



Estudo sobre a Presença de Camadas Ionosféricas Esporádicas em Períodos Calmos e Perturbados em São Luís (MA): Um Caso Estudado.

Resende, L. C. A.^{1,2}, Denardini, C.M.¹, Almeida, P. S. C.^{1,2}, Aveiro, H.C.¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - P. O. Box 515 - S. J. Campos, SP, Brasil

² ETEP Faculdades - Av. Br. do Rio Branco, 882 - 12242-800 - S. J. Campos - SP, Brasil

Copyright 2007, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 10th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 19-22 November 2007.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 10th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction, or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

In the present paper we show some new results related to the study on the presence of sporadic ionospheric layers at São Luís (2°31' S, 44°16' W), on the equatorial region, during quiet and disturbed periods before, during and after the magnetic storm that occurred in October 2003. Ionospheric profiles obtained from digital sounders were used in order to verify comparatively the height of reflection and typical frequencies related to the E and Es layers. It was made with the intention to identify in the ionospheric parameters possible evidences of the reaction of the Magnetosphere-Ionosphere system to the strong magnetic storm. To characterize the level of magnetic disturbances the Dst index has been chosen. The achieved results evidenced that the E-Region can behave in a particular way that shows the influence of the magnetic storm depending upon the magnetic activity level and its latitudinal location.

Introdução

A ionosfera terrestre é constituída por um plasma localizado, aproximadamente, entre 60 km até 2000 km de altura e está dividida nas camadas D, E e F (Rishbeth e Garriott, 1969). Na faixa de altura que inicia em 90 km podendo chegar até 160 km é possível ocorrer adensamentos do plasma ionosférico. A este adensamento do plasma em uma faixa de altura restrita atribuímos o termo camada ionosférica esporádica.

Em termos gerais, a camada esporádica é caracterizada pela sua variabilidade, pela sua densidade superior a do seu ambiente, por possuir uma espessura inferior a 10 km, e por ocorrer em uma faixa de altura específica, em geral na região E ionosférica. Deste último fato resulta sua nomenclatura (Es). Contudo, as diferentes camadas conhecidas apresentam características relativamente distintas, dependendo da altitude e, principalmente, da latitude onde são observadas.

De acordo com as suas características, da altitude e da latitude onde são observadas, elas são classificadas em tipos distintos, aos quais se atribuí distintos mecanismos de formações da camada.

A camada esporádica (Es) do tipo q que está associada ao eletrojato equatorial, uma forte corrente horizontal

predominante das regiões equatoriais. Em latitudes médias e baixas a camada Es pode estar associada ao cisalhamento de ventos sobre os íons metálicos. Já em altas latitudes ela pode estar associada à precipitação de elétrons (Moura, 1994).

No setor brasileiro, estudos sobre a presença de camadas Es em períodos calmos e perturbados foram realizados em médias latitudes (Batista e Abdu, 1977). Neste trabalho vamos apresentar um estudo sobre a presença de camadas Es em períodos calmos e perturbados para latitudes equatoriais. Especificamente, apresentamos uma análise da presença da camada Es na região de São Luís (2° 31' S, 44° 16' O) em outubro do ano de 2003, nos períodos anteriores e durante uma tempestade magnética.

Tempestades magnéticas ocorrem na terra em resposta às diferentes formas de manifestação da atividade solar. Em períodos magneticamente perturbados, há geração das correntes elétricas associadas no ambiente do espaço próximo da Terra que, por sua vez, geram variações magnéticas adicionais no campo magnético terrestre. Estas variações podem ser observadas nas diferentes componentes medidas do campo magnético terrestre e são representadas por índices magnéticos (Hargreaves, 1992). Para caracterizar a reação do sistema Magnetosfera-Ionosfera à atividade solar e determinar o período perturbado foi escolhido o índice Dst.

Ocasionalmente, alguns efeitos da atividade solar podem também ser verificados em todo o sistema Magnetosfera-Ionosfera terrestre. Neste trabalho tencionamos verificar se é possível identificar evidências da reação do sistema Magnetosfera-Ionosfera em parâmetros ionosféricos, especialmente na região equatorial. De fato, foram estudados os perfis ionosféricos obtidos por sondadores digitais a fim de se verificar comparativamente a altura de reflexão e frequências relacionadas com as camadas E e Es. Além disso, foi realizado um estudo da altura virtual da camada F (h'F), uma vez que essa pode ser modificada com a presença da camada Es.

Metodologia de Análise de Dados

Os perfis ionosféricos necessários para este trabalho foram obtidos de sondadores digitais. Estes sondadores são radares de alta frequência constituídos de um transmissor e sua respectiva antena, que emite curtos pulsos na faixa de rádio-frequência, e de um sistema receptor com um conjunto de antenas e circuitos de detecção dos sinais recebidos, que registra a intensidade do pulso refletido nas camadas ionosféricas e o tempo decorrido entre a transmissão e a recepção. Os pulsos são transmitidos com potência de pico da ordem de 10 kW, potência média em torno de 500 W e cobrem a faixa

de frequências de 0,5 a 30 MHz. Os dados coletados pela digissonda são ecos do sinal refletidos pelas camadas ionosféricas de densidade correspondente à frequência do sinal transmitido. Estes ecos são registrados em ionogramas, gráficos de frequência versus altura virtual, a partir dos quais é possível se obter parâmetros ionosféricos das diferentes camadas.

Os parâmetros utilizados para este estudo são os derivados de altura e de frequência relacionadas com a camada Es, objeto deste estudo. Portanto, foram selecionadas as frequências críticas e alturas do pico das camadas E e da camada E esporádica (Es), além da altura da região F a fim de oferecer uma referência de magnitude ao possível efeito observado. O parâmetro utilizado para a altura é o $h'E$, que corresponde à altura virtual da camada E. Os parâmetros de frequências utilizados foram o foEs e fbEs. O foEs corresponde à frequência crítica ou frequência de corte da camada Es. Esta frequência crítica subentende-se a frequência máxima que a camada Es responde. O fbEs é o parâmetro conhecido como frequência de bloqueio. Quando a camada Es bloqueia o recebimento de ecos de regiões mais altas da ionosfera, a maior frequência que isto ocorre é chamada frequência de bloqueio simbolizada por fbEs. Com relação à região F, foi escolhida a altura virtual da camada F ($h'F$).

Resultados e Discussões

Neste estudo simplificado, foram considerados dias calmos e perturbados antes, durante e posterior a forte tempestade magnética que ocorreu nos dias 29-31 de outubro de 2003, área hachurada da figura 1. Esses dias foram classificados de acordo com o índice magnético Dst, um índice geomagnético que monitora o nível de perturbações magnéticas com base em estações ao largo de médias e baixas latitudes. Ele é construído a partir da média do componente horizontal do campo geomagnético obtido por magnetômetros em latitudes equatoriais e médias ao longo do equador (Rishbeth e Garriott, 1969). Os valores negativos de Dst indicam que uma tempestade magnética está em andamento. Quanto mais negativo o Dst, mais intensa é a tempestade magnética. As deflexões negativas no índice de Dst são causadas pela corrente anelar do tempo da tempestade que flui nos cinturões de radiação de Van Hallen. O gráfico da figura 1 mostra a variação do índice Dst ao longo dos meses de outubro e novembro de 2003.

Neste gráfico é possível verificarmos duas grandes tempestades magnéticas. A primeira ocorreu em 28 de outubro, logo após um período relativamente perturbado que se inicia em torno do dia 14 de outubro. Na fase principal, onde o índice mostra uma queda brusca no valor da sua intensidade, o índice Dst chegou à -370 nT. A fase de recuperação, caracterizada pela subida do índice até atingir os valores quiescentes, parece ter durado até o dia 4 de novembro. A partir deste dia, conforme visto na figura, podem ser observadas outras duas sub-tempestades. Este gráfico revela ainda outra forte tempestade que ocorreu no dia 20 de novembro. Mas, neste trabalho vamos analisar a variação dos parâmetros ionosféricos durante a primeira tempestade em comparação com dias calmos. Para analisarmos os

parâmetros ionosféricos em dias magneticamente calmos, foram selecionados dados de digissonda dos dias 10-12 de outubro por apresentarem a menor variabilidade no índice Dst.

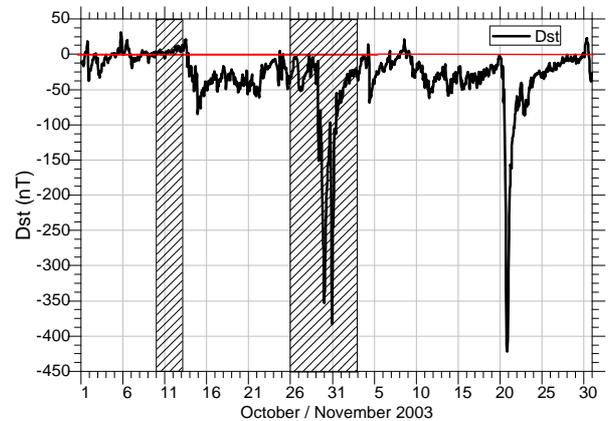


Fig. 1 - Variação do índice Dst em função dos dias do mês de outubro e novembro de 2003.

Na figura 2 apresentamos a variação temporal da altura virtual das camadas E e F ($h'E$ e $h'F$), obtidos dos ionogramas de São Luís, para o período de 10 a 12 de outubro de 2003. Na figura 3 apresentamos a variação temporal da altura virtual das camadas E e F ($h'E$ e $h'F$) obtidos dos ionogramas de São Luís, para o período de 26 a outubro a 03 de novembro de 2003. A escala de tempo é dada em Hora Universal (UT).

Na região de São Luís temos a forte presença do eletrojato equatorial e da camada Esporádica (Es) do tipo q. Esta camada Es tipo q está notavelmente presente nos ionogramas. Com isso, a correta determinação da $h'E$ fica sensivelmente prejudicada. Isto pode ser notado pelos poucos pontos identificados nas figuras 2 e 3. Além disso, devido ao baixo nível de ionização noturna, a região E ionosférica é dificilmente detectada por sondadores digitais. Isto contribui para reduzir o número de pontos de $h'E$ nos gráficos. Mesmo assim, foi possível identificar a altura virtual da base da região E em alguns horários em torno do amanhecer (aproximadamente 9 UT) e entardecer (aproximadamente entre 16-19 UT). Para os dias em que se identificou o $h'E$, a sua média de altura foi de aproximadamente 116 km nos dias calmos e 114 km nos dias perturbados.

Podemos observar na figura 2 que no período magneticamente calmo a altura virtual da camada F possui um comportamento bem característico. Há um decaimento de madrugada e uma ascensão no período da tarde e um claro aparecimento do pico de pré-reversão. Nesta ocasião a altura máxima alcançada pela $h'F$ foi de 410 km, próximo às 23 UT do dia 11 de novembro. Nos horários da madrugada (03-09 UT) verificamos que a altura virtual da camada F ficou em torno de 240 km. Já nos horários diurnos que antecedem o pico de pré-reversão (09-19 UT), a altura virtual ficou entre 200 a 250 km.

Ao contrário do comportamento do período calmo, o gráfico da figura 3 mostra que na condição perturbada há uma grande variabilidade na altura virtual da base da

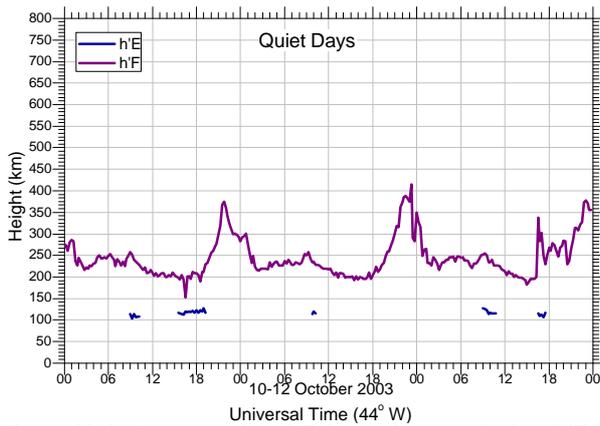


Fig. 2 – Variação temporal em UT dos parâmetros de altura h'E e h'F, em São Luís, para os dias 10-12 de outubro de 2003 em períodos magneticamente calmos.

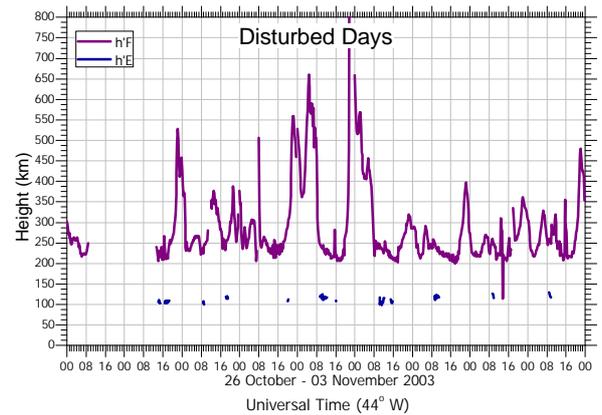


Fig. 3 - Variação temporal em UT dos parâmetros de altura h'E e h'F, em São Luís, para os dias 26 de outubro a 03 de novembro de 2003 em períodos magneticamente perturbados.

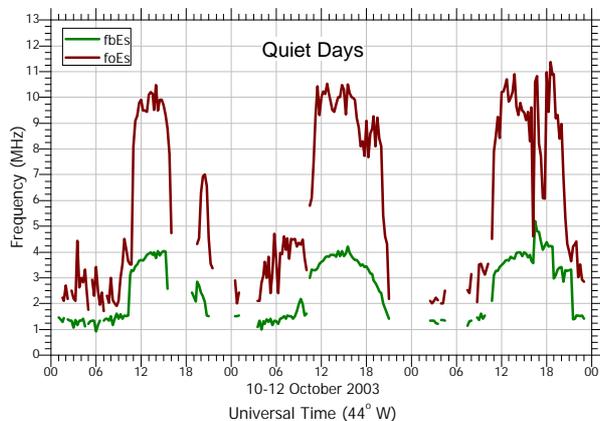


Fig. 4 - Variação temporal em UT dos parâmetros de frequência foEs e fbEs, em São Luís, para os dias 10-12 de outubro de 2003 em períodos magneticamente calmos.

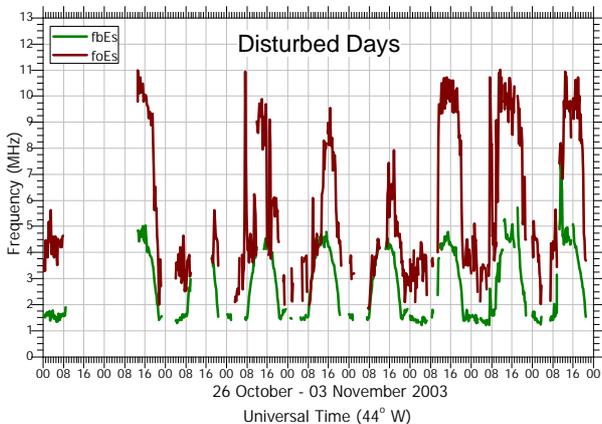


Fig. 5 - Variação temporal em UT dos parâmetros de frequência foEs e fbEs, em São Luís, para os dias 26 de outubro a 03 de novembro de 2003 em períodos magneticamente perturbados.

camada F. No período moderadamente perturbado que antecede a tempestade do dia 28 tivemos uma falta de dados por problemas técnicos. Mas no dia imediatamente anterior a tempestade observa-se um substancial aumento da altura virtual ao entardecer (~20 UT). Neste dia, o h'F alcançou 525 km. No dia em que se iniciou a tempestade, no que parece ser a fase inicial, a base da camada F ficou entre os valores mais baixos do período magneticamente perturbado (370 km). Já na fase principal da tempestade, nos dias seguintes (30 e 31 de outubro), observamos que o h'F apresentou dois máximos de altitude consecutivos. A altura da base da camada F passou de 650 km no dia 30 de outubro e ultrapassou 800 km no dia posterior. Na fase de recuperação da tempestade, o que se seguiu foi um comportamento semelhante ao comportamento do período calmo. Os máximos de altitude do h'F ficaram em torno de 330-370 km, ocorrendo uma grande elevação no final do dia 3 de novembro até aproximadamente 460 km.

Na figura 4 apresentamos a variação temporal das frequências relacionadas à camada Es (fbEs e foEs) para o período de 10 a 12 de outubro de 2003 em hora UT obtidos dos ionogramas da digissonda de São Luís. A

figura 5 é idêntica à figura 4, porém refere-se ao período perturbado de 26 de outubro a 03 de novembro de 2003.

Com relação ao parâmetro foEs mostrado nos gráficos destas figuras, no período magneticamente calmo, ele se caracterizou por um aumento rápido da frequência até atingir aproximadamente 10 MHz em torno das 11 UT. A partir deste horário, o foEs se caracteriza por oscilações nos valores entre 6 e 10 MHz. Esse valor do foEs dura até às 21 UT para todos os dias da condição magneticamente calma, quando então ele decresce pra seu valor noturno (~2 MHz), no presente estudo. Entre horários de 0 às 06 UT observamos uma variabilidade de 2 a 4,5 MHz. Analisando a frequência crítica da camada E para os períodos perturbados, percebe-se que, para todos os dias nos horários da madrugada, este parâmetro se comporta variável de 4 a 6 MHz. No dia 26 de outubro, a análise foi prejudicada pela ausência de dados. No dia 27 de outubro, em torno das 13 UT, o foEs apresenta um aumento para 11 MHz. Entre os dias 29-31 de outubro, foi visto a ocorrência de um comportamento singular que se caracterizou por máximos sucessivamente menores que se iniciaram na fase principal e terminaram no primeiro dia da na fase de recuperação da tempestade.

No dia 29 de outubro a frequência crítica da camada E, em torno das 07 UT, possuía valores de 11 MHz. Após este dia, nos horários ao entardecer, a frequência crítica sofreu um declínio sucessivo. O pico mais expressivo do dia 30 de outubro foi de 9,5 MHz e no dia posterior atingiu uma frequência de 08 MHz. Em seguida, o foEs retornando a frequência de 11 MHz. Este decréscimo sucessivo no valor máximo diário do foEs ainda é objeto de estudo e não possui uma explicação.

Com relação à frequência de bloqueio da camada esporádica (fbEs), durante toda a ocorrência da tempestade: fase inicial, fase principal e fase de recuperação; ela manteve seu comportamento típico tanto nos períodos calmos quanto nos períodos perturbados. No período calmo, observado diretamente no gráfico da figura 4, o aumento do fbEs iniciou-se a partir das 10 UT para todos os dias analisados. A densidade eletrônica aumentou consistentemente até alcançar a frequência equivalente à frequência de 4 MHz em torno do meio-dia local. Em seguida, a densidade eletrônica apresentou um decréscimo até alcançar o valor de fundo às 21 UT, o qual corresponde à frequência em torno de 1,2 MHz. Contudo, um aumento súbito chama a atenção. No dia 12 de outubro em torno das 16 UT, a frequência apresentou um aumento súbito elevando-se de 3,8 MHz para 5,2 MHz. A variabilidade diária do fbEs no período perturbado é bastante similar ao seu comportamento na condição magneticamente calma. Porém, no período perturbado a densidade eletrônica parece apresentar picos de aumento súbito que se sobrepõe ao comportamento descrito anteriormente. A presença de alguns destes picos parece ter contribuído para que a frequência de bloqueio tenha atingido um valor equivalente a 5 MHz em torno do meio-dia local. Mas alguns deles se destacam e sua amplitude parece ter aumentado à medida que a fase de recuperação

evolui. No dia 01 de novembro, segundo dia da fase de recuperação da tempestade magnética, parece surgir um aumento evidente da frequência de bloqueio da camada Es, a julgar pelos picos que se observam em torno das 15 UT deste dia. No dia seguinte (02 de novembro) observa-se um claro pico durante a madrugada (08 UT) e vários picos ao longo do dia que deformaram o perfil e atingem aproximadamente 6 MHz por volta das 19 UT. O evento mais significante ocorreu no dia 03 de novembro onde se observa um expressivo aumento de 7,5 MHz por volta das 12 UT.

Aumentos significativos da frequência de bloqueio da camada Es que ocorrem 2 e 3 dias após a tempestades magnéticas já foram observados em médias latitudes na região brasileira. Batista e Abdu (1977) publicaram um estudo de tempestades ocorridas em 1973 e 1975, no qual o fbEs obtido dos ionogramas da digissonda instalada em Cachoeira Paulista (CXP), 1 a 3 dias após a tempestade, atingiu valores superior à 7 MHz. Naquela época eles classificaram algumas camadas esporádicas como sendo do tipo "a" e após estudos de ventos e taxa de recombinação eles verificaram que o aumento da densidade eletrônica deveria estar associado à precipitação de partículas do cinturão de Van Hallen e/ou da ionosfera superior.

No presente estudo, não foi realizada a classificação de todos os tipos de camada Es observados, tampouco foi realizado um estudo criterioso de ventos desta região. Contudo, o caso específico do evento do dia 03 de novembro foi examinado mais criteriosamente. Na figura 6 apresentamos uma seqüência de ionogramas obtidos em São Luís no dia 03 de novembro de 2003 entre 0900 e 1315 UT. O painel a esquerda mostra os ionogramas obtidos entre 09 e 11 UT enquanto o painel a direita mostra os ionogramas obtidos entre 1115 e 1315 UT. Nesta figura é possível observar que a presença da

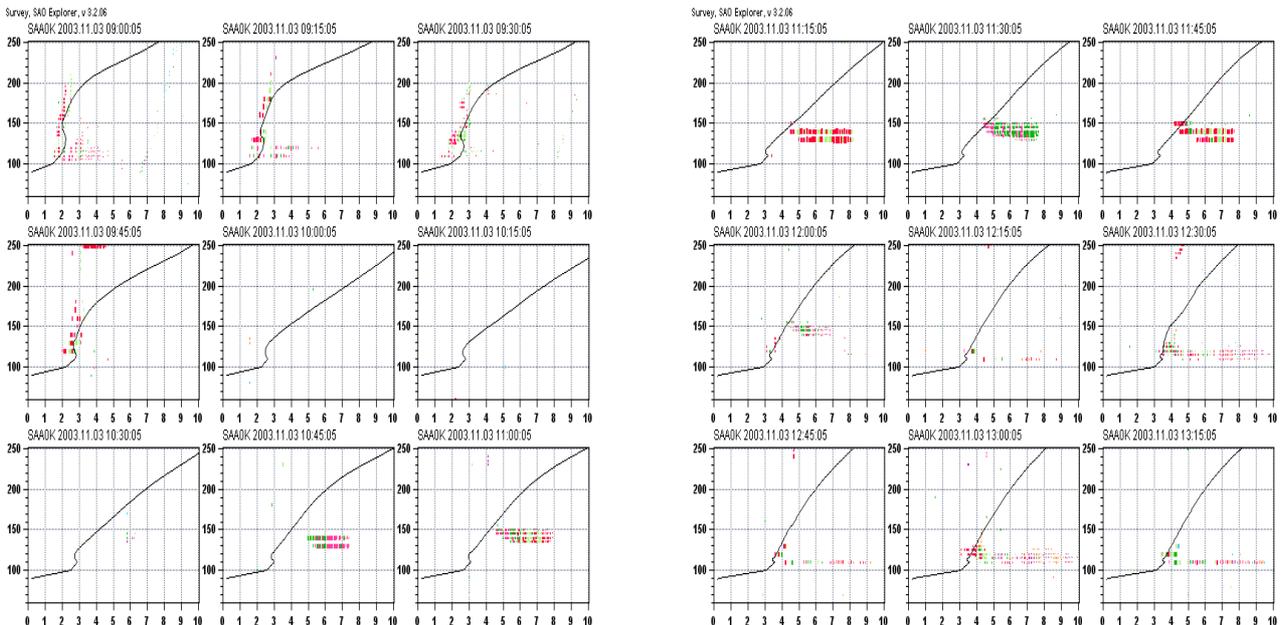


Fig. 6 - Seqüência de ionogramas obtidos em São Luís - MA ($2^{\circ} 31' S$, $44^{\circ} 16' O$) no dia 03 de novembro de 2003 entre 0900 e 1315 UT. O painel a esquerda mostra os ionogramas obtidos entre 09 e 11 UT enquanto o painel a direita mostra os ionogramas obtidos entre 1115 e 1315 UT.

camada esporádica do tipo q (E_{sq}), a qual é associada à formação do eletrojato equatorial, durou até às 0930 UT, quando se deu início a formação de uma camada do tipo c (E_{sc}), normalmente observada em médias latitudes. A partir das 10 UT um fato interessante ocorreu. Há uma forte absorção da ionosférica que impediu a observação dos traços característicos das regiões E e F. Às 1030 UT a absorção parece diminuir revelando o que identificamos como uma camada E_{sc} , cuja assinatura típica pode ser observado às 1145 UT. Às 1215 UT a camada E_{sc} parece dar lugar à camada E_{sq} que parece dominar as alturas da região do ionograma a partir das 1230 UT. Para podermos comparar os horários em que estes eventos com os horários do aumento expressivo para 7,5 MHz que ocorreu no dia 03 de novembro a variação temporal no fbEs, nos dias 02 e 03 de novembro, foi plotada no gráfico da figura 7, juntamente com a variação do efeito da corrente do eletrojato equatorial induzida no solo, medida em São Luís.

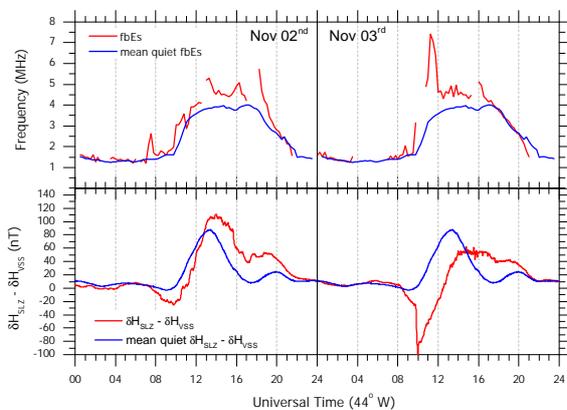


Fig. 7 - Variação temporal do fbEs e do efeito da corrente do eletrojato equatorial induzida no solo nos dias 02 e 03 de novembro. A linha azul mostra a variação temporal média dos mesmos parâmetros acima para o período calmo de 10 a 12 de outubro.

A maneira pela qual o efeito da corrente do eletrojato equatorial induzida no solo é explicado no trabalho de Denardini et al (2006) e, portanto, não será discutida neste manuscrito. Para os nossos propósitos, basta mencionar que incursões positivas representam a condição normal de eletrojato diurno, isto é, corrente do eletrojato fluindo para leste (campo elétrico positivo). Incursões negativas indicam que a corrente do eletrojato está fluindo para oeste (campo elétrico negativo). Com isso, fica evidente que o aumento súbito na densidade eletrônica do dia 03 de novembro ocorreu em condições de Contra-Eletrojato (CEJ). Além disso, a comparação do horário de ocorrência deste pico com os eventos descrito na figura 6 indicam que a camada E_{sc} ter sido gerada devido aos efeitos da presença deste CEJ.

De fato, Devasia et al. (2006) publicaram um trabalho sobre a dependência do aparecimento de camadas esporádicas em latitude equatorial com o ciclo de atividade solar de 11 anos. Em seu trabalho eles mostraram vários eventos onde foi observado o aparecimento de camadas esporádicas que bloquearam parcial ou totalmente a reflexão dos rádio-sinais nas camadas superiores. Todos os eventos mostrados

ocorreram durante CEJ, porém todos eles em períodos magneticamente calmos. Em nosso exemplo, o aparecimento da camada E_{sc} se deu na fase de recuperação da tempestade magnética quando índice Dst estava em torno de -30 nT.

A real causa do aparecimento desta camada esporádica, a qual provocou este aumento súbito na densidade eletrônica da região E, representada aqui pelo fbEs, ainda permanece em discussão. Mas, em virtude das características similares entre o nosso exemplo e as observações de Devasia et al (2006) tendemos a crer que o seu aparecimento se deve às condições geradas pelo CEJ. Neste caso, é bastante provável que o campo elétrico induzido pelo cisalhamento de ventos, o qual se opõe ao campo elétrico leste-oeste natural do eletrojato, deve ter sido o responsável pela inversão no campo elétrico de polarização (visto na variação dos dados de magnetômetro). Este, por sua vez, foi o responsável pela geração irregularidade de plasma na porção superior da camada Es (gradiente de densidade negativo). Estas irregularidades são reconhecidas nos traços de sondadores digitais por sua associação às observações de camadas esporádicas (Crochet et al., 1979). Isso explicaria, não só o porquê da ocorrência da camada E_{sc} , mas também a sua altura de observação E_{sc} , uma vez que a condição de campo elétrico e de gradiente de densidade eletrônica serem paralelos e com mesmo sentido é necessária para a geração das instabilidades. Análise similar pode ser realizada para o caso do pico que ocorre antes das 08 UT do dia 02 de novembro. Porém, a situação fica mais complicada neste caso. O nível de perturbação magnética é maior que no caso discutido acima e o aumento súbito de densidade ocorre nos horário antes do amanhecer, enquanto a densidade eletrônica ainda esta bastante reduzida.

Conclusões

Este trabalho apresentou algumas evidências da reação do sistema Magnetosfera-Ionosfera, observados em parâmetros ionosféricos da região equatorial, aos efeitos da atividade solar. Apesar de estudos em médias latitudes mostrarem que a região E pode ser detectada em horários noturnos quando ocorrem tempestades magnéticas, este fato não foi observado em regiões equatoriais.

Com relação à frequência de bloqueio da camada E esporádica (fbEs), tanto nos períodos calmos quanto nos períodos perturbados, ela manteve seu comportamento típico, caracterizado por um aumento gradativo a partir das 10 UT até atingir o máximo em torno do meio-dia local e uma redução até atingir o mínimo às 21 UT. Contudo, após a ocorrência da tempestade a densidade eletrônica apresentou picos de aumento súbito, atingindo frequências superiores à 7 MHz. Acredita-se que este aumento pode ser devido às condições geradas pelo contra-eletrojato. Além disso, o fbEs apresentou valores máximos no período perturbado superiores aos valores máximos do período calmo.

Este estudo também mostrou uma mudança expressiva na foEs na fase principal da tempestade e no primeiro dia da fase de recuperação. Entre os dias 29 e 31 de outubro, o foEs se caracterizou por atingir máximos

sucessivamente menores. E nos dias posteriores o foEs voltou ao seu comportamento normal, semelhante aos dias que antecederam a tempestade.

Com relação ao h'F, escolhido para caracterizar a ionosfera superior, seu comportamento característico no período calmo foi caracterizado por um decaimento de madrugada e uma ascensão no período da tarde e um aparecimento do pico de pré-reversão. No período perturbado, este parâmetro apresentou uma variabilidade com aumentos notáveis que se iniciou na fase inicial da tempestade magnética, atingindo máximos de altitude consecutivos na fase principal. Na fase de recuperação da tempestade, o que se seguiu foi um comportamento semelhante ao comportamento do período calmo.

Agradecimentos

L. C. A. R. gostaria de agradecer ao CNPq pelo financiamento de sua bolsa de Iniciação Científica através do programa PIBIC (101536/2006-2). P. S. C. A. gostaria de agradecer ao CNPq pelo financiamento de sua bolsa de Iniciação Científica através do programa PIBIC (105374/2005-9). H. C. A. gostaria de agradecer ao CNPq pelo financiamento de sua bolsa de mestrado (131326/2007-4). Em especial os autores gostariam de agradecer a Maria Goreti de Aquino por disponibilizar os dados para a análise deste estudo e pelo auxílio dispensado.

Referências

- Batista, I.S.; Abdu, M. A., Magnetic storm delayed sporadic E enhancements in the Brazilian geomagnetic anomaly, *Journal of Geophysics Research*, 1977.
- Crochet, M., C. Hanuise, et al. HF Radar studies of 2-stream Instability during an Equatorial Counter-Electrojet. *Journal of Geophysical Research-Space Physics*, v.84, n.NA9, p.5223-5233. 1979.
- Denardini, C. M., M. A. Abdu, et al. VHF radar observations of the dip equatorial E-region during sunset in the Brazilian sector. *Annales Geophysicae-Atmospheres Hydrospheres and Space Sciences*, v.24, n.9, JUL, p.1617-1623. 2006.
- Devasia, C. V., V. Sreeja, et al. Solar cycle dependent characteristics of the equatorial blanketing E-s layers and associated irregularities. *Annales Geophysicae*, v.24, n.11, p.2931-2947. 2006.
- Hargreaves, J. K. *The Solar-Terrestrial Environment*. Cambridge: Cambridge University Press, v.5. 1992. 420 p. (Cambridge Atmospheric and Space Science)
- Moura, M.S.S.M.; Estudos dos Sinais Propagados Via Camada E-esporádica em 44, 893 MHz, Tese de Doutorado, 1994.
- Rishbeth H.; e Garriott, O.K, *Introduction to ionosphere physics*. New York: Academic, 1969.