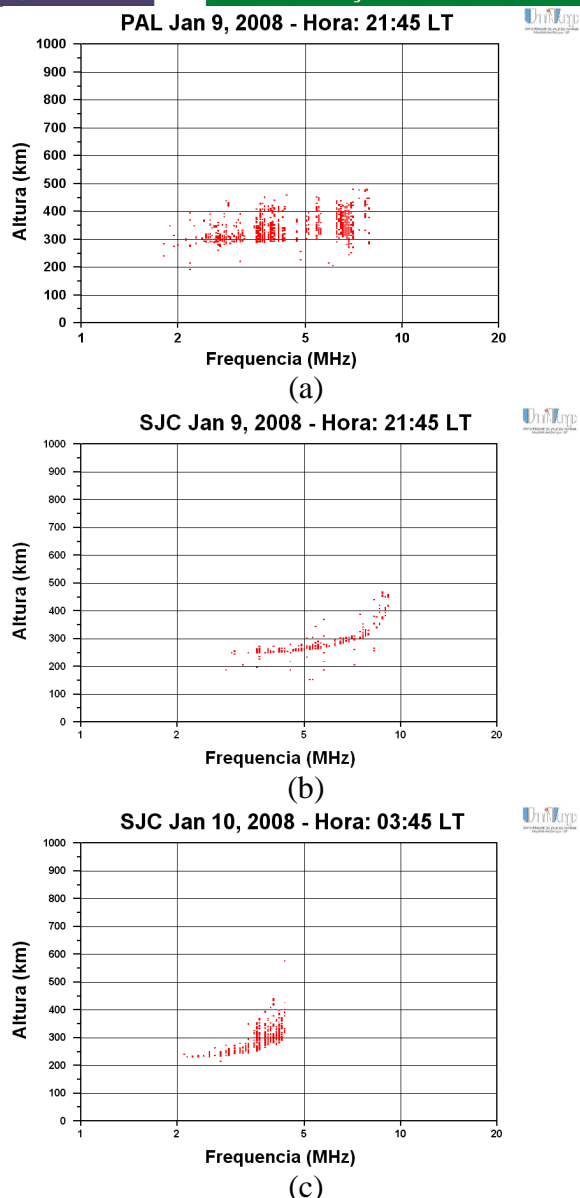
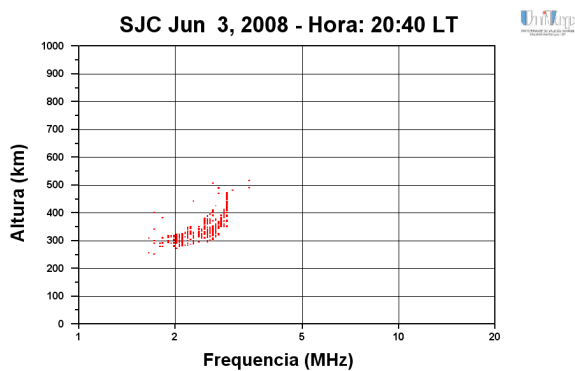


Figura 2- Ionogramas da noite de 09/01/2008, (a) com ESF do tipo range observado em Palmas às 21h e 45min (LT), (b) sem espalhamento em São José dos Campos para o mesmo horário das 21h e 45min. (c) Às 03h e 45 (LT) da mesma noite, ocorre ESF do tipo frequência em São José dos Campos.

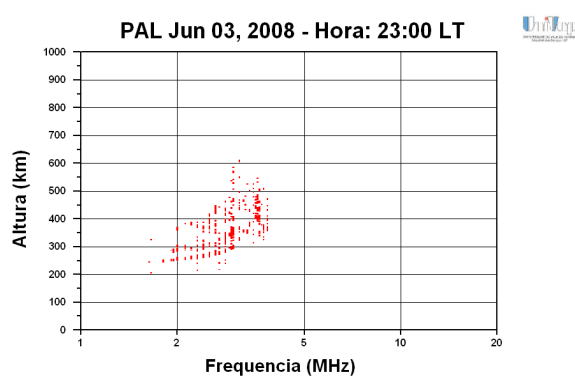
Caso 3: O terceiro caso, o mais esporádico, é quando observamos ESF primeiramente em São José dos campos, região de baixa latitude e após 1h ou 2 h observamos a ocorrência de ESF em Palmas, região equatorial, verificar Figura 3. Para o período analisado, foram encontrados apenas duas noites em que se apresentava este tipo de ocorrência de ESF. As noites estão dispostas na Tabela 1 (Caso 3).

Tabela 1- Resultados dos tipos distintos de ocorrência de ESF Durante o período de atividade solar mínima (2008).

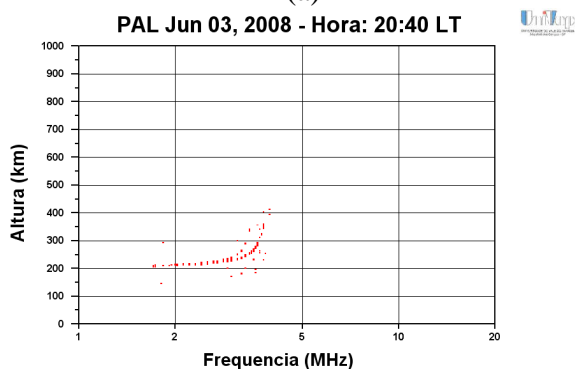
Caso 1				
Data	Início ESF em PAL (LT)	Fim ESF em PAL (LT)		
19/04	21:00	28:25		
14/11	23:10	29:25		
03/12	24:15	27:55		
Caso 2				
Data	Início ESF em PAL (LT)	Fim ESF em PAL (LT)	Início ESF em SJC (LT)	Fim ESF em SJC (LT)
09/01	19:35	28:20	22:45	28:15
24/08	20:25	22:40	22:30	27:25
02/09	20:15	26:05	24:30	25:20
Caso 3				
Data	Início ESF em PAL (LT)	Fim ESF em PAL (LT)	Início ESF em SJC (LT)	Fim ESF em SJC (LT)
03/06	22:40	26:50	20:10	27:55
06/10	24:15	27:20	23:15	29:50
Caso 4				
Data	Início ESF em SJC (LT)	Fim ESF em SJC (LT)		
28/03	23:25	25:30		
08/04	22:10	27:05		
29/10	23:45	27:05		



(a)



(c)



(b)

Figura 3- Ionogramas da noite de 03/06/2008, (a) com ESF do tipo range observado em São José dos Campos às 20h e 40min (LT), (b) sem espalhamento em Palmas para o mesmo horário das 20h e 40min. (c) Às 23h (LT) da mesma noite ocorre ESF do tipo range em Palmas.

Caso 4: O quarto e último caso, esporádico, é quando observamos espalhamento somente em regiões de baixas latitudes como é o caso de São José dos Campos. Na região equatorial (Palmas) não observamos nenhum espalhamento nos ionogramas, ver Figura 4.

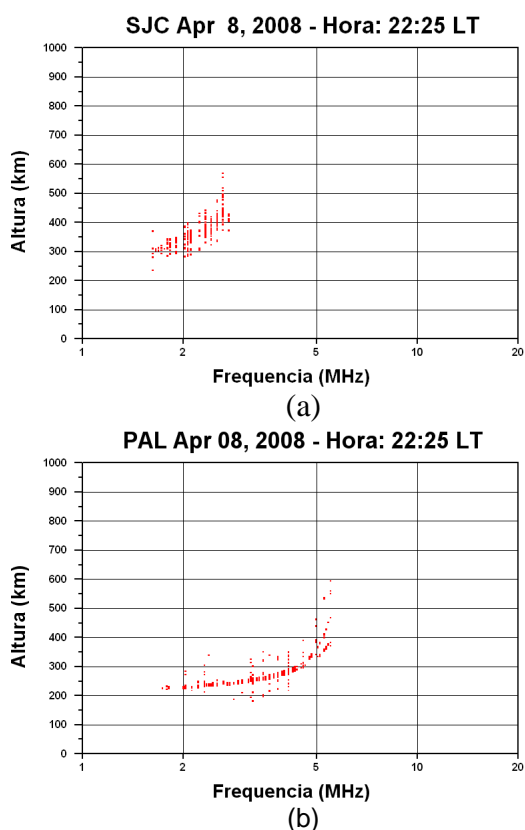


Figura 4- Ionogramas da noite de 08/04/2008, (a) com ESF do tipo range observado em São José dos Campos, (b) sem SPF em Palmas.

Durante o período analisado obtivemos três noites em que o quarto caso é verificado, isto é, três noites que se tem ESF somente em São José dos Campos. As noites referentes a este caso estão dispostas na Tabela 1 (Caso 4).

Discussão

O primeiro caso, é o mais comum, este tipo de irregularidade ionosférica ocorre frequentemente, também é chamada de bottomside ESF (BSSF) (LEE et al., 2005). O BSSF fica confinado na região equatorial e não atinge altitudes elevadas, ficando abaixo do pico da camada F (WHALLEN, 2002). Quando analisamos os ionogramas é observado espalhamento somente em Palmas (Figura 1).

No caso 2 em que se observa a geração de ESF na região equatorial (Palmas) e posteriormente o surgimento de ESF em baixas latitudes, São José dos Campos (Figura 2) também é comum. Este tipo de ESF é chamado de irregularidade ionosférica de grande escala. As irregularidades de grande escala são formadas na região equatorial, logo após o pôr-do-sol, e evoluem para latitudes maiores ao longo das linhas de campo geomagnético, podendo ser

observadas na região das cristas da anomalia equatorial de Appleton (FAGUNDES et al., 1999). Possuem uma velocidade de deriva para leste ao longo do equador geomagnético.

Como mostrado na Figura 3, o terceiro caso ocorre quando observamos ESF primeiramente em São José dos campos, região de baixa latitude e após 1h ou 2 h observamos a ocorrência de ESF em Palmas, região equatorial. Este caso é o mais esporádico, e ainda, não é bem conhecido.

O quarto e último caso, esporádico, é quando observamos espalhamento somente em baixas latitudes (São José dos Campos). Este tipo de ESF também não é muito conhecido até o presente momento. O processo de geração e evolução da mesma ainda é motivo de muitas pesquisas.

Pesquisas recentes têm associado à ocorrência de bandas termosféricas de média escala (MSTIDs) com a geração de ESF em baixas latitudes. Segundo Cândido (2008) quando observada em uma análise simultânea utilizando imagens "all-sky" e parâmetros ionosféricos obtidos por ionossondas verifica-se que, quando uma MSTIDs passa sobre Cachoeira Paulista, a camada F ionosférica se desloca abruptamente para alturas superiores ou inferiores. Outra característica importante é que a direção de propagação e a orientação destas estruturas (MSTIDs) sugerem fortemente que elas são originárias de regiões ionosféricas de médias latitudes, e se propagam para regiões de baixas latitudes. (CÂNDIDO, 2008).

Um estudo recente realizado por Pimenta et al. (2008) apresentou bandas termosféricas de média escala (MSTIDs) observadas com o imageamento óptico da emissão OI 630.0nm sobre o setor longitudinal brasileiro. Este estudo mostrou que observações da passagem de MSTIDs estão associadas ao espalhamento observado em ionogramas de uma ionossonda situada em Cachoeira Paulista. Este trabalho também mostrou que no hemisfério sul estas bandas podem ser observadas ao sul da região da crista da anomalia equatorial de Appleton e que sua direção de propagação é para noroeste.

Conclusão

Neste trabalho nós apresentamos o estudo de quatro tipos distintos de formação de irregularidades ionosféricas durante o período de atividade solar mínima (2008) para dois sítios do setor brasileiro que se situam ao longo do meridiano geomagnético. Palmas (10,2° S; 48,2° O; Dip latitude 5,5° S) e São José dos Campos (23,2° S; 45,9° O; Dip latitude 17,6° S).

Os resultados deste estudo estão dispostos a seguir:

O Caso 1 e o caso 2, como já era esperado, foram observados durante a maioria das noites analisadas.

O caso de menor ocorrência no período observado foi o caso 3, duas noites foram registradas: uma noite durante o solstício de inverno (3 de junho de 2008) e a outra durante o equinócio de primavera (6 de outubro de 2008).

Para o quarto caso, quando obtemos espalhamento somente em ionogramas de São José dos Campos, a ocorrência deste tipo de ESF ficou restrita aos meses de equinócio, tendo somente 3 noites registradas.

É necessário, ainda, um estudo mais aprofundado da dinâmica da ionosfera para encontrarmos os mecanismos adequados de geração e evolução dos quatro tipos distintos de irregularidades ionosféricas apresentadas neste trabalho.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a Capes pelo suporte financeiro através da bolsa de mestrado concedida ao primeiro autor, assim oportunizando o desenvolvimento deste trabalho.

Referências

- BOOKER, H.G; Wells, H.W. Scattering of radio waves by the f-region of the ionosphere. **Terr. Magn.**, v.43, p.249– 256, 1938.

- CLÁUDIA-CÂNDIDO, M.N. Estudo de irregularidades no plasma da camada F equatorial e de baixas latitudes no setor brasileiro. 2008. 285f. Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2008.

- FAGUNDES, P.R; SAHAI, Y; BATISTA, I.S; ABDU, M.A; BITTENCOURT, J.A; TAKAHASHI, H. Observations of day-to-day variability in precursor signatures to equatorial F-region plasma depletions. **Ann. Geophys.**, v.17, p.1053-1063, 1999.

- FAGUNDES, P.R; BITTENCOURT, J.A; ABALDE, J.A; SAHAI, Y; BOLZAN, M.J.A; PILLAT, V.G; LIMA, W.L.C. F layer postsunset height rise due to electric field prereversal enhancement: 1. Traveling planetary wave ionospheric disturbance effects. **J. Geophys. Res.**, v.114, n.A12321, 2009a.

- FAGUNDES, P.R; ABALDE, J.R; BITTENCOURT, J.A; SAHAI, Y; FRANCISCO R.G; PILLAT, V.G; LIMA, W.L.C. F layer postsunset height rise due to electric field prereversal enhancement: 2. Traveling planetary wave ionospheric disturbances and their role on the generation of equatorial spread F. **J. Geophys. Res.**, v.114, n.A12322, 2009b.

- LEE, C.C; SU, S.Y; REINISCH, B.W. Concurrent study of bottomside spread F and plasma bubble events in the equatorial ionosphere during solar maximum using digisonde and ROCSAT-1. **Ann. Geophys.**, v.23, p. 3473–3480, 2005.

- PIMENTA, A.A.; KELLEY. M; SAHAI, Y; BITTENCOURT, J.A; FAGUNDES, P.R. Thermospheric dark band structures observed in all-sky OI 630 nm emission images over the Brazilian low-latitude sector. **J. Geophys. Res.**, v.113, n.A01307, 2008.

- RAGHAVARAO, R. Suhasini, R. Mayr, H.G. Hoegy, W.R. Wharton, L.E. Equatorial spread-F (ESF) and vertical winds. **J. Geophys. Res.**, v.61, p.607-617, 1999.

- WHALEN, A. J. Dependence of equatorial bubbles and bottomside spread-F on season, magnetic activity, and E x B drift velocity during solar maximum. **J. Geophys. Res.**, v.107, n.A2, 1024, 2002.