

# ESTUDO DA DINÂMICA DA IONOSFERA EQUATORIAL

Luciana Maria Crespan

Aluna da Universidade de Taubaté - Bolsa PIBIC/CNPq

Orientador: Dr. Mangalathayil Ali Abdu, Pesquisador, DAE

Foi desenvolvida uma campanha durante o mês de agosto de 1998 em São Luis (Maranhão), nessa campanha foi observado somente as irregularidades eletrojato equatorial, apesar de importantes estudos de espalhamentos poderem ser conduzidos com observações de radar.

O radar é um equipamento desenvolvido para receber ecos de estruturas física da ionosfera equatorial, normalmente é chamado de radar de espalhamento coerente, esse equipamento foi utilizado nesse trabalho. Está localizado no equador magnético e próximo ao centro do eletrojato equatorial. O radar opera na base da faixa do VHF, sendo a frequência de operação 50MHz.

Um fator importante na análise de dados do radar ionosférico de São Luis é o tempo para a sua redução. A velocidade de aquisição dos dados é muito grande, fornecendo uma grande quantidade de dados. Assim, para manter a confiabilidade dos resultados, optamos pela utilização da média dos melhores dados escolhidos. Isso garantiu resultados confiáveis, entretanto, o trabalho de redução ficou bastante demorado.

Apesar do desenvolvimento de ferramentas computacionais, a redução de um dia de dados, isto é, a geração de um mapa diário de variação temporal de intensidade X altura, levou em torno de duas semanas.

Como foi dito anteriormente o grande volume de dados adquiridos necessitou estabelecer uma rotina de trabalho que envolveu desde a seleção dos dados mais representativos até a plotagem de gráficos de evolução temporal da análise espectral para uma altura específica, e gráficos da evolução temporal da intensidade do sinal recebido.

Assim é necessário descrever os passos que foram fundamentais para análise dos dados:

- Primeiramente, executou-se o programa **analonly.exe**, este programa lê os dados gravados na forma bruta em binário e em seguida utiliza a transformada de Fourier para estimar o espectro da potência do sinal retroespalhado pelas irregularidades ionosféricas.
- Usou-se o programa **plotspec.exe** para plotar os dados na tela e verificar cada arquivo de dados, escolheu-se dentre os dados qualificados o que representa a melhor relação sinal/ruído, ou seja, que possui o espectro mais claro e que esteja de acordo com a média dos dados do diretório.
- O programa **column1.exe** transforma os dados dos arquivos gerado pelo **analonly.exe** de binário para ASC II.
- Utilizando o programa **MICROCAL ORIGIN™** foram montadas as matrizes, nelas foram ajustados os valores mínimos e máximos dos eixos X e Y, para as plotagens dos gráficos das variações temporais das amplitudes para as alturas do eletrojato.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Ciências Espaciais Atmosféricas  
Divisão de Aeronomia  
Ionosfera  
Relatório Final

Bolsista  
*Luciana Maria Crespan*

Orientador  
*Dr. Mangalathayil Ali Abdu*

Título  
*Estudo da Dinâmica da Ionosfera Equatorial*

São José dos Campos

1999

## AGRADECIMENTOS

- a **CLAUDIO JOSÉ CRESPIAN** e **LUCIA CRESPIAN**, meus pais, que sempre me apoiaram ;

- ao Doutor **MANGALATHAYIL ALI ABDU** ,do departamento de Geofísica Espacial / CEA do Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais ;

- aos colegas diários de trabalho **MARIA GORETI DOS SANTOS AQUINO, LÚCIA TERRA DE ALMEIDA LIMIRO, ALCIONE MOURA DA SILVA, MAURENI CRISTINA DE FARIA, DALLI TORRES CAMPOS, VANDERLY BENEDITO MARTINS MOTA, FERNANDO BERTONI, LEANDRO PAULINO VIEIRA** ;

- ao CNPq pelo apoio financeiro concedido através de bolsas.

## ÍNDICE

CAPÍTULO 1	<b>5</b>
IONOSFERA	5
1.1 EQUIPAMENTOS PARA COLETA DE DADOS	8
CAPÍTULO 2	<b>10</b>
ESTUDO DA IONOSFERA COM RADAR	10
CAPÍTULO 3	<b>15</b>
ANÁLISE DOS DADOS	15
CAPÍTULO 4	<b>17</b>
APÊNDICE - GRÁFICOS DE AMPLITUDE DE POTÊNCIA VERSUS FREQUÊNCIA DA ANÁLISE ESPECTRAL.	17
CAPÍTULO 5	<b>21</b>
COMENTÁRIO	21

## LISTA DE FIGURAS

**FIGURA 1.1 - Camadas Atmosféricas - Ionosfera.**

**FIGURA 1.2 - Nomenclatura e localização das camadas ionosféricas em função da densidade eletrônica.**

**FIGURA 1.3 - Ionograma.**

**FIGURA 2.1 - Sinal do eletrojato equatorial, visto por osciloscópio.**

**FIGURA 2.2 - Localização geográfica e geomagnética dos radares.**

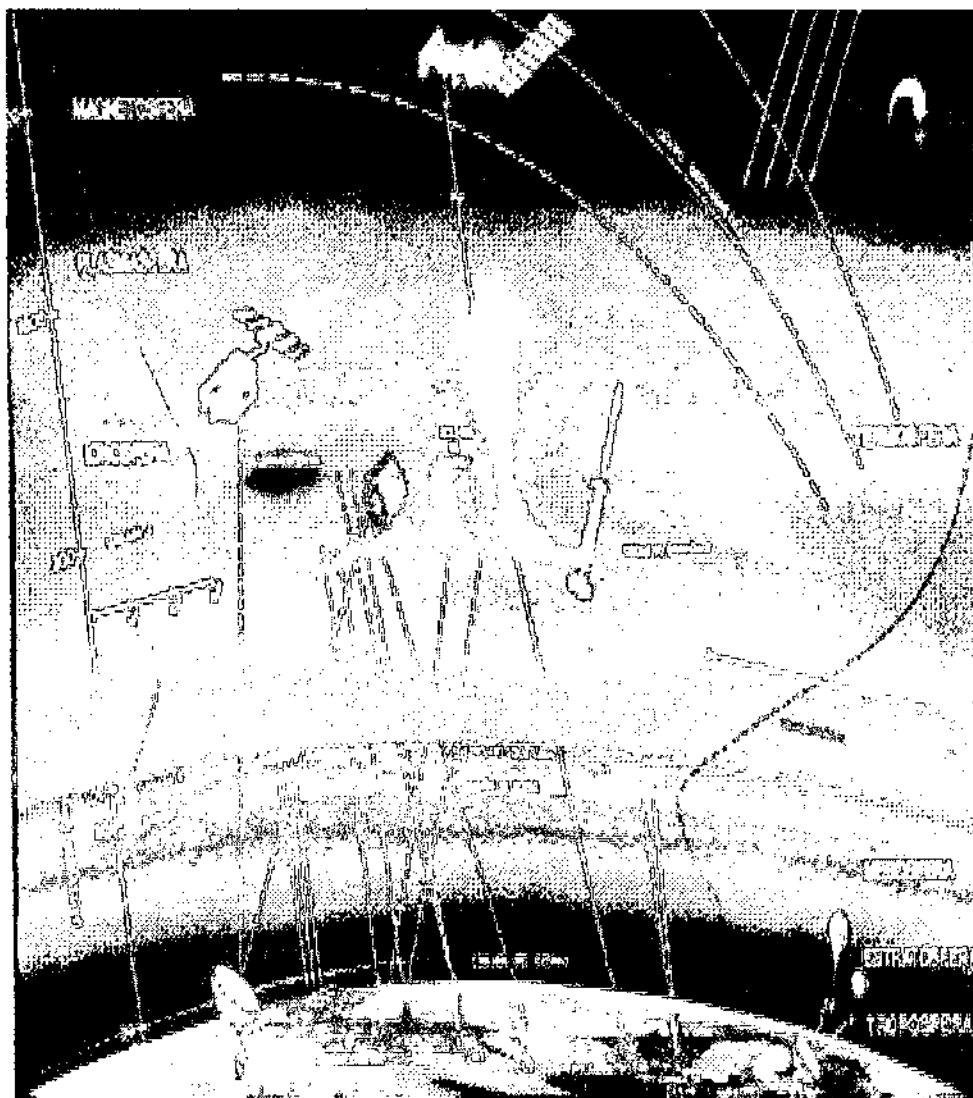
**FIGURA 2.3 - Fotografia do conjunto de antenas.**

**FIGURA 2.4 - Mapa de variação temporal da intensidade de sinal recebido pelo radar ionosférico, utilizando o feixe oblíquo, no dia 31 de agosto de 1998.**

## CAPÍTULO I

### IONOSFERA

A atmosfera terrestre de acordo com a figura 1.1 é dividida em regiões de acordo suas características de temperatura, densidade e altura: troposfera, estratosfera, mesosfera e termosfera. Juntamente com a termosfera está a ionosfera que é uma camada ionizada, altamente condutiva. A ionosfera está situada entre aproximadamente 50 - 1000 Km, e atinge a densidade máxima a ~ 350 Km, tendo a propriedade de alterar ondas eletromagnéticas de alta frequência, refratando-as ou refletindo-as. Esta camada é muito importante às comunicações, inclusive a comunicação via satélite, pois fenômenos ionosféricos podem atenuar ou interferir no sinal propagado ao longo delas. A recombinação de seus íons e elétrons depende da irradiação solar pois durante o dia tende a aumentar e durante a noite tende a diminuir sua densidade.



**FIGURA 1.1 - Camadas Atmosféricas - Ionosfera**

De acordo com sua variação e altura, a ionosfera está dividida em máximos de produção, formando camadas, como mostra a figura 1.2, cada uma delas com suas propriedades e características próprias, sendo elas:

◦ Região D - (75 Km - 95 Km)

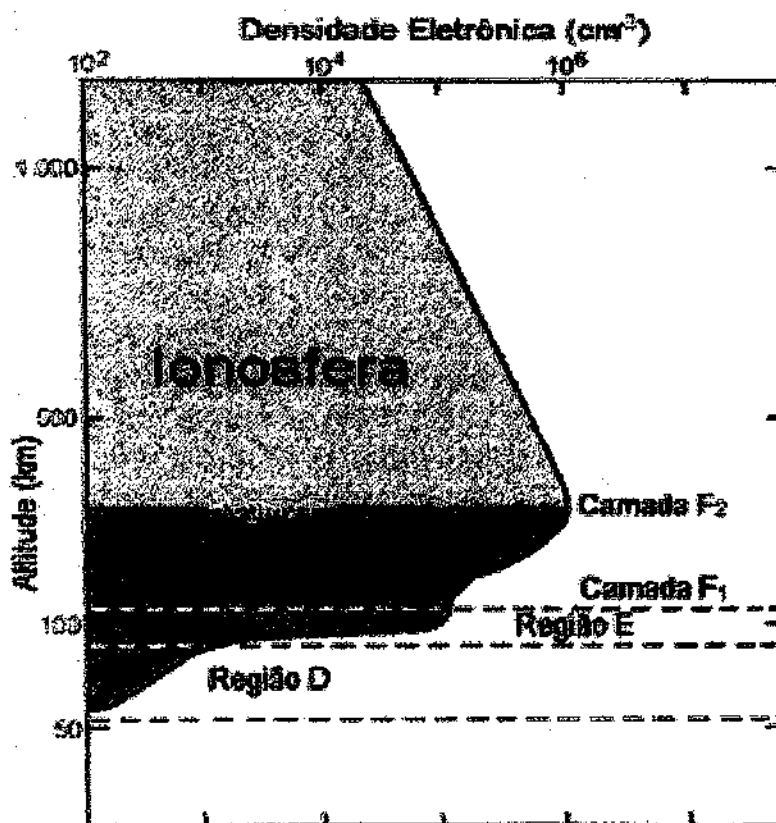
É a região inferior da ionosfera, sendo esta a região de maior densidade atmosférica do que nas outras e ainda é a parte mais complexa do ponto de vista químico.

- Região E - (95 Km - 150 Km)

É a região de máxima condutividade elétrica, portanto a região onde se desenvolvem as correntes elétricas ionosféricas. Esta camada está localizada entre as regiões D e F, seu limite com a região D é tomado como 90 Km e com região F é 150 Km.

- Região F - (acima de 180 Km)

É a região superior da ionosfera, onde é possível identificar as subdivisões da F nas camadas F1 e F2.



**FIGURA 1.2** - Nomenclatura e localização das camadas ionosféricas em função da densidade eletrônica.



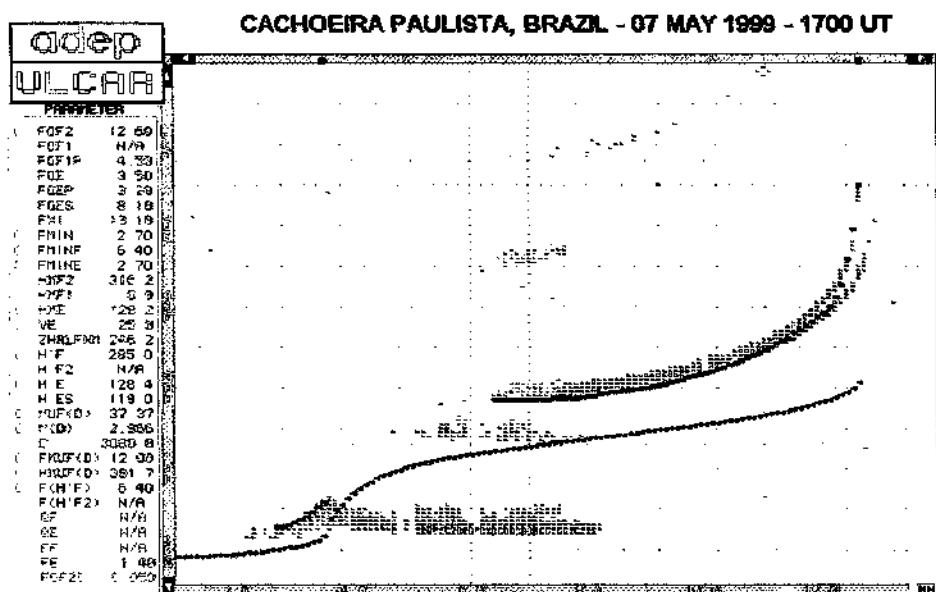
## 1.1 EQUIPAMENTOS PARA COLETA DE DADOS

Para monitorar a ionosfera é necessário descrever alguns equipamentos disponíveis para a obtenção dos dados, como:

**CARGA ÚTIL:** São sensores acoplados em foguetes que servem para coletar dados sobre determinadas ocorrências físicas que tentam minimizar os problemas e melhorar os estudos da ionosfera, ele ainda serve de suporte tecnológico para o desenvolvimento de satélites.

**DIGISSONDA:** Possui o mesmo princípio de funcionamento da ionossonda, mas é um equipamento digital, onde os dados são gravados em fitas "streamer", sendo este um equipamento mais moderno e preciso.

**IONOSSONDA:** É um equipamento que transmite e recebe pulsos de energia eletromagnética. O sinal recebido é processado e apresentado em forma de um gráfico denominado ionograma, como mostra a figura 1.3, que representa o perfil da densidade eletrônica das camadas ionoféricas.



**FIGURA 1.3 - Ionograma**

**SATÉLITE:** Através de cargas úteis a bordo de satélites é possível efetuar sondagem do topos da ionosfera, completando as informações das digissonda.

**RADAR:** É um equipamento desenvolvido para receber ecos de estruturas físicas, normalmente é chamado de radar de espalhamento coerente, esse equipamento será descrito mais detalhadamente adiante pois foi utilizado nesse trabalho.

## CAPÍTULO 2

### ESTUDO DA IONOSFERA COM RADAR

Devido a sua complexibilidade e variabilidade, a ionosfera necessita ser monitorada continuamente através de intensas atividades de medidas de modo a fornecer um quadro claro da dinâmica da região.

Esta camada altamente condutiva, apresenta uma variedade de irregularidades de diferentes tamanhos. Estas irregularidades ionosféricas são variações na densidade eletrônica local e são fortemente alinhadas ao longo do campo geomagnético, estão presentes dia e noite, exceto durante curtos períodos no alvorecer e no anoitecer. Uma dessa irregularidade é o eletrojato equatorial.

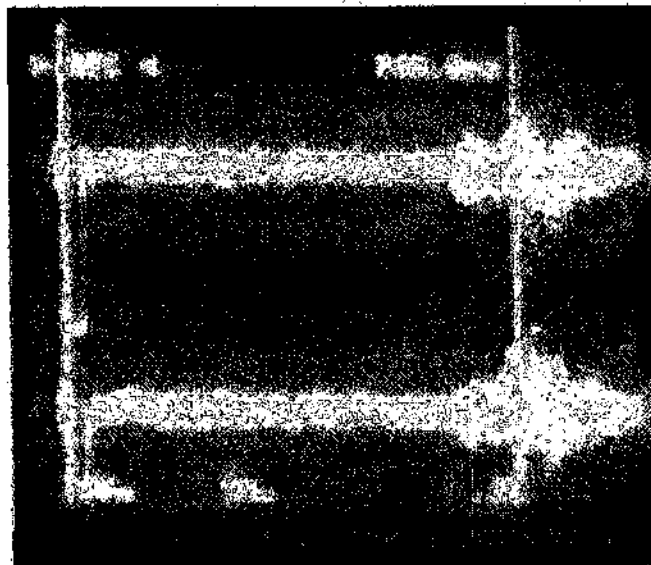
## 2.1 O ELETROJATO EQUATORIAL

O eletrojato equatorial, como mostra a figura 2.1, é um corrente que flui ao longo do equador magnético, na região E da ionosfera.

Seu sentido é para leste durante o dia e para oeste durante a noite.

É dirigido por um sistema global de campos elétricos e seu confinamento na região mencionada é devido a orientação horizontal do campo magnético e as condutividades ionosféricas locais.

No eletrojato equatorial quase sempre encontramos dois tipos de irregularidades: os ecos tipo 1 e os ecos tipo 2, que dependem do sentido do eletrojato e tem sido associados às irregularidades geradas pela instabilidade de plasma, sempre dependendo do sentido do eletrojato e do gradiente de densidade.

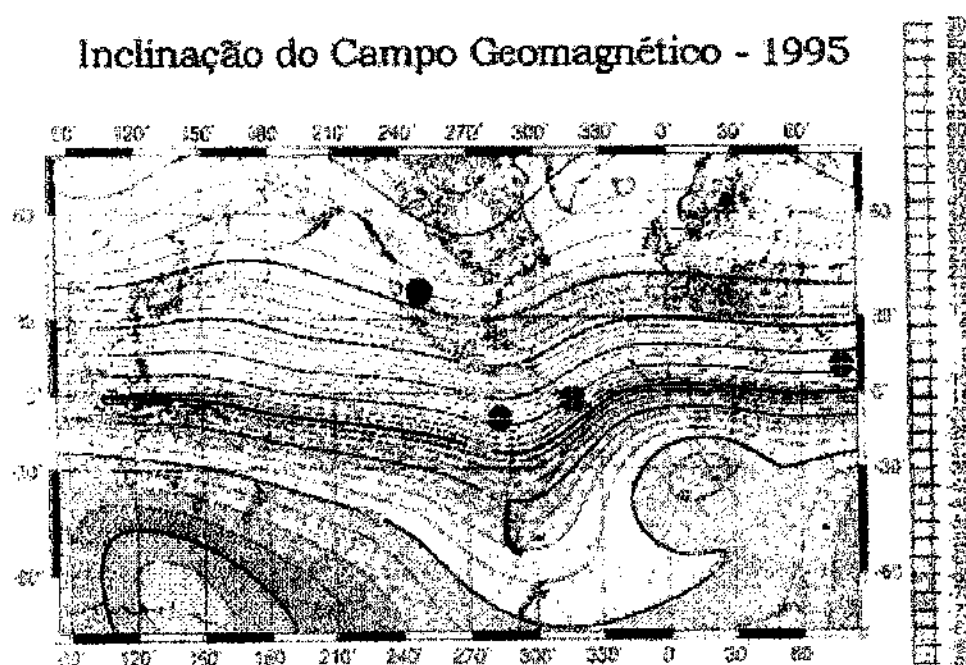


**FIGURA 2.1** - Sinal do eletrojato equatorial, visto por osciloscópio.

## 2.2 RADAR

O radar de espalhamento coerente deve estar localizado no plano normal à direção do campo geomagnético. Esses radares, utilizam uma frequência de transmissão em torno de 50 MHz.

A figura 2.2, apresenta a localização geográfica dos radares de espalhamento de Jicamarca (Peru), Boulder (Estados Unidos), Thumba (Índia) e São Luís do Maranhão (Brasil).



**FIGURA 2.2** - Localização geográfica e geomagnética dos radares.

Na técnica de radares, uma parte do pulso de sinal transmitido é retroespalhado por uma região onde as irregularidades têm dimensão igual à metade do comprimento de onda do sinal transmitido do radar, na direção do vetor de onda do radar. No caso do radar de espalhamento estar operando a 50 MHz, como o comprimento de onda é igual a 6 m, o sinal será retroespalhado por irregularidades com comprimento em torno de 3 m.

### 2.2.1 RADAR DE SÃO LUIS ( MARANHÃO )

O radar foi instalado em São Luis, onde está localizado no equador magnético e próximo ao centro do eletrojato equatorial. O radar deve operar na base da faixa do VHF, sua frequência de operação é de 50MHz.

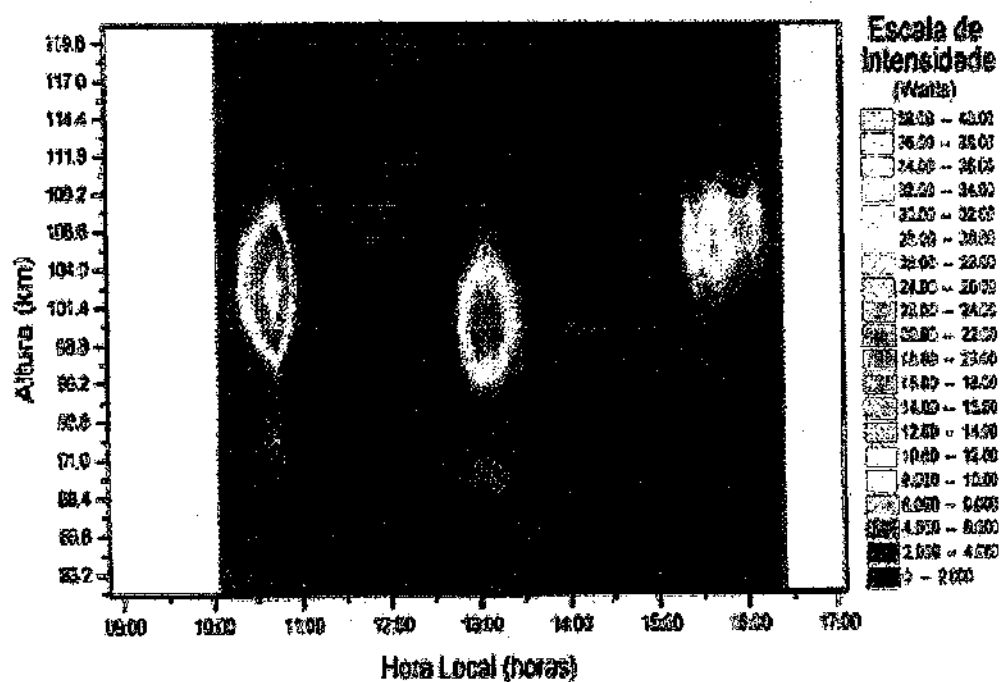
Para o uso desses radares, uma única antena não será suficiente para detectar os sinais de espalhamentos que são fracos, portanto, faz-se o uso de um conjunto de antenas que gera um feixe altamente direcional. Neste caso, em uma parte do circuito devemos ter uma divisão do sinal (obliquo e vertical), alimentando o conjunto de antenas de maneira uniforme.



**FIGURA 2.3** - Fotografia do conjunto de antenas.

## 2.2.2 CAMPANHA

Essa campanha foi realizada durante o mês de agosto de 1998 em São Luis ( Maranhão ). Nessa campanha foi observado somente o eletrojato, apesar de importantes estudos de espalhamentos poderem ser conduzidos com observações de radar, devido às limitações de potência impostas pelo conjunto de transmissores.



**FIGURA 2.4** - Mapa de variação temporal da intensidade de sinal recebido pelo radar ionosférico, utilizando o feixe oblíquo, no dia 31 de agosto de 1998.

## CAPÍTULO 3

### ANÁLISE DOS DADOS

Um fator importante na análise de dados do radar ionosférico de São Luis é o tempo para a sua redução. A velocidade de aquisição dos dados é muito grande, fornecendo uma grande quantidade de dados. Porém, como o sistema ainda está em fase inicial de operação, nem todos os dados estão confiáveis. Assim, para manter a confiabilidade dos resultados, optamos pela utilização da média dos melhores dados escolhidos. Isso garantiu resultados confiáveis, entretanto, o trabalho de redução ficou bastante demorado. Apesar do desenvolvimento de ferramentas computacionais, a redução de um dia de dados, isto é, a geração de um mapa diário de variação temporal de intensidade x altura, levou em torno de duas semanas.

Como foi dito anteriormente o grande volume de dados adquiridos foi necessário estabelecer uma rotina de trabalho que envolveu desde a seleção dos dados mais representativos até a plotagem de gráficos de evolução temporal da análise espectral para uma altura específica e gráficos da evolução temporal da intensidade do sinal recebido. Assim é necessário descrever os passos que foram fundamentais para análise dos dados:

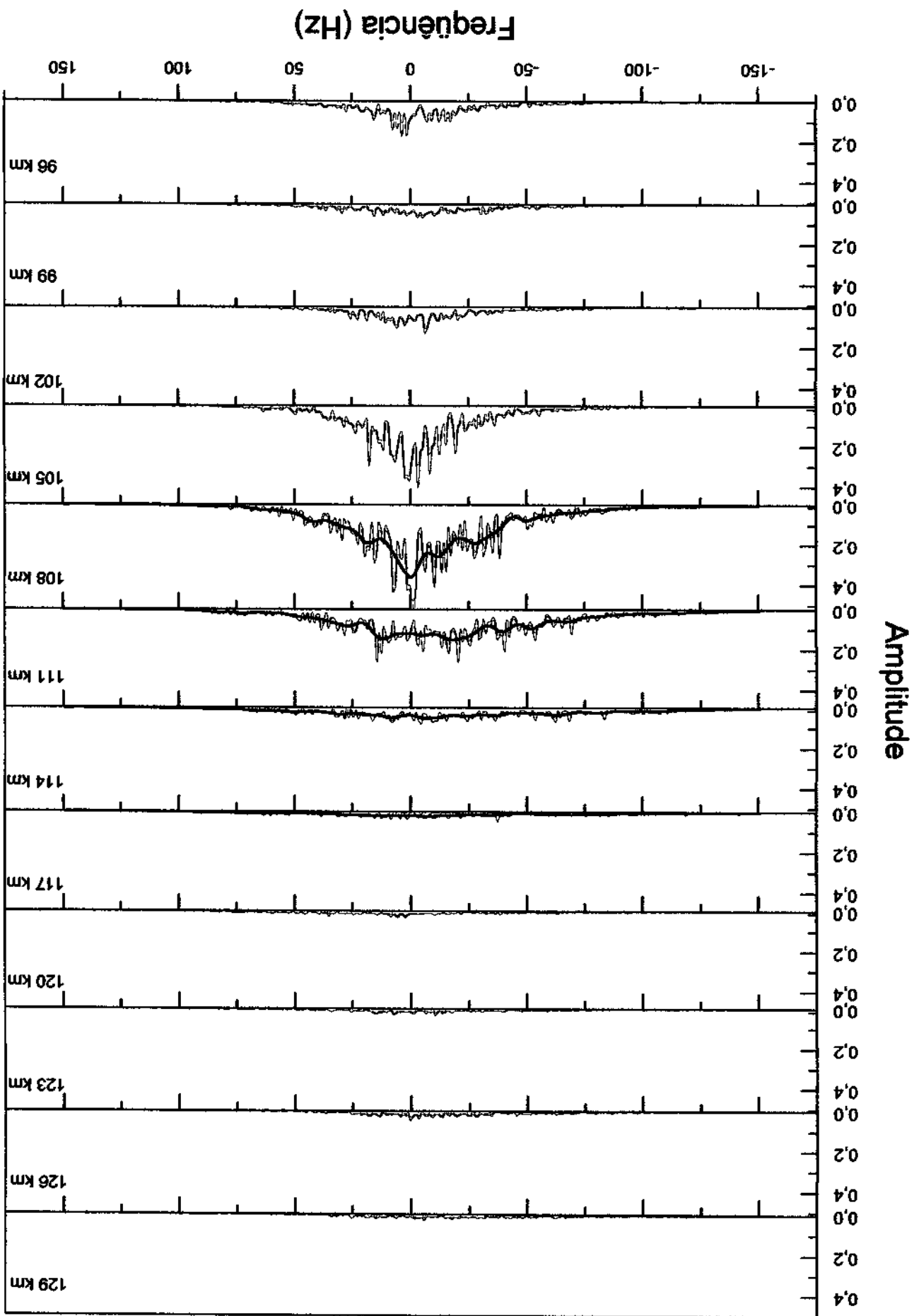
- Primeiramente, executou-se o programa **anonly.exe**, este programa lê os dados gravados na forma bruta em binário e em seguida utiliza a transformada de Fourier para estimar o espectro da potência do sinal retroespalhado pelas irregularidades ionosféricas.
- Usou-se o programa **plotspec.exe** para plotar os dados na tela e verificar cada arquivo de dados, escolheu-se dentre os dados qualificados o que representa a melhor relação sinal/ruído, ou seja, que possui o espectro mais claro e que esteja de acordo com a média dos dados do diretório .



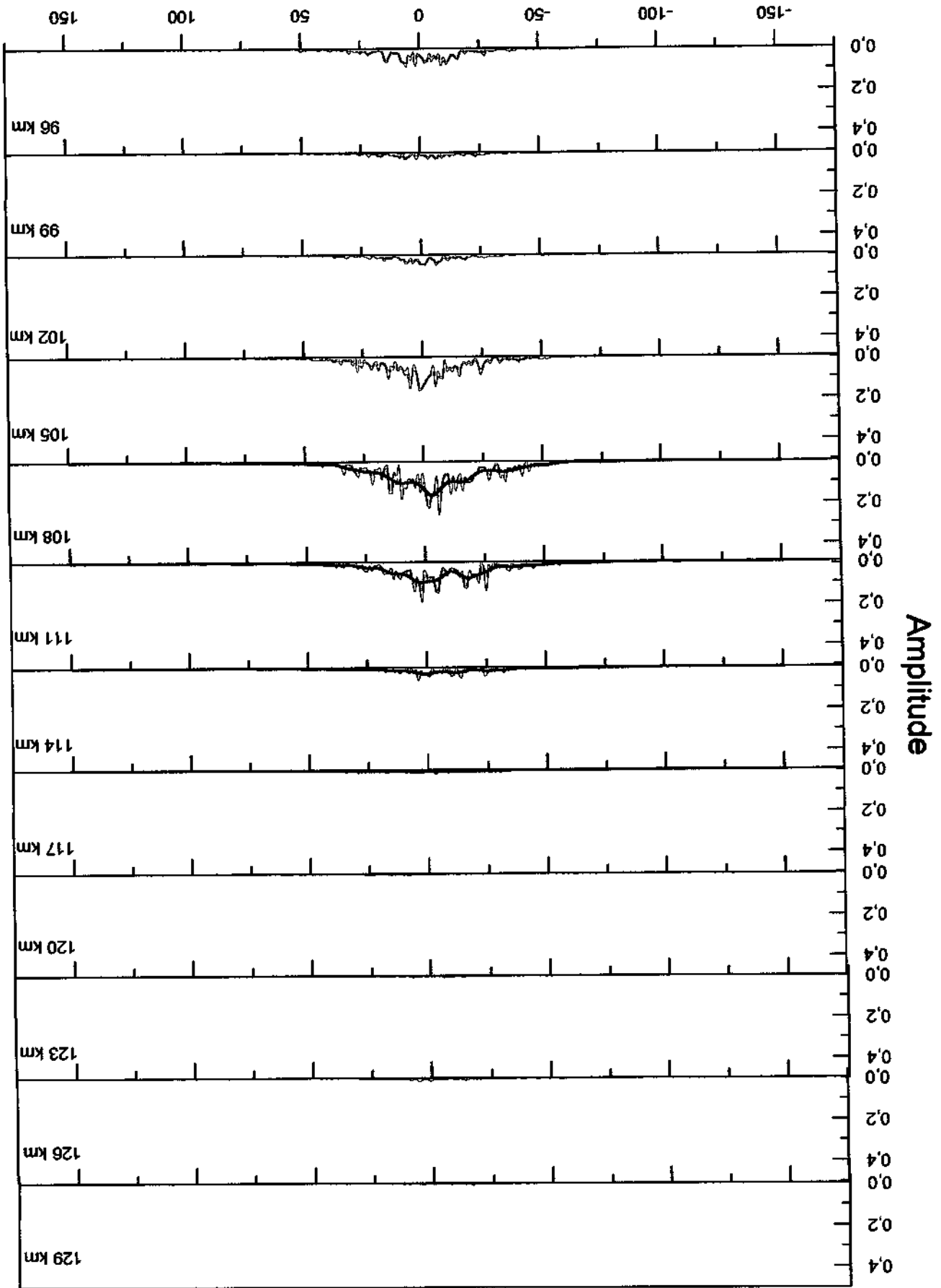
- O programa **column1.exe** transforma os dados dos arquivos gerado pelo **analonly.exe** de binário para ASC II.
  
- Utilizando o programa **MICROCAL ORIGIN™** foram montadas as matrizes, nelas foram ajustados os valores mínimos e máximos dos eixos X e Y, para as plotagens dos gráficos das variações temporais das amplitudes para as alturas do eletrojato.

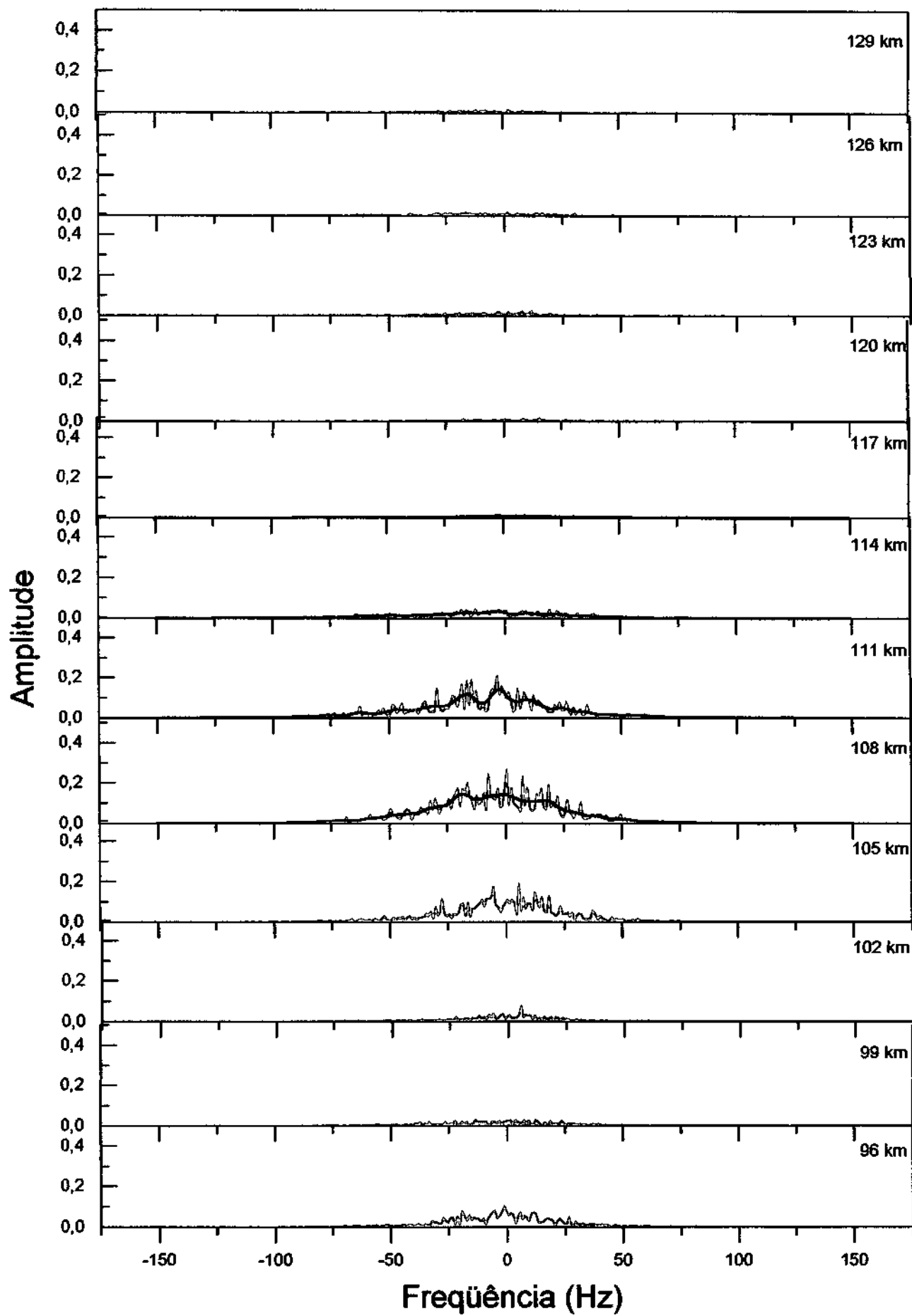
## CAPÍTULO 4

**APÊNDICE - Gráficos de amplitude de potência versus frequência da análise espectral.**



# Frequência (Hz)





## CAPÍTULO 5

### COMENTÁRIO

**Esta campanha de agosto de 1998, proporcionou os primeiros resultados de pesquisa ionosférica realizada com radar de espalhamento coerente desenvolvido no Brasil.**

**Durante essa campanha foram coletados dados, para estudo do eletrojato equatorial.**

**Foram processados a maior parte dos dados, como mostra o mapa de variação temporal da intensidade de sinal recebido pelo radar ionosférico, figura 2.2, a**

**continuidade do meu trabalho será terminar o processamento dessa campanha de 1998.**

## BIBLIOGRAFIA

- ▷ Kirchhoff, V.W.J.H. **Introdução à geofísica espacial**. São Paulo: Nova Setella, EDUSP, 1991.
  
- ▷ Kelley, M.C. **The Earth's ionosphere**. San Diego: Academic Press, 1989.
  
- ▷ Janardhanan, K.V. **A coherent VHF backscatter radar for INPE**. São José dos Campos: INPE, 1983. (INPE-2808-NTI/180).
  
- ABDU, M. A.; SOBRAL, J. H. A.; DE PAULA, E. R.; BATISTA, I. S.; **A coherent VHF backscatter radar for INPE**. São José dos Campos: INPE, 1983. (INPE-2808-NTI/180).
  
- ABDU, M. A.; BATISTA, I. S.; WALKER, G. O.; SOBRAL, J. H. A.; TRIVEDI, N. B.; DE PAULA, E. R.; **Equatorial Ionospheric Electric field during Magnetospheric disturbance: local time, longitude dependence from recent EITS Campaigns**, *J Atmos. Terrest. Phys.* 57, 1065-1083, 1995.
  
- CLEZIO MARCOS DENARDINI - **Dissertação de mestrado em Ciências Espaciais/Geofísica Espacial**, INPE, São José dos Campos.