

| | | | |
|---|-------------------------------|---|---|
| 1. Classificação <i>INPE-COM.4/RPE</i> <i>C.D.U.: 523.4-853(813.11/816.12)</i> | | 2. Período | 4. Distribuição |
| 3. Palavras Chaves (selecionadas pelo autor) <i>foF₂</i> <i>PREDIÇÃO CCIR</i> | | | interna <input type="checkbox"/> externa <input checked="" type="checkbox"/> |
| 5. Relatório nº <i>INPE-2144-RPE/366</i> | 6. Data <i>Junho, 1981</i> | 7. Revisado por <i>J. SOBRAL</i> <i>José Humberto A. Sobral</i> | |
| 8. Título e Sub-Título <i>ESTUDO COMPARATIVO DO PICO DE DENSIDADE ELETRÔNICA E DA ALTURA DO PICO DA CAMADA F₂ CALCULADOS PELO CCIR E OBSERVADOS PARA CACHOEIRA PAULISTA E FORTALEZA, PARA PERÍODOS MAGNETICAMENTE CALMOS</i> | | 9. Autorizado por <i>Parada</i> <i>Nelson de Jesus Parada</i> <i>Diretor</i> | |
| 10. Setor <i>DGA</i> | Código | 11. Nº de cópias <i>11</i> | |
| 12. Autoria <i>Eurico Rodrigues de Paula</i> <i>Ivan Jelinek Kantor</i> <i>Mangalathayil Ali Abdu</i> | | 14. Nº de páginas <i>15</i> | |
| 13. Assinatura Responsável  | | 15. Preço | |
| 16. Sumário/Notas <i>A frequência crítica da região F, foF₂, e a altura de máxima densidade eletrônica, hmF₂, previstas pelo modelo do CCIR são comparadas com valores observados pelas ionossondas de Cachoeira Paulista (22, 68°S, 45°O) e Fortaleza (3,89°S, 38,44°O) para os meses de março, junho, setembro e dezembro de 1978. A seguir a mesma comparação é realizada apenas para os dias magneticamente calmos. Observou-se uma melhor aproximação entre os valores preditos e observados para os períodos magneticamente calmos, para Cachoeira Paulista e Fortaleza, entre aproximadamente 15 e 24 horas. A partir das 24 horas até as 5 horas da manhã a tendência foi inversa. Entre 5 horas da manhã e 15 horas não foram observadas diferenças sensíveis. A média diurna não apresenta melhora sensível entre as previsões e as observações para períodos magneticamente calmos.</i> | | | |
| 17. Observações <i>Trabalho submetido para apresentação na 33a. Reunião Anual da SBPC, 8 a 15 de julho de 1981, Salvador-Bahia, e subvencionado através do convênio FINEP CT 537.</i> | | | |

ÍNDICE

| | <u>Pág.</u> |
|--|-------------|
| ABSTRACT | <i>iv</i> |
| LISTA DE FIGURAS | <i>v</i> |
| 1. <u>INTRODUÇÃO</u> | 1 |
| 2. <u>RESULTADOS</u> | 3 |
| 3. <u>DISCUSSÃO DOS FENÔMENOS FÍSICOS QUE AFETAM f_oF_2 E hmF_2 DURANTE TEMPESTADES MAGNÉTICAS</u> | 9 |
| 4. <u>CONCLUSÕES</u> | 10 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 11 |

ABSTRACT

The critical frequency for region F, f_oF_2 , and the maximum electron density height, h_mF_2 , predicted by the CCIR model are compared with observed values obtained by the ionosondes of Cachoeira Paulista ($22.68^\circ S$, $45^\circ W$) and Fortaleza ($3.89^\circ S$, $38.44^\circ W$) for March, June, September and December, 1978. The same comparison was also made for the undisturbed days. A better approximation between predicted and observed values for the undisturbed period was observed for Cachoeira Paulista and Fortaleza in the interval 3 Pm to midnight, approximately. From midnight to 5 Am an inverse trend was observed. Between 5 Am and 3 Pm the differences were negligible. The diurnal average does not show any improvement between predicted and observed values for the undisturbed days.

LISTA DE FIGURAS

| | <u>Pág.</u> |
|--|-------------|
| 1. Índices Dst para março, junho, setembro e dezembro de 1978... | 2 |
| 2. Valores medianos mensais de foF ₂ para Cachoeira Paulista em março, junho, setembro e dezembro de 1978: em dias magneticamente calmos (linha tracejada entre cruces); em todos os dias (linha contínua); e para predição do CCIR (linha tracejada entre círculos)..... | 5 |
| 3. Valores medianos mensais de foF ₂ para Fortaleza em março, junho, setembro e dezembro de 1978: em dias magneticamente calmos (linha tracejada entre cruces); em todos os dias (linha contínua); e para predição do CCIR (linha tracejada entre círculos)..... | 6 |
| 4. Valores medianos mensais de hmF ₂ para Cachoeira Paulista em março, junho, setembro e dezembro de 1978: em dias magneticamente calmos (linha tracejada entre cruces); em todos os dias (linha contínua); e para predição do CCIR (linha tracejada entre círculos)..... | 7 |
| 5. Valores medianos mensais de hmF ₂ para Fortaleza em março, junho, setembro e dezembro de 1978: em dias magneticamente calmos (linha tracejada entre cruces); em todos os dias (linha contínua); e para predição do CCIR (linha tracejada entre círculos)..... | 8 |

1. INTRODUÇÃO

Os parâmetros ionosféricos f_oF_2 e h_mF_2 são importantes para estudar o comportamento ionosférico e para fins de cálculo de propagação HF (2 a 30 MHz). Portanto, foi desenvolvido pelo CCIR um modelo (CCIR Report 340, 1966) para predição das medianas de tais parâmetros. Com a disponibilidade de ionossondas, de radares de espalhamento incoerente e de satélites, surgiram estudos comparativos entre f_oF_2 e h_mF_2 medidos e preditos pelo CCIR, entre eles Burge et alii (1973), King and Slater (1973), Sheikh et alii (1978) e Paula et alii (1980). De maneira global, observou-se boa concordância entre os valores observados e preditos de tais parâmetros, tendo, porém, para outras horas do dia e para determinados locais, resultados que indicaram discrepâncias significantes. Como as tempestades magnéticas alteram consideravelmente a ionosfera, surgiu a idéia de verificar se haveria melhor ou pior concordância entre f_oF_2 e h_mF_2 , medidos e preditos pelo modelo do CCIR em períodos magneticamente calmos. Para a realização de tal estudo foram considerados, no cálculo das medianas mensais de cada hora, apenas os valores de f_oF_2 e h_mF_2 observados pelas ionossondas de Cachoeira Paulista ($22,68^{\circ}S$, $45,00^{\circ}O$) e Fortaleza ($3,89^{\circ}S$, $38,44^{\circ}O$) nos dias magneticamente calmos. O estudo foi realizado para os meses de março, setembro, junho e dezembro de 1978, meses estes representativos das condições de equinócios, inverno e verão respectivamente.

Os índices Dst para março, junho, setembro e dezembro de 1978, os quais dão indicação do grau de atividade magnética e foram utilizados na seleção dos dados para os dias magneticamente calmos ($Dst < 40\gamma$), estão apresentados na Figura 1.

As medianas de f_oF_2 e h_mF_2 observadas pelas ionossondas de Cachoeira Paulista e Fortaleza para todos os dias dos meses e ano citados também foram determinadas.

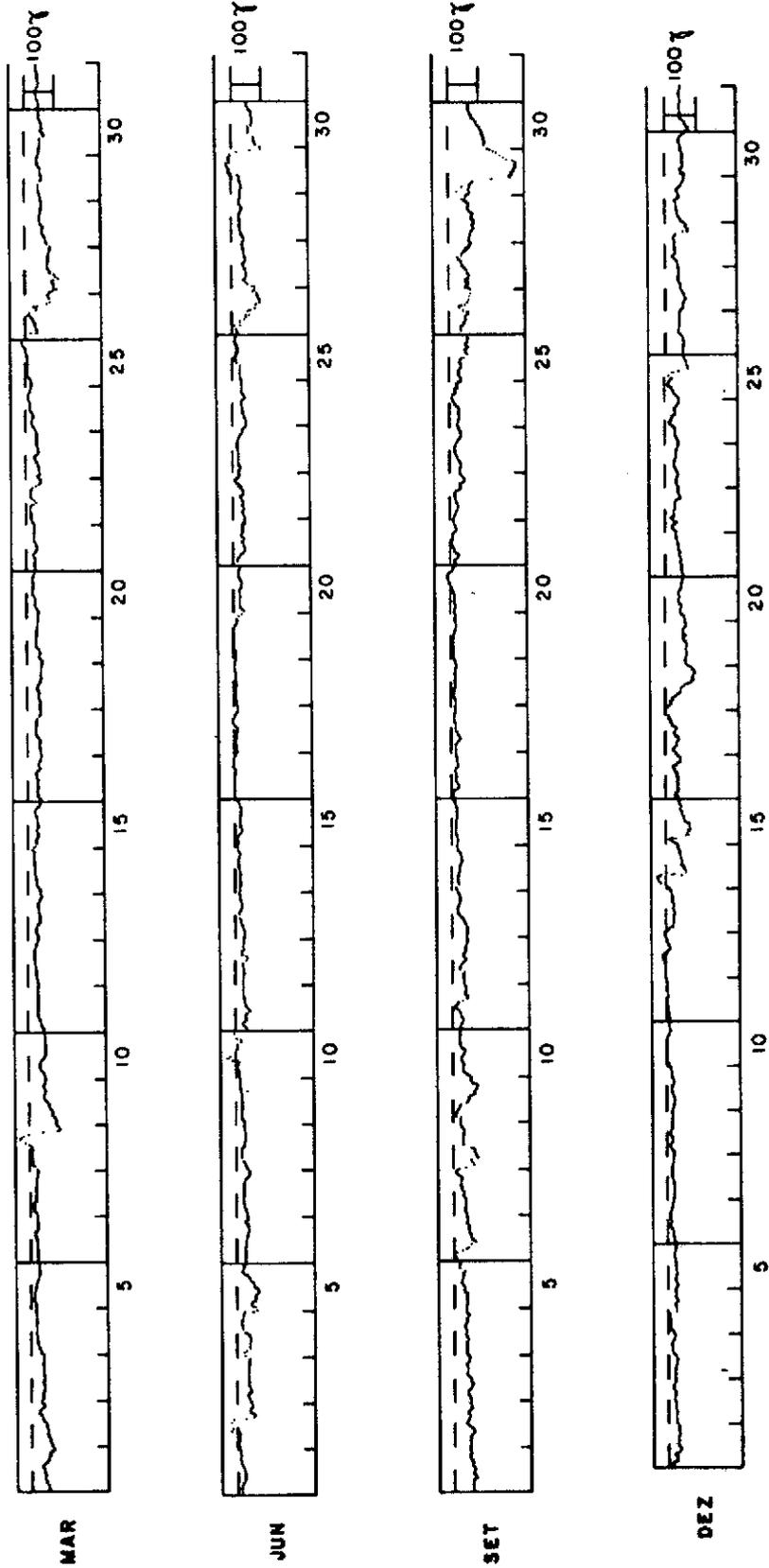


Fig. 1 - Índices Dst para março, junho, setembro e dezembro de 1978.

Foram calculados os erros percentuais na predição do CCIR em relação aos valores medianos observados, definidos como:

$$\frac{|foF_2 \text{ (mediana observada)} - foF_2 \text{ (CCIR)}|}{foF_2 \text{ (mediana observada)}} \times 100,$$

e os valores percentuais dos intervalos dos quartis, definidos como:

$$\frac{foF_2 \text{ (quartil superior)} - foF_2 \text{ (quartil inferior)}}{foF_2 \text{ (mediana observada)}} \times 100,$$

para cada hora de cada um dos meses citados de 1978. Parâmetros similares foram calculados para o caso de hmF_2 , sendo hmF_2 dado pela fórmula de Shimazaki (1955):

$$hm F_2 = \left\{ \frac{1490}{M(3000) F_2} \right\} - 176$$

onde os fatores $M(3000)F_2$ foram obtidos de ionogramas.

2. RESULTADOS

Os resultados estão apresentados nas Figuras 2,3,4 e 5. Na Tabela 1 são apresentados os valores médios das medianas mensais dos intervalos dos quartis de foF_2 e hmF_2 e dos erros das medianas previstas para Cachoeira Paulista e Fortaleza para todos os dias e para os dias magneticamente calmos (D.M.C.) de cada mês.

Observou-se melhor aproximação entre os valores preditos e observados de foF_2 para Cachoeira Paulista e Fortaleza entre aproximadamente 15 e 24 horas (local), nos dias magneticamente calmos. A tendência foi inversa entre 24 horas e 5 horas da manhã. Entre 5 horas da manhã e 15 horas não foram observadas diferenças sensíveis. Em Fortaleza, estas verificações são prejudicadas pela falta de dados.

TABELA 1

VALORES MÉDIOS (% DA MEDIANA OBSERVADA) DOS INTERVALOS DOS QUARTIS DE
FoF₂ E hmF₂ OBSERVADOS, E ERROS DE MEDIANAS PREDITAS CORRESPONDEN
TES A CACHOEIRA PAULISTA E FORTALEZA EM TODOS OS DIAS E NOS DIAS
MAGNETICAMENTE CALMOS (D.M.C.) PARA MARÇO,
JUNHO, SETEMBRO, DEZEMBRO DE 1978

| MÊS | foF ₂ | | | | hmF ₂ | | | | |
|-------------------------|--------------------|-----------------------|-----------|-----------------------|--------------------|-----------------------|-----------|-----------------------|------|
| | CACHOEIRA PAULISTA | | FORTALEZA | | CACHOEIRA PAULISTA | | FORTALEZA | | |
| | ERRO | INTERVALO DOS QUARTIS | ERRO | INTERVALO DOS QUARTIS | ERRO | INTERVALO DOS QUARTIS | ERRO | INTERVALO DOS QUARTIS | |
| MARÇO (equinócio) | Todos os dias | 13,9 | 17,1 | 11,1 | 15,9 | 7,5 | 15,4 | 12,5 | 8,7 |
| | D.M.C. | 14,8 | 14,3 | 14,0 | 15,7 | 8,7 | 18,1 | 12,1 | 9,3 |
| JUNHO (inverno) | Todos os dias | 7,6 | 29,7 | 12,4 | 19,0 | 15,7 | 13,3 | 13,4 | 18,7 |
| | D.M.C. | 9,2 | 29,5 | 12,3 | 19,3 | 17,1 | 14,2 | 13,4 | 16,7 |
| SETEMBRO (equinócio) | Todos os dias | 7,5 | 24,2 | 7,1 | 22,4 | 17,6 | 10,8 | 14,5 | 11,2 |
| | D.M.C. | 9,1 | 23,0 | 6,5 | 18,2 | 16,5 | 12,1 | 15,7 | 11,5 |
| DEZEMBRO (verão) | Todos os dias | 10,0 | 17,7 | 7,9 | 12,8 | 14,9 | 12,8 | 10,1 | 8,7 |
| | D.M.C. | 10,6 | 15,0 | 5,1 | 15,4 | 16,4 | 15,3 | 8,6 | 8,3 |

As curvas de hmF₂ para dias magneticamente calmos e para todos os dias de cada mês não apresentaram diferenças sensíveis ao longo do dia.

A variância de hmF₂ e foF₂ medidos foi menor em todas as horas do dia e em todos os meses para Cachoeira Paulista e Fortaleza para os dias magneticamente calmos, indicando uma menor variabilidade de tais parâmetros nestes períodos.

Em geral (Tabela 1) o erro percentual médio de foF₂ foi maior, enquanto o intervalo dos quartis foi menor para dias calmos. O erro médio de hmF₂ para dias magneticamente calmos em Cachoeira Paulista (Fortaleza) foi maior (menor) exceto em setembro, enquanto nestes dias calmos o intervalo dos quartis foi em geral maior.

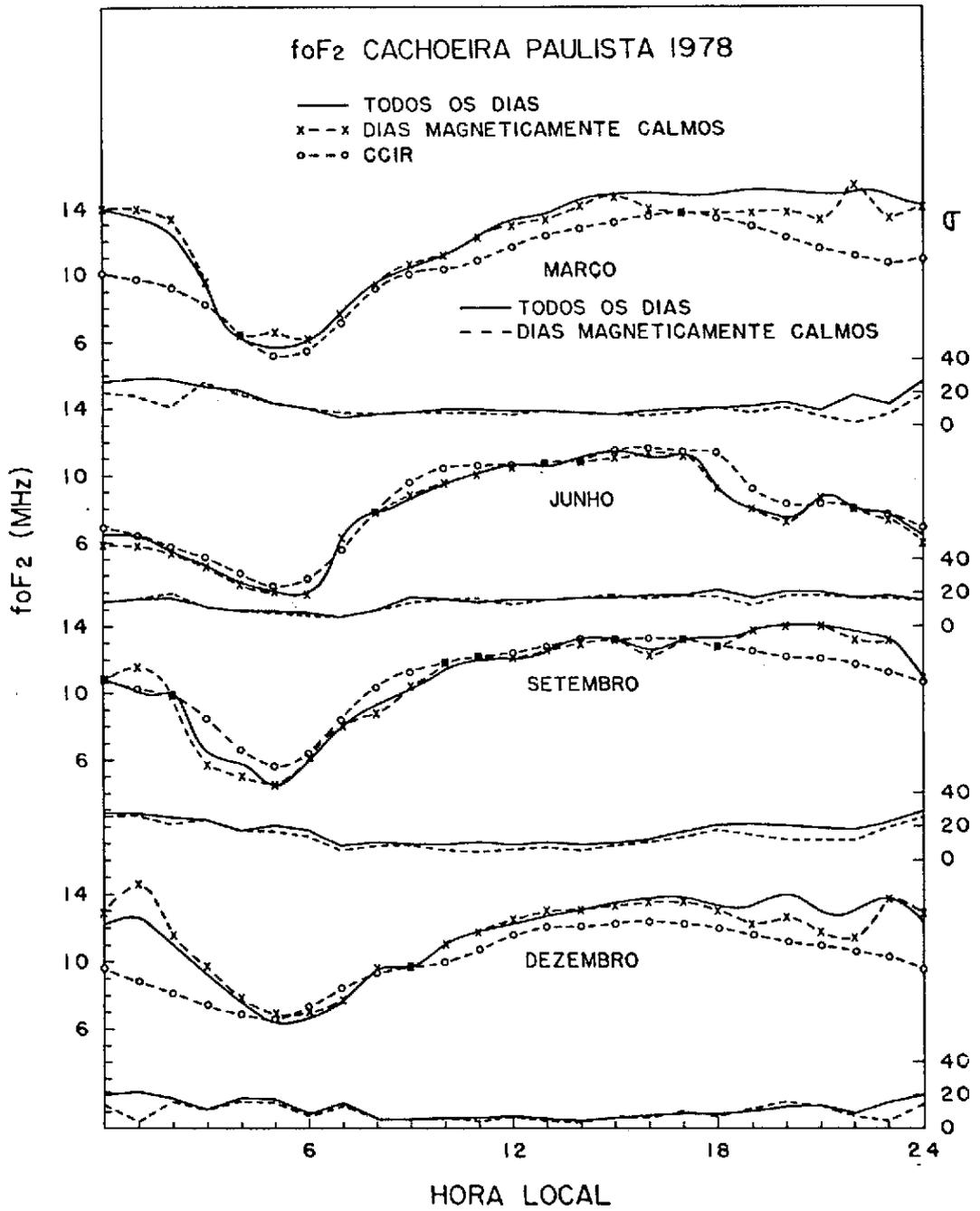


Fig. 2 - Valores medianos mensais de foF_2 para Cachoeira Paulista em março, junho, setembro e dezembro de 1978: em dias magneticamente calmos (linha tracejada entre cruces); em todos os dias (linha contínua); e para predição do CCIR (linha tracejada entre círculos).

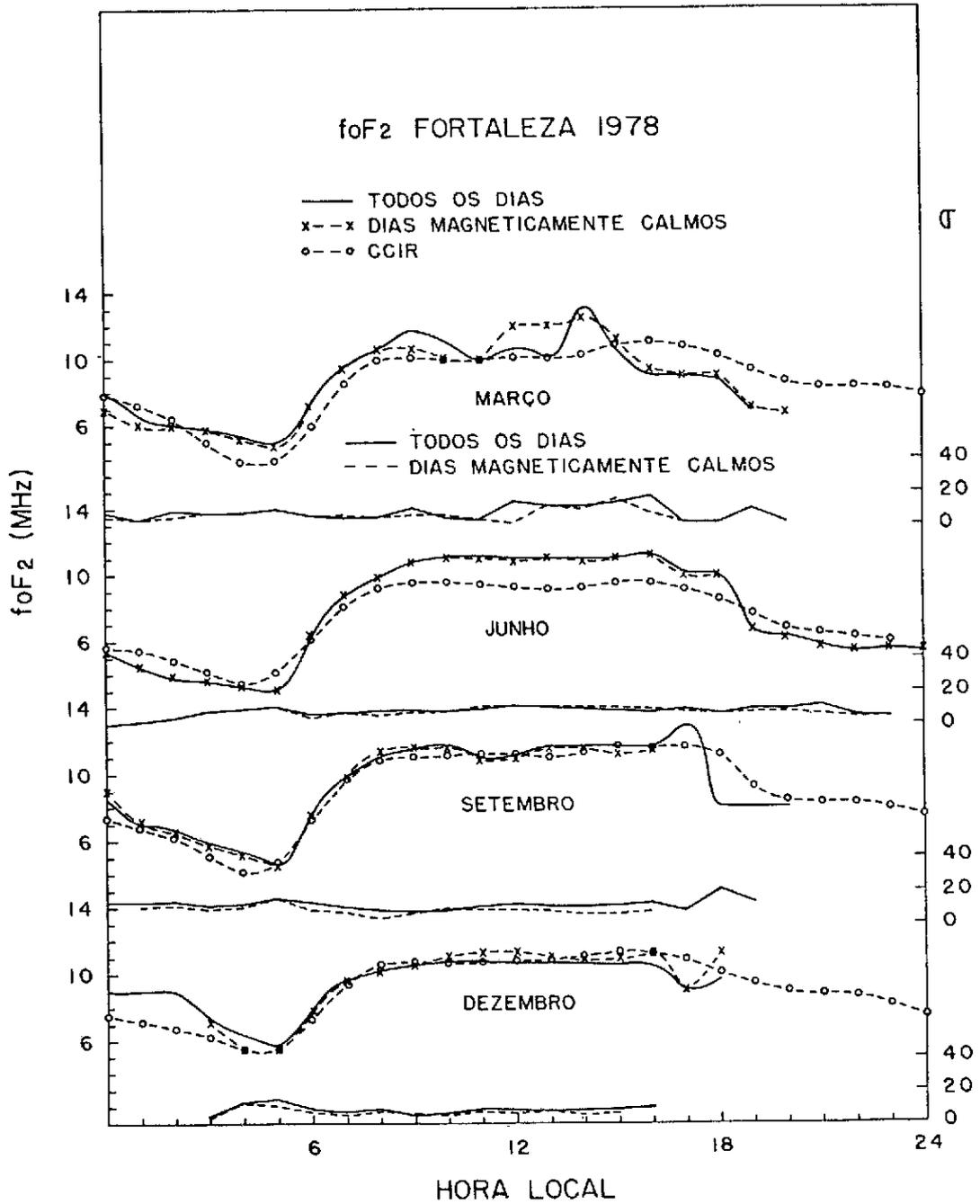


Fig. 3 - Valores medianos mensais de foF₂ para Fortaleza em março, junho, setembro e dezembro de 1978: em dias magneticamente calmos (linha tracejada entre cruzes); em todos os dias (linha contínua); e para predição do CCIR (linha tracejada entre círculos).

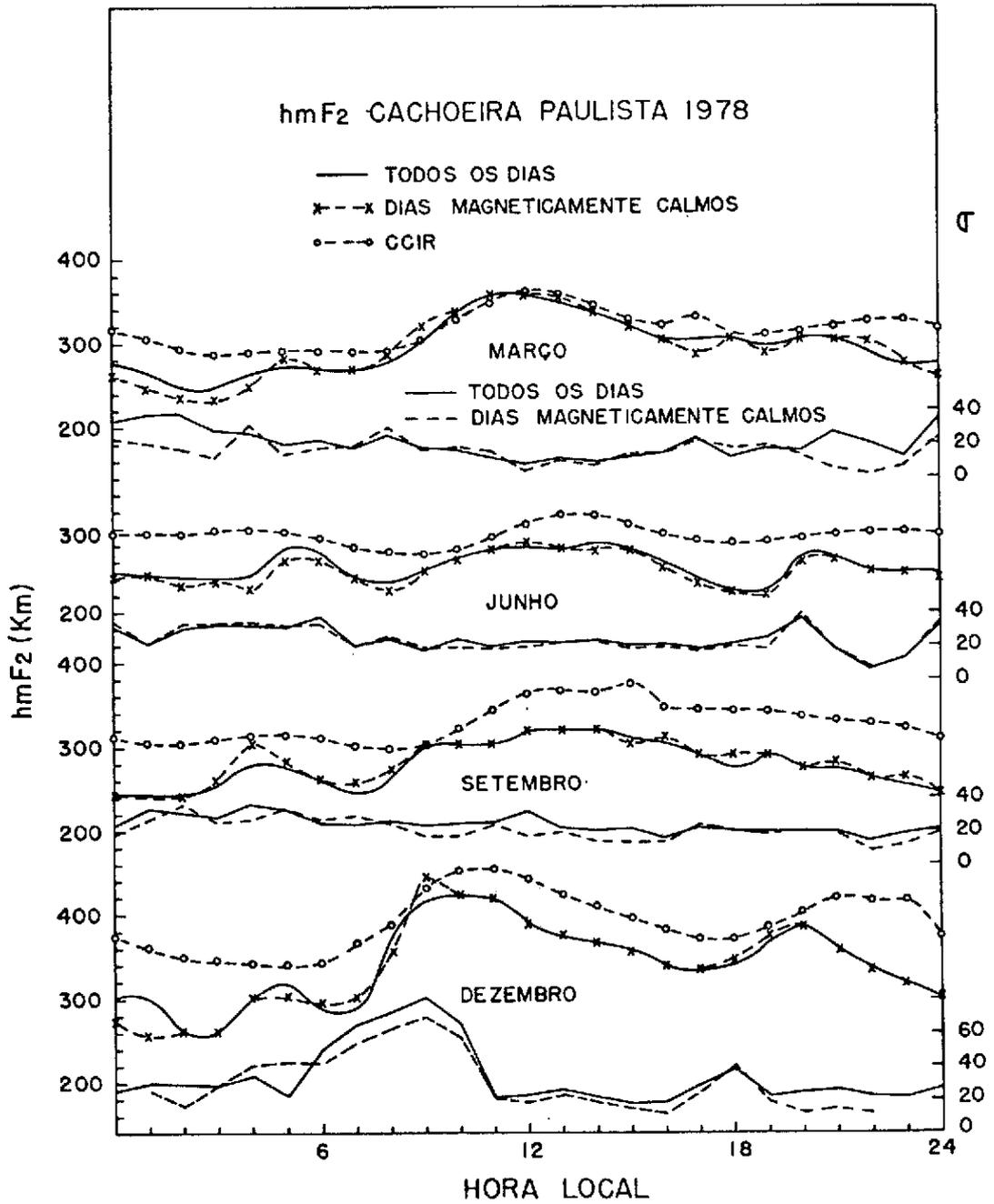


Fig. 4 - Valores medianos mensais de hmF₂ para Cachoeira Paulista em março, junho, setembro e dezembro de 1978; em dias magneticamente calmos (linha tracejada entre cruces); em todos os dias (linha contínua); e para predição do CCIR (linha tracejada entre círculos).

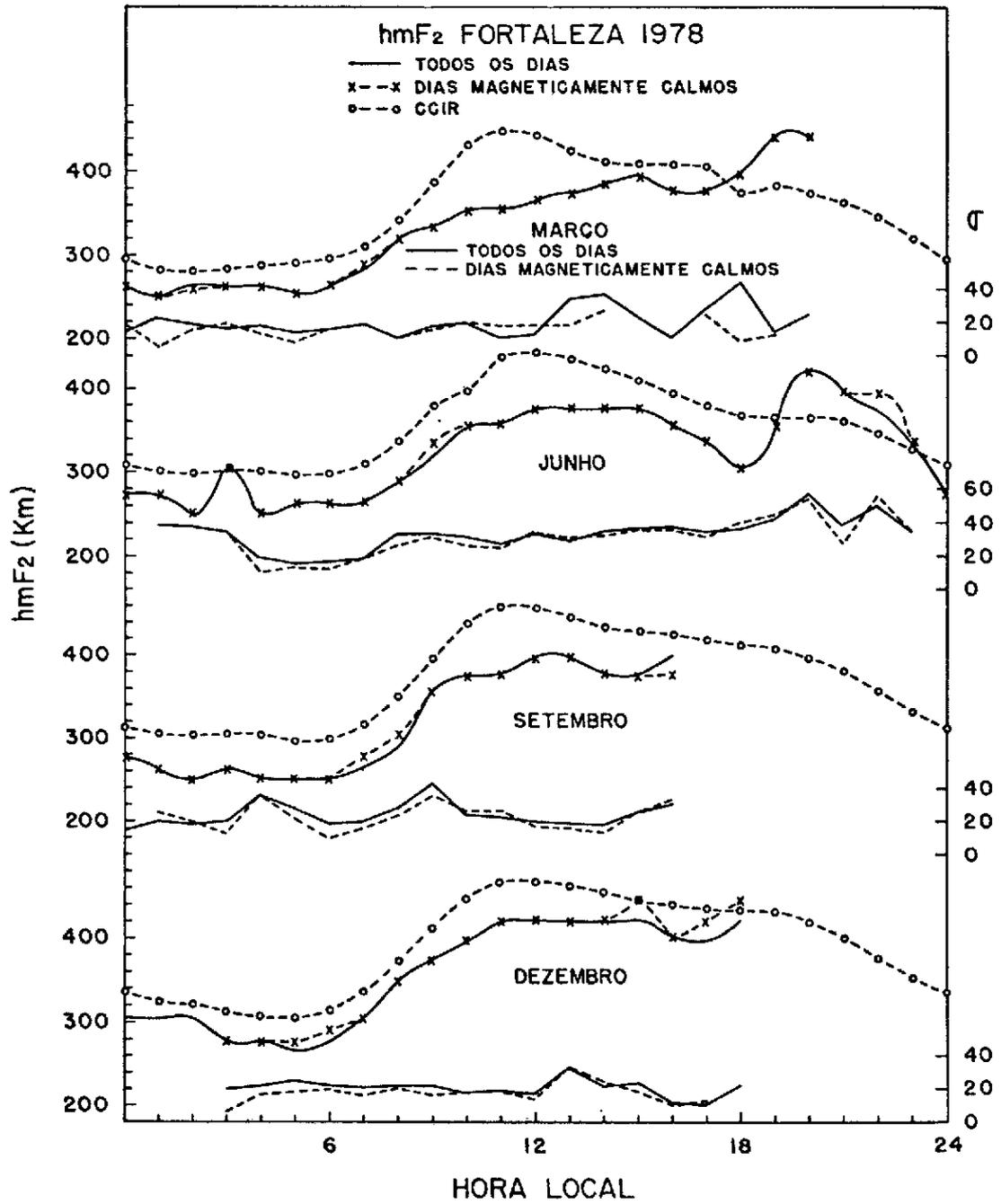


Fig. 5 - Valores medianos mensais de hmF₂ para Fortaleza em março, junho, setembro e dezembro de 1978: em dias magneticamente calmos (linha tracejada entre cruces); em todos os dias (linha contínua); e para predição do CCIR (linha traçada entre círculos).

3. DISCUSSÃO DOS FENÔMENOS FÍSICOS QUE AFETAM FoF₂ E hmF₂ DURANTE TEMPESTADES MAGNÉTICAS

Uma melhor concordância do modelo CCIR com observações em tempos calmos ocorre somente em certas horas locais do dia. Este efeito é devido à dependência, no tempo local, da resposta ionosférica às tempestades magnéticas. Na ionosfera, em latitudes baixas, o mecanismo de resposta de ionização a tempestades magnéticas tem origens diferentes das conhecidas para latitudes médias, cujas características não têm sido estudadas em detalhe até agora. O efeito negativo de tempestades (um decréscimo de ionização) observado em Cachoeira Paulista e Fortaleza poderia ser produzido pela extensão ao equador das perturbações termosféricas (comumente observadas nas latitudes médias). Este efeito é caracterizado pela redução da taxa do oxigênio atômico em relação à de nitrogênio molecular, $[O]/[N_2]$, e/ou pela possível inibição do desenvolvimento da anomalia equatorial que ocorre durante a tempestade magnética. Por outro lado, o efeito positivo (aumento de ionização) poderia ser produzido pelos ventos termosféricos perturbados dirigidos ao equador magnético. Uma causa adicional de aumento da densidade eletrônica sobre Cachoeira Paulista poderia ser encontrada no aumento produzido pela tempestade magnética na taxa de precipitação de partículas carregadas na Anomalia Magnética Brasileira (Batista e Abdu, 1977; Massambani, 1978). Assim, tanto os efeitos positivo como negativo, devido as tempestades magnéticas, dependem da variação com tempo local das fontes de perturbação de ionização mencionados acima. Um estudo bem detalhado seria necessário para identificar as diferentes fontes da resposta ionosférica às tempestades magnéticas e à variação com o tempo local das diferenças entre os valores médios dos parâmetros da região F, preditos pelo modelo CCIR e por aqueles observados nestas estações.

4. CONCLUSÕES

Esperava-se que a mediana dos dados tomados em dias magneticamente calmos tivesse valores mais próximos aos preditos pelo CCIR que a mediana dos dados tomados em todos os dias de cada mês analisado.

Porém foi encontrada uma concordância dependente da hora local, sendo em geral a média do erro de predição, usando-se dias magneticamente calmos, maior tanto para f_oF_2 como para h_mF_2 , em ambas as localidades estudadas. Este fato ocorreu apesar do intervalo de variação dos dados (intervalo de quartis) ser menor (Tabela 1).

Baseado nestes resultados, poder-se-ia supor que o efeito de tempestades magnéticas em f_oF_2 e em h_mF_2 está incorporado empiricamente nas predições do CCIR.