

1. Publicação nº <i>INPE-3231-PRE/581</i>	2. Versão	3. Data <i>Agosto, 1984</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DGA/DIO</i>	Programa <i>ELIS</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>TEMPESTADES MAGNÉTICAS REGIÃO F IONOSFÉRICA CONTEÚDO ELETRÔNICO TOTAL</i>			
7. C.D.U.: <i>523.4-853</i>			
8. Título <i>COMPORTAMENTO DA REGIÃO IONOSFÉRICA F EM BAIXAS LATITUDES E REGIÃO EQUATORIAL DO BRASIL DURANTE FORTES TEMPESTADES MAGNÉTICAS, NO PERÍODO 1978-1983</i>		10. Páginas: <i>18</i>	
		11. Última página: <i>14</i>	
9. Autoria <i>E.R. de Paula M.A. Abdu</i>		12. Revisada por <i>Y. Nakamura</i> <i>Yukitaka Nakamura</i>	
Assinatura responsável <i>E.R. de Paula</i>		13. Autorizada por <i>Nelson de Jesus Parada</i> <i>Nelson de Jesus Parada Diretor Geral</i>	
14. Resumo/Notas <p><i>A resposta da região ionosférica F, em baixas latitudes e na região equatorial do Brasil, às tempestades magnéticas de forte intensidade que ocorreram no período 1978-1983 foi analisada utilizando dados das ionossondas de Fortaleza (4°S, 38°O, "dip latitude" 1,8°S) e Cachoeira Paulista (22,5°S, 45°O, "dip latitude" 13°S) e do polarímetro VHF de São José dos Campos (23°S, 46°O, "dip latitude" 13°S). Em geral, a densidade eletrônica de pico da região F, obtida pelas ionossondas, e o conteúdo eletrônico total (CET) obtido pelo polarímetro apresentam um acréscimo com relação aos valores médios de períodos magneticamente calmos, durante a fase principal das tempestades. Decréscimos bem definidos na densidade eletrônica foram observados apenas em Cachoeira Paulista durante a fase de recuperação das tempestades. Uma característica interessante observada na variação do CET, principalmente nos meses equinociais, é um aumento pronunciado durante as horas que antecedem meia noite, o qual é menos proeminente durante tempestades magnéticas. Observou-se que acréscimos no CET e na densidade eletrônica de pico da camada F estão em fase, na maioria dos casos, durante as horas da noite e da manhã. As interpretações quantitativas do comportamento ionosférico durante tempestades magnéticas estão sendo investigadas utilizando um modelo numérico detalhado dos processos da região F tropical.</i></p>			
15. Observações <i>Este trabalho foi parcialmente subvencionado pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT), através do Contrato FINEP 537/CT. Trabalho apresentado na 36ª Reunião Anual da SBPC.</i>			

ABSTRACT

The ionospheric F-region response to the magnetic storms of strong intensity that occurred in the 1978-1983 period, in the low latitudes and in the equatorial region over Brazil, was analysed using ionosonde data from Fortaleza (4°S, 38°W, dip latitude 1,80S) and Cachoeira Paulista (22,5°S, 45°W, dip latitude 13°S) and from the VHF polarimeter located on São José dos Campos (23°S, 46°W, dip latitude 13°S). Generally, the F-region electron density peak, obtained by ionosondes, and the total electron content (TEC) obtained by the polarimeter show an increase relative to the average values of the magnetically calm periods, during the main phase of the storms. Well-defined decreases in the electron density were observed only in Cachoeira Paulista during the recovery phase of the storms. An interesting characteristic observed in the TEC variation, mainly in the equinoctial months, is a pronounced increase during the premidnight hours, that is less prominent during magnetic storms. It was observed that increases in the TEC and in the F-region electron density peak are in phase, in the majority of the cases, during the night and the morning hours. The quantitative interpretations of ionospheric behaviour during magnetic storms are being investigated using a detailed numerical model of tropical F-region processes.

SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE FIGURAS	<i>iii</i>
1 - INTRODUÇÃO	1
2 - APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	2
3 - DISCUSSÃO E CONCLUSÕES	10
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	13

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1 - Índice magnético Dst, $\Delta f_0 F_2$ e $\Delta hp F_2$ de Fortaleza (1a) e Cachoeira Paulista (1b) para abril/maio de 1978	4
2 - Índice magnético Dst, $\Delta f_0 F_2$ e $\Delta hp F_2$ de Fortaleza (2a) e Cachoeira Paulista (2b) para abril de 1979	5
3 - Índice magnético Dst, $\Delta f_0 F_2$ e $\Delta hp F_2$ de Fortaleza (3a) e Cachoeira Paulista (3b) para dezembro de 1980	6
4 - Índice magnético Dst, $\Delta f_0 F_2$ e $\Delta hp F_2$ de Fortaleza (4a) e Cachoeira Paulista (4b) para julho de 1981	7
5 - Índice magnético Dst, $\Delta f_0 F_2$ e $\Delta hp F_2$ de Fortaleza (5a) e Cachoeira Paulista (5b), e conteúdo eletrônico total médio dos dias calmos (linha contínua) e dos dias perturbados (linha tracejada) de São José dos Campos (5c) para setembro de 1982	8
6 - Índice magnético Dst, $\Delta f_0 F_2$ e $\Delta hp F_2$ de Fortaleza (6a) e Cachoeira Paulista (6b), e conteúdo eletrônico total médio dos dias calmos (linha contínua) e dos dias perturbados (linha tracejada) de São José dos Campos (6c) para janeiro de 1983	9

INTRODUÇÃO

Quando ocorrem grandes erupções solares, há a liberação súbita de radiação em diferentes comprimentos de onda (raios X, ultravioleta, rádio), bem como a ejeção de elétrons e prótons energéticos que intensificam o vento solar. Neste período a magnetosfera terrestre fica consideravelmente perturbada e por sua vez, perturba o campo magnético terrestre, o que caracteriza a chamada tempestade magnética. Durante estas tempestades magnéticas a ionosfera sofre profundas alterações que podem durar vários dias. A resposta da ionosfera às perturbações magnéticas já foi extensivamente estudada em latitudes médias, o que porém não aconteceu para latitudes baixas devido principalmente à existência de poucos dados nesta região.

O objetivo deste trabalho é estudar o comportamento ionosférico em baixas latitudes durante tempestades magnéticas fortes. Com esta finalidade e utilizando o índice magnético Dst como indicador dos períodos magneticamente perturbados, foram selecionadas seis tempestades fortes que ocorreram durante os anos de 1978 a 1983, período este que cobre a época da recente atividade solar máxima e sua subsequente fase de declínio. Os parâmetros ionosféricos utilizados na análise foram f_0F_2 (ou NmF_2 , a densidade de pico da camada F_2), h_pF_2 (a altura representativa do pico da camada F_2) e o Conteúdo Eletrônico Total (CET, apresentado sob a forma de ângulo de rotação Faraday). Os parâmetros f_0F_2 e h_pF_2 foram obtidos pelas ionossondas de Fortaleza e Cachoeira Paulista de 1978 a 1983, enquanto o CET foi obtido em São José dos Campos com um polarímetro VHF que recebe o sinal do satélite GOES-3. O comportamento médio destes parâmetros ionosféricos dos dias calmos foi estabelecido para cada período analisado e utilizado como uma referência para determinar as alterações sofridas por estes parâmetros durante os distúrbios magnéticos.

Observou-se durante a fase principal e de recuperação das tempestades uma predominância de acréscimos na densidade eletrônica de pico (fase positiva) com relação à média dos dias calmos, tanto em Ca

choeira Paulista quanto em Fortaleza; porém, as variações deste parâmetro nestas duas localidades parecem, em geral, estar fora de fase. Por outro lado, durante as horas da noite, as variações na densidade eletrônica de pico (f_0F_2) e no conteúdo eletrônico total parecem estar em fase, ou seja, apresentam acréscimos e decréscimos simultâneos, o que, entretanto, não é observado durante as horas do dia.

A altura do pico da camada F_2 (hpF_2), durante a fase principal das tempestades, sofre fortes flutuações e tende a se elevar, tanto em Cachoeira Paulista quanto em Fortaleza, não apresentando contido comportamento bem definido durante a fase de recuperação das tempestades.

Observou-se que o CET em setembro de 1982 apresentou um pico acentuado durante as horas que antecediam meia-noite, o qual era mais predominante durante tempestades magnéticas.

APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

As Figuras 1 a 4 apresentam o Índice magnético Dst, Δf_0F_2 (f_0F_2 perturbado - f_0F_2 médio dos dias calmos, de 15 em 15 minutos) e ΔhpF_2 (hpF_2 perturbado - hpF_2 médio dos dias calmos, de 15 em 15 minutos) para abril/maio de 1978, abril de 1979, dezembro de 1980 e julho de 1981, respectivamente. As Figuras 5 e 6 apresentam os mesmos parâmetros, bem como o CET para os meses de setembro de 1982 e janeiro de 1983, respectivamente.

Observaram-se acréscimos em f_0F_2 bem acentuados em Cachoeira Paulista e Fortaleza, exceto em setembro de 1982 quando f_0F_2 de Fortaleza (Figura 5a) apresentou decréscimos aproximadamente entre 12 e 18 horas, durante a fase principal, e após aproximadamente 18 horas, durante a fase de recuperação, e em dezembro de 1980 quando f_0F_2 de Cachoeira Paulista (Figura 3b) apresentou decréscimos durante a fase principal e de recuperação de tempestade, retornando ao seu nível normal apenas ao entardecer do dia 23. Observa-se na Figura 3a que f_0F_2 de Fortaleza, em dezembro de 1980, também apresentou um decréscimo durante a fase principal

pal e pequenos decrêscimos durante a fase de recuperação. O parâmetro $h_p F_2$ apresentou grandes oscilações ora em fase, ora em antifase com o parâmetro $f_0 F_2$ durante a fase principal das tempestades.

Observa-se nas Figuras 5b e 5c que de aproximadamente 18 às 04 horas de 28/29 de setembro de 1982 as variações de CET acompanham em fase as variações de $\Delta f_0 F_2$, o mesmo ocorrendo de 18 às 06 horas de 09/10 de janeiro de 1983, conforme se pode notar nas Figuras 6b e 6c. Porém, tal associação entre $\Delta f_0 F_2$ e CET parece não ocorrer durante as horas do dia, conforme se pode observar no dia 28 de setembro de 1982, nas Figuras 5b e 5c, e nos dias 10 e 11 de janeiro de 1983, nas Figuras 6b e 6c.

Observa-se na Figura 5c que o CET apresenta um pico acentuado um pouco antes de meia-noite.

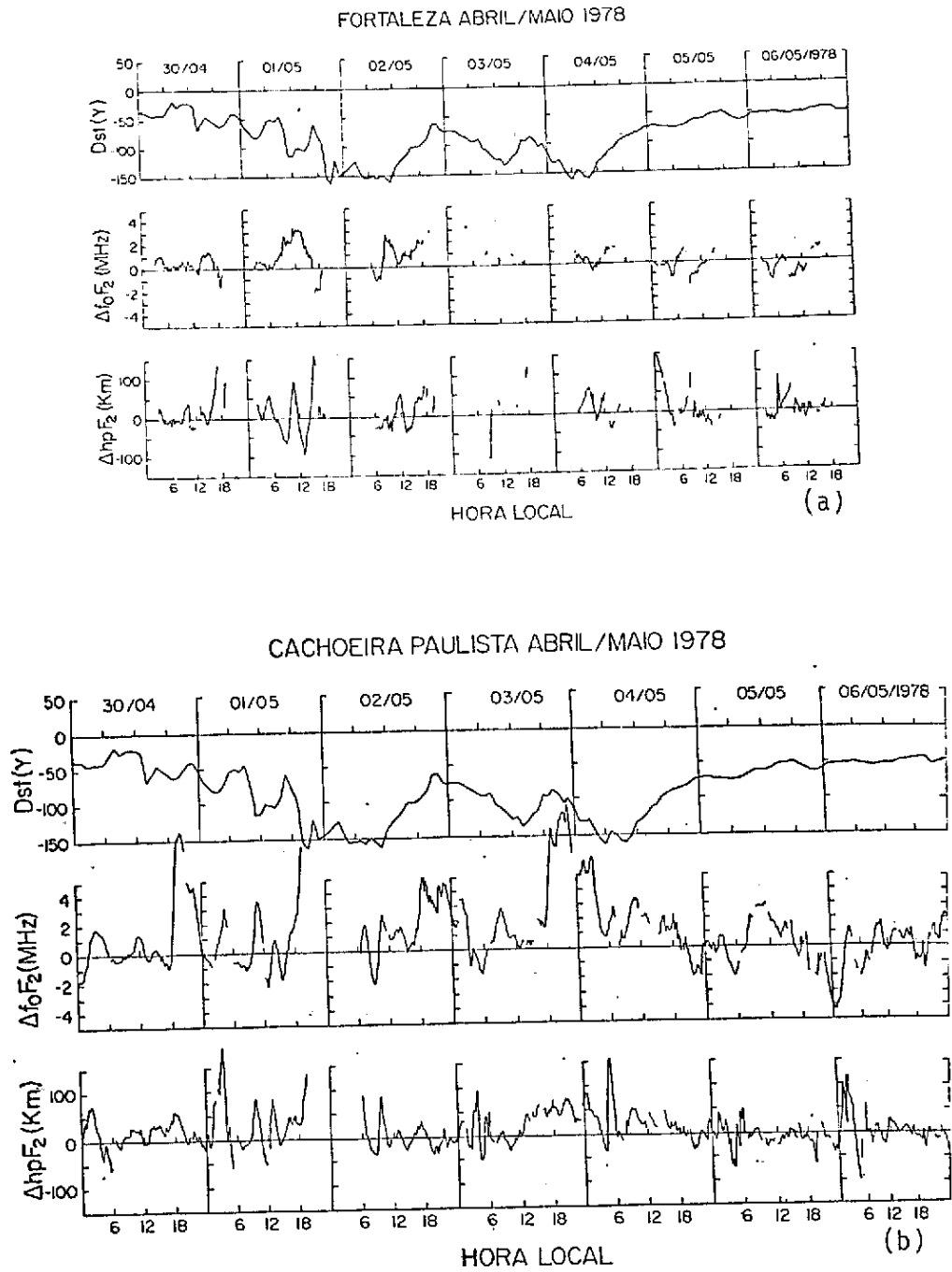


Fig. 1 - Índice magnético Dst, $\Delta f_0 F_2$ e $h_p F_2$ de Fortaleza (1a) e Cachoeira Paulista (1b) para abril/maio de 1978.

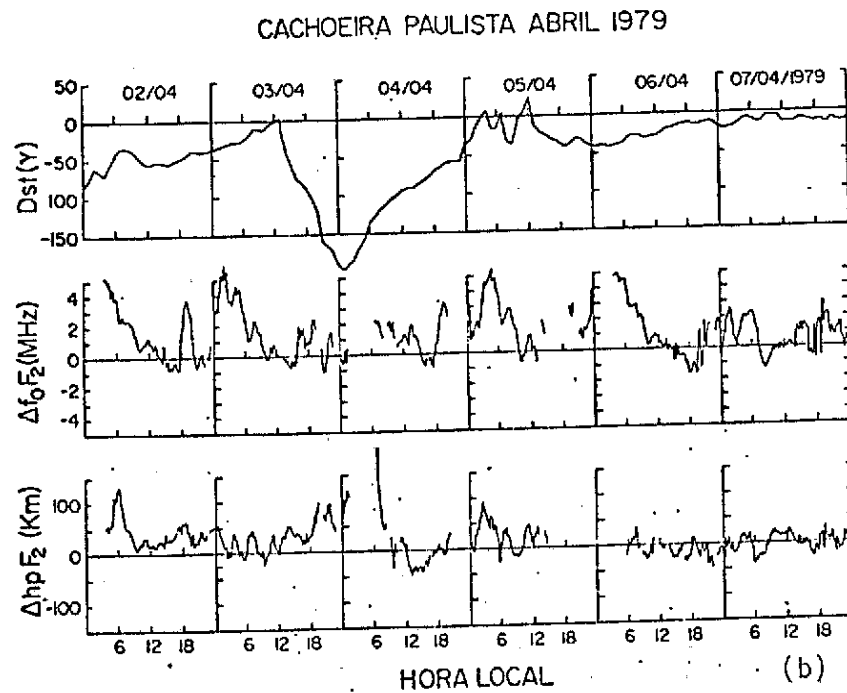
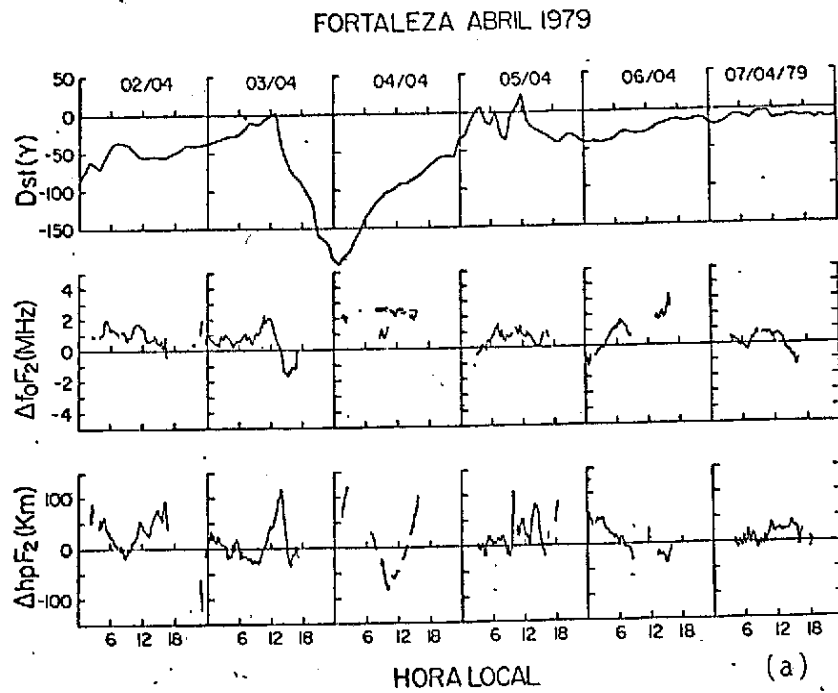
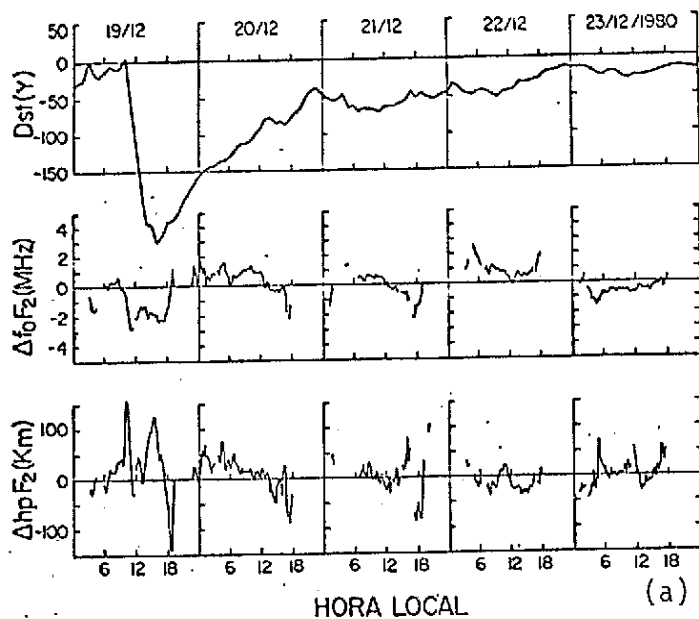


Fig. 2 - Índice magnético Dst, $\Delta f_0 F_2$ e $\Delta hp F_2$ de Fortaleza (2a) e Cachoeira Paulista (2b) para abril de 1979.

FORTALEZA DEZEMBRO 1980



CACHOEIRA PAULISTA DEZEMBRO 1980

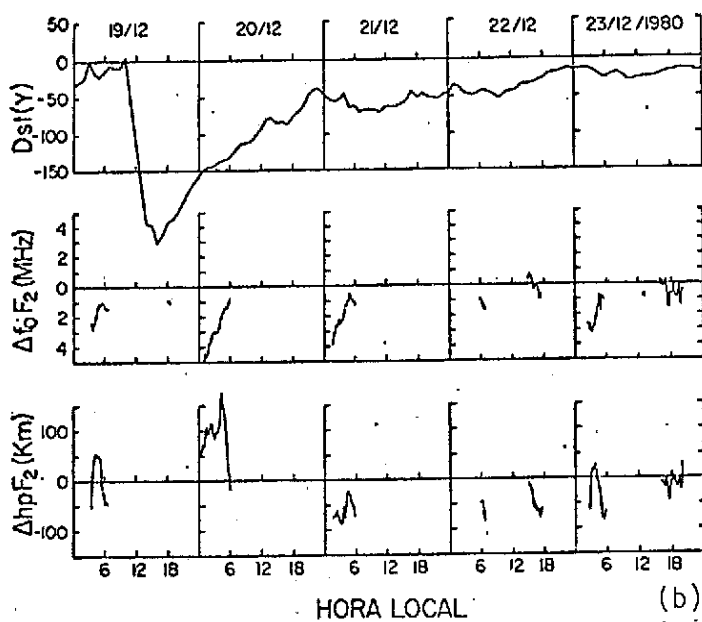
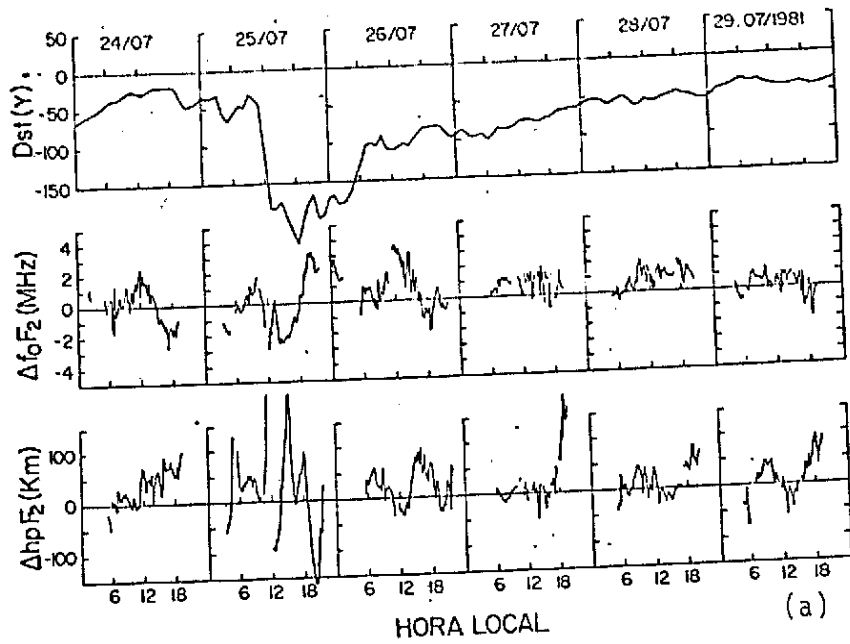


Fig. 3 - Índice magnético Dst, $\Delta f_0 F_2$ e $\Delta hp F_2$ de Fortaleza (3a) e Cachoeira Paulista (3b) para dezembro de 1980.

FORTALEZA JULHO 1981



CACHOEIRA PAULISTA JULHO 1981

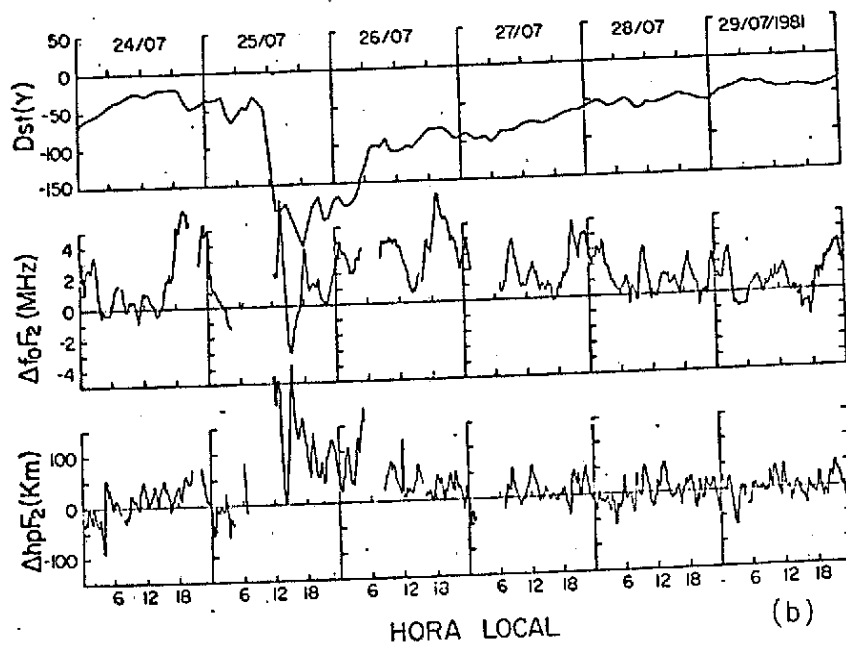


Fig. 4 - Índice magnético Dst, $\Delta f_0 F_2$ e $\Delta hp F_2$ de Fortaleza (4a) e Cachoeira Paulista (4b) para julho de 1981.

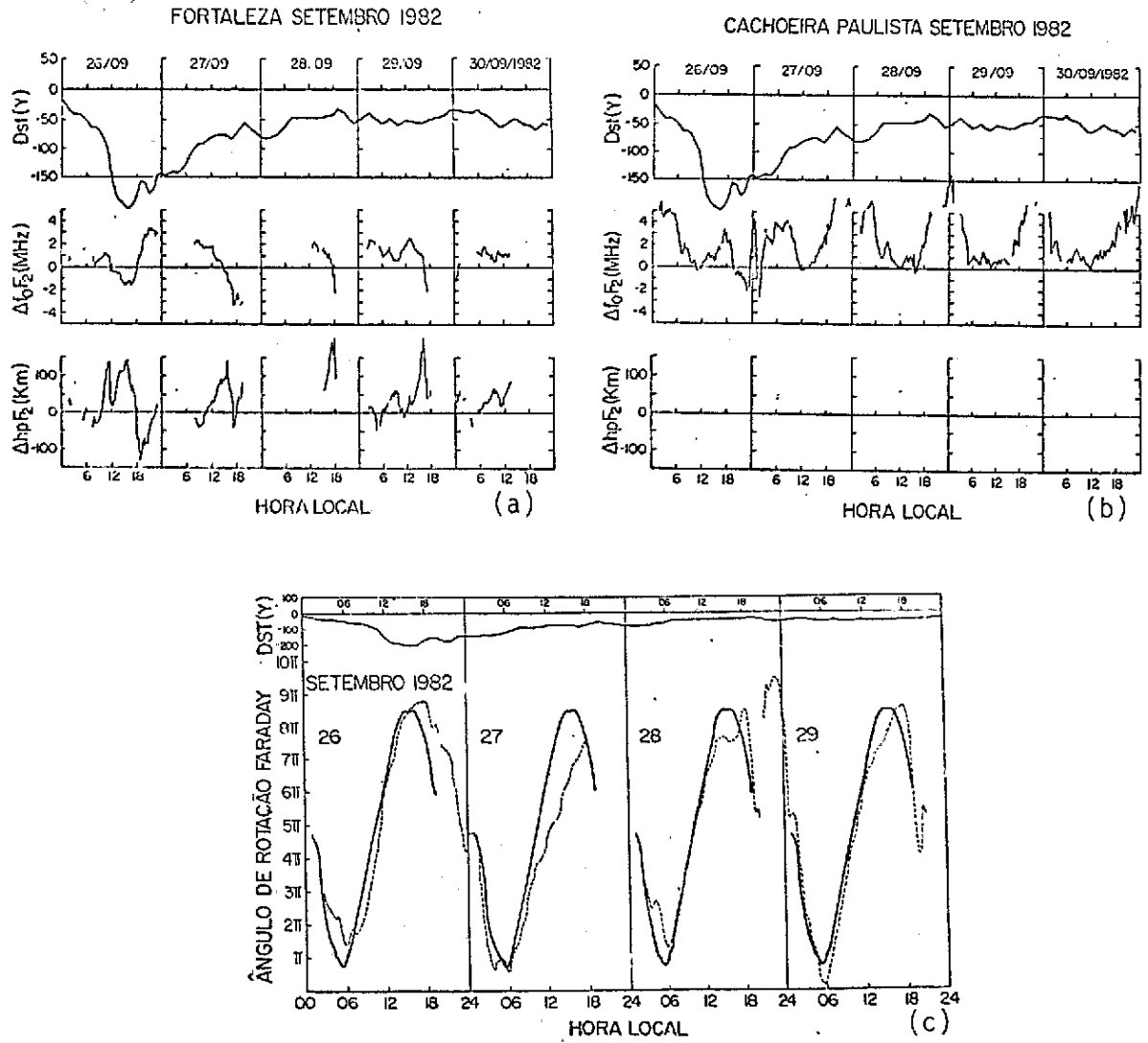


Fig. 5 - Índice magnético Dst, Δf_0F_2 e ΔhpF_2 de Fortaleza (5a) e Cachoeira Paulista (5b), e conteúdo eletrônico total médio dos dias calmos (linha contínua) e dos dias perturbados (linha tracejada) de São José dos Campos (5c) para setembro de 1982.

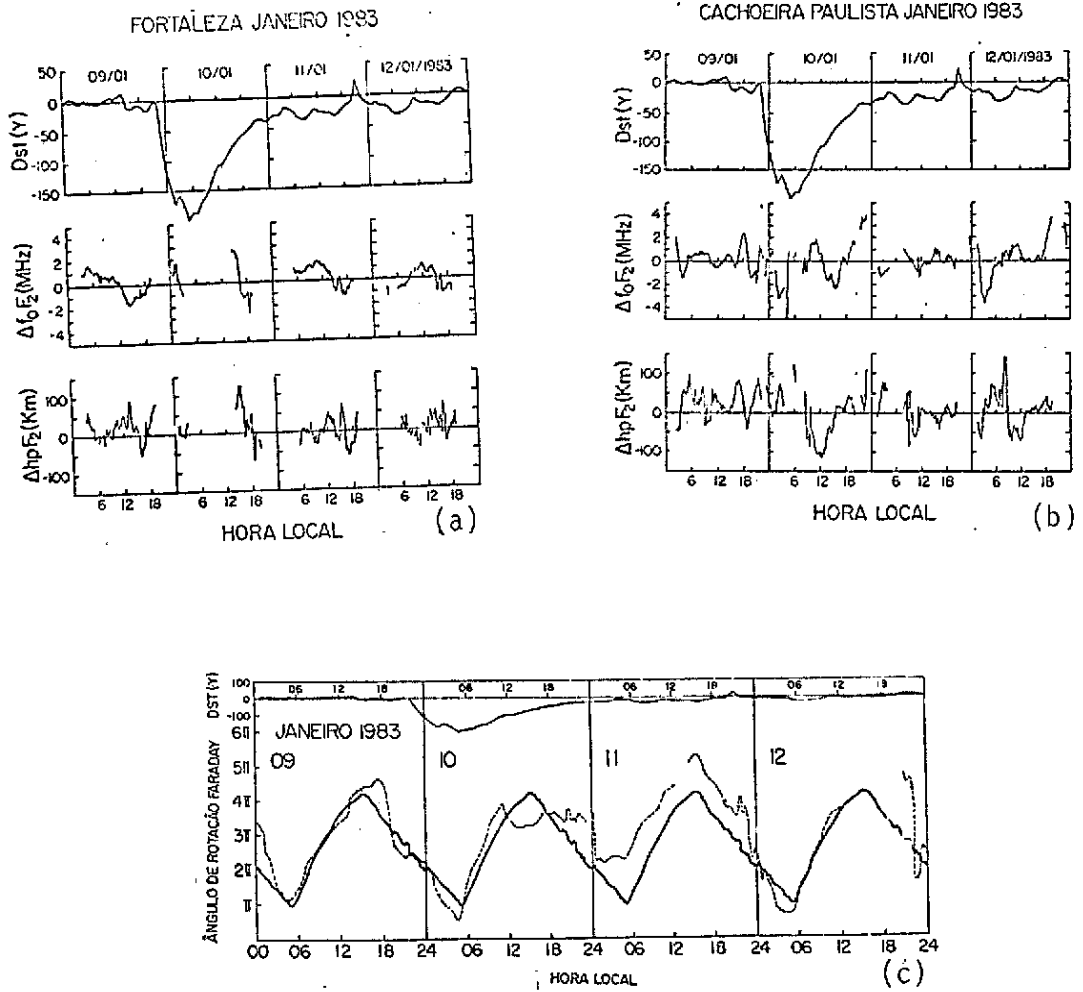


Fig. 6 - Índice magnético Dst , $\Delta f_0 F_2$ e $\Delta hp F_2$ de Fortaleza (6a) e Cachoeira Paulista (6b), e conteúdo eletrônico total médio dos dias calmos (linha contínua) e dos dias perturbados (linha traçada) de São José dos Campos (6c) para janeiro de 1983.

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

O efeito ionosférico mais consistente observado nas seis tempestades analisadas é um frequente acréscimo (fase positiva) nos parâmetros f_0F_2 e CET, o que está de acordo com os resultados de outras regiões de baixas latitudes (Rajaram, 1977). Acredita-se que tal fase positiva em regiões equatoriais se deve à inibição do desenvolvimento da anomalia equatorial devido ao enfraquecimento do campo elétrico equatorial (Woodman, 1970; Blanc and Richmond, 1980) e, em baixas latitudes e regiões equatoriais, aos ventos termosféricos que sopram na direção do equador durante tempestades magnéticas (Burge et alii, 1973). Este vento termosférico que sopra em direção ao equador, além de elevar a ionização para alturas onde a taxa de perda eletrônica é menor, ainda dificulta a difusão da ionização da região equatorial para baixas latitudes ao longo das linhas do campo magnético. Também é sugerido por Papagiannis et alii (1971) que pode existir um fluxo de ionização da plasmasfera para a ionosfera durante tempestades magnéticas.

Observa-se também que decréscimos de f_0F_2 de pequena duração (algumas horas) são observadas durante as horas do dia em Fortaleza durante a fase principal das tempestades. Turunen (1980) observou também tais decréscimos anômalos em f_0F_2 na estação equatorial de Huancayo ($12^{\circ}S$, $75,3^{\circ}O$) durante tempestades magnéticas severas e sugere que o campo elétrico do sistema de corrente de Birkeland, na zonal auroral, estende-se ao equador e temporariamente intensifica a anomalia equatorial na região F.

Abdu et alii (1980) analisaram algumas tempestades magnéticas de 1978, não muito fortes, e observaram que o comportamento ionosférico em Cachoeira Paulista era similar ao comportamento em latitudes médias, a saber, uma fase positiva de f_0F_2 (que dura algumas horas) durante a fase principal das tempestades, seguida de uma fase negativa (que dura vários dias) durante a fase de recuperação das tempestades. Acredita-se que tal fase negativa é devida à chegada, em latitudes médias e baixas, de frentes de distúrbios termosféricos provenientes de al

tas latitudes, as quais possuem uma maior razão $[N_2]/[O]$, o que modifica a composição termosférica aumentando a taxa de perda eletrônica (Rishbeth, 1972, 1975; Evans, 1973; Prölss and Von Zahn, 1976; Prölss, 1981). Portanto, parece que durante tempestades magnéticas fortes a fase positiva de f_0F_2 , tanto em Cachoeira Paulista quanto em Fortaleza, prolonga-se por vários dias, pois os distúrbios Dst continuam mesmo depois da fase principal da tempestade e, então, a fase negativa demora a se manifestar como, por exemplo, na Figura 1b quando esta fase se torna evidente apenas no dia 5 de maio em Cachoeira Paulista.

O pico no CET observado na Figura 5c parece ser um fenômeno típico de meses equinociais (Abdu et alii, 1984). Observa-se na Figura 6c que ele é bem menos pronunciado em janeiro de 1983. Anderson e Klobuchar (1983) observaram um pico similar nos dados de CET da Ilha de Ascensão ($8^{\circ}S$, $15^{\circ}O$), em setembro de 1979, em torno das 21 horas (hora local) e desenvolveram um programa de computador para modelar o CET; com isto, conseguiram reproduzir este pico resolvendo numericamente a equação da continuidade e do movimento para o íon O^+ . Em tal programa foram utilizados, como parâmetros de entrada, um modelo de deriva eletrônica $\vec{E} \times \vec{B}$, obtido pelo radar de espalhamento incoerente de Jicamarca, e as componentes zonal e meridional do vento neutro termosférico. O modelo de deriva $\vec{E} \times \vec{B}$ de Jicamarca apresenta um pico acentuado em torno das 18 horas, hora esta em que há uma inversão na velocidade de deriva, a qual é para cima durante as horas do dia e para baixo um pouco após 19 horas. Este pico pré-inversão de deriva $\vec{E} \times \vec{B}$, o qual também está presente em Fortaleza no mesmo horário, parece ser o principal fator para a produção do pico do CET antes de meia-noite na Ilha de Ascensão e em São José dos Campos. Observou-se, analisando o CET de outros períodos (Abdu et alii, 1984; Paula et alii, 1983), que o pico no CET em São José dos Campos, antes de meia-noite, é menos acentuado durante períodos magneticamente perturbados, o que é um indício de que a deriva $\vec{E} \times \vec{B}$ na região equatorial tende a ser inibida durante tais períodos, fato este que está de acordo com Rajaram (1977) e Woodman (1970).

Estã sendo desenvolvido no INPE um programa de computador, baseado no programa de Bittencourt (1975), para modelar o comportamento ionosférico da região F em baixas latitudes. Este programa, juntamente com a obtenção de uma maior quantidade de dados permitirão uma análise mais completa dos fenômenos eletrodinâmicos responsáveis pelo comportamento da ionosfera de baixas latitudes, tanto em períodos magneticamente calmos quanto perturbados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdu, M.A.; I.J. Kantor, E.R. de Paula, A.C. Giese. Ionospheric F-region response to geomagnetic storms, over Brazilian low latitude. INPE-1835-RPE/197, July 1980.
- Abdu, M.A.; J.A. Bittencourt, E.R. de Paula. Nighttime enhancements in the TEC, and magnetic storm response, of the tropical F-region over Brazil. INPE-3038-PRE/469, March 1984.
- Anderson, D.N.; J.A. Klobuchar. Modelling the total electron content observations above Ascencion Island. Journal of Geophysical Research, 88(10):8020-8024, October 1983.
- Bittencourt, J.A. Determination of tropical F-region winds from atomic oxygen airglow emissions. PhD Thesis at the University of Texas at Dallas, May 1975.
- Blanc, M.; A.D. Richmond. The ionospheric disturbance dynamo. Journal of Geophysical Research, 85(4):1669-1686, April 1980.
- Burge, J.D.; D. Eccles, J.W. King; R. Ruster. The effects of thermospheric winds on the ionosphere at low and middle latitudes during magnetic disturbances. Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics, 35(4):617-623, 1973.
- Evans, J.V. The causes of storm-time increases of the F-layer at mid-latitudes. Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics, 35(4):594-616, 1973.
- Papagiannis, M.D.; M. Mendillo; J.A. Klobuchar. Simultaneous stormtime increases of the ionospheric total electron content and the geomagnetic field in the dusk sector. Planetary and Space Science, 21(3):349-358, March 1973.
- Paula, E.R. de; M.A. Abdu, I.J. Kantor. Comportamento do conteúdo eletrônico total da ionosfera em São José dos Campos durante tempestades magnéticas em 1983. INPE-2810-PRE/368.

- Prölss, G.W.; B. Von Zahn. On the global morphology of negative ionospheric storms. COSPAR Plenary meeting proceedings, Oxford, Pergamon, Space Research, 17, 433-438, 1976.
- Prölss, G.W. Latitudinal structure and extension of the polar atmospheric disturbance. Journal of Geophysical Research, 86(4):2385-2396, 1981.
- Rajaram, G. Structure of the equatorial F-region topside and bottomside. Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics, 39(9/10):1125-1144, 1977.
- Rishbeth, H. Thermospheric wind and the F-region: A review. Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics, 34 (1):1-47, 1972.
- Rishbeth, H. F-region storm and thermospheric circulation. Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics, 37(6/7):1055-1064, 1975.
- Turunen, T. Examples of the influence of strong magnetic storms on the equatorial F-layer. Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics, 42(4):323-330, April 1980.
- Woodman, R.F. Vertical drift velocities and east-west electric fields at the magnetic equator. Journal of Geophysical Research, 75(31): 6249-6259, November 1970.