

### Introdução

Conforme explicado na introdução do meu relatório preliminar desta Bolsa IC o objetivo principal deste projeto de pesquisa foi o estudo dos efeitos ionosféricos das tempestades magnéticas sobre a ionosfera na região de Cachoeira Paulista. O estudo dos efeitos das tempestades magnéticas sobre a ionosfera na região de baixa latitude magnética, constituem atualmente um dos principais temas de estudo no campo da física da ionosfera (Abdu et alii., 1996; Sobral, 1994; Sobral et alii, 1997).

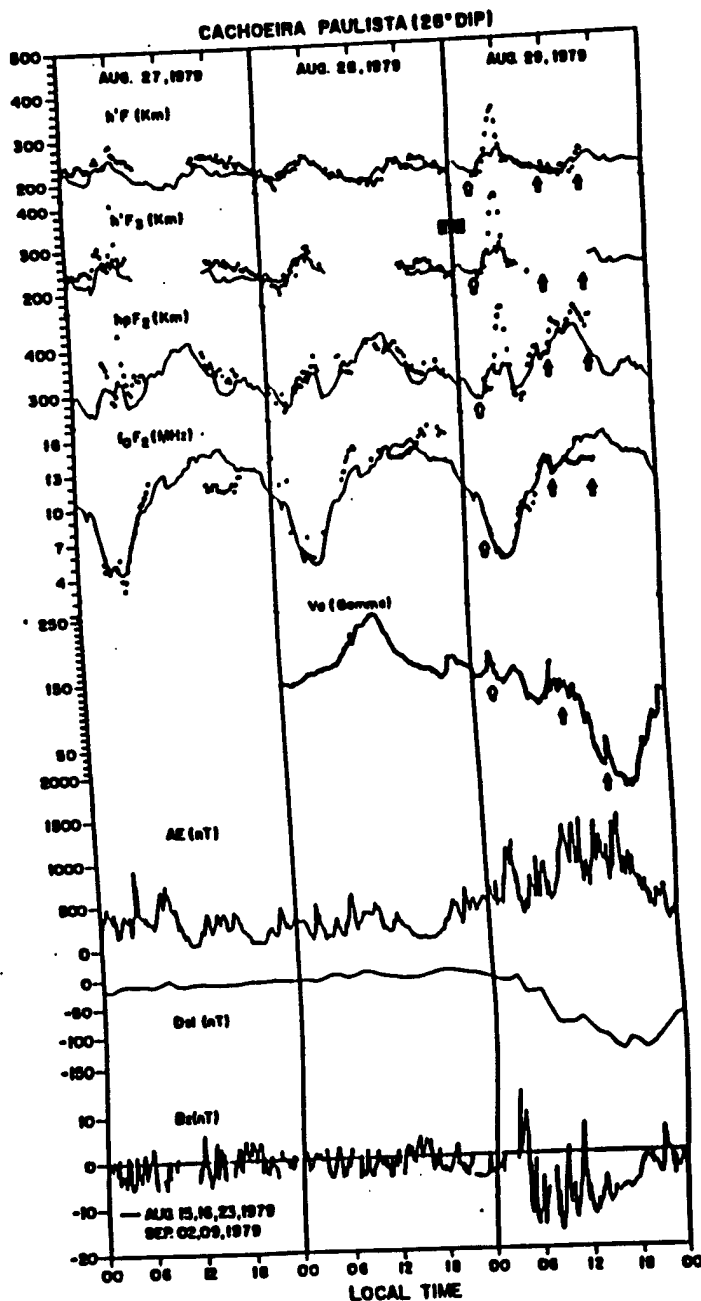
O outro objetivo deste projeto de pesquisa foi a realização de um estudo sobre a variação do vetor campo magnético terrestre nas 6 seguintes localidades: São Luis, Fortaleza, Cachoeira Paulista, São José dos Campos, Santa Maria e Tucumán. Essas cidades foram escolhidas pois elas correspondem à localidades frequentemente estudadas pelo grupo de pesquisas ionosféricas do INPE. Além disso, tais localidades representam uma interessante variedade de setores latitudinais magnéticos, ou seja, São Luis região equatorial, Fortaleza região subequatorial, Cachoeira Paulista, São José dos Campos, Santa Maria (Rio Grande do Sul) e Tucumán (Argentina).

Os estudos ionosféricos em latitudes baixas e equatoriais são de grande interesse para os grupos de pesquisa que trabalham nessa área no Brasil, uma vez que todo o território brasileiro está confinado na região de baixa latitude magnética. As ionossondas são equipamentos apropriados para tais estudos, pois podem funcionar ininterruptamente durante longos períodos, produzindo longas séries temporais de dados contínuos (Abdu et alii, 1996a, b, 1997; Sobral et alii, 1997).

Os estudos relativos ao campo geomagnético aqui concernentes, foi feito utilizando-se um modelo de computador da NOAA, ou seja, o modelo GEOMAG - *Geomagnetic Field Models and Synthesis Software Version 2.0*, adquirido da NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration- National Geophysical Data Center - World Data Center - A for Solid Earth Geophysics), U.S.A., 1993, que foi fornecido pelo meu orientador. Os dados de Bz fora medidos *in-situ* pelo satélite ISEE-3 e nos foi cedido pelo Professor B. T. Tsurutani do Jet Propulsion Laboratory.

### Resultados

**Tempestades magnéticas:**  
 A figura aqui mostrada representa os resultados finais deste estudo quanto aos efeitos das tempestades magnéticas. São na realidade um total de seis figuras semelhantes a essa figura, para dias diferentes. Nela estão representados os parâmetros ionosféricos h'F (altura da



base da camada F, h'F3 (altura virtual da camada, em f= 3 MHz), hpF2 (altura real aproximada do pico da camada F), AE (índice de atividade auroral) e Bz (componente norte-sul do campo geomagnético). As seis figuras mostram variações dramáticas dos parâmetros ionosféricos, em função das tempestades magnéticas. No presente caso vemos um enorme salto da camada F por volta da 03h00 no dia 29/8/79 causado pela penetração em baixas latitudes de campos elétricos aurorais devido à inversão de polaridade de Bz.

#### Variações do campo geomagnético

Foram calculadas as variações dos seguintes parâmetros do campo geomagnético no setor latino-americano: Inclinação (*Dip Angle*) de Declinação (*Declination*) à altura de 100 km (altura do eletrojato equatorial). Foram estudadas as variações nas seguintes localidades: São Luís (região equatorial), Fortaleza (região subequatorial), Cachoeira Paulista, São José dos Campos, Santa Maria (Rio Grande do Sul) e Tucumán (Argentina).

Chegamos a interessante conclusão geral que durante o período de 1975 a 1994 esses dois parâmetros variaram em sentidos opostos com a latitude. Ou seja, a inclinação do campo geomagnético variou mais fortemente quanto menor a latitude e a declinação variou mais fortemente quanto maior a latitude. Abaixo está o resultado da inclinação para as cidades acima citadas.

Por falta de espaço, obviamente, neste resumo são apresentados apenas resultados principais escritos de forma sucinta, adequadas à forma de resumo. A informação completa de todos os resultados obtidos aparecerão tanto o relatório final como a apresentação informação completa da pesquisas realizadas.

#### Inclinação (*dip angle*) a 100 km de altura

Data	Cachoeira Paulista	Fortaleza	São Luís Alcântara	São José dos Campos	Santa Maria	Tucumán
75/12/30	-25.843	-2.652	6.652	-25.855	-28.742	-22.377
76/12/30	-26.118	-3.043	6.317	-26.123	-28.927	-22.462
77/12/30	-26.393	-3.437	5.978	-26.39	-29.11	-22.548
78/12/30	-26.668	-3.83	5.64	-26.658	-29.295	-22.635
79/12/30	-26.945	-4.225	5.3	-26.927	-29.48	-22.72
80/12/30	-27.255	-4.627	4.932	-27.228	-29.695	-22.843
81/12/30	-27.565	-5.028	4.563	-27.532	-29.91	-22.966
82/12/30	-27.877	-5.43	4.192	-27.837	-30.125	-23.09
83/12/30	-28.188	-5.835	3.82	-28.14	-30.342	-23.213
84/12/30	-28.5	-6.238	3.445	-28.445	-30.557	-23.336
85/12/30	-28.782	-6.603	3.098	-28.722	-30.763	-23.463
86/12/30	-29.065	-6.97	2.75	-28.997	-30.968	-23.59
87/12/30	-29.348	-7.335	2.4	-29.275	-31.175	-23.716
88/12/30	-29.632	-7.703	2.05	-29.552	-31.382	-23.843
89/12/30	-29.915	-8.07	1.698	-29.828	-31.588	-23.971
90/12/30	-30.195	-8.438	1.342	-30.102	-31.783	-24.088
91/12/30	-30.475	-8.808	0.987	-30.375	-31.98	-24.205
92/12/30	-30.755	-9.178	0.628	-30.65	-32.177	-24.323
93/12/30	-31.035	-9.548	0.27	-30.923	-32.373	-24.44
94/12/30	-31.317	-9.918	-0.09	-31.198	-32.572	-24.558

ABDU, M. A. ; SOBRAL, J. H. A. ; RICHARD, P.; de GONZALEZ, M.M.; HUANG, Y.N.; REDDY, B.M.; CHENG, K.; SZUSZCZEWICZ, E. P. and BATISA, I. S. "Zonal/ Meridional Wind and Disturbance Dynamo Electric Field Control of the Low Latitude Ionosphere based on the SUNDIAL/ATLAS-1 Campaign". *J. Geophys. Res.*; vol. 101, no. A12, 26729-26740, 1996.

SOBRAL, J. H. A. "Airglow studies of the low latitude ionospheric dynamics". *Editado por D.N. Baker, V.O. Papitashvili e M.J. Teague. COSPAR Colloquia Series, 5, 383-390, 1994.*

SOBRAL, J. H. A. ; ABDU, M. A. ; W. D. GONZÁLEZ; B. T. TSURUTANI; I.S. BATISTA "Effects of Intense Storms and Substorms on the Equatorial Ionosphere/Thermosphere System in the American Sector from Ground Based Satellite Data" *Aceito. J. Geophys. Res.*, 1997.

**INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**

**PIBIC - Programa de Bolsas de Iniciação Científica**

**RELATÓRIO FINAL DE BOLSA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA**

Título do Projeto de Pesquisa:

Estudos do campo geomagnético e estudos fotométricos da Termosfera utilizando técnicas digitais

Bolsista: Gustavo Cilento Moreschi

Orientador: José Humberto Andrade Sobral

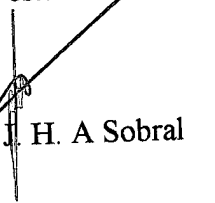
Data de Entrega: 20 de Junho de 1997

\\doc\gustav2



Parecer do orientador sobre este relatório

Este relatório, feito sob a minha supervisão está satisfatório e portanto aprovo-o.

  
Dr. J. H. A. Sobral

16/6/97



## 1 ♦ Introdução

Seguindo aos planos do meu orientador de Bolsa PIBIC, o Dr. Sobral, o presente projeto de pesquisa sofreu uma pequena modificação que foi a seguinte: o primeiro de seus objetivos que seria um breve estudo do *airglow* 630 nm (fraca luz de cor vermelha emitida pela região F do céu noturno) foi suprimido, dando lugar a um tema mais apropriado e, diga-se, bem mais complexo, que foi o estudo dos efeitos ionosféricos das tempestades magnéticas sobre a ionosfera na região de Cachoeira Paulista. O estudo de *airglow* anteriormente previsto para este estágio era um estudo complementar ao projeto desenvolvido no período 1995-1996 pela bolsista Srta. Adriana Bustamante Nascimento a quem substitui no PIBIC em julho de 1996. Portanto tal estudo de *airglow* não seria exatamente apropriado para mim como o seria para a Adriana. O estudos dos efeitos das tempestades magnéticas sobre a ionosfera na região de baixa latitude magnética, que não estavam anteriormente previstos, conforme explicado acima, constituem atualmente um dos principais temas de estudo no campo da física da ionosfera (Abdu et alii, 1996a,c, 1997; Sobral, 1994; Szuszczewicz et alii, 1993; Sobral et alii, 1997).

O segundo objetivo deste projeto de pesquisa, por sua vez, que consistia num estudo das variabilidades do meio ambiente espacial brasileiro, não sofreu alteração. Dessa forma, foi feito um estudo sobre a variação do campo magnético terrestre nas 6 seguintes localidades: São Luís, Fortaleza, Cachoeira Paulista, São José dos Campos, Santa Maria e Tucumán. Essas cidades foram escolhidas pois elas correspondem à localidades freqüentemente estudadas pelo grupo de pesquisas ionosféricas do INPE. Além disso, tais localidades representam uma interessante variedade de setores latitudinais magnéticos, ou seja, São Luís região equatorial, Fortaleza região subequatorial, Cachoeira Paulista, São José dos Campos, Santa Maria (Rio Grande do Sul) e Tucumán (Argentina).

Os estudos ionosféricos em latitudes baixas e equatoriais são de grande interesse para os grupos de pesquisa que trabalham nessa área no Brasil, uma vez que todo o território brasileiro está confinado na região de baixa latitude magnética. As ionossondas são equipamentos apropriados para tais estudos, pois podem funcionar ininterruptamente durante longos períodos, produzindo longas séries temporais de dados contínuos (Abdu et alii, 1996a, b, 1997; Sobral et alii, 1997).

Os estudos relativos ao campo geomagnético aqui concernentes, foi feito utilizando-se um modelo de computador da NOAA, ou seja, o modelo GEOMAG - *Geomagnetic Field Models and Synthesis Software Version 2.0*, adquirido da NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration- National Geophysical Data Center - World Data Center - A for Solid Earth Geophysics*), U.S.A., 1993, que foi fornecido pelo meu orientador.

Várias atividades de apoio à pesquisa também foram desenvolvidas neste estágio em conjunto com o orientador desta Bolsa e outros três colegas de Bolsa IC do mesmo orientador. Por exemplo, ajudamos a formar o banco de dados de ionossonda, aeroluminescência e espectrômetro Fabry-Perot deixados pelos Bolsistas Cristina S. Yamashita e Kalil Jamil Kamar que se graduaram este ano. Eles deixaram muitos dados que para não serem extraviados, foram-nos passados para guarda-los de forma organizada, formando uma espécie de banco de dados.





## 2 ♦ Por quê estudar a topologia do campo magnético terrestre ?

Este estudo do campo magnético terrestre visa assessorar o estudo da dinâmica da ionosfera na região sul-americana.

O plasma ionosférico é empurrado pelo vento termosférico ao longo das linhas de força do campo geomagnético. Exceto sob ação de campos elétricos, o plasma ionosférico somente se move ao longo da linha de campo geomagnético.

Os ventos termosféricos, por sua vez, não são controlados pelo campo geomagnético. Eles se deslocam em função de gradiente de pressão.

Dessa forma, o efeito dos ventos sobre a ionosfera podem ser bastante distintos dependendo da declinação e inclinação (dip) do campo geomagnético.

Neste relatório calculamos a declinação e inclinação do campo geomagnético das cidades de Fortaleza, Cachoeira Paulista, São José dos Campos, São Luís, Santa Maria e Tucumán (Argentina).

Um exemplo de possível influência dos ventos termosféricos na dinâmica da ionosfera é o estudo do fenômeno *spread-F* conforme brevemente descrito a seguir. As localidades de Cachoeira Paulista e Santa Maria tem *dips* aproximadamente equivalentes um ao outro. Entretanto tem declinações consideravelmente diferentes. Tal diferença de declinação possivelmente permitirá estudar os efeitos dos ventos termosféricos na geração do *spread-F* o qual ocorre após o pôr do sol, com a subida da camada F. O *spread-F* a que nos referimos é um fenômeno ionosférico causado pela instabilidade do plasma e ele pode ser inibido ou amplificado com a ação dos ventos.

Outra aplicação desse estudo é a análise da variação anual dos fenômenos ionosféricos (*spread-F*, camada E-esporádica etc.)

Este trabalho fornecerá uma idéia geral de como variou o campo geomagnético nas localidades acima citadas.

## 3 ♦ Histórico

O campo magnético é um campo vetorial, isto é, tem magnitude, direção e sentido. O campo magnético é representado convencionalmente por linhas de força, que em qualquer ponto indicam a direção do campo. A intensidade do campo é representada pela distância que separa linhas de força adjacentes. Onde elas estão muito próximas, o campo é forte e onde elas estão afastadas, o campo é fraco. O campo da Terra é semelhante àquele originado por um dipolo magnético. As linhas de força para um campo dipolar são superpostas à Terra.

O campo magnético em qualquer ponto da superfície da Terra deve ser especificado por três parâmetros, que são: intensidade total, declinação e inclinação. Atualmente os ângulos que direcionam o campo magnético são medidos em graus, minutos e segundos. No entanto, anterior a uma comum aceitação da unidade MKS, a magnitude era usualmente dada em unidades de "oersted" (intensidade magnética) ou "gauss" (indução magnética). Porém as



medidas do campo eram muito pequenas, menos que 1 “oersted”, portanto, para evitar erros e facilitar, estas medidas passaram a ser feitas na unidade “gamma”, que equivale  $10^{-5}$  “oersted” ou  $10^{-5}$  “gauss” e foi usada para intensidade e indução. Para medir-se a força do campo, é utilizada a medida “tesla” ( $1 \text{ tesla} = 10^4 \text{ gauss}$ ) e nanotesla ( $1 \text{ nT} = 10^{-9} \text{ tesla}$ , que equivale a  $10^{-5} \text{ gauss}$ ). A terminologia padrão é da seguinte maneira:

- o vetor campo magnético é o vetor F, sua magnitude F é chamada intensidade total ou campo total;
- a magnitude H do vetor de componente horizontal H é chamada de intensidade horizontal;
- a magnitude Z do vetor de componentes vertical Z é chamada de intensidade vertical;
- as componentes para o norte, o leste e para baixo do campo são designadas pelas magnitudes X, Y e Z respectivamente.

#### 4 ♦ Metodologia

##### 4.1 Estudo do campo geomagnético. Descrição do aplicativo usado

O software usado para realizar esta pesquisa chama-se GEOMAG - *Geomagnetic Field Models and Synthesis Software Version 2.0*, adquirido da NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration- National Geophysical Data Center - Worlds Data Center - A for Solid Earth Geophysics*), U.S.A., 1993. Ele retorna valores de parâmetros do campo geomagnético a partir de dados de localização oferecidos pelo usuário. O programa contém um arquivo de parâmetros de campo magnético que segue o modelo de Referência Internacional de Campo Geomagnético que serve como padrão para a geração dos dados de saída. Alguns valores de saída do programa podem apresentar alguns erros de aproximação devido aos inúmeros cálculos que são feitos, estes erros podem ser maiores se o microcomputador em que este está sendo executado não tiver co-processador matemático.

Em qualquer ponto, o campo magnético é caracterizado por uma direção e intensidade que possa ser medido. Os pólos geomagnéticos estão localizados numa área onde as linhas de força são perpendiculares à superfície da Terra.

O campo magnético da Terra é descrito por sete parâmetros com seus respectivos sinais (Nascimento, 1995). Eles são:

- D → declinação
- I → inclinação
- H → intensidade horizontal
- Z → intensidade vertical
- F → intensidade total
- X → norte
- Y → leste

• Dados de entrada do programa: o programa requer alguns dados para poder ser executado, eles são:

*nome do modelo* - que neste caso, está sendo usado o modelo IGRF (International Geomagnetic Reference Field).



*Data* - ano de interesse de estudo (dados disponíveis de 1945 até 1995).

*Seleção da coordenada* - geodética ou geocêntrica.

*Elevação* - altura em quilômetros ou em milhas da linha do campo magnético.

*localização* - são os parâmetros de latitude e longitude do ponto estudado.

• Dados de saída : após fazer os cálculos com os dados fornecidos na entrada e com referência ao modelo IGRF são apresentados os seguintes dados na saída:

**D** - denota declinação, algumas vezes referenciada como variação magnética. É o ângulo que a componente horizontal do vetor campo magnético (H) faz com o norte geográfico (norte real).

→ se D for um ângulo positivo: significa que a componente horizontal do campo está a leste do norte real

→ se D for um ângulo negativo: significa que a componente horizontal do campo está a oeste do norte real

**I** - denota inclinação. A inclinação é um ângulo de medida positiva para baixo, da componente horizontal (H) para o vetor do campo magnético (F).

**H** - é a componente horizontal do vetor de campo magnético. A componente horizontal pode ser vista como a componente do vetor de campo magnético formada pela projeção do vetor do campo total (H) sobre o plano horizontal.

**X** - é a componente do campo magnético medida na direção do norte geográfico. X é considerado positivo ao norte e negativo ao sul.

**Y** - é a componente do campo magnético medida na direção do leste geográfico. Y é considerado positivo quando está a leste e negativo a oeste.

**Z** - é a componente do campo magnético medida na direção para baixo. Z é considerada positiva quando I é positivo, apontando para baixo.

**F** - é o vetor do campo magnético total.

### **Observações pertinentes ao software**

1 - Todas as componentes de força do campo magnético representadas estão na unidade nanotesla (nT);

2 - Os elementos angulares (Declinação e Inclinação) estão na unidade de graus e minutos;

3 - O valor de declinação é indefinido na região dos pólos magnéticos. O programa em questão verifica para ver se a componente horizontal é muito pequena, se isto ocorrer significa que o ponto de interesse está próximo do polo magnético. Se isto for verdadeiro o programa retorna um valor de 999 para a declinação;



4 - O programa ainda retorna valores de estimação de variação das componentes do campo magnético por unidade de ano. As taxas de variação angular são mostradas em minutos por ano e as taxas de variação para as componentes de forças são mostradas em nanotesla por ano.

## 4.2 Metodologia do estudo das tempestades magnéticas

As tempestades magnéticas consistem em fortes variações do campo geomagnético, que podem ser detectadas em nível de solo por instrumentos denominados magnetômetros. Durante tais tempestades o índice geomagnético Kp (veja definições abaixo) aumentam de valor (Abdu et alii, 1996a,c; Sobral et alii, 1997). Os dias aqui estudados são dias em que ocorreram fortes tempestades magnéticas e portanto apresentaram altos índices Kp.

O estudo dos efeitos ionosféricos das tempestades magnéticas é em geral feito em comparação com os dias quietos. Ou seja, se quisermos estudar o que foi perturbado num certo dia e numa certa hora, temos que comparar os parâmetros ionosféricos desse intervalo de tempo com esses mesmos parâmetros nos dias quietos. Os parâmetros escolhidos aqui foram os seguintes (Abdu et alii, 1996):

1. h'F altura da base da camada F
2. h'F3 altura do traço do ionograma na frequência de 3 MHz
3. hpF2 altura do pico da camada F segundo uma interpolação parabólica.
4. foF2 frequência de corte da camada F
5. h'Es frequência crítica da camada E esporádica
6. fxEs frequência crítica do traço extraordinário
7. fbEs frequência da camada E que apaga o traço da região F (*Blanketing Es*)

Nessa metodologia temos que ter o cuidado de escolher os dias quietos não muito distantes do dia do evento perturbado que se quer estudar, a fim de evitar o mascaramento por efeitos sazonais sobre os parâmetros a serem estudados. Dessa forma adotamos idealmente tomar os dias mais quietos no período de 30 dias encontrado no dia do evento perturbado.

### 4.2.1 Instrumentos utilizados no presente estudo sobre tempestades magnéticas (Nascimento, 1995)

**Magnetômetros:** são instrumentos que medem a intensidade do campo magnético terrestre ao nível do solo. Quando ocorre uma tempestade magnética o campo magnético sofre flutuações na sua intensidade.

**Ionossonda:** é um instrumento que mede o perfil de densidade eletrônica da ionosfera (Abdu et alii 1992).

**Digissonda:** é uma ionossonda digital. Trata-se de um instrumento mais moderno e sofisticado que a ionossonda e mede, além do perfil de densidade eletrônica, velocidades de derivas do plasma ionosférico.





## 5 ♦ Terminologia

**Plasma:** é um gás formado por partículas carregadas eletricamente com cargas positivas e negativas. A ionosfera é um plasma onde o íon predominante é o íon oxigênio atômico  $O^+$  e as partículas de carga elétrica negativa são maioritariamente elétrons.

**Campo geomagnético:** o planeta Terra possui um campo magnético próprio, ou seja, ele é um grande ímã. Na realidade o campo geomagnético é mais complexo que um dipolo. Isto é, ele é um multipolo. Entretanto, por questão de conveniência é comum usar-se um dipolo como modelo simplificado do campo geomagnético. Chama-se de dipolo magnético à configuração geomagnética que mais se aproxima do campo geomagnético verdadeiro.

**Equador geomagnético:** é o lugar geométrico onde as linhas de força do campo geomagnético se tornam paralelas à superfície terrestre.

**Baixa latitude magnética:** é a região situada aproximadamente  $\pm 20^\circ$  em torno do equador geomagnético.

**Bolhas ionosféricas:** São grandes regiões do espaço, na região ionosférica, de concentrações reduzidas do plasma. As bolhas estendem-se ao longo das linhas de força do campo geomagnético e podem alcançar milhares de quilômetros naquela direção.

**Índice Kp:** é um número proporcional ao grau de perturbação do campo magnético terrestre. O índice Kp é periodicamente por alguns observatórios espaciais internacionais. Os índices Kp aqui utilizados foram obtidos da revista intitulada "Journal of Geophysical Research", publicado mensalmente pela União Geofísica Norte-americana. Os valores de Kp representam uma média de valores obtidos no espaço de tempo de três horas, começando à zero hora. Portanto o dia tem oito valores de Kp os quais correspondem aos intervalos de tempo de 0-3h, 3-6h, 6-9h etc. A soma desses oito valores constitui o que domina  $\Sigma Kp$ .

**Dia perturbado:** é o dia geomagneticamente perturbado, ou seja, são os dias em que os valores do índice Kp são relativamente mais elevados.

**Dia quieto:** é o dia em que o valor de Kp é relativamente baixo.



## 6 ♦ Variações do campo magnético no setor longitudinal sul-americano. Resultados

Estudamos as variações dos seguintes parâmetros do campo geomagnético: Declinação (ângulo que o campo magnético faz com o norte geográfico) e Inclinação (ângulo que o campo magnético faz com o plano horizontal), nas seguintes localidades: São Luís, Fortaleza, Cachoeira Paulista, São José dos Campos, Santa Maria (RS) e Tucumán (Argentina). Os resultados são mostrados a seguir em forma de tabelas e gráficos.

### Na Tabela 1

Foram pedidos 6 cidades e diversas datas, começando no ano de 1975, pegando os últimos meses e os últimos dias do ano até 1994, onde foi utilizado o software mencionado acima.

### Na Tabela 2

Foi feito a média para cada cidade, pegando a última data de cada cidade subtraída pela primeira cidade, ocorrendo um só ponto para cada cidade.

### Na Tabela 3

Foram pedidos 6 cidades e diversas datas, começando no ano de 1975 pegando os últimos meses e os últimos dias do ano até 1994, onde foi utilizado o software mencionado acima.

### Na Tabela 4

Foi feito a média para cada cidade, pegando a última data de cada cidade subtraída pela primeira cidade, ocorrendo um só ponto para cada cidade.



Tabela 1. Declinação a 100 km de altura

Data	Cachoeira Paulista	Fortaleza	São Luís Alcântara	São José dos Campos	Santa Maria	Tucumán
75/12/30	-17.583	-20.837	-18.893	-16.938	-9.047	0.478
76/12/30	-17.735	-20.923	-19.017	-17.093	-9.217	0.317
77/12/30	-17.888	-21.008	-19.142	-17.25	-9.388	0.155
78/12/30	-18.042	-21.095	-19.267	-17.408	-9.562	-0.007
79/12/30	-18.197	-21.182	-19.392	-17.567	-9.735	-0.17
80/12/30	-18.33	-21.22	-19.473	-17.703	-9.895	-0.34
81/12/30	-18.463	-21.258	-19.557	-17.842	-10.055	-0.51
82/12/30	-18.597	-21.295	-19.638	-17.982	-10.217	-0.681
83/12/30	-18.733	-21.333	-19.722	-18.122	-10.38	-0.853
84/12/30	-18.87	-21.372	-19.803	-18.263	-10.543	-1.026
85/12/30	-18.982	-21.392	-19.862	-18.378	-10.682	-1.181
86/12/30	-19.093	-21.413	-19.92	-18.495	-10.818	-1.338
87/12/30	-19.207	-21.433	-19.98	-18.613	-10.958	-1.495
88/12/30	-19.32	-21.453	-20.038	-18.73	-11.098	-1.651
89/12/30	-19.435	-21.473	-20.098	-18.85	-11.24	-1.811
90/12/30	-19.555	-21.488	-20.15	-18.973	-11.38	-1.965
91/12/30	-19.677	-21.503	-20.203	-19.098	-11.523	-2.12
92/12/30	-19.798	-21.518	-20.258	-19.225	-11.667	-2.275
93/12/30	-19.92	-21.535	-20.312	-19.352	-11.812	-2.431
94/12/30	-20.043	-21.55	-20.365	-19.478	-11.957	-2.59

Tabela 2. Declinação a 100 km de altura

Cidade	MÉDIA :
Cachoeira Paulista:	-2.46
Fortaleza :	-0.713
São Luís / Alcântara:	-1.472
São José dos Campos:	-2.54
Santa Maria:	-2.91
Tucumán (Argentina):	-3.068



Tabela 3. Inclinação (*dip angle*) a 100 km de altura

Data	Cachoeira Paulista	Fortaleza	São Luís Alcântara	São José dos Campos	Santa Maria	Tucumán
75/12/30	-25.843	-2.652	6.652	-25.855	-28.742	-22.377
76/12/30	-26.118	-3.043	6.317	-26.123	-28.927	-22.462
77/12/30	-26.393	-3.437	5.978	-26.39	-29.11	-22.548
78/12/30	-26.668	-3.83	5.64	-26.658	-29.295	-22.635
79/12/30	-26.945	-4.225	5.3	-26.927	-29.48	-22.72
80/12/30	-27.255	-4.627	4.932	-27.228	-29.695	-22.843
81/12/30	-27.565	-5.028	4.563	-27.532	-29.91	-22.966
82/12/30	-27.877	-5.43	4.192	-27.837	-30.125	-23.09
83/12/30	-28.188	-5.835	3.82	-28.14	-30.342	-23.213
84/12/30	-28.5	-6.238	3.445	-28.445	-30.557	-23.336
85/12/30	-28.782	-6.603	3.098	-28.722	-30.763	-23.463
86/12/30	-29.065	-6.97	2.75	-28.997	-30.968	-23.59
87/12/30	-29.348	-7.335	2.4	-29.275	-31.175	-23.716
88/12/30	-29.632	-7.703	2.05	-29.552	-31.382	-23.843
89/12/30	-29.915	-8.07	1.698	-29.828	-31.588	-23.971
90/12/30	-30.195	-8.438	1.342	-30.102	-31.783	-24.088
91/12/30	-30.475	-8.808	0.987	-30.375	-31.98	-24.205
92/12/30	-30.755	-9.178	0.628	-30.65	-32.177	-24.323
93/12/30	-31.035	-9.548	0.27	-30.923	-32.373	-24.44
94/12/30	-31.317	-9.918	-0.09	-31.198	-32.572	-24.558

Tabela 4. Inclinação (*dip angle*) a 100 km de altura

Data	MÉDIA
Cachoeira Paulista :	-5.474
Fortaleza :	-7.266
São Luís / Alcântara :	-6.742
São José dos Campos :	-5.343
Santa Maria :	-3.83
Tucumán (Argentina) :	-2.181





## Discussão

De acordo com a Tabela 1, a variação da declinação do campo geomagnético no período de 19 anos foi o seguinte:

	30/12/75	30/12/94	Varição
Cachoeira Paulista	-17.583°	-20.043°	2.46°
Fortaleza	-20.837°	-21.55°	.713°
São Luís / Alcântara	-18.893°	-20.365°	1.472°
São José dos Campos	-16.938°	-19.478°	2.54°
Santa Maria	-9.047°	-11.957°	2.91°
Tucumán	0.478°	-2.59°	3.058°

De acordo com a tabela acima constatamos que a maior variação da declinação magnética, no período de 19 anos acima considerado, ocorreu na localidade de Tucumán, com uma excussão total de cerca de 3,058°. Por outro lado, a menor variação ocorreu em Fortaleza. Fica claro também a tendência de aparecer maiores variações a medida que se aumenta a latitude da localidade.

De acordo com a Tabela 3, a variação da inclinação do campo geomagnético no período de 19 anos foi o seguinte:

	30/12/75	30/12/94	Varição
Cachoeira Paulista	-25.843°	-31.317°	-5.474°
Fortaleza	-2.652°	-9.918°	-7.266°
São Luís / Alcântara	6.652°	-0.09°	-6.61°
São José dos Campos	-25.855°	-31.198°	-5.343°
Santa Maria	-28.742°	-32.572°	-3.83°
Tucumán	-22.377°	-24.558°	-2.181°

De acordo com a tabela acima constatamos que a maior variação da inclinação magnética, no período de 19 anos acima considerado, ocorreu na localidade de Fortaleza, com uma excussão total de cerca de -7.266°. Por outro lado, a menor variação ocorreu em Tucumán. Fica claro também a tendência de aparecer menores variações a medida que se aumenta a latitude da localidade.

O equador magnético terrestre se desvia claramente do equador geográfico, em cima da região brasileira. A linha do Eletrojato Equatorial corresponde à linha do campo magnético terrestre onde a sua inclinação é igual a zero.

Uma conclusão interessante deste estudo é que através da análise da variação anual da inclinação do campo geomagnético sobre Fortaleza, foi que o equador magnético (dip 0°) e, consequentemente, o Eletrojato Equatorial, passava em cima de Fortaleza no ano de 1968.

Dessa forma, se quiséssemos instalar o radar ionosférico para os estudos do eletrojato na região de Fortaleza, conforme já foi ponderado, a instalação teria que acontecer no ano de 1968. Tal radar está implementado em São Luís, onde passa atualmente o equador magnético.



## 7 ♦ Efeitos das tempestades magnéticas na ionosfera sobre a região de Cachoeira Paulista

### 7.1 Dias estudados

26-29 de agosto 1978  
 28-30 de setembro de 1978  
 28-30 de março de 1979  
 2-4 de abril de 1979  
 27-29 de agosto de 1979  
 17-19 setembro de 1979

### 7.2 Conceitos gerais

A ionosfera é a parte da atmosfera onde a concentração de elétrons livres é apreciável a ponto de influenciar a propagação de ondas de rádio. Normalmente se divide a ionosfera em três regiões, chamadas D, E, e F.

D - Região entre 75km e 95km acima da terra onde a ionização é presente. Essa região é responsável pela absorção das ondas de rádio em alta frequência que são refletidas nas camadas superiores.

E - Região entre 95km e 150km acima da terra onde aparece camada de ionização normalmente durante o dia, que recebem os nomes : camada E normalmente encontrada, camada E2 mais densa que a camada E, camada Es (esporádica) pouco densa e instável.

F - Região acima de 150km onde se concentram as camadas refletoras mais importantes, a camada F2 normalmente encontrada, a camada F1 encontrada nas regiões temperadas.

Ionograma (Fig. 1) é o registro fotográfico produzido pelo sondador, ou ionosonda, o qual mostra a variação da altura virtual de reflexão da onda de rádio em função da frequência dessa onda. Essa altura medida é dita virtual devido ao fato do sondador medir o tempo decorrido entre a transmissão de um pulso e recepção do mesmo pulso após haver reflexão na ionosfera, e considerar esse tempo como proporcional a altura onde se deu a reflexão. O pulso recebido é chamado eco. A altura real, onde a reflexão realmente aconteceu é sempre menor que a altura virtual.

O campo magnético terrestre, em geral provoca a divisão da onda de rádio incidente em duas ondas diferentes polarizações as quais são refletidas independentemente pela ionosfera. Essas ondas são conhecidas como componentes maneto-iônicas e são consequência da interação entre os elétrons e o campo magnético. São conhecidas como ondas ordinária e onda extraordinária. Em certas circunstâncias um terceiro modo de propagação pode acontecer, chamado terceira componente magneto-iônica ou componente z.

Quando a frequência da onda aumenta, a altura virtual mostrada no ionograma também aumenta. Quando a reflexão alcança a altura onde o conteúdo eletrônico é máximo, a onda incidente fura a camada não havendo portanto retorno do pulso incidente o sondador (ionosonda) mede a altura virtual como infinita. Essa frequência é chamada frequência crítica. Outro ponto que deve ser esclarecido é a possibilidade de múltiplas reflexões entre a ionosfera e a terra. Um ionograma contém uma grande quantidade de informações que seria impraticável a interpretação e tabulação de todos os valores.



A seguir encontra-se uma lista de alguns parâmetros, com suas respectivas definições :

- fbEs - A Menor frequência da onda ordinária, na qual a camada Es começa a ser transparente.
- fxEs - A máxima frequência da onda ordinária, na qual o traço contínuo da camada Es é observado.
- h'Es - Altura virtual mínima da camada Es observada.
- foF2 - Frequência crítica da onda ordinária da camada F2, a camada mais alta na região F.
- h'F - Altura virtual mínima do traço ordinário em toda região.
- h'F3 - Altura virtual mínima do traço ordinário da camada estável mais alta na região F.
- hpF2 - Altura do traço ordinário medido na frequência  $0,834 \cdot foF2$ .
- fbEs - A Menor frequência da onda ordinária, na qual a camada Es começa a ser transparente.
- fxEs - A máxima frequência da onda ordinária, na qual o traço contínuo da camada Es é observado.
- h'Es - Altura virtual mínima da camada Es observada.
- foF2 - Frequência crítica da onda ordinária da camada F2, a camada mais alta na região F.
- h'F - Altura virtual mínima do traço ordinário em toda região.
- h'F3 - Altura virtual mínima do traço ordinário da camada estável mais alta na região F.
- hpF2 - Altura do traço ordinário medido na frequência  $0,834 \cdot foF2$ .

Dias quietos : o campos magnético varia pouco em intensidade.

Dias perturbados : o campos magnético varia bastante em intensidade.

Índice Kp : quanto mais alto mais perturbado é o dia ou o período.

Tempestades magnéticas : são fortes alterações da intensidade do campo magnético terrestre.

Elas são originárias da emissão de matéria solar (coronal mass ejection) e os efeitos na ionosfera terrestre são causados mormente pelas correntes de anel (*ring currents*) que circulam na região equatorial, na magnetosfera. O sentido dessa corrente é de leste para oeste.

Durante essas tempestades os índices Kp aumentam de intensidade.



### 7.3 Teoria dos efeitos das tempestades magnéticas

As tempestades magnéticas são definidas como bruscas diminuições na curva Dst (Sobral et al., 1997; Abdu et al. 1996a,b,c,d) cujo fenômeno é causado por correntes elétricas que circulam no sentido leste-oeste, no cinturão de radiação de Van Allen.

As tempestades magnéticas podem dar efeitos na ionosfera terrestre ao longo de todo o globo terrestre. Elas podem fazer a ionosfera subir e baixar de altura.

Esses efeitos podem ser causados por campos elétricos ou ventos neutros, isto é, ventos horizontais da atmosfera eletricamente neutra. A termosfera é a atmosfera neutra que convive com a ionosfera. Quase não existe ventos neutros verticais. A ionosfera não é eletricamente neutra, mas sim, ionizada.

Tanto os ventos neutros como os campos elétricos gerados durante as tempestades magnéticas causam dois efeitos na ionosfera: subida e descida de altura.

A seguir descreveremos os mecanismos através dos quais os ventos e campos elétricos afetam a altura da ionosfera.

Durante as tempestades magnéticas aparecem as correntes auroras ao longo do chamado círculo auroral, o qual está situado numa faixa de latitude em torno de  $60^\circ$ .

A corrente auroral circula numa altura de aproximadamente 110 Km (região E da ionosfera). Ela aquece a atmosfera resultando na formação de ventos termosféricos que se dirigem ao equador. Esses ventos fazem a ionosfera subir e descer de altura conforme mostra o diagrama da Fig. 3a onde o vento neutro termosférico é representado pelo vetor  $\underline{U}$  horizontal. Em geral esse vento é horizontal, ou seja, ele circula paralelamente à superfície terrestre.

O plasma ionosférico se desloca então ao longo do campo magnético terrestre com velocidade  $\underline{U} \cdot \cos I$ , onde  $I$  é ângulo de inclinação do campo magnético em relação ao horizonte terrestre. A ionosfera se desloca, então, verticalmente e horizontalmente, com velocidades  $\underline{U} \cdot \cos I \cdot \sin I$  e  $\underline{U} \cdot \cos^2 I$ , respectivamente.

O outro efeito de campos elétricos está mostrado na Fig. 4b. O campo elétrico causa um movimento da ionosfera na direção perpendicular ao campo magnético com velocidade  $\underline{V}$ , cujas componentes horizontal e vertical são, respectivamente,  $\underline{V} \sin I$  and  $\underline{V} \cos I$ .

Outro ponto muito importante que temos que ter em mente quando analisarmos os efeitos ionosféricos é a polaridade da componente norte-sul do campo magnético interplanetário  $B_z$ . Queremos dizer o seguinte, sem entrar em muitos detalhes das teorias que estão por detrás desses mecanismos que são muito complexas e que fogem ao escopo deste trabalho, quando  $B_z$  se torna negativo há um forte acoplamento de energia entre o meio interplanetário e a magnetosfera terrestre. Nesse momento o índice AE apresenta fortes perturbações devido às fortes correntes auroras que se formam a partir desse instante. Por outro lado, quando  $B_z$  se torna positivo, ocorre o contrário: diminui o acoplamento do meio interplanetário com a magnetosfera. Portanto, podemos resumir o que dicemos acima no seguinte:





Bz se torna negativo: Existe forte transferência de energia do meio interplanetário para a região auroral, resultando em fortes correntes elétricas na região E equatorial.  
 Bz se torna positivo: Reduz-se a transferência de energia entre o meio interplanetário e a magnetosfera..

Por outro lado o índice Dst é muito importante também. Ele representa a variação média da componente horizontal **H** do campo geomagnético em nível de solo, durante as tempestades magnéticas. A tempestade é registrada como uma forte queda deste índice, conforme pode ser notado nas Figuras 5 a 10 deste trabalho, seguida pela recuperação (*recovery phase*), ou seja, uma excursão positiva do valor de Dst.

Os resultados experimentais aqui concernentes serão analisados na seção seguinte à luz dos conceitos acima citados.

#### 7.4 Resultados obtidos

Em seguida mostraremos caso a caso os resultados obtidos. Os resultados obtidos em relação aos efeitos das tempestades magnéticas na região F são mostrados abaixo, discutindo as Figuras 5-10, uma a uma. Nela podemos ver claramente os desvios dos dados dos dias analisados (representados por pontos) em relação à média dos dias quietos (veja a metodologia). Dessa forma analisaremos a seguir os efeitos encontrados, relacionando-os, tanto quanto possível, com as perturbações geomagnéticas representadas pelos índices AE (índice de atividade auroral), Dst (variação do campo magnético na região de baixas latitudes magnéticas) e Bz (componente norte-sul) do campo magnético interplanetário obtido pelo satélite ISEE3.

As setas brancas apresentadas nas Figuras representam o hora da detecção pelo satélite ISEE3. As setas negras representam os instantes em que a componente norte-sul do campo magnético interplanetário Bz, passa aproximadamente pelo nível de -10 nT. Tais setas servirão apenas para dar uma idéia dos instantes em que as variações de Bz se tornam mais críticas; tais referências, entretanto serão de utilidade limitada nas discussões abaixo, já que as variações ionosféricas a serem estudadas são também função de fenômenos que aparecem nas outras duas curvas geomagnéticas, isto é, Dst e AE.

##### I. 26-29 de agosto 1978 (Figura 5)

Em primeiro lugar, notar que nesse dia a ionosfera se mostrou quase que não perturbada, até o momento em começaram a aparecer as bruscas variações do índice AE. Este foi o caso do primeiro dia (26/8/78) onde podemos ver na Figura 5 o comportamento quiescente, ou quieto, da ionosfera.

I.i A ionosfera sofre uma fortíssima subida das 20:00 HL (hora local) sucedendo-se a uma brusca inversão da polaridade de Bz, ocasião em que acontece uma forte transferência de energia do meio interplanetário para a magnetosfera terrestre (veja item 7.3).

I.ii A subida descrita acima causou o aparecimento do traço F-espalhado (*spread-F*) cujo intervalo de duração está representado por retângulos logo abaixo do primeiro gráfico ( $h'F$  no



topo da Figura). Tal fenômeno costuma ocorrer durante as subidas da região F em cujo caso tratou-se de uma subida perturbada.

I.iii Uma forte subida é patente nas primeiras horas do dia 29. Note-se que no momento dessa subida ( $h'F$ ) não houve inversão de polaridade significativa de  $B_z$ , o que os faz crer que o efeito observado foi consequência dos ventos termosféricos e não de uma penetração de campos elétricos, como o caso anterior.

I.iv. O aumento de  $foF_2$  por volta das 1000HL do dia 29 possivelmente deve-se ao efeito fonte, ou seja, ou plasma ionosférico que é impelido para cima, na região do equador, e que cai em Cachoeira Paulista algumas horas mais tarde, resultando no aumento da frequência crítica da camada F ( $foF_2$ ).

## II. 28-30 de setembro de 1978 (Figura 6):

A ionosfera pouco se perturbou no primeiro dia. A tempestade ocorreu no segundo dia por volta das 0300LT quando ocorreu uma brusca inversão de polaridade de  $B_z$ , que se tornou negativa. A ionosfera respondeu com uma clara subida possivelmente causada pela penetração de campos elétricos aurorais na região de Cachoeira Paulista, dada a simultaniedade dos dois fenômenos, isto é, aparecimento de  $B_z=0$  e a subida da ionosfera.

É interessante notar como a ionosfera ficou quieta no terceiro dia, concomitante com a quietude no comportamento de AE e Dst.

## III. 28-30 de março de 1979 (Figura 7)

O índice AE apresentou-se fortemente perturbado durante os dois primeiros dias, associado às pequenas excursões negativas de  $B_z$ .

III.i A subida da ionosfera é claramente inibida por volta das 1800 HL. Tal inibição se deve ao aparecimento de campos elétricos zonais dirigidos de leste para oeste causados por ventos termosféricos perturbados.

III.ii A ionosfera sobe novamente por volta das 2200LT do dia 29 e também por volta das 0300 HL do dia seguinte. Ambas subidas são causadas por campos elétricos zonais dirigidos de oeste para leste associados à perturbação.

## IV. 2-4 de abril de 1979 (Figura 8)

A tempestade começou no dia 3, com uma forte queda na amplitude de Dst. Notar que antes do início dessa queda, no dia anterior, notamos uma forte subida da amplitude de AE associada com uma simultânea inversão de  $B_z$  para negativo. A subida de AE durante a queda de Dst e inversão da polaridade de  $B_z$  é bem óbvia. O resultado dessa tempestade é visível na brusca subida da ionosfera nas primeiras 6 horas do dia 4 associadas à ação dos ventos termosféricos perturbados que sucederam à drástica transferência de energia do meio interplanetário para a região auroral.

Notar que a subida de altura da ionosfera foi suficientemente forte para causar o fenômeno F-espalhado (retângulo acurado que aparece nas primeiras seis horas do dia 4/4/79) num período em que raramente ocorre esse fenômeno, conforme pode ser visto nesta mesma figura e também nas outras figuras congêneres aqui apresentadas.



### 27-29 de agosto de 1979 (Figura 9)

A tempestade magnética começou a ocorrer no terceiro dia. Simultaneamente com a excursão negativa de Bz podemos observar uma dramática subida da ionosfera. Isso deixa claro que se trata de um efeito de penetração de campos elétricos da zona auroral para a região de baixa latitude de Cachoeira Paulista.

Nos dois primeiros dias a ionosfera mostrou-se quieta devido à reduzida atuação do meio interplanetário, não obstante a existência de uma série de excursões de pequena amplitude de Bz e de AE.

### 17-19 setembro de 1979 (Figura 10):

A tempestade começou claramente no primeiro dia, simultaneamente com uma brusca excursão negativa de Bz, resultando num depósito considerável de energia na região auroral traduzido pelo brusco aumento do índice AE. A camada ionosférica subiu de forma clara por volta do início da tempestade, dando início ao processo de formação do fenômeno F-espalhado que durou o resto da noite e foi até aproximadamente às 600LT do dia seguinte.

Variações na região E: As figuras 11-16 mostram o comportamento dos diversos parâmetros da região E onde vê-se notória a pouca resposta dessa região às tempestades magnéticas. Por essa razão pouco nos deteremos em sua discussão cujo interesse fica obscurecido pelos fortes efeitos ocorridos na região F acima discutidos. Entretanto, o fato de se ter observado poucos efeitos na região é já vale como resultado. A explicação para esse fato possivelmente reside na maior resposta do mecanismo dínamo da região F às bruscas variações geomagnéticas.

## 8. Outras atividades de apoio à pesquisa

Durante esta pesquisa pude também desenvolver algumas atividades extras de escaneamento de imagens de equipamentos de Cachoeira Paulista. Este processo pôde ser realizado utilizando-se um scanner colorido de 600 dpi (pontos por polegada) emprestado pela divisão de Geofísica Espacial do INPE. D

## 9 ♦ Conclusões

Conforme exposto no relatório preliminar, o meu trabalho se concentrou pesadamente na redução de dados de ionossonda, para os estudos dos efeitos das tempestades magnéticas na ionosfera da região de Cachoeira Paulista. No relatório final foram introduzidos os gráficos dos parâmetros Dst (corrente elétrica no cinturão de radiação de Van Allen), Bz (campo magnético interplanetário obtido pelo satélite ISEE3) e AE (índice de atividade auroral)

1. Quanto aos estudos do campo geomagnético para as localidades de São Luís, Fortaleza, Cachoeira Paulista, São José dos Campos, Santa Maria e Tucumán, para a altura de 100 km, concluímos o seguinte:

1.1 No período entre 30/12/75 e 30/12/95 a maior variação da declinação do campo geomagnético (ângulo que o campo geomagnético faz com o norte geográfico) ocorreu na



cidade de Tucumán, Argentina, apresentando uma variação total de cerca de  $-3.06^\circ$ . A menor variação correspondeu a Fortaleza.

1.2 No período citado no item anterior a maior variação da inclinação do campo geomagnético ocorreu em Fortaleza, variando um total de  $-7.23^\circ$ . A menor variação correspondeu Tucumán.

1.3 Uma comparação entre os itens 1.1 e 1.2 constatamos um fato interessante: Fortaleza e Tucumán se invertem quanto ao máximo e mínimo das variações consideradas.

1.4 No período citado no item 1.1 notou-se uma tendência de haver menores variações da inclinação do campo geomagnético, com o aumento de latitude.

1.5 O equador magnético estava na localidade de São Luís, por volta de 30/12/94.

1.6 Nossos estudos mostraram que Fortaleza ficou localizada no equador magnético no ano de 1968.

1.7 O efeito dos ventos termosféricos variam com a inclinação e a declinação do campo geomagnético terrestre. Dessa forma, Fortaleza e Tucumán apresentaria os maiores efeitos quanto aos efeitos dos ventos termosféricos, considerando-se, respectivamente, a inclinação e a declinação para aquelas duas localidades.

É importante lembrar que escolhemos a altura de 100 km para os estudos do campo geomagnético aqui concernentes devido à importância dessa altura para os estudos da dinâmica da ionosfera na região de baixa latitude. mais especificamente. Em torno dessa altura circula o eletroto equatorial, que consiste numa corrente elétrica que flui ao longo do equador geomagnético.

2. Quanto aos efeitos das tempestades magnéticas em Cachoeira Paulista, foram observados diversas perturbações na camada F noturna conforme mostra a variação temporal dos parâmetros ionosféricos  $h'F$  (altura da base da camada F),  $h'F3$  (altura do traço em 3 MHz) e  $h_pF2$  (altura do pico da camada F. e em relação às médias dos dias quietos, nas Figuras 5-10. A metodologia aqui utilizada consistiu em comparar os parâmetros ionosféricos da região F acima citados, com uma média dos dias quietos. Portanto, as perturbações, ou grandes desvios da tais que aparecem nas Figuras 5 a 10 (representados por pontos) se sobressaem claramente em relação à média dos dias mais quietos (linha contínua).

Por outro lado, a região E praticamente não apresentou variações em função das tempestades magnéticas (Figuras 11-16). Isso possivelmente se explique devido ao fato de que o dínamo da região F noturna responde muito mais aos campos elétricos perturbados do que a região E (Sobral et al., 1997).

*Agradecimentos:* Agradecemos o Dr. W. B. González (INPE), a Dra. Alicia Gonzales (INPE) e o Dr. Bruce T. Tsurutani (*California Institute of Technology/Jet Propulsion Laboratory*) que atenciosamente nos forneceram os dados de Bz obtidos pelo satélite científico ISEE3, AE e Dst.





## Referências

ABDU, M. A. ; SOBRAL, J. H. A. ; RICHARD, P.; de GONZALEZ, M.M.; HUANG, Y.N.; REDDY, B.M.; CHENG, K.; SZUSZCZEWICZ, E. P. and BATISA, I. S. "Zonal/meridional wind and disturbance dynamo electric field control of the low latitude ionosphere during the SUNDIAL/ATLAS-1 campaign". J. Geophys. Res.; aceito, 1996a.

ABDU, M. A. ; SASTRI, M. A. ; MAC-DOUGALL, J.; BATISTA, I. S.; SOBRAL, J. H. A. . Equatorial Disturbance Dynamo Electric Field, Longitudinal Structure and Spread: a Case Study from GUARA/EITS Campaigns". Geophys. Res. Lett., submitted, 1996b.

ABDU, M. A. ; BATISTA, I. S.; SOBRAL, J. H. A. ; MURALIKRISHNA P. Equatorial spread F. Instability Conditions from Spaced Ionosonde Measurements". Adv. Space Res., in press, 1996c.

ABDU, M. A. ; SOBRAL, J. H. A. ; RICHARD, P.; de GONZALEZ, M.M.; HUANG, Y.N.; REDDY, B.M.; CHENG, K.; SZUSZCZEWICZ, E. P. and BATISA, I. S. "Zonal/Meridional Wind and Disturbance Dynamo Electric Field Control of the Low Latitude Ionosphere based on the SUNDIAL/ATLAS-1 Campaign". J. Geophys. Res., vol. 101, no. A12, 26729-26740, 1996d.

NASCIMENTO, A. B., Relatório Final de Bolsa IC, 1995.

SZUSZCZEWICZ, E. P. ; WILKINSON, P. ; SWIDER, W. ; PULINETS, S. ; ABDU, M. A. ; ROELOF, E. ; FULLER-ROWELL, T. ; BATEMAN, T. ; BLANCHARD, P. ; FOSTER, J. ; GUSTAFSSON, G. ; LESTER, M. ; REDDY, B. M. ; ROUHONIEMI, R. ; SANDS, M. ; SOBRAL, J. H. A. ; WALKER, G. O. ; WICKWAR, V. "Measurements and Empirical Model Comparison of F-Region Characteristics and Auroral Oval Boundaries During the Solstitial SUNDIAL Campaign of 1987." Ann. Geophysicae, 11, 601-613, 1993.

SOBRAL, J. H. A. ; ABDU, M. A. ; W. D. GONZÁLEZ; B. T. TSURUTANI; I.S. BATISTA "Effects of Intense Storms and Substorms on the Equatorial Ionosphere/Thermosphere System in the American Sector from Ground Based Satellite Data" Aceito. J. Geophys. Res., 1997.

### Modelo do campo geomagnético utilizado:

GEOMAG - *Geomagnetic Field Models and Synthesis Software Version 2.0*, adquirido da NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration- National Geophysical Data Center - World Data Center - A for Solid Earth Geophysics), U.S.A., 1993.

### Legendas das figuras:

Figura 1. Variação da declinação do campo geomagnético (ângulo que o campo geomagnético faz com o norte geográfico), na altura de 100 km, utilizando o modelo GEOMAG/NOAA, no período de 30/12/75 a 30/12/94, para as localidades de São Luís, Fortaleza, Cachoeira Paulista, São José dos Campos, Santa Maria e Tucumán (Argentina).

Figura 2. Variação do ângulo de inclinação do campo geomagnético como plano horizontal, na altura de 100 km, utilizando o modelo GEOMAG/NOAA, no período de 30/12/75 a 30/12/94,



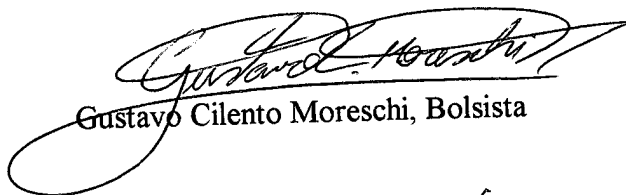
para as localidades de São Luís, Fortaleza, Cachoeira Paulista, São José dos Campos, Santa Maria e Tucumán (Argentina).

Figura 3. Ionogramas obtidos em Cachoeira Paulista no dia 9 de julho de 1983, nos horários indicados. A figura ilustra os parâmetros ionosféricos utilizados neste trabalho  $h'F$  (altura virtual da base da camada F),  $h'F3$  (altura virtual da camada, na frequência de 3 MHz) e  $foF2$  (a frequência de corte ou penetração da camada F). Esses parâmetros foram lidos da forma ilustrada a fim de compor os gráficos das tempestades magnéticas.

Figura 4 a 9. Variação dos parâmetros ionosféricos  $h'F$ ,  $h'F3$ ,  $hpF2$  (altura do traço ordinário medido na frequência  $0,834*foF2$ ) e  $foF2$  para os dias indicados, em Cachoeira Paulista, à luz da média desses mesmos parâmetros durante os dias quietos indicados abaixo e à esquerda da figura. Pode-se facilmente observar nessa figura que o comportamento perturbado desvia-se visivelmente do comportamento quieto.

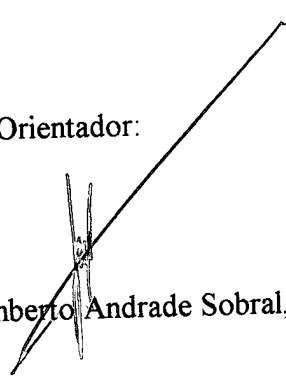
Figuras 10 a 15. O mesmo que as Figuras 4 a 9, porém para os parâmetros ionosféricos da região E, onde  $h'E$ ,  $fxEs$  e  $fbEs$  representam a altura virtual da camada E, frequência de corte da camada E e frequência *blanketing* da camada E, respectivamente.

Assinaturas:



Gustavo Cilento Moreschi, Bolsista

Visto do Orientador:



José Humberto Andrade Sobral, Orientador

17 de Junho de 1997.



# DECLINAÇÃO

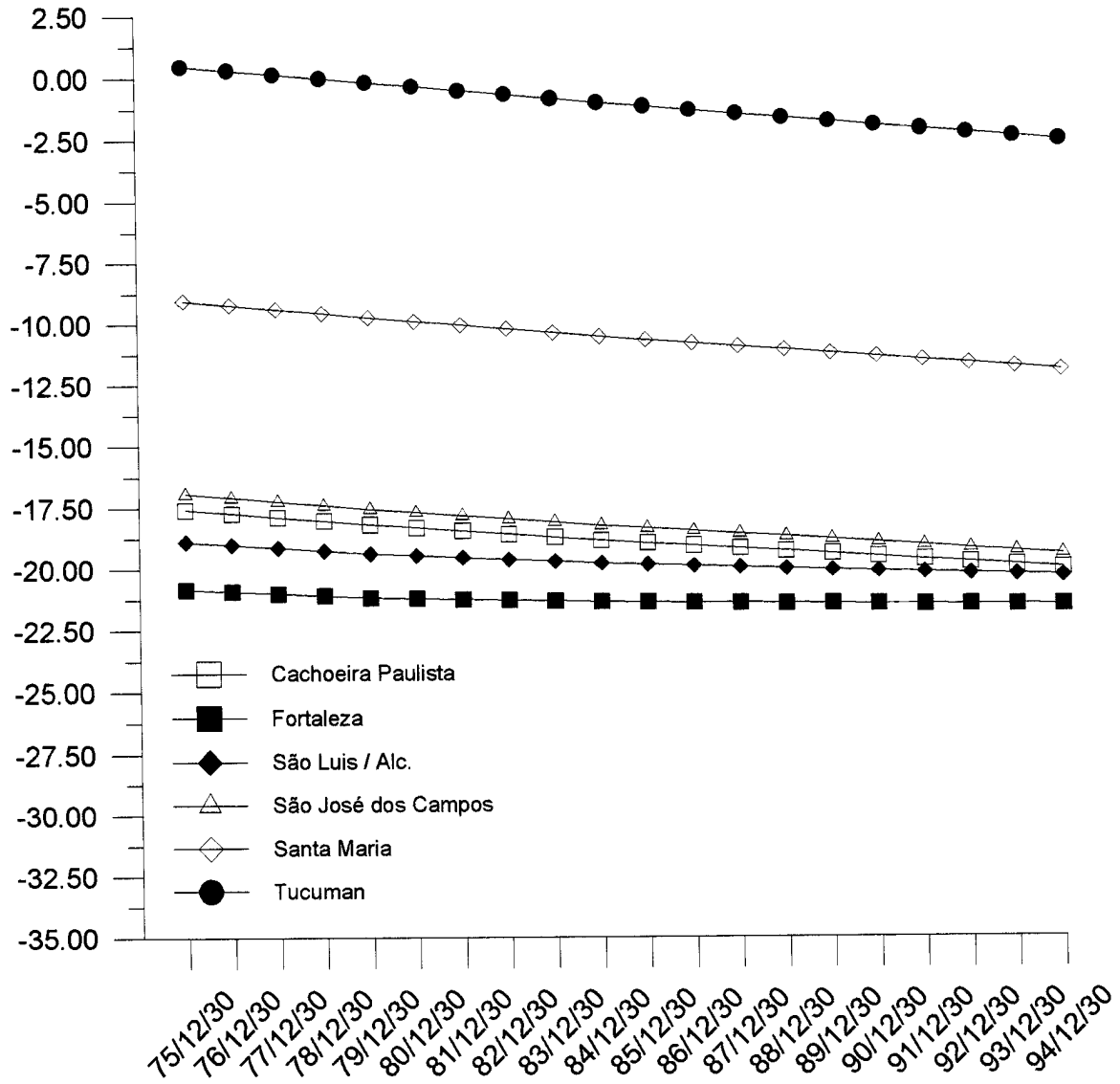


Figura 1



# INCLINAÇÃO

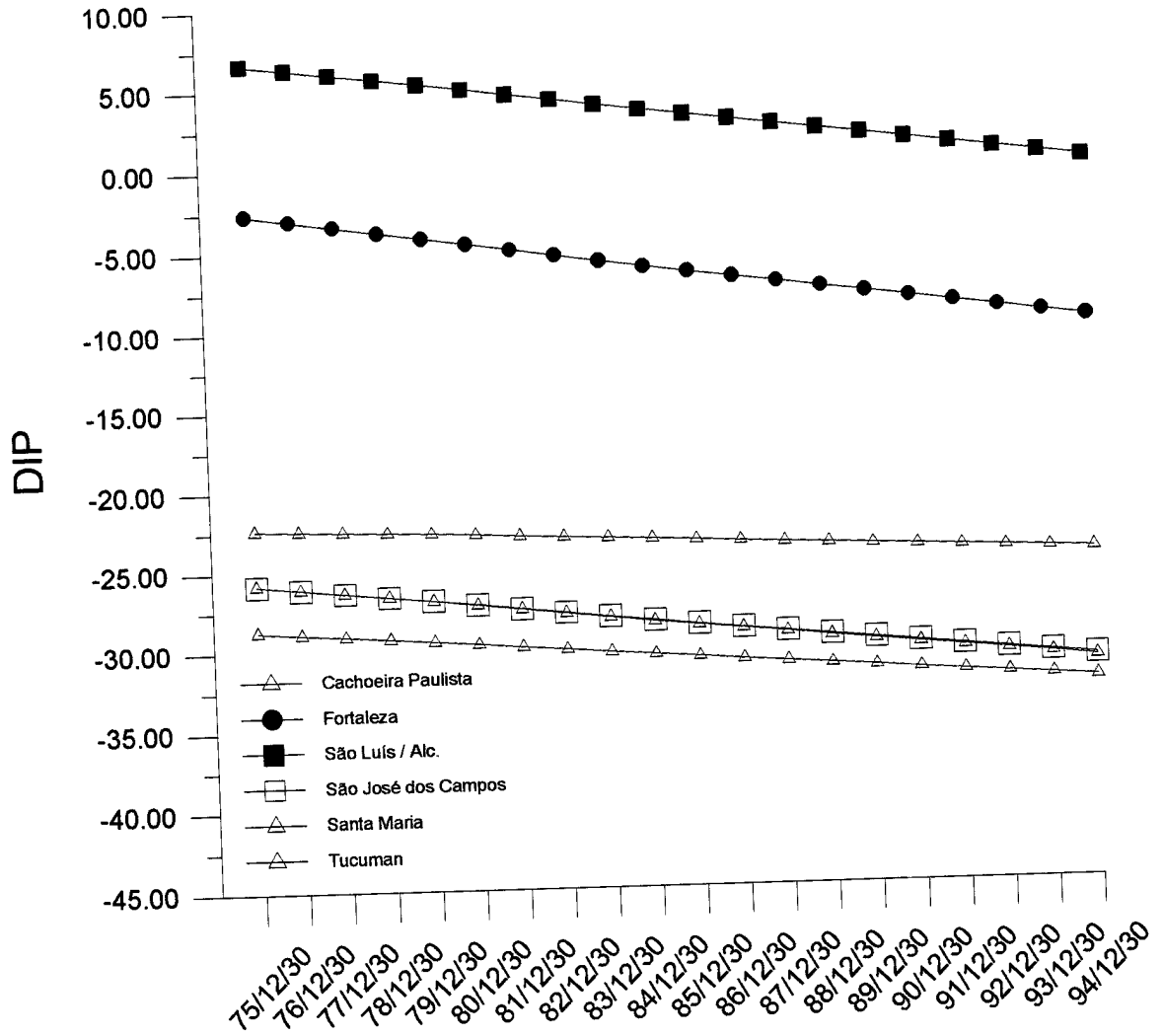


Figura 2





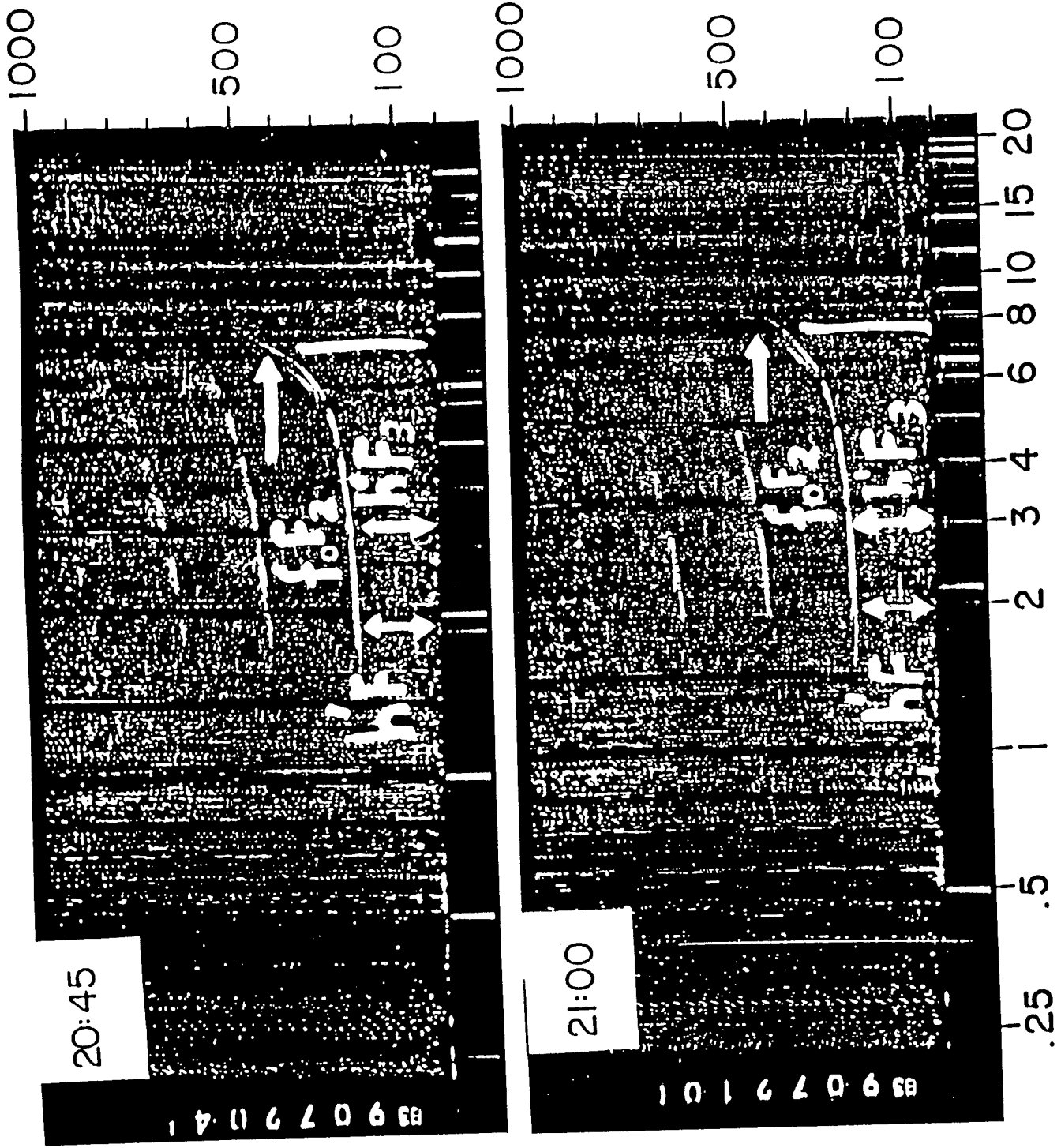


Figura 3



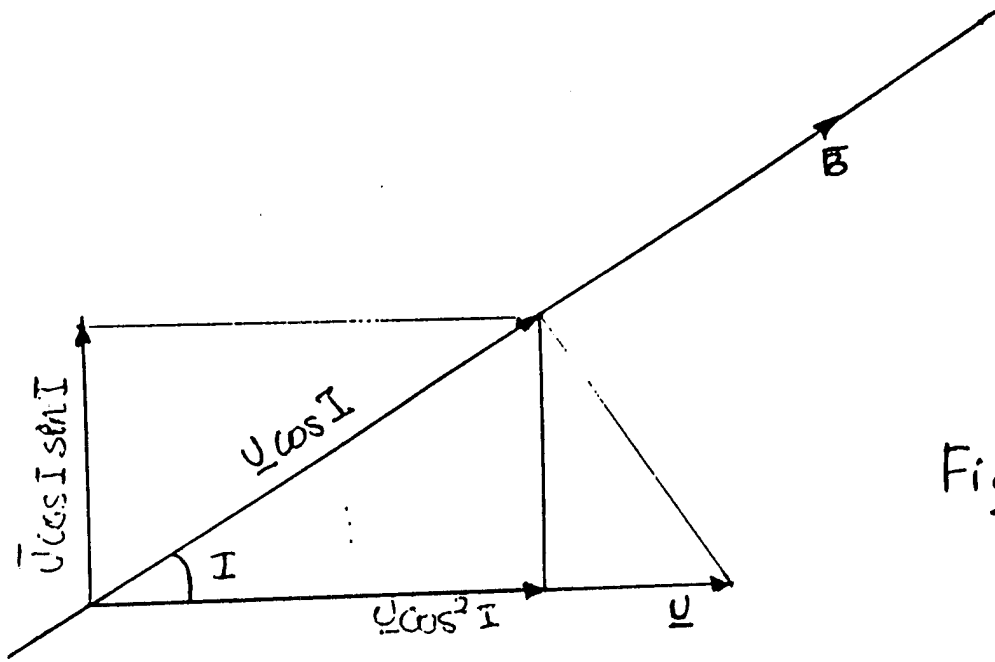


Fig. 4a

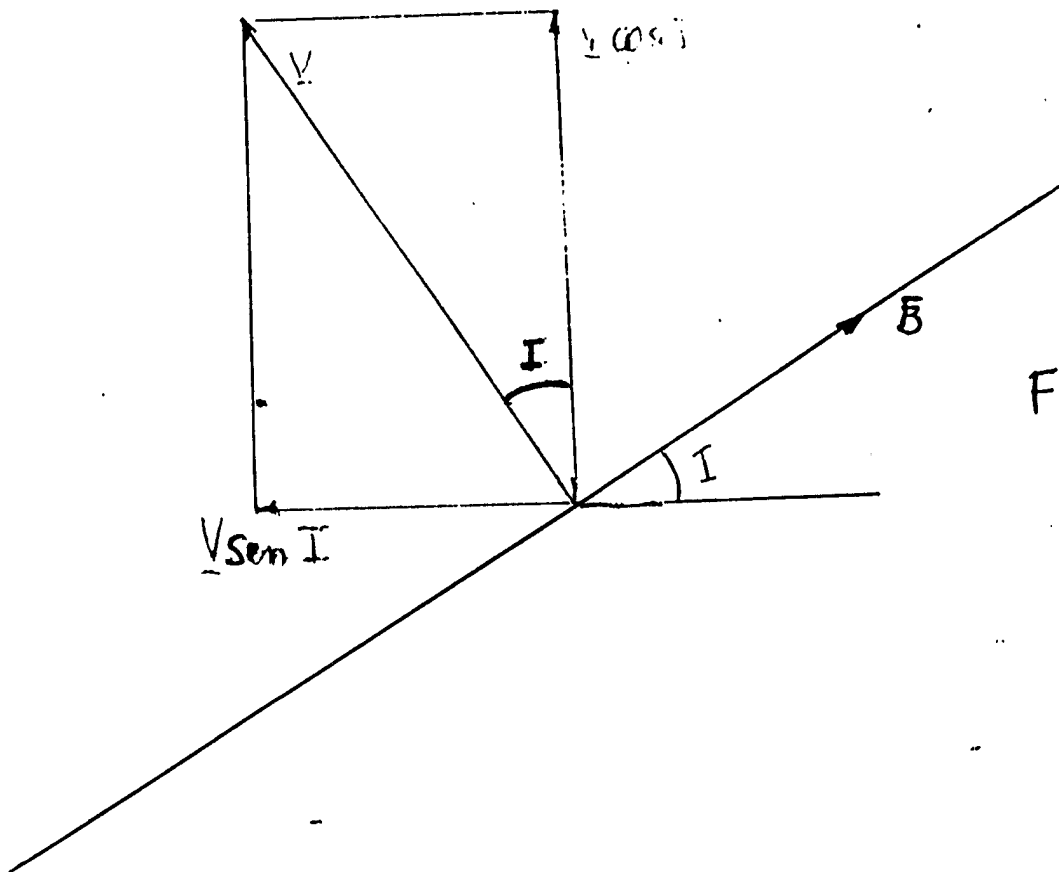


Fig. 4b



CACHOEIRA PAULISTA (26°DIP)

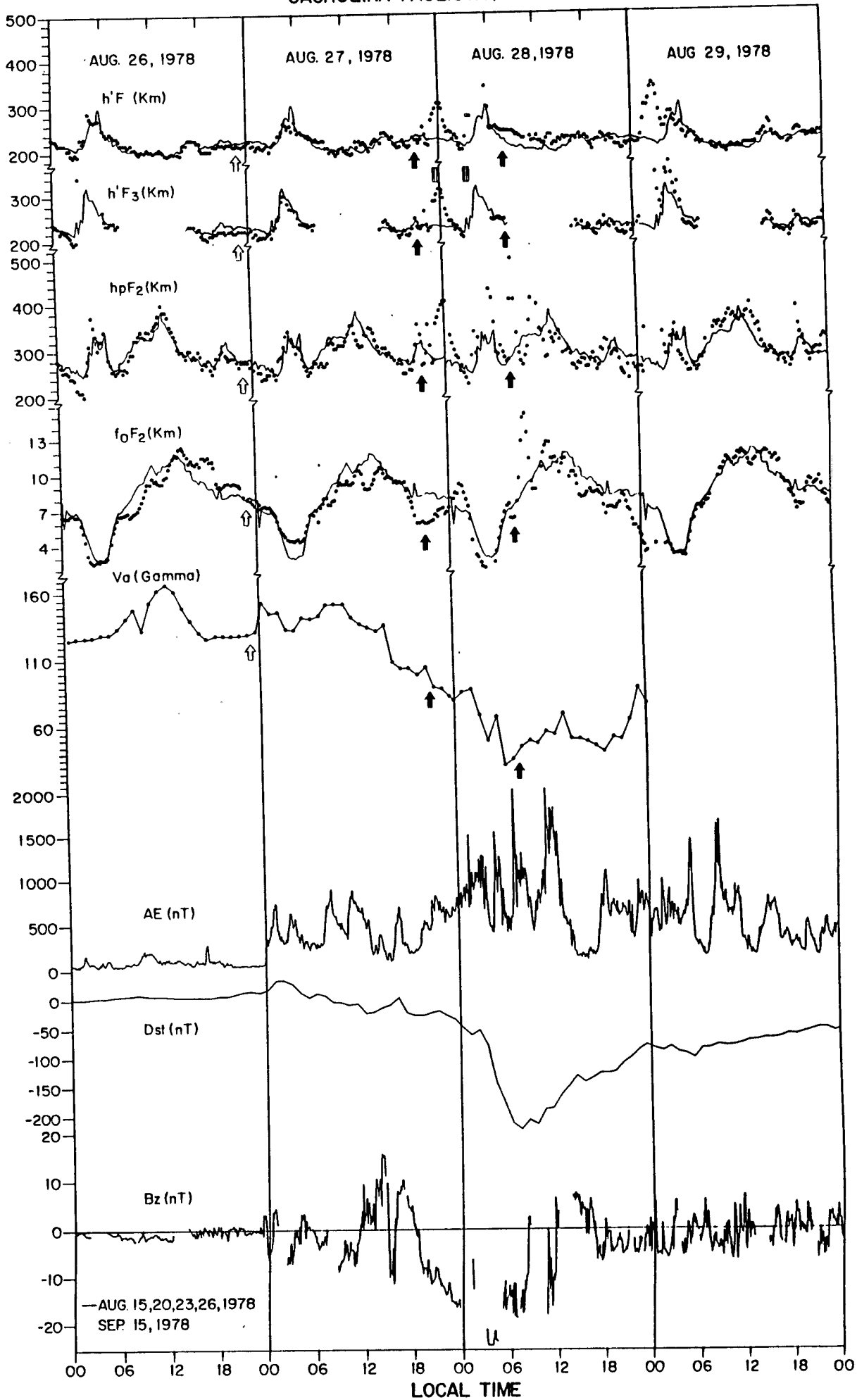


Figura 5



CACHOEIRA PAULISTA (26° DIP)

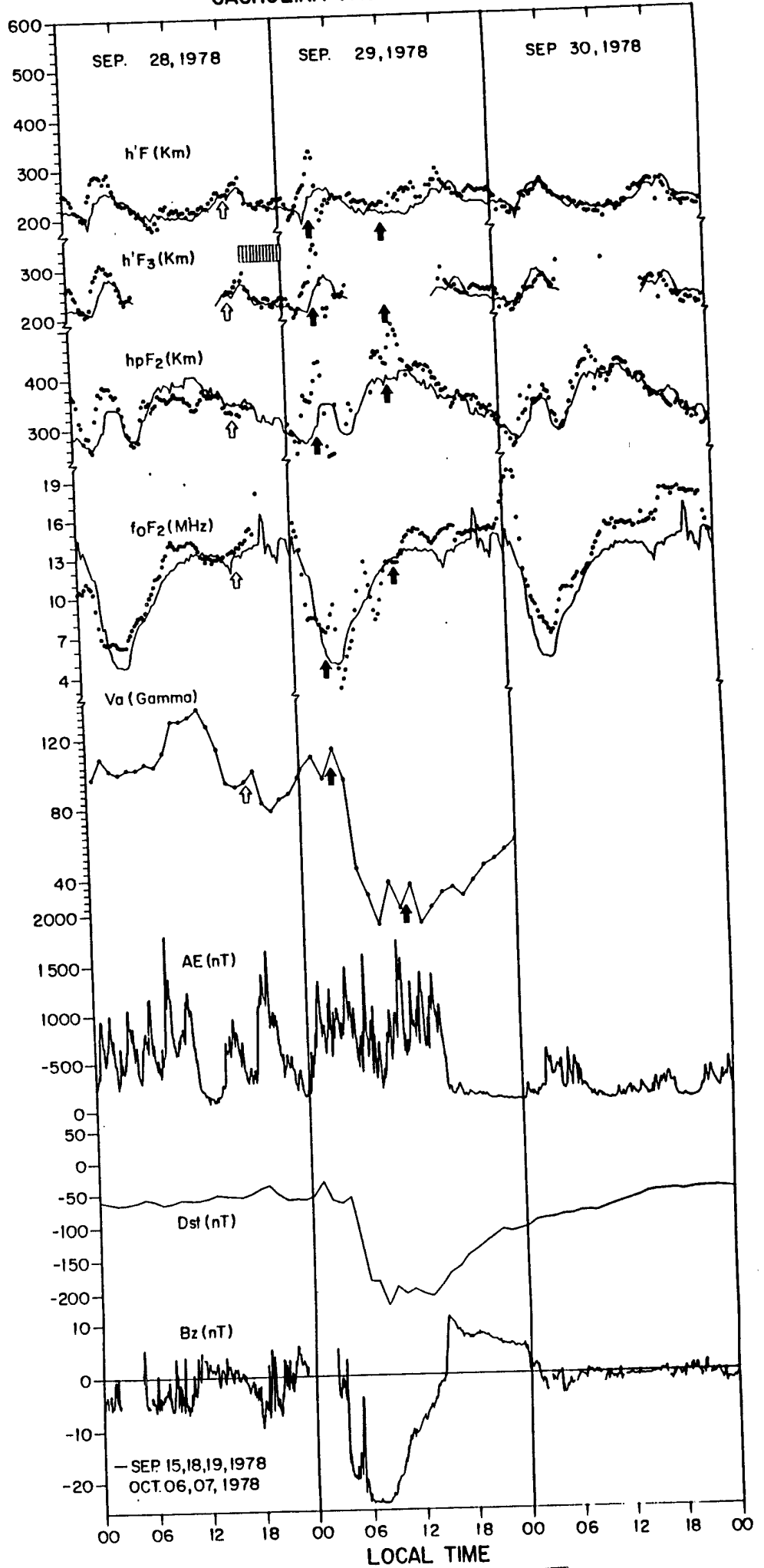


Figura 6





CACHOEIRA PAULISTA (26° DIP)

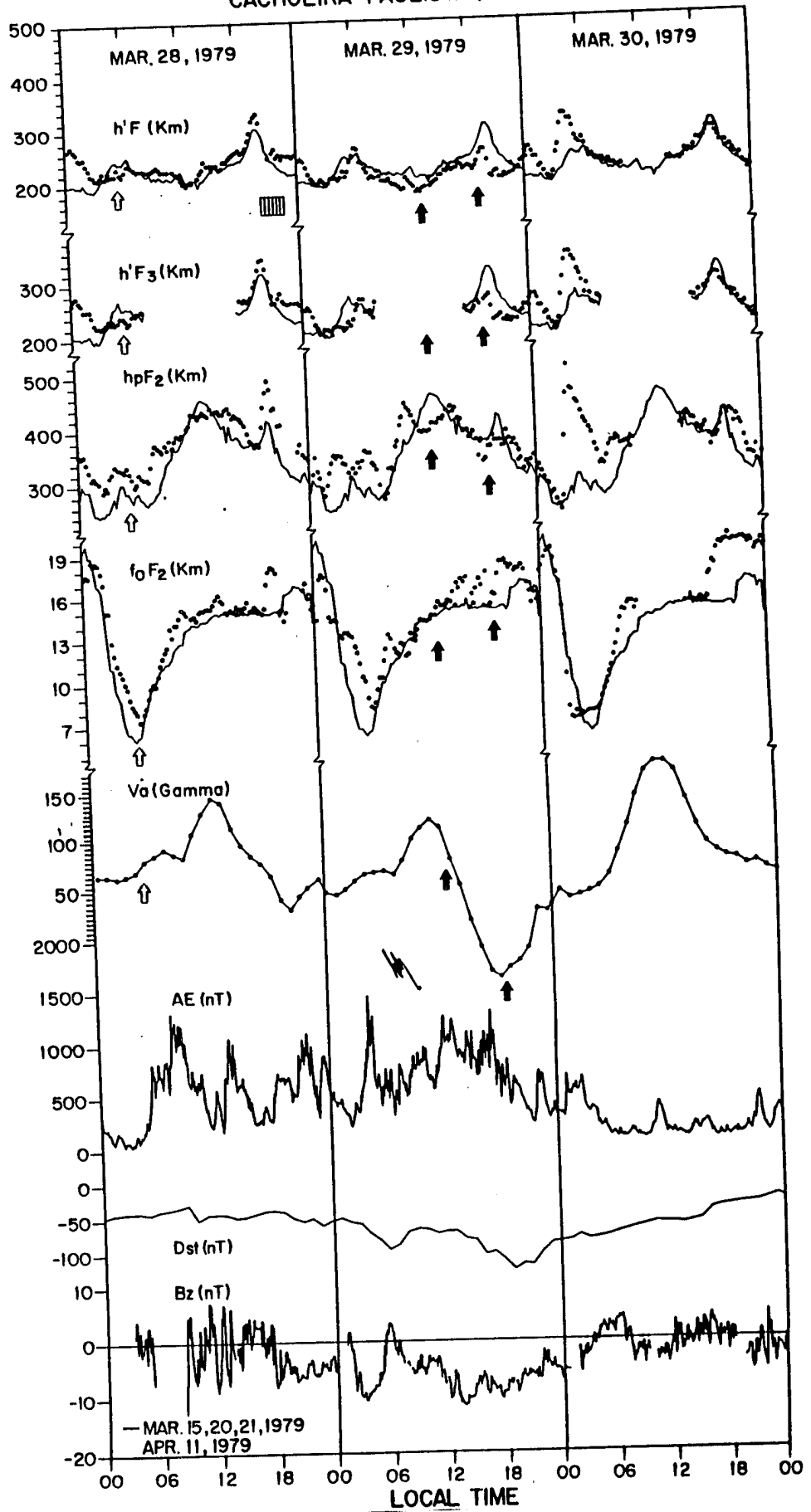


Figura 7



CACHOEIRA PAULISTA (26° DIP)

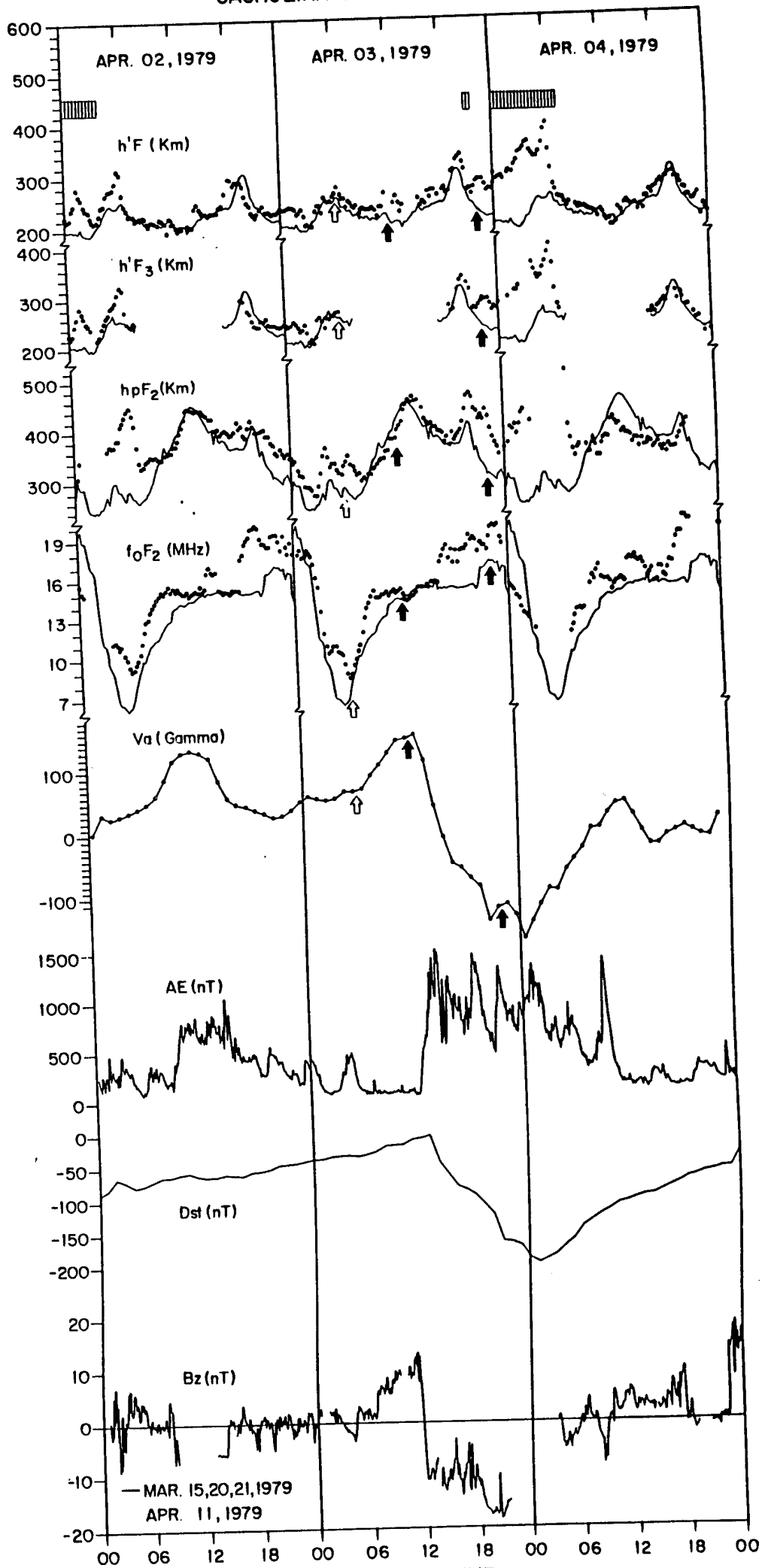


Figura 8



CACHOEIRA PAULISTA (26° DIP)

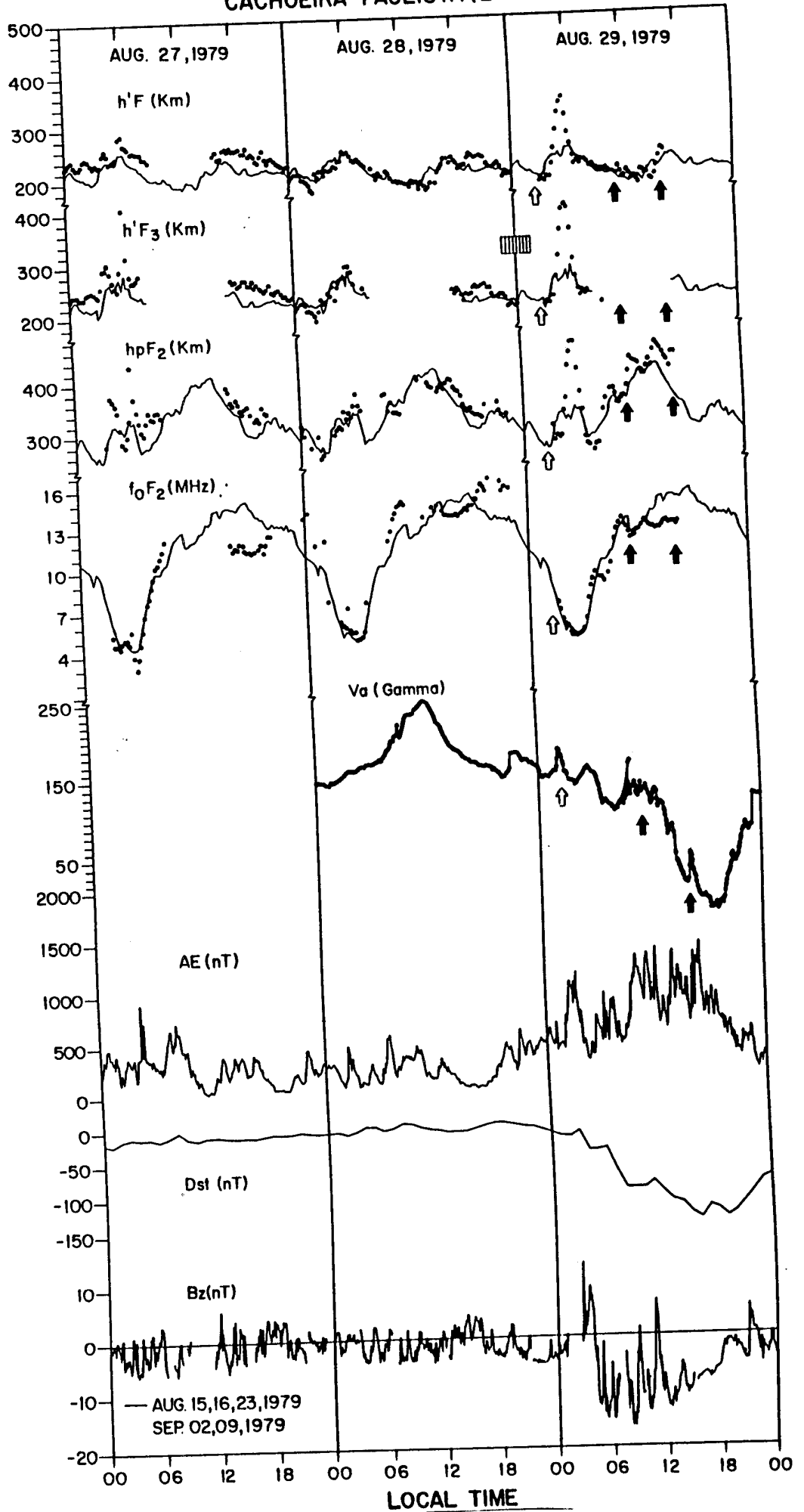


Figura 9



# CACHOEIRA PAULISTA (26°DIP)

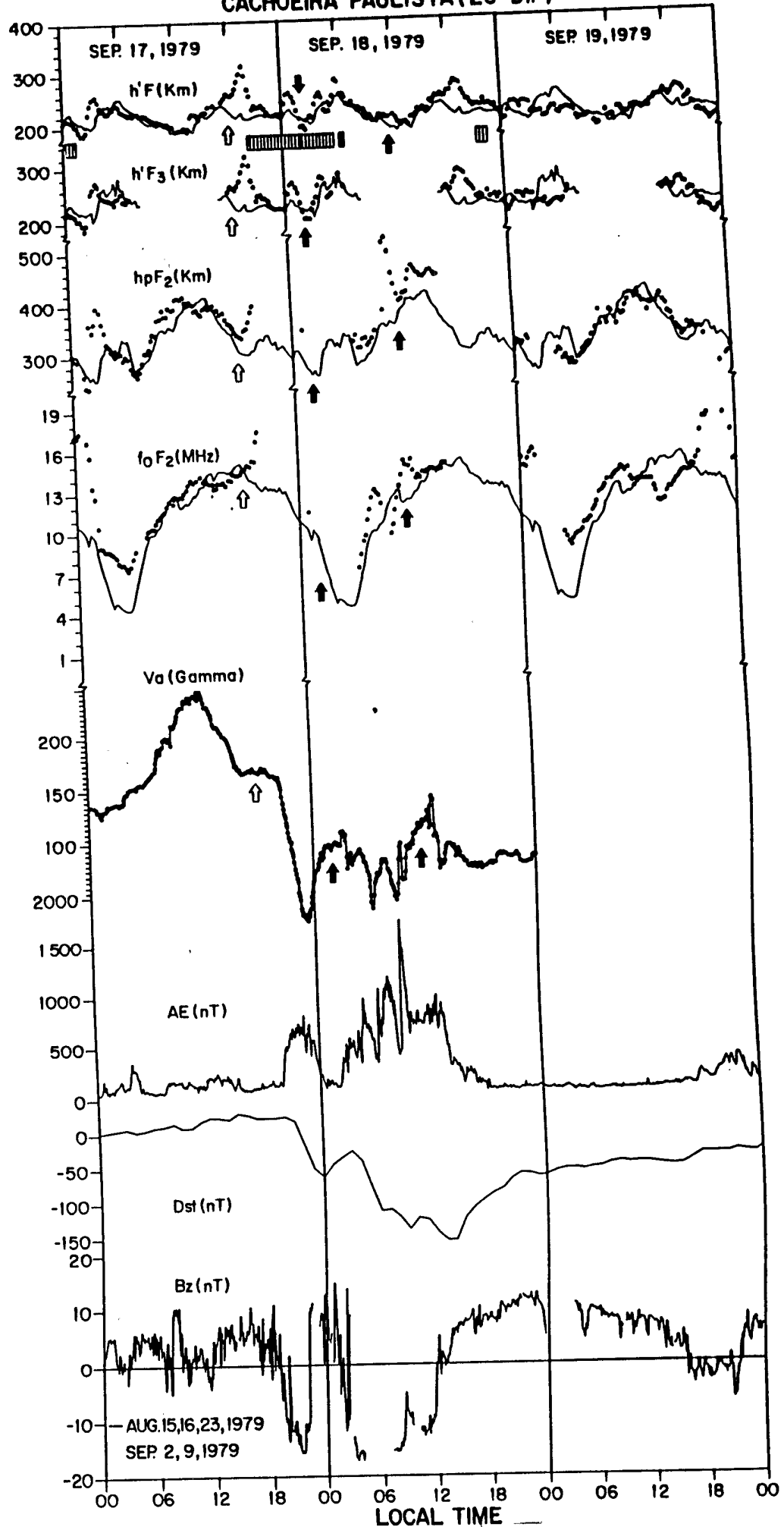


Figura 10





# CACHOEIRA PAULISTA ( 26 ° DIP )

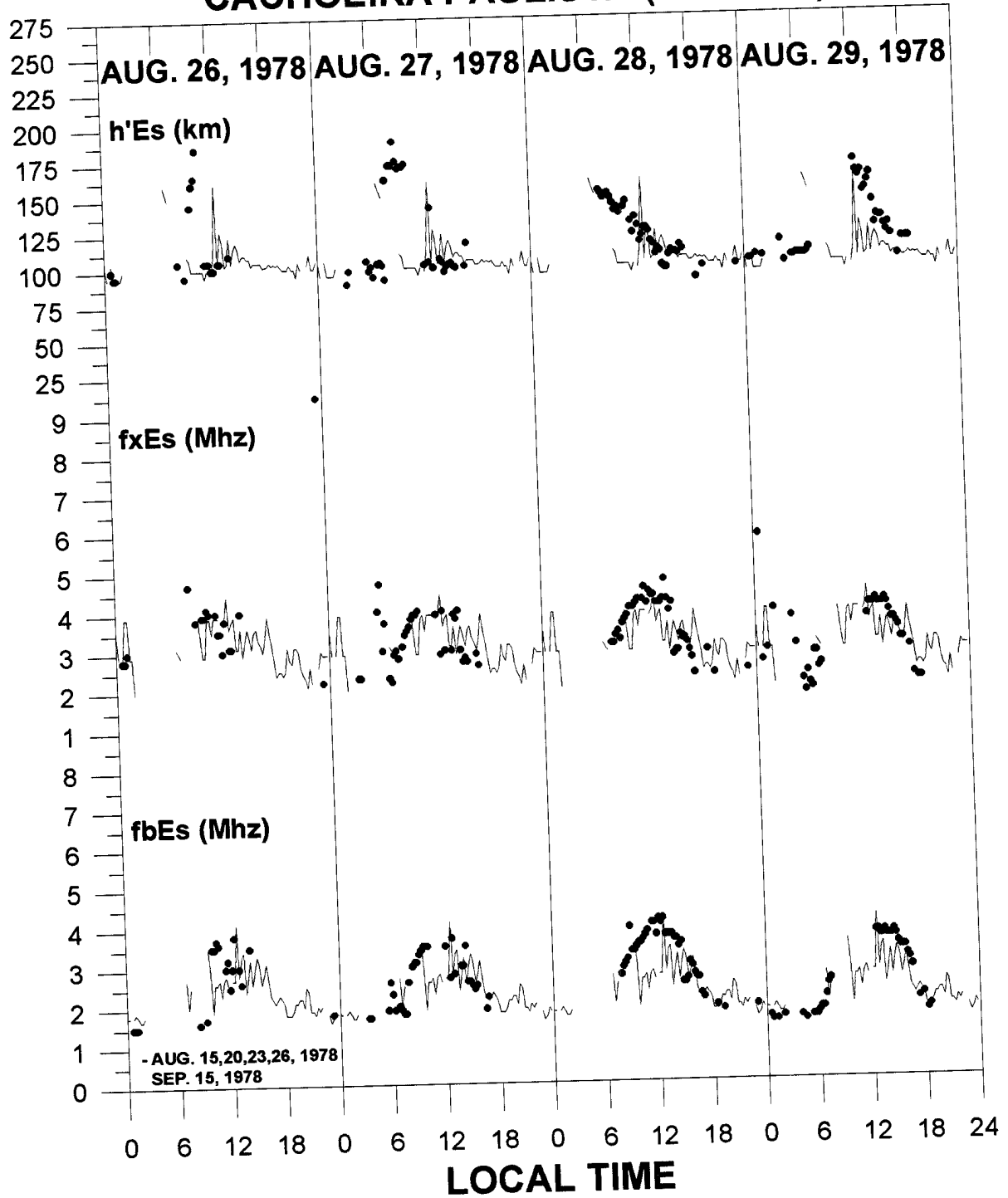


Figura 11



# CACHOEIRA PAULISTA ( 4 ° DIP )

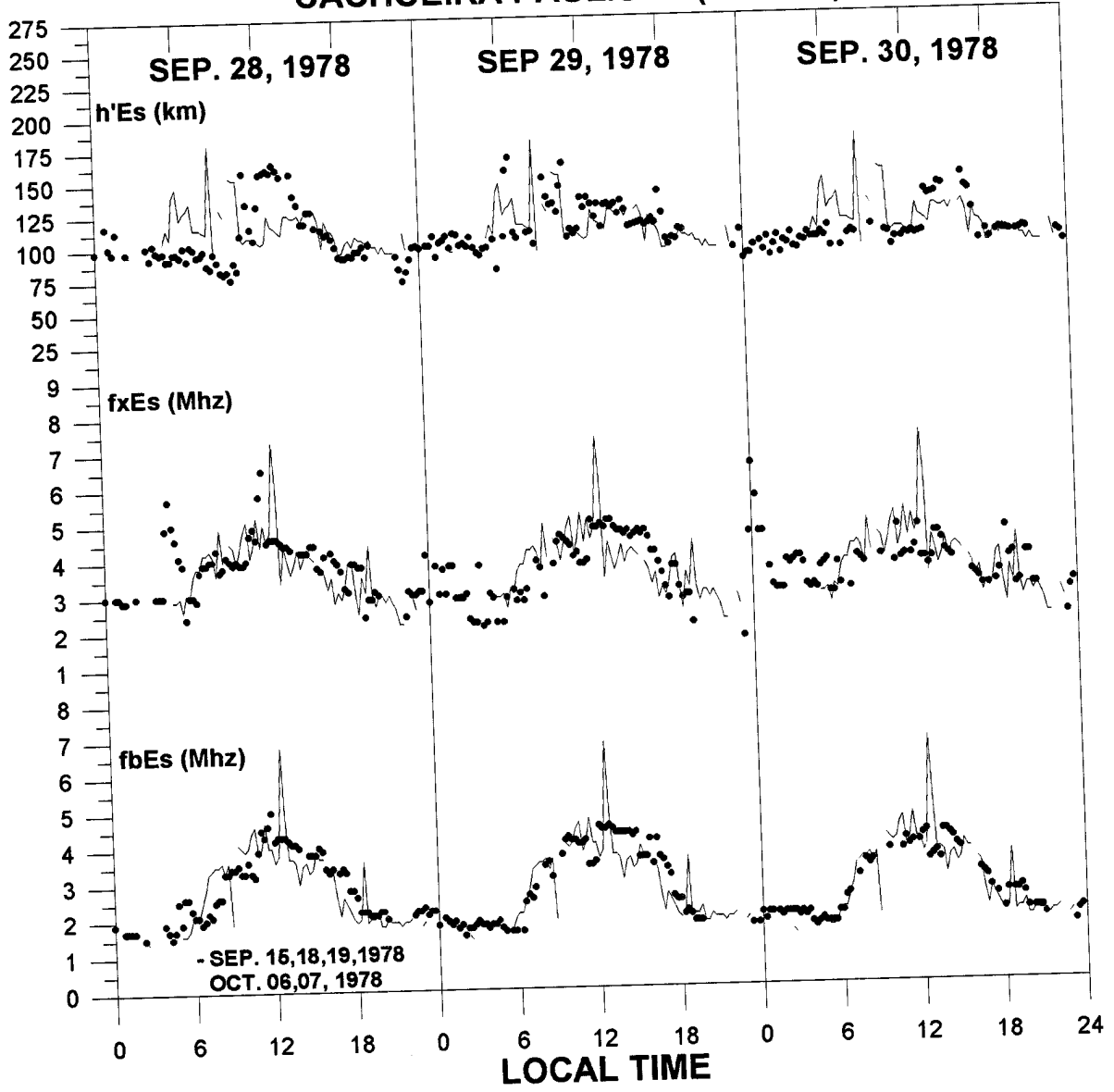


Figura 12



# CACHOEIRA PAULISTA ( 26 ° DIP )

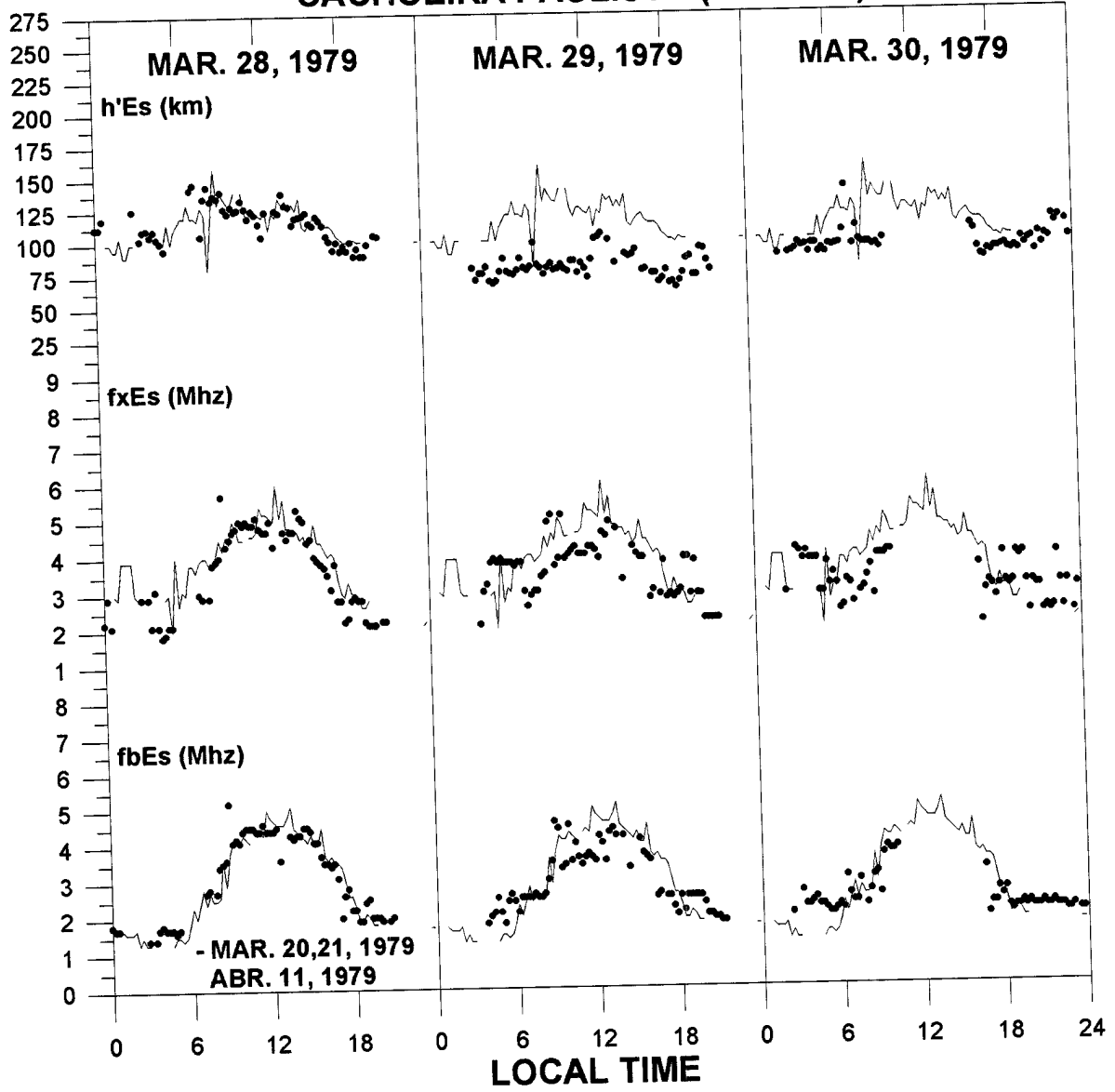


Figura 13



# CACHOEIRA PAULISTA ( 26 ° DIP )

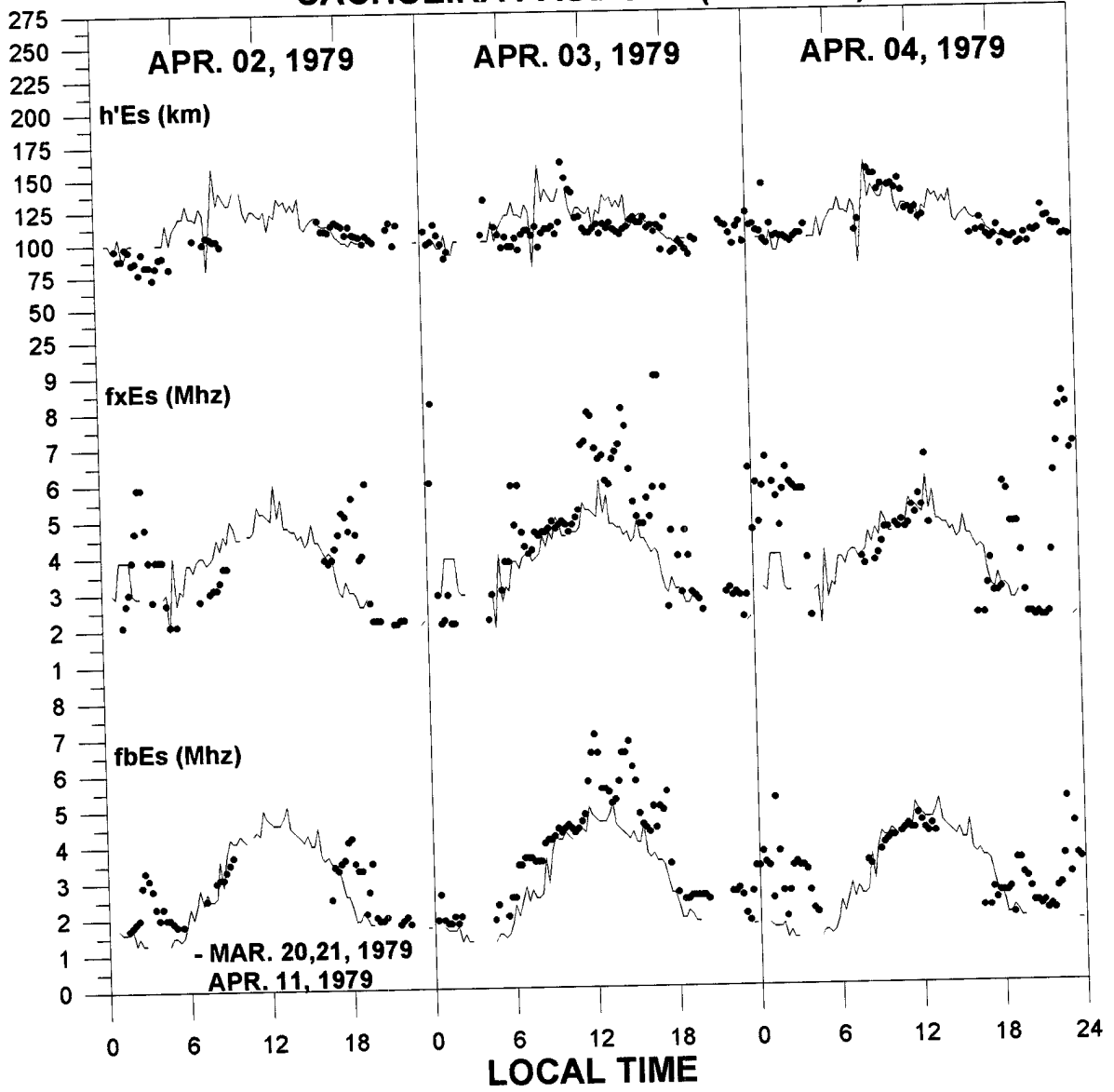


Figura 14





**CACHOEIRA PAULISTA ( 26 ° DIP )**

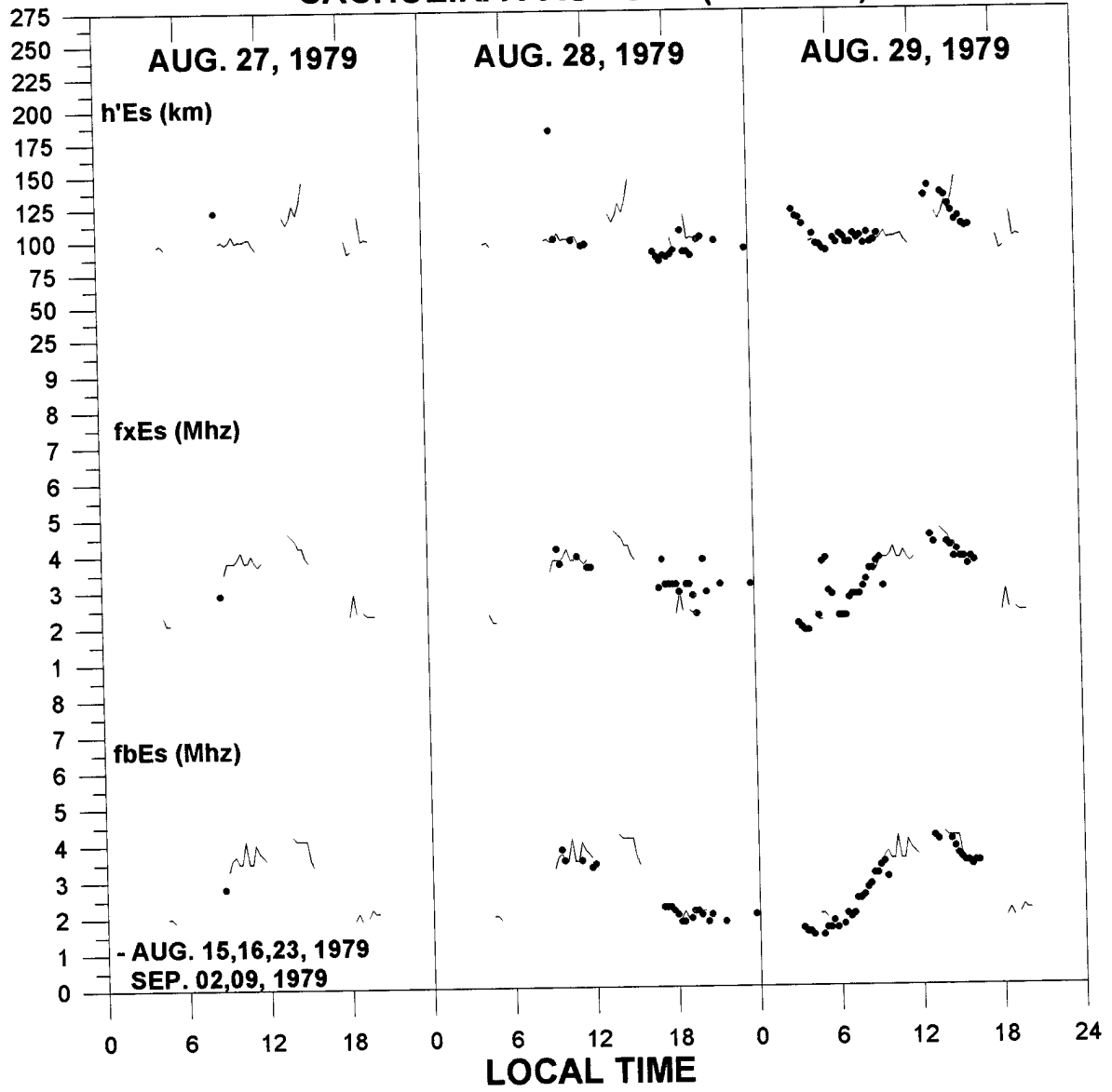


Figura 15



# CACHOEIRA PAULISTA ( 26 ° DIP )

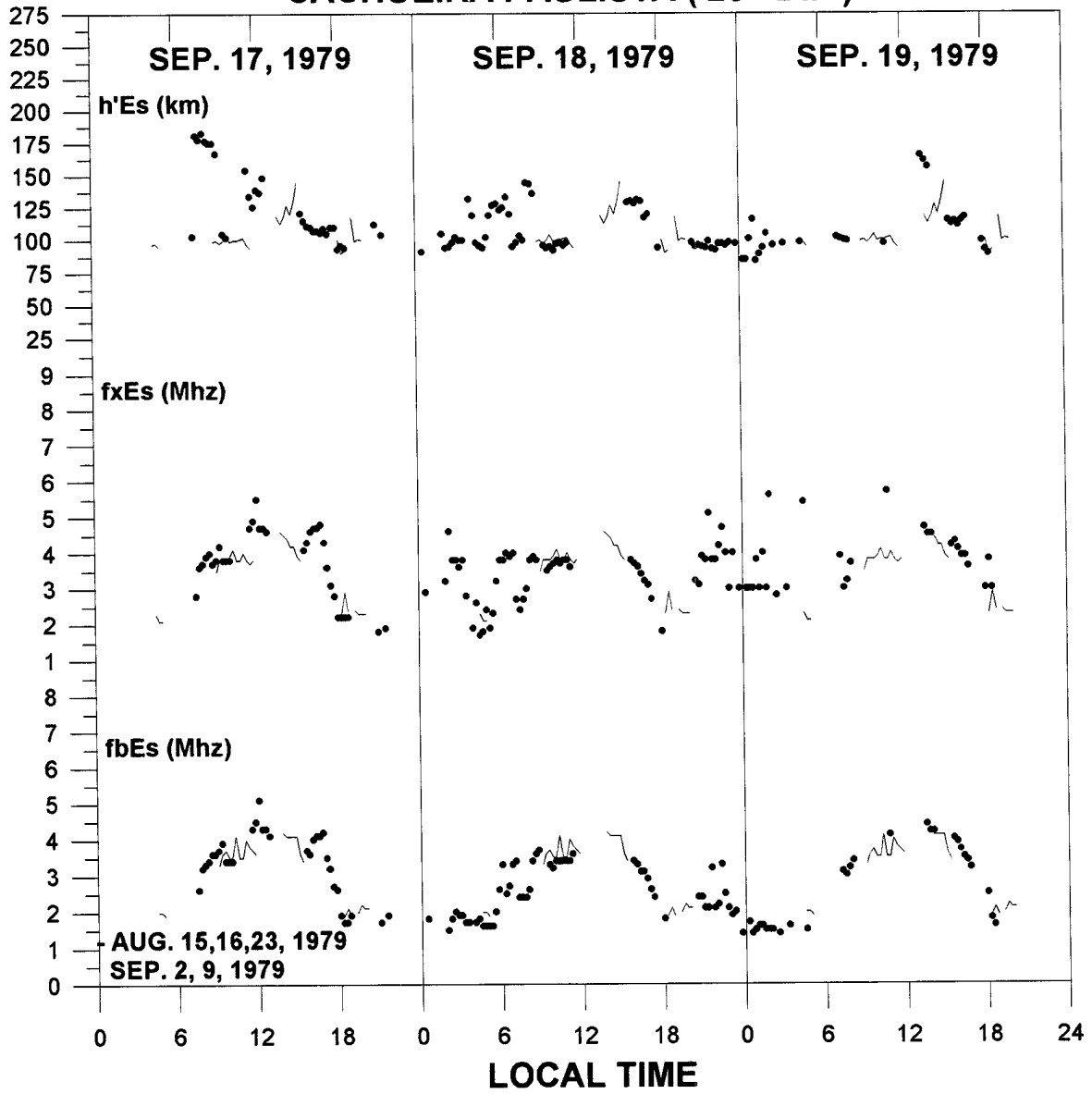


Figura 16

