



PALAVRAS CHAVES/KEY WORDS

AUTORES  
AUTHORS

TEMPESTADES IONOSFÉRICAS  
MODELAGEM IONOSFÉRICA

AUTORIZADA POR/AUTHORIZED BY

*Marcelo Antonio Rupp*  
Director General

AUTOR RESPONSÁVEL  
RESPONSIBLE AUTHOR

*Eurico R. de Paula*  
Eurico R. de Paula

DISTRIBUIÇÃO/DISTRIBUTION

- INTERNA / INTERNAL  
 EXTERNA / EXTERNAL  
 RESTRITA / RESTRICTED

REVISADA POR / REVISED BY

*Inez S. Batista*  
Inez S. Batista

CDU/UDC

523.4-853

DATA / DATE

4/3/87

PUBLICAÇÃO Nº  
PUBLICATION NO

INPE-4127-PRE/1042

ORIGEM  
ORIGIN

DGA

PROJETO  
PROJECT

IONO

TÍTULO/TITLE

ANÁLISE DA REGIÃO F IONOSFÉRICA DE BAIXA  
LATITUDE MAGNETICAMENTE PERTURBADA

Nº DE PAG.  
NO OF PAGES

28

ULTIMA PAG.  
LAST PAGE

24

AUTORES/AUTHORSHIP

E. R. de Paula  
M. A. Abdu  
J. A. Bittencourt

VERSÃO  
VERSION

Nº DE MAPAS  
NO OF MAPS

RESUMO - NOTAS / ABSTRACT - NOTES

Analisou-se o comportamento da região F ionosférica, durante tempestades magnéticas, usando os parâmetros  $f_0F_2$  e  $h_pF_2$  reduzidos de ionogramas de Cachoeira Paulista ( $23^\circ S$ ,  $45^\circ W$ ) e Fortaleza ( $4^\circ S$ ,  $38^\circ W$ ). Observou-se durante todas as fases de uma tempestade que em Fortaleza são mais frequentes aumentos de  $f_0F_2$  (fase positiva) relativos a  $f_0F_2$  de períodos magneticamente calmos. Observou-se em Cachoeira Paulista, em muitas tempestades, uma fase positiva em  $f_0F_2$  durante a fase principal da tempestade, seguida por um decréscimo em  $f_0F_2$  (fase negativa) durante a fase de recuperação da tempestade. Observaram-se também grandes flutuações em  $f_0F_2$  e  $h_pF_2$ , de curta duração, o que evidenciou uma penetração em baixas latitudes de campos elétricos magnetosféricos durante tempestades magnéticas. Desenvolveu-se um modelo numérico da ionosfera que calcula teoricamente o perfil do íon  $O^+$ , em baixas latitudes, utilizando como modelos paramétricos de entrada o vento neutro meridional, a deriva vertical equatorial e a atmosfera neutra. Efetuou-se uma análise criteriosa dos efeitos destes modelos de entrada, adequadamente escolhidos para representar condições magnéticamente perturbadas, nos valores calculados de  $f_0F_2$  e  $h_mF_2$ . Usando este modelo de ionosfera, estabeleceu-se que a deriva vertical e o vento neutro são os principais fatores que causam a fase positiva em  $f_0F_2$  durante a fase principal de uma tempestade. As fases negativas em  $f_0F_2$  são explicadas por mudanças na composição termosférica.

OBSERVAÇÕES / REMARKS

OBSERVAÇÃO: Trabalho apresentado na 14ª Reunião Científica de Geofísica e Geodésia, 27 a 31 de outubro de 1986 em Mendoza, Argentina. A viagem à Mendonza foi financiada pela FAPESP.

### ABSTRACT

*The ionospheric F region behavior, during magnetic storms, was analysed using the parameters  $f_0F_2$  and  $h_pF_2$  reduced from ionograms of Cachoeira Paulista ( $23^\circ S$ ,  $45^\circ W$ ) and Fortaleza ( $4^\circ S$ ,  $38^\circ W$ ). It was observed that at Fortaleza increases of  $f_0F_2$  (positive phase), relative to quiet periods, during all phases of a storm, are more frequent. At Cachoeira Paulista, a positive phase in  $f_0F_2$  during the main phase of the storm, was observed in many storms followed by a decrease in  $f_0F_2$  (negative phase) during the recovery phase of the storm. Also great fluctuations on  $f_0F_2$  and  $h_pF_2$ , of short periods of time, were observed, evidencing a penetration at low latitudes of magnetospheric electric fields during magnetic storms. A numerical model of the ionosphere that calculates theoretically the profile of  $O^+$ , at low latitudes, was developed, using as parametric entry models the meridional neutral wind, the equatorial vertical drift and the neutral atmosphere. A careful analysis of the effects of these entry models, adequately chosen to represent magnetically disturbed conditions, on the calculated values of  $f_0F_2$  and  $h_mF_2$ , was done. Using this ionospheric model it was established that the vertical drift and the neutral wind are the main factors causing  $f_0F_2$  positive phase during the main phase of a storm. The negative phases in  $f_0F_2$  are explained by changes in the thermospheric composition.*

∴

## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS .....	<i>iv</i>
1 - <u>INTRODUÇÃO</u> .....	1
2 - <u>APRESENTAÇÃO DOS DADOS DE IONOSSONDA</u> .....	1
2.1 - Aumentos de $f_0F_2$ (fase positiva) em Fortaleza .....	2
2.2 - Fase positiva na ionização de pico da camada $F_2(f_0F_2)$ seguida por uma fase negativa, em Cachoeira Paulista .....	3
2.3 - Desvios negativos de curta duração na ionização de pico da camada $F_2(f_0F_2)$ , em Cachoeira Paulista, ao redor de 00:00 hora local, simultâneos com desvios positivos de $h_pF_2$ .....	5
2.4 - Desvios positivos de curta duração na ionização de pico da camada $F_2(f_0F_2)$ , em Cachoeira Paulista, ao redor de 19:00 horas (hora local) .....	8
3 - <u>O MODELO TEÓRICO DA IONOSFERA PARA BAIXAS LATITUDES E SUAS EN- TRADAS PARAMÉTRICAS</u> .....	10
4 - <u>RESULTADOS DA SIMULAÇÃO</u> .....	13
5 - <u>DISCUSSÕES E CONCLUSÕES</u> .....	21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	23



LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1 - Índice magnético Dst, $\Delta f_0F_2$ e $\Delta hpF_2$ de Fortaleza para junho de 1978 .....	2
2 - Índice magnético Dst, $\Delta f_0F_2$ e $\Delta hpF_2$ de Fortaleza para março de 1982 .....	3
3 - Índice magnético Dst, $\Delta f_0F_2$ e $\Delta hpF_2$ de Cachoeira Paulista para os dias 2 a 7 de abril de 1978 (a) e para abril/maio de 1978 (b) .....	4
4 - Índice magnético Dst, $\Delta f_0F_2$ e $\Delta hpF_2$ de Cachoeira Paulista e de Fortaleza para os dias 25 a 29 de março de 1978 .....	6
5 - Índice magnético Dst, $\Delta f_0F_2$ e $\Delta hpF_2$ de Cachoeira Paulista e de Fortaleza para os dias 2 a 7 de abril de 1978 .....	7
6 - Índice magnético Dst, $\Delta f_0F_2$ e $\Delta hpF_2$ de Cachoeira Paulista para os dias 21 a 26 de maio de 1978 .....	9
7 - Derivas verticais na região equatorial para alta e baixa atividade magnética e para ciclo solar máximo e mínimo (equinócio).	12
8 - Parâmetro $f_0F_2$ calculado usando os modelos M10, M8, M9 e M11 magneticamente perturbados e de alta atividade solar e utilizando o modelo M1 .....	15
9 - Parâmetro $hmF_2$ calculado usando os modelos M10, M8, M9 e M11 magneticamente perturbados e de alta atividade solar e utilizando o modelo M1 .....	16
10 - Parâmetros $f_0F_2$ e $hmF_2$ calculados usando o modelo M13, que possui um pico pré-reversão acentuado, e utilizando o modelo M1..	18
11 - Parâmetros $f_0F_2$ e $hmF_2$ calculados usando o modelo M12, que possui um pico na deriva em torno de 00:00 hora, e utilizando o modelo M1 .....	20



## 1 - INTRODUÇÃO

Quando ocorrem fortes erupções solares, há uma súbita liberação de radiação em muitos comprimentos de onda, bem como ejeção de prótons e elétrons energéticos do Sol, os quais intensificam o vento solar. Neste período, a magnetosfera terrestre fica consideravelmente perturbada e, por sua vez, perturba o campo magnético terrestre, que caracteriza o que é denominado tempestade magnética. Durante uma tempestade magnética ocorre uma deposição de grande quantidade de energia em regiões polares. A termosfera de alta latitude é aquecida por correntes elétricas intensificadas (efeito Joule) e por precipitação de partículas (processos colisionais) (Volland, 1983; Mayr et alii, 1978), o que dá origem à circulação termosférica modificada. As correntes e os campos elétricos sofrem alterações durante tempestades magnéticas. Nestes períodos magneticamente perturbados, os campos elétricos magnetosféricos podem penetrar na ionosfera, mesmo em baixas latitudes (Volland, 1983), o que afeta consideravelmente a deriva vertical da região equatorial, e o sistema de corrente elétrica auroral de Birkeland fica intensificado e move-se para menores latitudes (Iijima and Potemra, 1976; Heelis, 1982; Potemra et alii, 1980). Durante períodos magneticamente perturbados, a ionosfera sofre profundas alterações. A finalidade deste trabalho é analisar o comportamento ionosférico (camada  $F_2$ ), em baixas latitudes no Brasil, durante tais períodos, com o auxílio de um modelo teórico da ionosfera.

## 2 - APRESENTAÇÃO DOS DADOS DE IONOSSONDA

Para analisar o comportamento ionosférico, durante fortes tempestades magnéticas, dados de ionossonda ( $f_0F_2$  e  $h_pF_2$ ) de Cachoeira Paulista ( $23^{\circ}S$ ,  $45^{\circ}O$ ; inclinação magnética:  $-13^{\circ}$ ) e de Fortaleza ( $4^{\circ}S$ ;  $38^{\circ}O$ ; inclinação magnética:  $-1,8^{\circ}$ ) foram reduzidos para cada 15 minutos no período de 1978 a 1983. Deve-se notar que a camada F espalhada, presente principalmente em Fortaleza nas primeiras horas da noite, impossibilitou a redução de ionogramas neste horário. Para cada mês escolhido, em que houve ocorrência de tempestade magnética, foram selecionados os dias magneticamente calmos, e as médias mensais  $\overline{f_0F_2(t)}$  e  $\overline{h_pF_2(t)}$ , para

cada 15 minutos, foram calculadas. A seguir, para obter a variação de  $f_0F_2$  e  $hpF_2$  durante tempestades magnéticas, relativa à média dos dias calmos, foram calculados os desvios  $\Delta f_0F_2(t) = f_0F_2(t) - \overline{f_0F_2(t)}$  e  $\Delta hpF_2 = hpF_2(t) - \overline{hpF_2(t)}$  para cada 15 minutos. O índice magnético Dst foi usado para selecionar os dias magneticamente perturbados. Neste trabalho, os desvios de  $f_0F_2(t)$  e de  $hpF_2(t)$ ,  $\Delta f_0F_2(t)$  e  $\Delta hpF_2(t)$ , respectivamente, e o índice magnético Dst são apresentados em forma de gráficos para algumas tempestades selecionadas.

A seguir, são apresentados alguns exemplos do comportamento típico dos parâmetros de pico  $f_0F_2$  e  $hpF_2$  da camada F durante períodos dos magneticamente perturbados, relativos a períodos calmos.

## 2.1 - AUMENTOS DE $f_0F_2$ (FASE POSITIVA) EM FORTALEZA

A fase positiva na ionização de pico de Fortaleza, em todas as fases de uma tempestade, prevaleceu durante quase todas as tempestades analisadas. Na Figura 1 está apresentado um exemplo desta fase positiva.

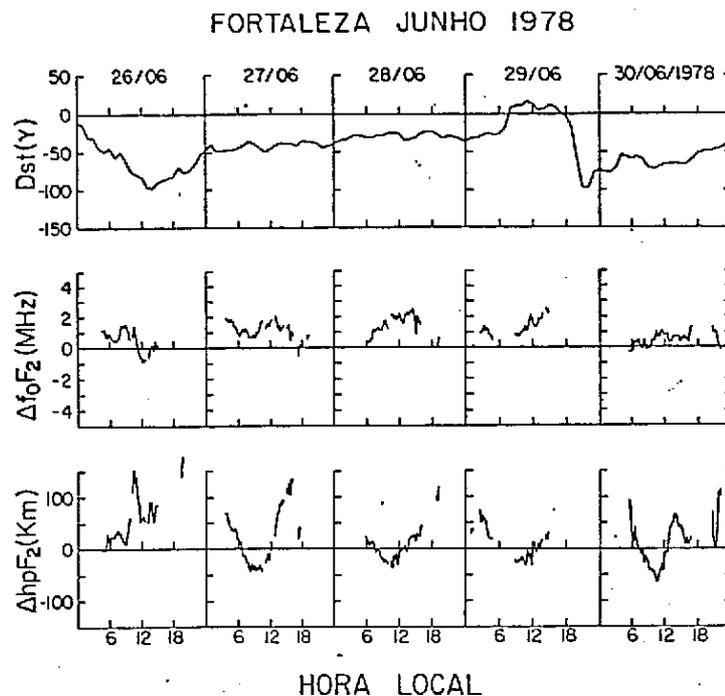


Fig. 1 - Índice magnético Dst,  $\Delta f_0F_2$  e  $\Delta hpF_2$  de Fortaleza para junho de 1978.

Em algumas tempestades muito fortes foi observada também uma fase negativa na ionização de pico durante a fase de recuperação das tempestades, seguida de uma fase positiva na ionização durante a fase principal das tempestades, em Fortaleza. A Figura 2 apresenta um destes casos.

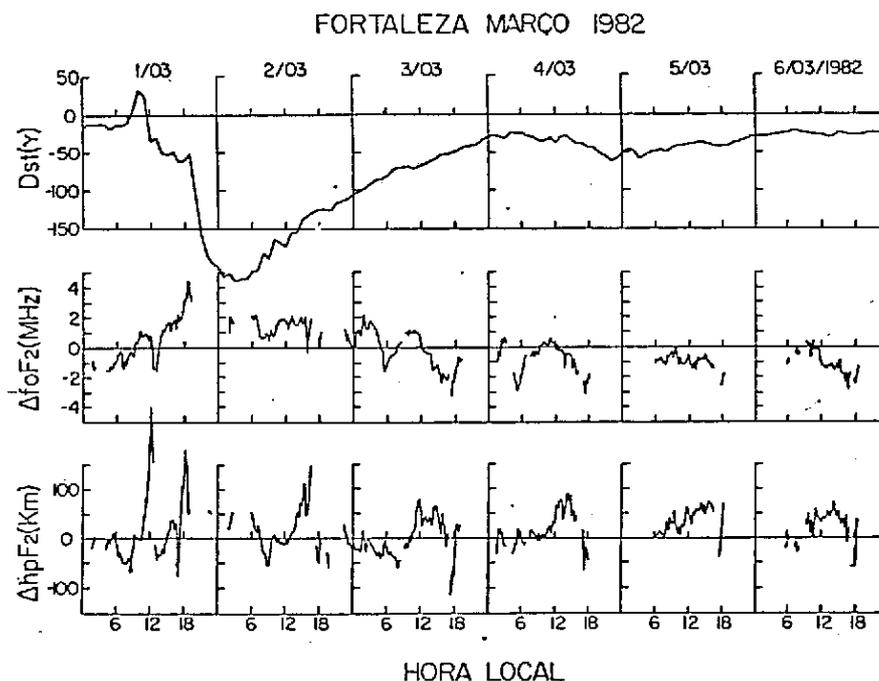
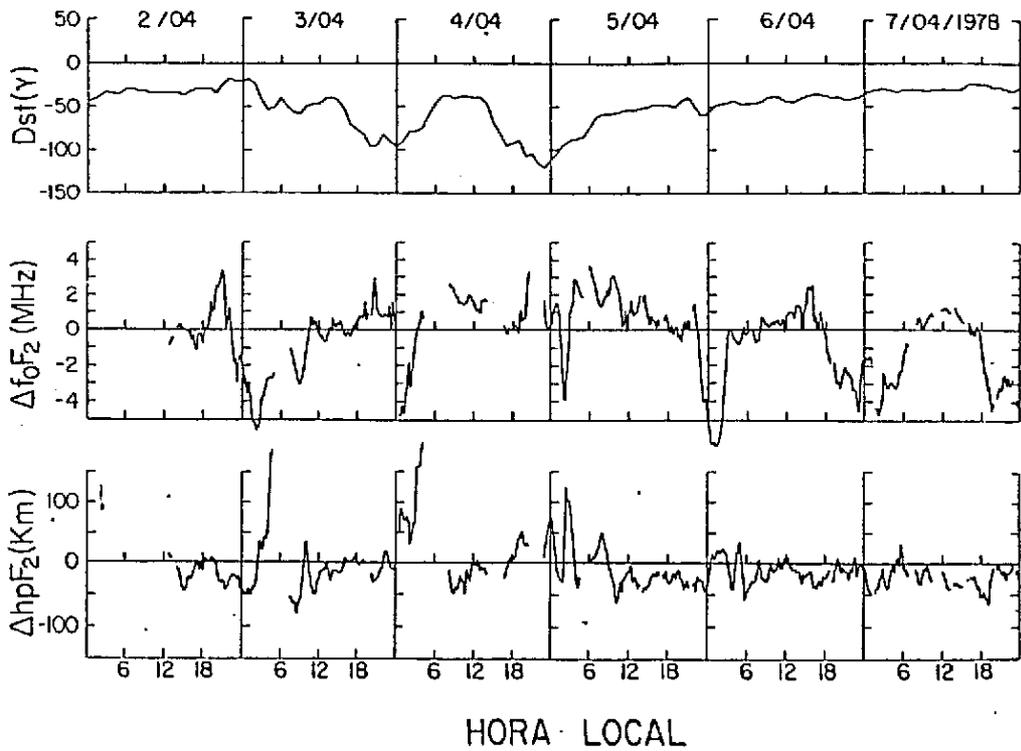


Fig. 2 - Índice magnético Dst,  $\Delta f_0F_2$  e  $\Delta h_pF_2$  de Fortaleza para março de 1982.

## 2.2 - FASE POSITIVA NA IONIZAÇÃO DE PICO DA CAMADA $F_2$ ( $f_0F_2$ ) SEGUIDA POR UMA FASE NEGATIVA, EM CACHOEIRA PAULISTA

Uma fase positiva na ionização de pico ( $f_0F_2$ ), que dura muitas horas durante a fase principal das tempestades, seguida por uma fase negativa, que dura muitos dias na fase de recuperação das tempestades, foi o comportamento da ionização em muitas tempestades, em Cachoeira Paulista. A Figura 3 mostra dois exemplos deste comportamento em Cachoeira Paulista.

CACHOEIRA PAULISTA ABRIL 1978



CACHOEIRA PAULISTA ABRIL/MAIO 1978

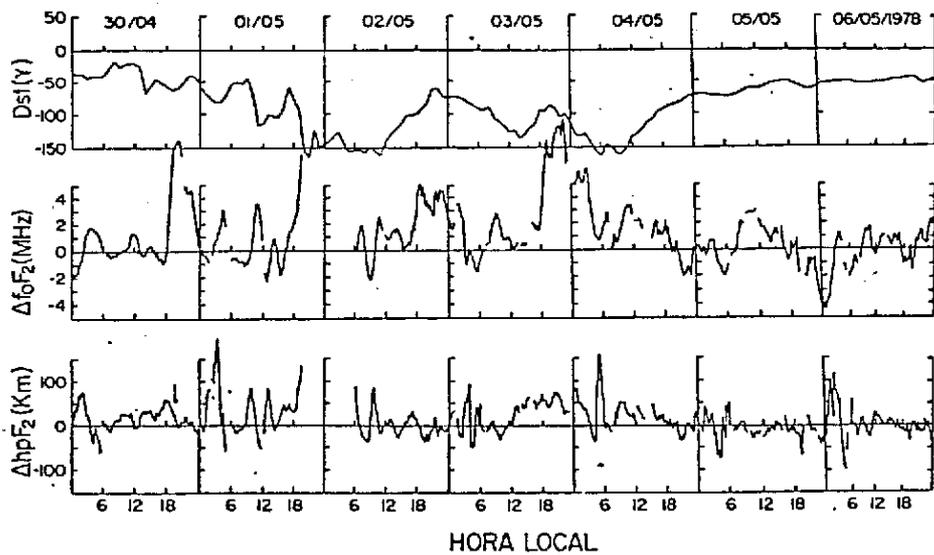


Fig. 3 - Índice magnético Dst,  $\Delta f_0 F_2$  e  $\Delta h_p F_2$  de Cachoeira Paulista para os dias 2 a 7 de abril de 1978 (a) e para abril/maio de 1978 (b).

Pode-se observar nesta Figura 3 que existe uma tendência de elevação da camada  $F_2$  durante a fase principal das tempestades.

2.3 - DESVIOS NEGATIVOS DE CURTA DURAÇÃO NA IONIZAÇÃO DE PICO DA CAMADA  $F_2(f_0F_2)$ , EM CACHOEIRA PAULISTA, AO REDOR DE 00:00 HORA LOCAL, SIMULTÂNEOS COM DESVIOS POSITIVOS DE  $hpF_2$

Em muitas tempestades foram observados desvios negativos acentuados da ionização de pico, de curta duração, ao redor de 00:00 hora local, com desvios positivos simultâneos de  $hpF_2$ , em Cachoeira Paulista. Em Fortaleza, foi observado, em alguns exemplos, um aumento de curta duração na ionização de pico  $f_0F_2$  simultâneo ao aumento de  $hpF_2$ , ao redor de 00:00 hora. As Figuras 4 e 5 mostram estes comportamentos.

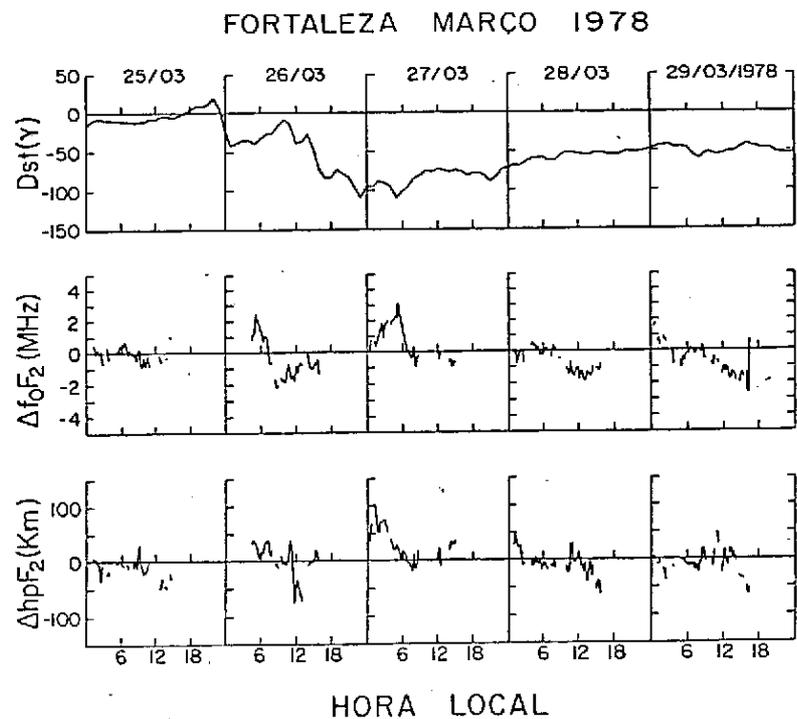
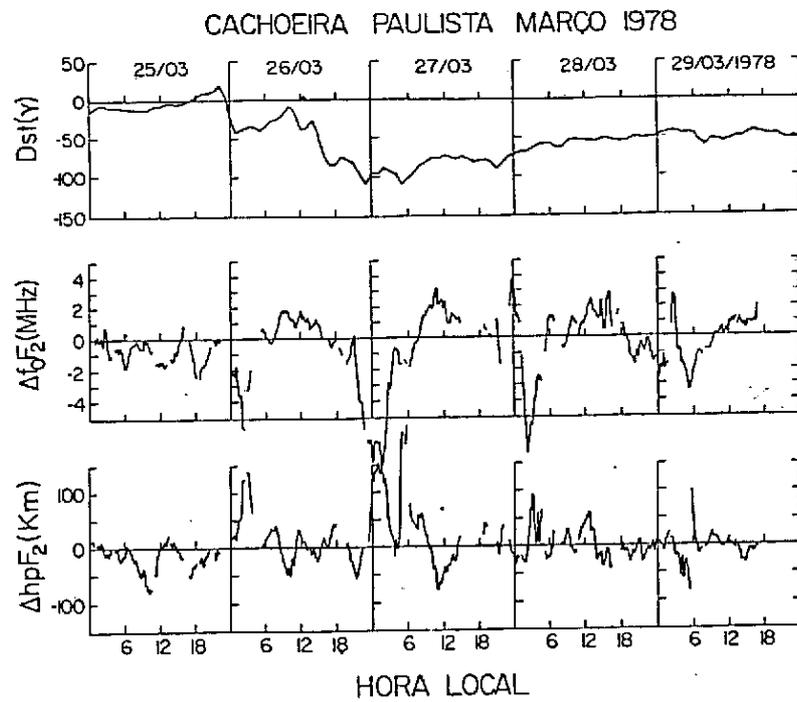
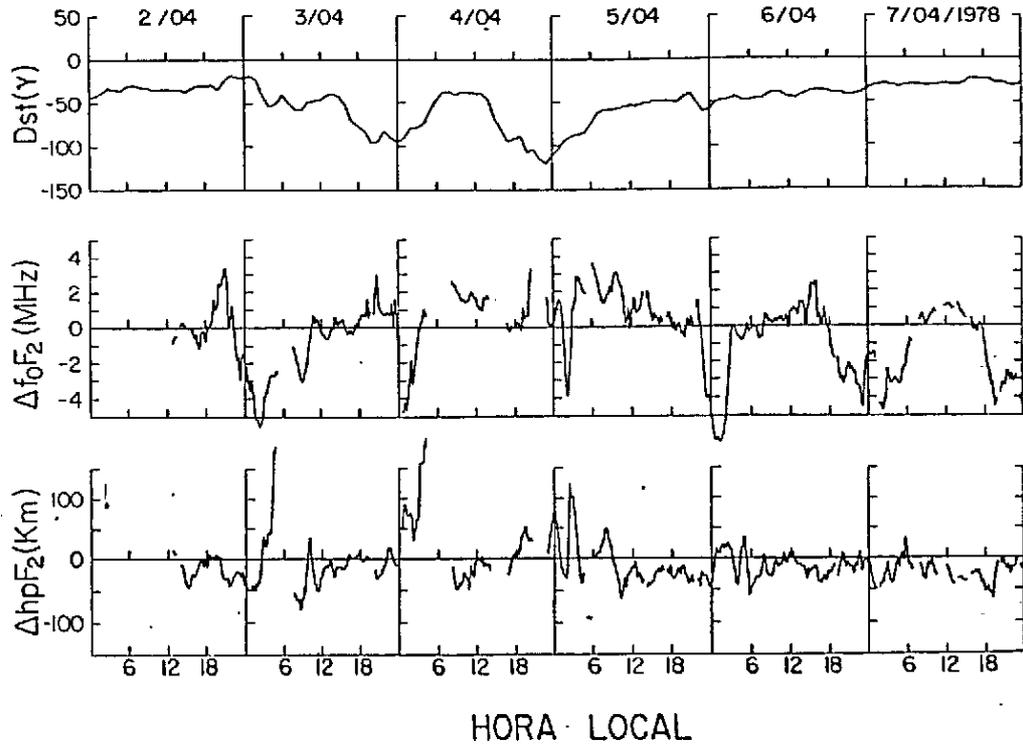


Fig. 4 - Índice magnético Dst,  $f_0F_2$  e  $hpF_2$  de Cachoeira Paulista e Fortaleza para os dias 25 a 29 de março de 1978.

CACHOEIRA PAULISTA ABRIL 1978



FORTALEZA ABRIL 1978

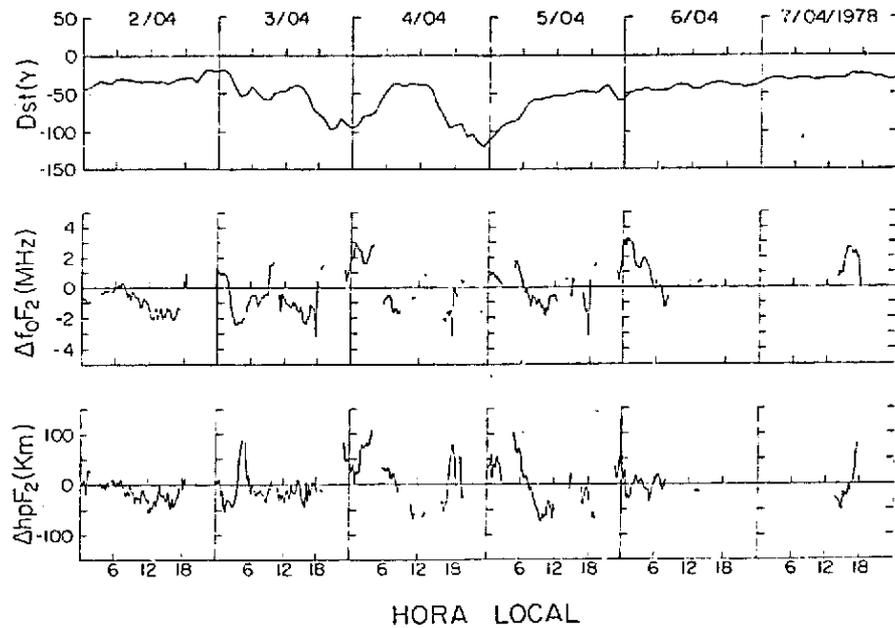


Fig. 5 - Índice magnético Dst,  $f_0F_2$  e  $hpF_2$  de Cachoeira Paulista e Fortaleza para os dias 2 a 7 de abril de 1978.

2.4 - DESVIOS POSITIVOS DE CURTA DURAÇÃO NA IONIZAÇÃO DE PICO DA CAMADA F ( $f_0F_2$ ), EM CACHOEIRA PAULISTA, AO REDOR DE 19:00 HORAS (HORA LOCAL)

Em muitas tempestades analisadas, foi observado um desvio positivo na ionização de pico da camada  $F_2$ , de curta duração, ao redor de 19:00 horas, em Cachoeira Paulista. A Figura 6 é um exemplo deste comportamento.

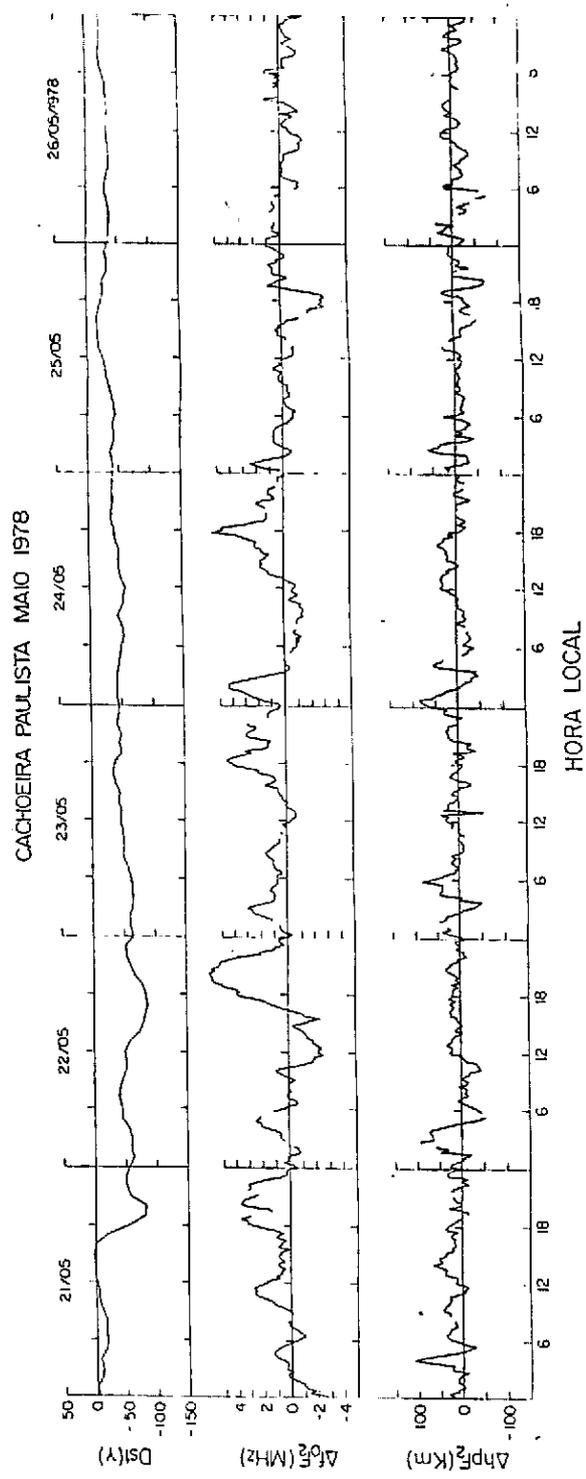


Fig. 6 - Índice magnético Dst,  $f_0F_2$  e  $hpF_2$  de Cachoeira Paulista para os dias 21 a 26 de maio de 1978.

### 3 - O MODELO TEÓRICO DA IONOSFERA PARA BAIXAS LATITUDES E SUAS ENTRADAS PARAMÉTRICAS

Para analisar a ionosfera de baixas latitudes durante tempestades, foi desenvolvido um modelo numérico, o qual resolve a equação da continuidade e a equação do movimento para os íons  $O^+$  e para os elétrons. Na ionosfera, entre aproximadamente 200 km e 500 km, existe uma predominância do íon  $O^+$ , de modo que este modelo teórico, que contém apenas elétrons e íons  $O^+$ , é adequado para estudar os parâmetros de pico da camada  $F_2$ . Muitas transformações de coordenadas foram usadas para simplificar as equações, e as suposições e o método de Sterling et alii (1969) foram adotados. A equação diferencial do íon  $O^+$  foi resolvida discretizando-a por diferenças finitas, e o método 3 de Crank-Nicholson foi usado para obter a solução desta equação.

As entradas paramétricas para o modelo de ionosfera foram a atmosfera neutra, o vento neutro meridional, a deriva vertical da região F equatorial, o fluxo de radiação solar e as seções transversais de absorção e ionização dos constituintes neutros considerados.

Para a obtenção da temperatura exosférica  $T_{\infty}$  foi usado o modelo de Jacchia (1977); para a obtenção dos perfis de temperatura e das concentrações das espécies neutras foram usadas as expressões analíticas de Walker (1965). Para simular uma atmosfera neutra magneticamente perturbada, o índice magnético  $k_p$ , que é um parâmetro de entrada para o modelo de atmosfera neutra, foi aumentado em relação ao  $k_p$  de período calmo.

Para o vento neutro meridional foi usado o modelo de Sterling (1969), o qual é representado por uma função cosseno que depende da hora local e possui uma amplitude que cresce com a latitude. Não há variação da velocidade do vento neutro meridional com a altura. Neste modelo, o vento neutro meridional sopra em direção aos pólos entre 08:00 e 18:00 horas (dia), e em direção ao equador entre 18:00 e 08:00 horas (noite). Para simular um vento magneticamente perturbado, os parâ

metros de entrada para este modelo de vento neutro foram escolhidos, de modo que o vento neutro meridional começa a soprar em direção ao equador logo após o meio dia. Uma inversão da direção do vento neutro durante as horas do dia, em períodos magneticamente perturbados, foi observada por Hernandez e Roble (1976), Sipler e Biondi (1979) e Richmond (1979), a qual pode ser causada por uma deposição de energia em altas latitudes.

Para a deriva vertical equatorial foram usados os valores de Fejer et alii (1979), obtidos de medidas do radar de espalhamento incoerente de Jicamarca. Porém, nos horários do pico pré-reversão da deriva vertical, foram usados os valores inferidos de dados da ionossonda de Fortaleza, ao invés das medidas do radar de Jicamarca. Este procedimento foi adotado porque foram observadas sensíveis diferenças sazonais entre as derivas verticais de Fortaleza e as de Jicamarca nas horas do pico pré-reversão (Batista, 1986). Para simular uma deriva vertical da região F equatorial, magneticamente perturbada, foram considerados, conforme pode ser observado na Figura 7, um pico pré-reversão intensificado (modelo D4), um pico pré-reversão eliminado (modelo D5) e um pico acentuado ao redor de 00:00 hora (modelo D7). Deve-se observar que estas modificações foram feitas no modelo de deriva vertical para período magneticamente calmo, equinócio e alta atividade solar, que é o modelo D2 da Figura 7. Estas modificações nas medidas da deriva vertical, para simular seu comportamento durante tempestades magnéticas, foram efetuadas com base em observações. Foi observado que em muitas tempestades ocorre uma inibição do pico pré-reversão da deriva vertical da região equatorial. Esta inibição se deve à ação conjunta do vento neutro meridional que sopra em direção ao equador e de campos elétricos zonais dirigidos de leste para oeste, os quais têm origem nas regiões magnetosféricas e penetram em regiões equatoriais durante tempestades magnéticas (Buchau et alii, 1983; Rajaram, 1977; Blanc and Richmond, 1980; Paula, 1987). Também durante algumas tempestades magnéticas, foi observada uma penetração, em baixas latitudes, do campo elétrico zonal dirigido de oeste para leste, de origem magnetosférica, durante as horas do pico pré-reversão e algumas vezes ao redor da meia noite, o qual intensifica a deriva vertical da região equatorial (Gonzalez et alii, 1979; Fejer, 1985).

Não foram consideradas modificações no fluxo de radiação solar durante tempestades magnéticas.

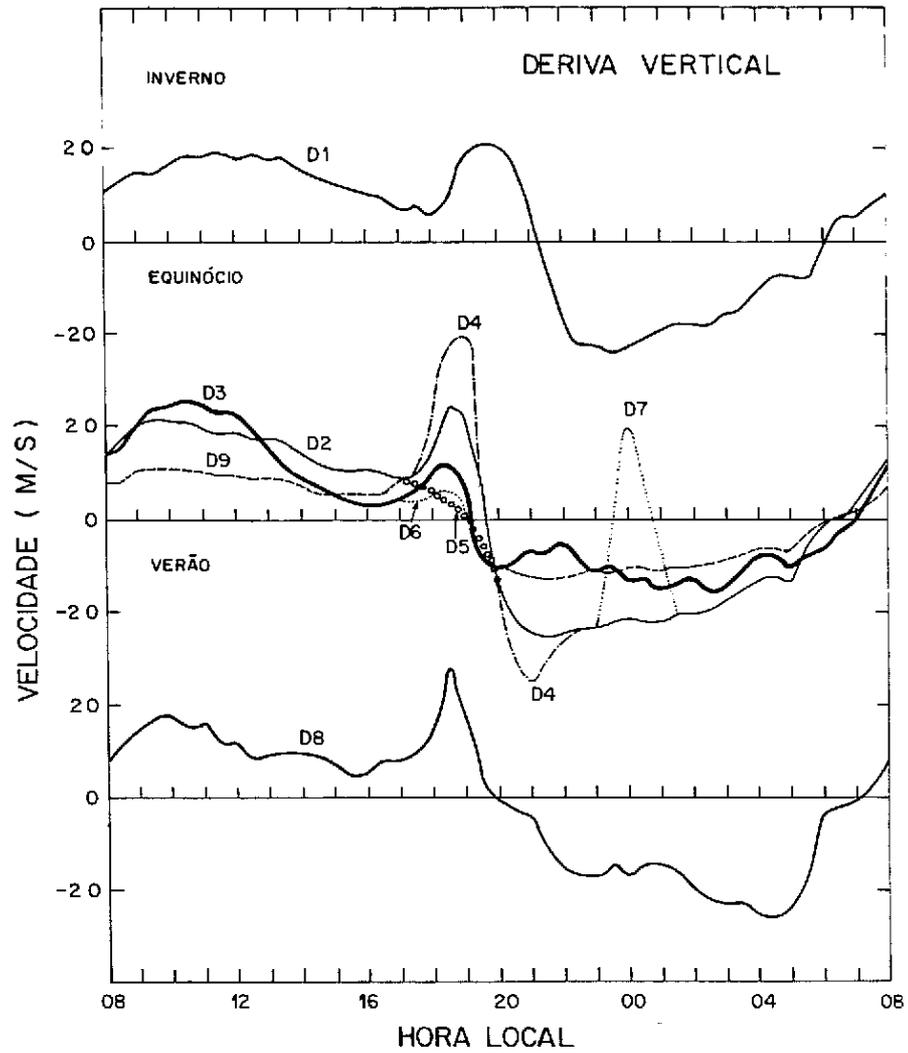


Fig. 7 - Derivas verticais na região equatorial para alta e baixa atividade magnética e para ciclo solar máximo e mínimo (equinócio).

#### 4 - RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

O modelo ionosférico foi usado para simular a camada ionosférica  $F_2$  ( $f_0F_2$  e  $hmF_2$ ) para o equinócio e para a alta atividade solar. A Tabela 1 mostra os modelos utilizados na simulação.

TABELA 1

MODELOS UTILIZADOS NA SIMULAÇÃO

MODELO	ANÁLISE DE
M1	Referência: alta atividade solar, equinócio, magneticamente calmo.
M8	Atmosfera neutra e vento de equinócio, deriva com pico pré-reversão suprimido.
M9	Atmosfera neutra e deriva de equinócio, vento magneticamente perturbado.
M10	Deriva e vento de equinócio, atmosfera neutra magneticamente perturbada.
M11	Atmosfera neutra, vento e deriva magneticamente perturbados.
M12	Atmosfera neutra e vento de equinócio, pico na deriva em torno de 00:00 hora.
M13	Atmosfera neutra e vento de equinócio, pico pré-reversão acentuado.

Inicialmente o programa foi rodado para baixa atividade magnética e para latitudes magnéticas correspondentes às de Cachoeira Paulista e à de Fortaleza. Nas Figuras 8 e 9, os parâmetros  $f_0F_2$  e  $hmF_2$ , respectivamente, são apresentados como linhas tracejadas (---- Fortaleza) e contínuas (— Cachoeira Paulista) e usados como referências. A seguir, foram analisadas a influência: da atmosfera neutra magneticamente perturbada (aumentando o índice  $K_p$  após meio dia), da deriva vertical equatorial magneticamente perturbada (com pico pré-reversão eliminado), do vento neutro meridional magneticamente perturbado (que sopra em direção ao equador a partir do meio dia) e da ação conjunta destes três modelos de entrada magneticamente perturbados (●●● Fortaleza e ooo Cachoeira Paulista). Deve-se observar que cada entrada paramétrica foi alterada separadamente, enquanto as outras entradas permaneceram as mesmas utilizadas para baixa atividade magnética, exceto quando se analisou o efeito da ação conjunta das entradas magneticamente perturbadas. Os resultados estão apresentados nas Figuras 8 ( $f_0F_2$ ) e 9 ( $hmF_2$ ).

Pode-se observar pelas Figuras 8 e 9 que o efeito da atmosfera neutra magneticamente perturbada em  $f_0F_2$  e em  $hmF_2$  é muito pequeno. O aumento no índice magnético  $k_p$  corresponde a um aumento na temperatura exosférica  $T_\infty$ .

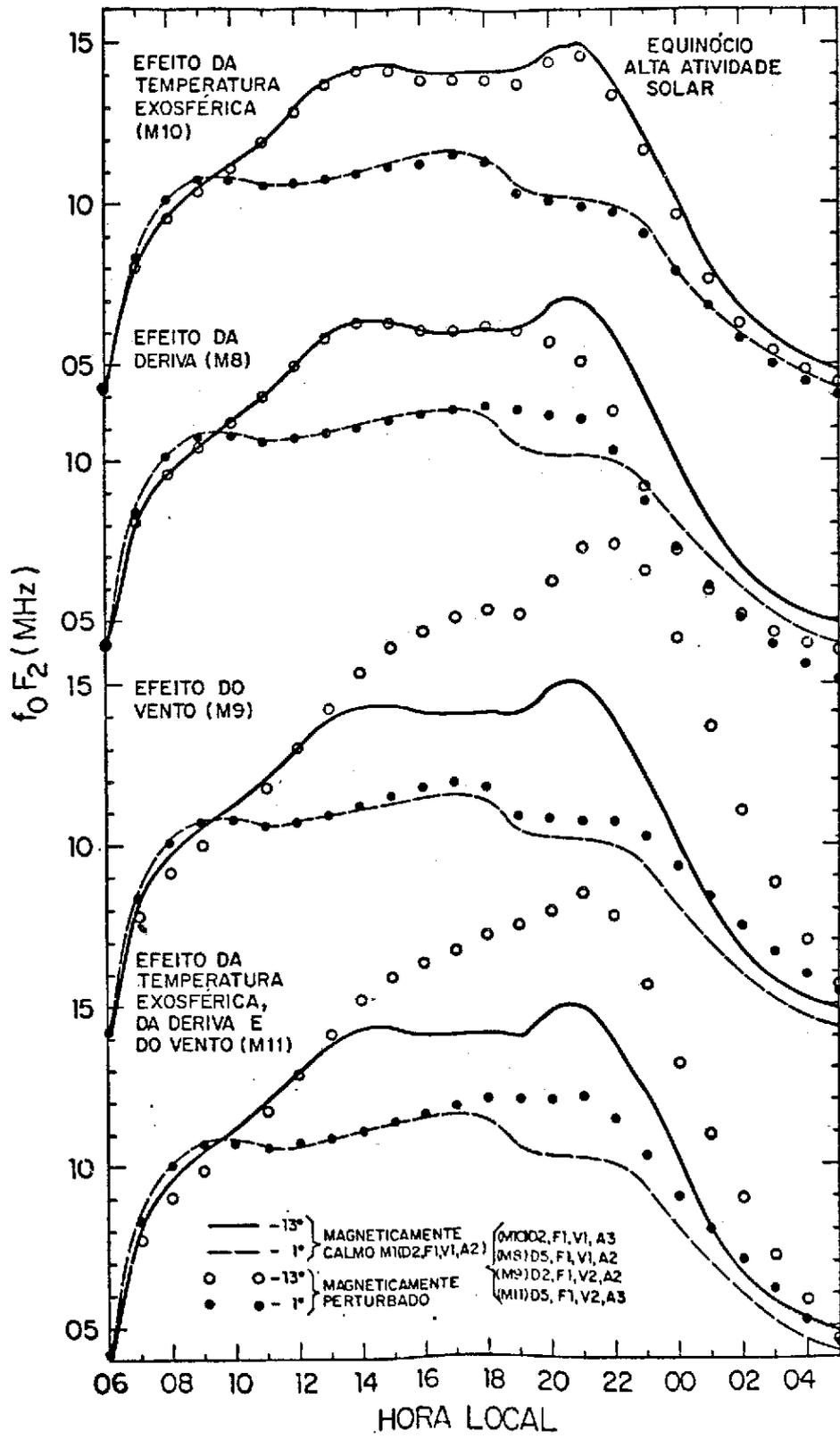


Fig. 8 - Parâmetro  $f_0F_2$  calculado usando os modelos M10, M8, M9 e M11 magneticamente perturbados e de alta atividade solar e utilizando o modelo M1.

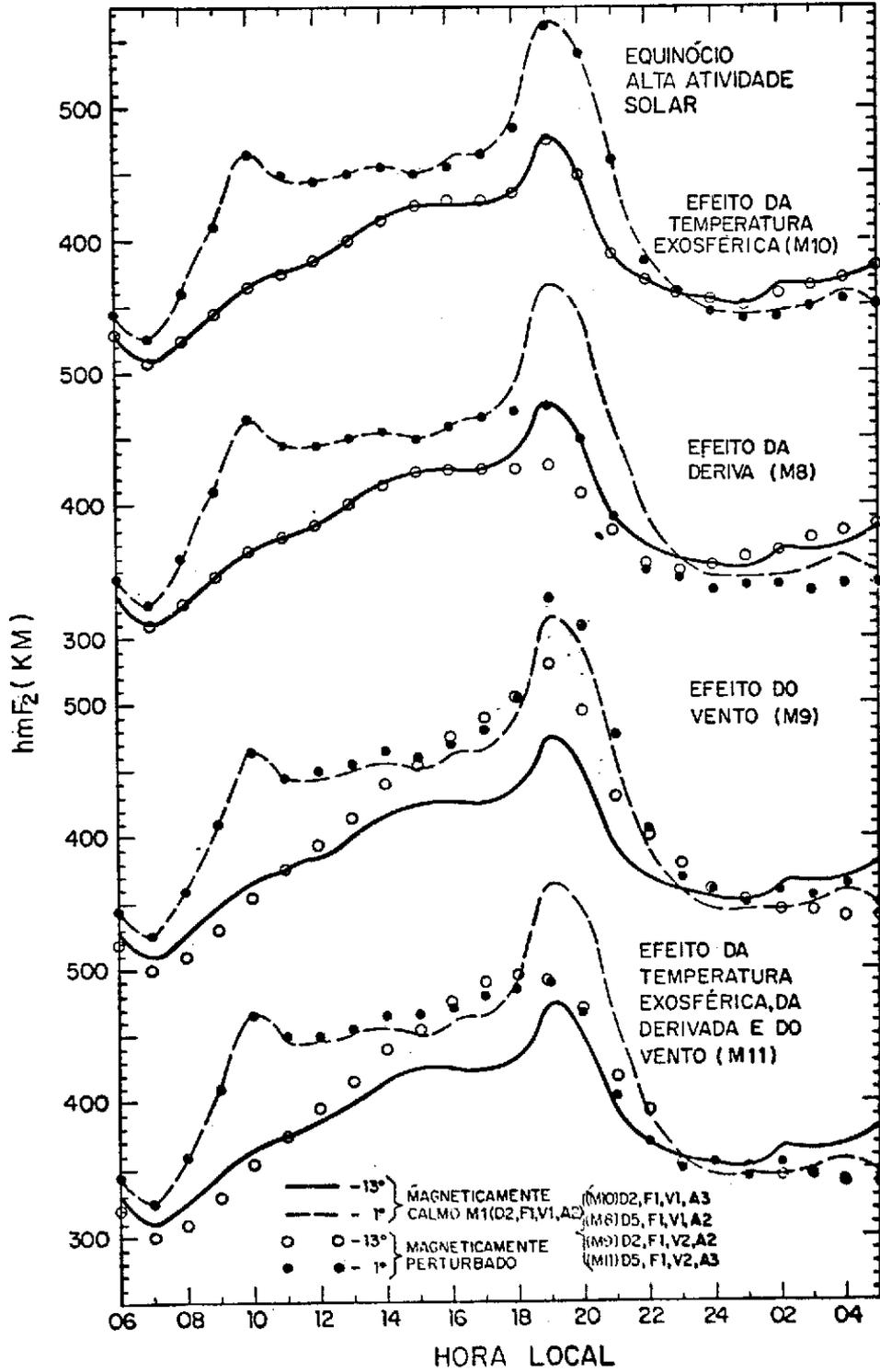


Fig. 9 - Parâmetro hmF<sub>2</sub> calculado usando os modelos M10, M8, M9 e M11 magneticamente perturbados e de alta atividade solar e utilizando o modelo M1.

O efeito da eliminação do pico pré-reversão da deriva vertical (Figura 8) foi aumentar a densidade de pico  $f_0F_2$  em Fortaleza e diminuir em Cachoeira Paulista nas horas do pico pré-reversão. Observa-se que  $f_0F_2$  diminuiu tanto para Fortaleza quanto para Cachoeira Paulista após as horas do pico pré-reversão. A altura  $hmF_2$  abaixou nas duas localidades a partir do horário em que o pico pré-reversão foi suprimido (Figura 9).

O efeito do vento neutro meridional que sopra em direção ao equador após o meio dia foi aumentar substancialmente a densidade de pico  $f_0F_2$  em Cachoeira Paulista e também aumentar pouco  $f_0F_2$  em Fortaleza (Figura 8); portanto, isto simulou uma fase positiva na ionização de pico. Pode ser observado na Figura 9 que o parâmetro  $hmF_2$  aumentou em Fortaleza e em Cachoeira Paulista, o que indicou uma elevação da camada  $F_2$ .

O efeito conjunto da atmosfera neutra, da eliminação do pico pré-reversão na deriva e do vento neutro meridional, magneticamente perturbados, conforme pode ser observado na Figura 8, foi também aumentar  $f_0F_2$  em Cachoeira Paulista (menos do que o efeito devido à ação apenas do vento neutro perturbado) e Fortaleza, com um maior aumento para Fortaleza nas horas do pico pré-reversão da deriva (ação conjunta de um vento neutro meridional que sopra em direção ao equador e uma inibição da deriva vertical). A altura  $hmF_2$  aumentou (Figura 9), em Cachoeira Paulista entre 11:00 e 23:00 horas, enquanto em Fortaleza aumentou entre 11:00 e 18:00 horas, quando passou a atuar a deriva sem o pico pré-reversão.

O efeito de um pico pré-reversão acentuado, o que corresponde à simulação da penetração em baixas latitudes de um campo elétrico zonal dirigido de oeste para leste, foi diminuir a ionização de pico  $f_0F_2$  na região equatorial e aumentá-la em baixa latitude, ou seja, intensificou o transporte de plasma da região equatorial para baixas latitudes, conforme se pode observar na Figura 10. A altura do pico de ionização,  $hmF_2$ , aumentou nas horas em que o pico pré-reversão acentuado estava atuando, tanto em Fortaleza quanto em Cachoeira Paulista.

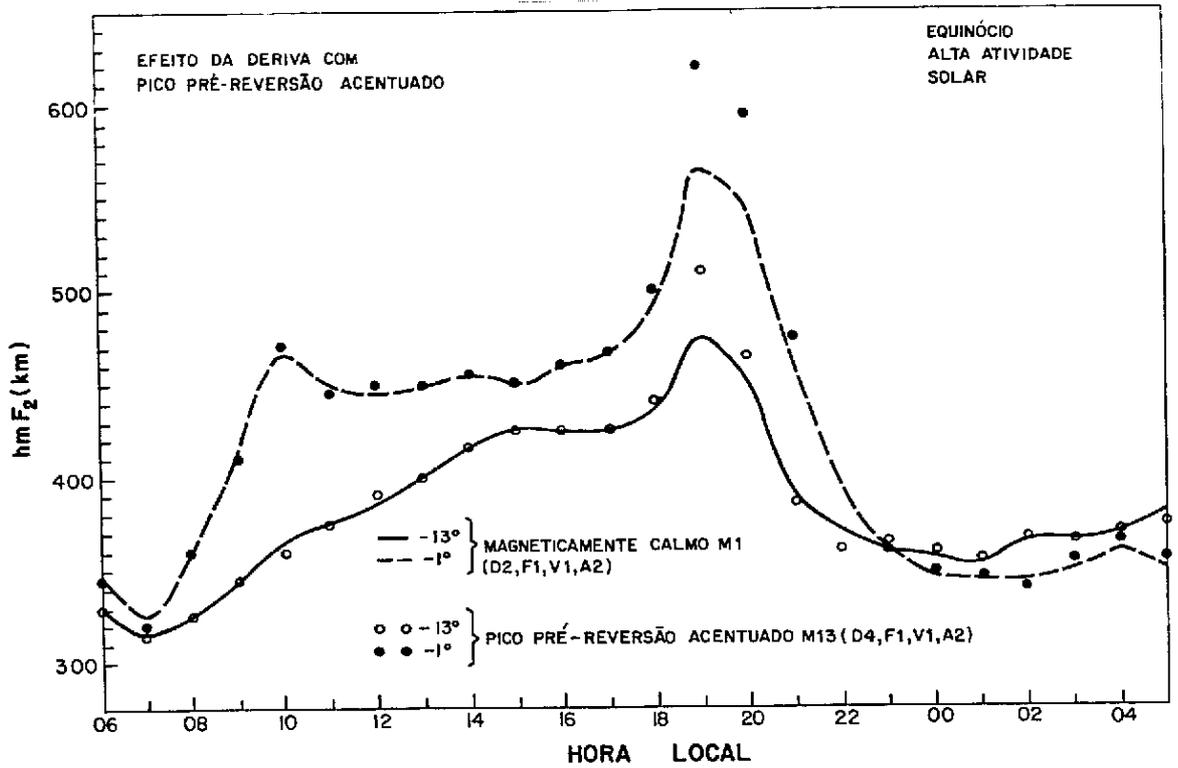
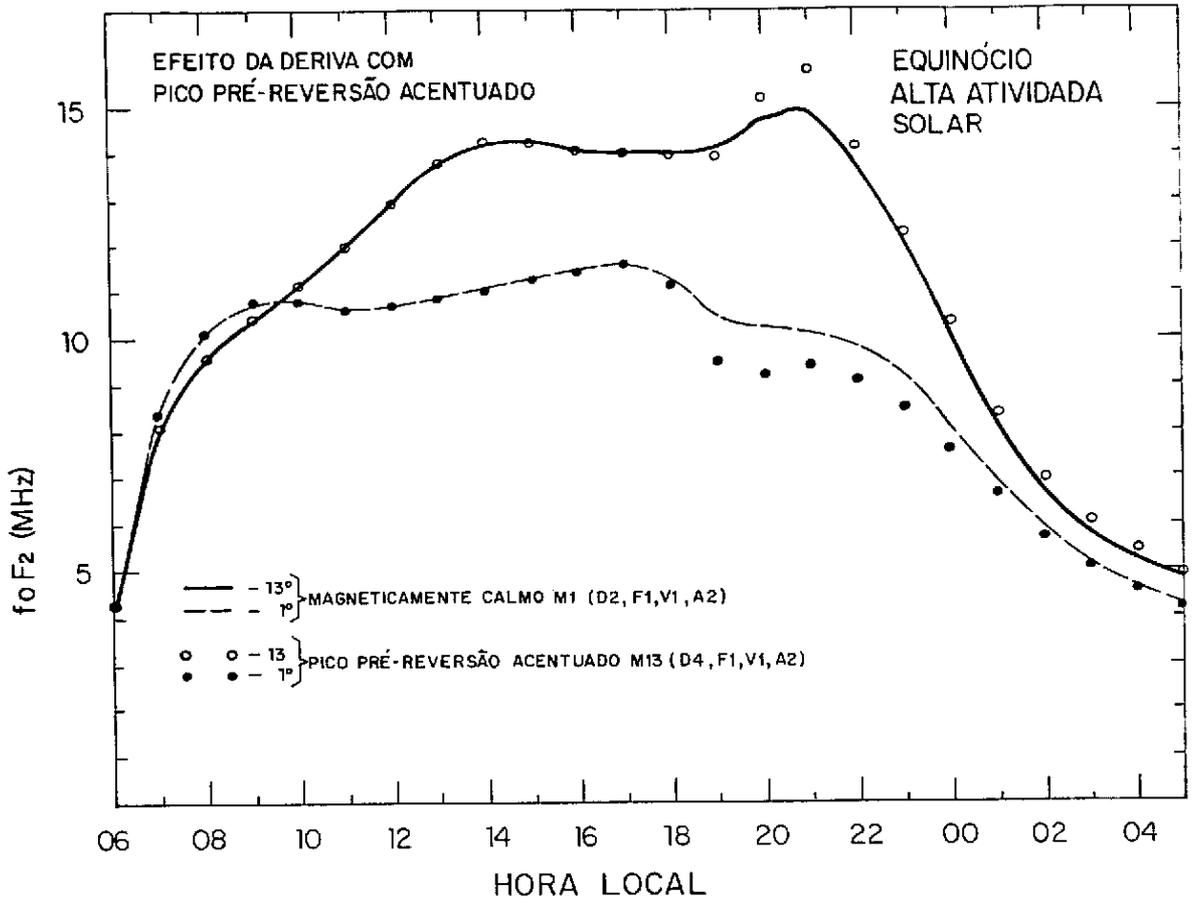


Fig. 10 - Parâmetros  $f_oF_2$  e  $hmF_2$  calculados usando o modelo M13, que possui um pico pré-reversão acentuado, e utilizando o modelo M1.

O efeito de um pico na deriva vertical ao redor da 00:00 hora, o que corresponde à simulação da penetração em baixas latitudes de campo elétrico de origem magnetosférica dirigido de oeste para leste, foi de aumentar a densidade de pico da camada  $F_2$  e sua altura, nas horas em que o pico pré-reversão acentuado estava atuando, conforme pode ser observado na Figura 11.

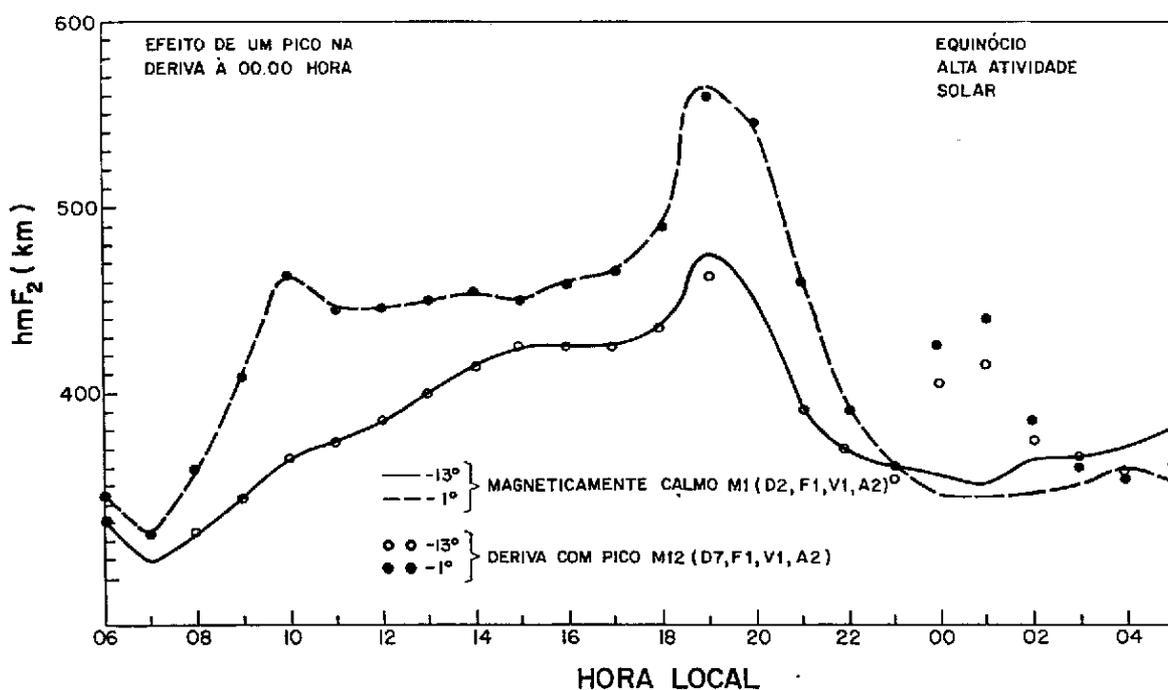
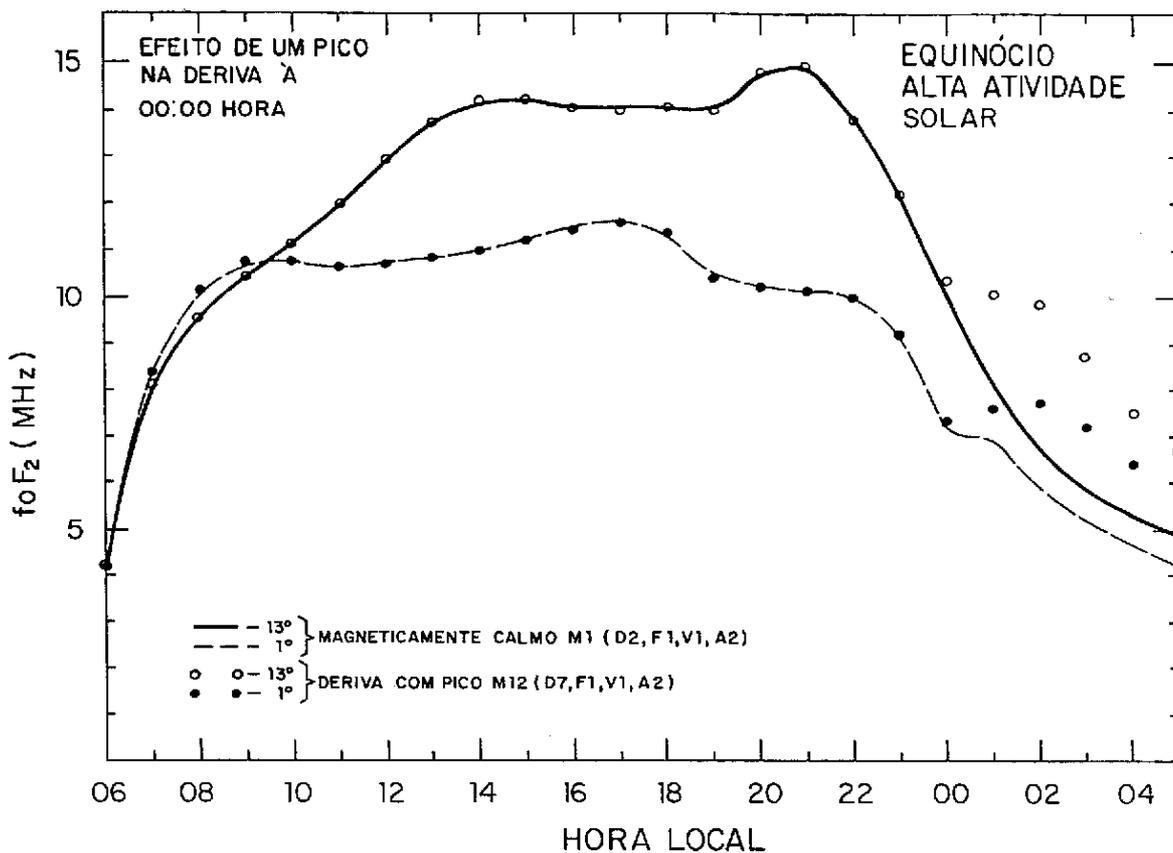


Figura 11 - Parâmetros  $f_oF_2$  e  $hmF_2$  calculados usando o modelo M12, que possui um pico na deriva em torno de 00:00 hora, e utilizando o modelo M1.

## 5 - DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Das discussões já feitas pode-se observar que, durante a fase principal das tempestades magnéticas, a deriva vertical da região equatorial e o vento termosférico meridional são parâmetros que influenciam apreciavelmente o comportamento da densidade de pico da camada  $F_2$  e de sua altura, enquanto a atmosfera neutra tem uma pequena influência nesta fase das tempestades. A grande influência da atmosfera neutra é durante a fase de recuperação das tempestades, quando devido à ação do vento neutro meridional termosférico, que sopra dos pólos para o equador, a razão  $[O]/[N_2]$  decresce consideravelmente, causando a fase negativa na densidade de pico da camada  $F_2$  (Mayr et alii, 1978; Pröls, 1980). Isto ocorre porque a atmosfera polar possui uma maior concentração de  $N_2$ .

Portanto, a inibição da deriva vertical equatorial que atua em conjunto com um vento neutro meridional que sopra em direção ao equador, durante a fase principal de uma tempestade magnética, pode explicar a fase positiva na densidade de pico da camada  $F_2$ , comportamento este presente em muitas tempestades analisadas usando dados de ionosonda. A fase negativa na ionização de pico da camada  $F_2$  pode ser explicada devido à composição termosférica alterada durante tempestades magnéticas.

•••

•

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BATISTA, I.S. *Dinamo da região F equatorial: assimetrias sazonais e longitudinais no setor americano*. Tese de doutorado em Ciência Espacial. São José dos Campos, INPE, jan. 1986. 169p. (INPE-3760-TDL/206).
- BLANC, M.; RICHMOND, A.D. The ionospheric disturbance dynamo. *Journal of Geophysical Research*, 85(A4):1669-1686, Apr. 1980.
- BUCHAU, J.; REINISH, B.W.; BIBLE, K.; WAARAMAA, J.B. Overview of the ionospheric conditions at Natal during the September 1982 Bime/Coloured bubbles campaign. In: 3-5 March 1983 BIME/COLOURED BUBBLES; PRELIMINARY DATA REVIEW MEETING, Hanscom, Mar., Apr. 1983. *Proceedings*. Hanscom, Ma, Air Force Geophysics Laboratory, p. 983, p. 110-128.
- FEJER, B.G. Equatorial ionospheric electric fields associated with magnetospheric disturbances. Proceedings of Chapman Conference on Solar Wind-Magnetosphere Coupling, Pasadena, CA, Feb., 12-15, 1985.
- FEJER, B.G.; FARLEY, D.T.; WOODMAN, R.F.; CALDERON, C. Dependence of equatorial F-region vertical drifts on season and solar cycle. *Journal of Geophysical Research*, 84(A10):5792-5796, Oct. 1979.
- GONZALEZ, C.A.; KELLEY, M.C.; FEJER, B.G.; VICREY, J.F.; WOODMAN, R.F. Equatorial electric fields during magnetically disturbed conditions 2. Implications of simultaneous auroral and equatorial measurements. *Journal of Geophysical Research*, 84(A10):5803-5812, Oct. 1979.
- HEELIS, R.A. The polar ionosphere. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 20(3):567-576, Aug. 1982.
- HERNANDES, G.; ROBLE, R.G. Direct measurement of nighttime thermospheric winds and temperatures, 2. Geomagnetic storms. *Journal of Geophysical Research*, 81(A28):5173-5181, Oct. 1976.

- IIJIMA, T.; POTEMRA, T.A. The amplitude distribution of field aligned currents at northern high latitudes observed by TRIAD. *Journal of Geophysical Research*, 81(13):2165-2174, May 1976.
- JACCHIA, L.G. *Thermospheric temperature, density and composition: new models*. Cambridge, MA, Smithsonian Institution Astrophysical Observatory, Mar., 1977, 106p. (Sao Special Report nº 375).
- MAYR, H.G.; HARRIS, I.; SPENCER, N.W. Some properties of upper atmosphere dynamics. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 16(4):539-565, Nov. 1978.
- PAULA, E.R. de. *Resposta da região F ionosférica às tempestades magnéticas em baixas latitudes no Brasil*. Tese de doutorado em Ciência Espacial. São José dos Campos, INPE, no prelo, 1987.
- POTEMRA, T.A.; IIJIMA, R.; SAFLEKOS, N.A. Large-scale characteristics of Birkeland currents. In: Akasofu, S.-I. ed. *Dynamics of Magnetosphere*, Dordrecht, Holland, D. Reidel, 1980. p.165-199.
- PRÖLSS, G.W. Magnetic storm associated perturbation of the upper atmosphere: Recent results obtained by satellite-borne gas analysers. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 18(1):183-202, Feb. 1980.
- RAJARAM, G. Structure of the equatorial F-region topside and bottomside - a review. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 39(9/10): 1125-1144, Sep./Oct. 1977.
- RICHMOND, A.D. Thermospheric heating in a magnetic storm: dynamics transport of energy from high to low latitudes. *Journal of Geophysical Research*, 84(A9):5259-5266, Sep. 1979.
- SIPLER, D.P.; BIONDI, M.A. Midlatitude F-region neutral winds and temperature during the geomagnetic storm of March 26, 1976. *Journal of Geophysical Research*, 84(A1):37-40, Jan. 1979.

STERLING, D.L.; HANSON, W.B.; WOODMAN, R.F. Influence of electromagnetic drifts and neutral air winds on some features of the F<sub>2</sub>-region. *Radio Science*, 4(11):1005-1023, Nov. 1969.

VOLLAND, H. Dynamics of the disturbed ionosphere. *Space Science Reviews*, 34(3):327-335, 1983.

WALKER, J.C.G. Analytic representation of upper atmosphere densities based on Jacchia's static diffusion models. *Journal of Atmospheric Sciences*, 22(sf):462-463, 1965.

**PROPOSTA PARA PUBLICAÇÃO**

DATA  
 18.NOV.86

IDENTIFICAÇÃO	TÍTULO L10 "ANÁLISE DA REGIÃO F IONOSFÉRICA DE BAIXA LATITUDE MAGNETICAMENTE PERTURBADA"	
	AUTORIA E.R. de Paula M.A. Abdu J.A. Bittencourt	PROJETO/PROGRAMA IONO
		DIVISÃO
		DEPARTAMENTO DGA
DIVULGAÇÃO <input checked="" type="checkbox"/> EXTERNA <input type="checkbox"/> INTERNA MEIO: Vide Verso		

REVISÃO TÉCNICA	REVISOR TÉCNICO Inez S. Batista	APROVADO: <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/> VER VERSO	APROVAÇÕES
	RECEBI EM: _____ REVISADO EM: 27/11	DATA _____ CHEFE DIVISÃO _____	
	OBSERVAÇÕES: <input type="checkbox"/> NÃO HÁ <input type="checkbox"/> VER VERSO	APROVADO: <input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/> VER VERSO	
	DEVOLVI EM: _____ ASSINATURA <i>[assinatura]</i>	DATA 5.12.86 CHEFE DEPARTAMENTO <i>[assinatura]</i>	

REVISÃO DE LINGUAGEM	Nº: 14	PRIORIDADE: 1	DATILOGRAFIA	
	DATA: 30.01.87	O(S) AUTOR(ES) DEVE(M) MENCIONAR NO VERSO, OU ANEXAR NORMAS E/OU INSTRUÇÕES ESPECIAIS		
	REVISADO <input type="checkbox"/> COM <input type="checkbox"/> SEM <input type="checkbox"/> CORREÇÕES <input type="checkbox"/> VER VERSO	RECEBIDO EM: 4/2/87		
	POR: <i>[assinatura]</i> 05.02.87	ASSINATURA: <i>[assinatura]</i>	CONCLUÍDO EM: 25/2/87	
			DATILÓGRAFA: <i>[assinatura]</i> ASSINATURA: <i>[assinatura]</i>	

PARECER

FAVORÁVEL:  SIM  NÃO  VER VERSO  VER VERSO

DATA \_\_\_\_\_ RESPONSÁVEL/PROGRAMA \_\_\_\_\_

EM CONDIÇÕES DE PUBLICAÇÃO EM: \_\_\_\_\_

AUTOR RESPONSÁVEL \_\_\_\_\_

Autorizo a publicação:  SIM  NÃO

Divulgação:  INTERNA  EXTERNA MEIO: \_\_\_\_\_

OBSERVAÇÕES: \_\_\_\_\_

DATA \_\_\_\_\_ DIRETOR \_\_\_\_\_

SEC	PUBLICAÇÃO: 9127-pre/10p	PÁGINAS: _____	ÚLTIMA PÁGINA: _____
	CÓPIAS: _____	TIPO: _____	PREÇO: _____