

**Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Ciências Espaciais Atmosféricas
Divisão de Aeronomia
Ionosfera
Relatório Preliminar**

Bolsista

Luciana Maria Crespan

Orientador

Dr. Mangalathayil Ali Abdu

Título

Estudo da Dinâmica da Ionosfera Equatorial

São José dos Campos

2000

AGRADECIMENTOS

- a **CLAUDIO JOSÉ CRESPAN** e **LUCIA CRESPAN**, 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 LÍMIRO, 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	6
IONOSFERA	6
CAPÍTULO 2	9
DIGISSONDA 256	9
CAPÍTULO 3	11
ESTUDO DA IONOSFERA COM RADAR	11

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 - Nomenclatura e localização das camadas ionosféricas.

FIGURA 2.1 - Fotografia do conjunto de antenas.

FIGURA 2.2 - Localização geográfica e geomagnética dos radares.

FIGURA 2.3 - Mapa de variação temporal da intensidade de sinal recebido pelo radar ionosférico, utilizando o feixe oblíquo, no dia 31 de agosto de 1998.

Introdução

Este trabalho é uma continuidade da bolsa anterior e tem como objetivo ~~iniciar~~ com a localização da ionosfera, suas principais características, um breve histórico sobre a sua descoberta, a importância do seu estudo e a importância da divulgação da ionosfera brasileira. Em seguida o trabalho traz uma pequena descrição sobre as regiões da ionosfera, alguns equipamentos utilizados no monitoramento desta, tais como, carga útil, ionosonda, satélite, radar ionosférico e digissonda dos quais os dois últimos equipamentos citados foram utilizados neste trabalho.

CAPÍTULO 1

1.1 IONOSFERA

A atmosfera terrestre 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 ionosfera está dividida em máximos de produção, formando camadas, 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.

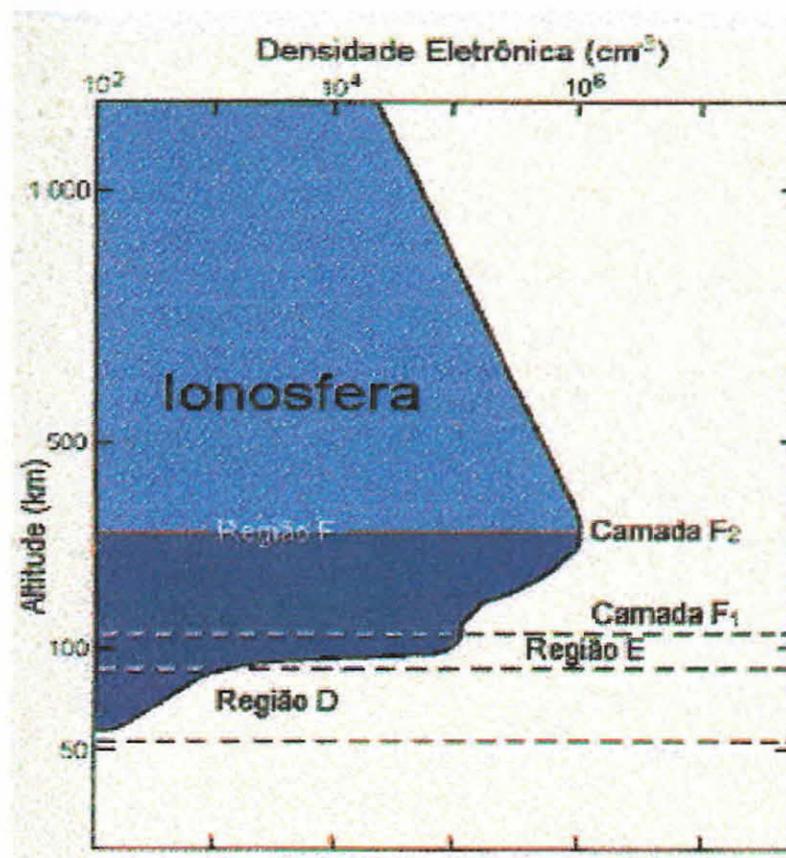


FIGURA 1.1 - Nomenclatura e localização das camadas ionosféricas.

1.2 EQUIPAMENTOS PARA COLETA DE DADOS

É necessário descrever alguns equipamentos disponíveis para a obtenção de dados, são eles:

CARGA ÚTIL: São sensores acoplados em foguetes que servem para coletar dados sobre determinadas ocorrências físicas, tentando minimizar os problemas e melhorar os estudos da ionosfera.

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. Esse equipamento será descrito mais detalhadamente adiante pois foi utilizado nesse trabalho.

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

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 realizar medidas da dinâmica das irregularidades do eletrojato e de bolhas de plasma na ionosfera. Esse equipamento também será descrito mais detalhadamente adiante pois foi utilizado nesse trabalho.

CAPÍTULO 2

2.1 DIGISSONDA 256

A digissonda 256 possui o mesmo princípio de funcionamento da ionossonda, mas é uma sonda digital, portanto mais moderna e precisa.

O avanço tecnológico permitiu o surgimento da ionossonda digital ou digissonda. A digissonda 256 desenvolvida pela Universidade de Lowell pode operar como uma ionossonda convencional de incidência vertical digitalizada tornando-se ágil e fácil o manuseio e o processamento dos dados obtidos após a sondagem.

A digissonda 256 é capaz de medir todos os itens dos ecos ionosféricos como pode ser visualizado na tabela abaixo onde há uma comparação entre os itens ionosféricos observáveis pela ionossonda e pela digissonda.

Observáveis	Ionossonda	Digissonda 256
Altura	Sim	Sim
Amplitude	Experimental	Sim
Fase	Experimental	Sim
Polarização	Não	Sim
Ângulo de chegada	Não	Sim
Doppler	Não	Sim

TABELA - Comparação entre os parâmetros observáveis pela ionossonda e pela digissonda 256.

Pode-se perceber a versatilidade do instrumento aumentou, favorecendo a realização de medidas de variados parâmetros ionosféricos além de calcular praticamente em tempo real o perfil de densidade eletrônica através de um programa instalado em um microcomputador acoplado.

2.2 FUNCIONAMENTO DA DIGISSONDA 256

A digissonda 256 consiste basicamente dos seguintes equipamentos:

- um transmissor de 10kW de potência de pico;
- um receptor de sinais de rádio-frequência;
- microcomputadores acoplados;
- antenas transmissoras;
- arranjo de antenas receptoras;

A digissonda 256 pode operar cobrindo uma faixa de frequência de 0,5 a 30 Mhz. Os sinais são transmitidos por uma antena que emite um feixe vertical, e uma antena tipo dipolo para a transmissão oblíqua.

Operando no modo pulsado, a digissonda 256 emite pulsos de alta frequência os quais são refletidos em diversas alturas na ionosfera e seus ecos são recebidos através de um arranjo de antenas e transformados em sinais digitais por um sistema de aquisição e tratamento de dados.

2.3 ANÁLISE DOS DADOS

Foram processados os dados coletados pelo equipamento acima descrito, durante o período de: Outubro/1994; Novembro/1994; Dezembro/1994; Janeiro/1995; Fevereiro/1995; Março/1995; Abril/1995.

O parâmetro utilizado nesse processamento foi o $h'F$, que é a altura virtual mínima do traço extraordinário em toda região F.

O esquema de processamento foi seguido da seguinte forma:

Primeiramente, foram selecionados o parâmetro $h'F$ do período desejado e em seguida calculado a velocidade de subida da camada, através do gráfico de altura versus hora, no intervalo das 18h00 às 19h00 (hora local), gerado pelo software MICROCAL ORIGIN™, onde também foi gerada uma planilha, que através desta, plotou-se um gráfico das velocidades máximas de cada dia do mês programado, durante o intervalo de tempo estipulado.

CAPÍTULO 3

3.1 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.

3.2 O ELETROJATO EQUATORIAL

O eletrojato equatorial é uma corrente elétrica 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.

3.3 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 e uma potência de transmissão de 120kw e sua instalação e operação em São Luís, MA. O objetivo do radar é realizar medidas da dinâmica das irregularidades do eletrojato e de bolhas de plasma na ionosfera.

Existem outros radares de espalhamentos como Jicamarca (Peru), Boulder (Estados Unidos), Thumba (Índia) e São Luís do Maranhão (Brasil).

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.

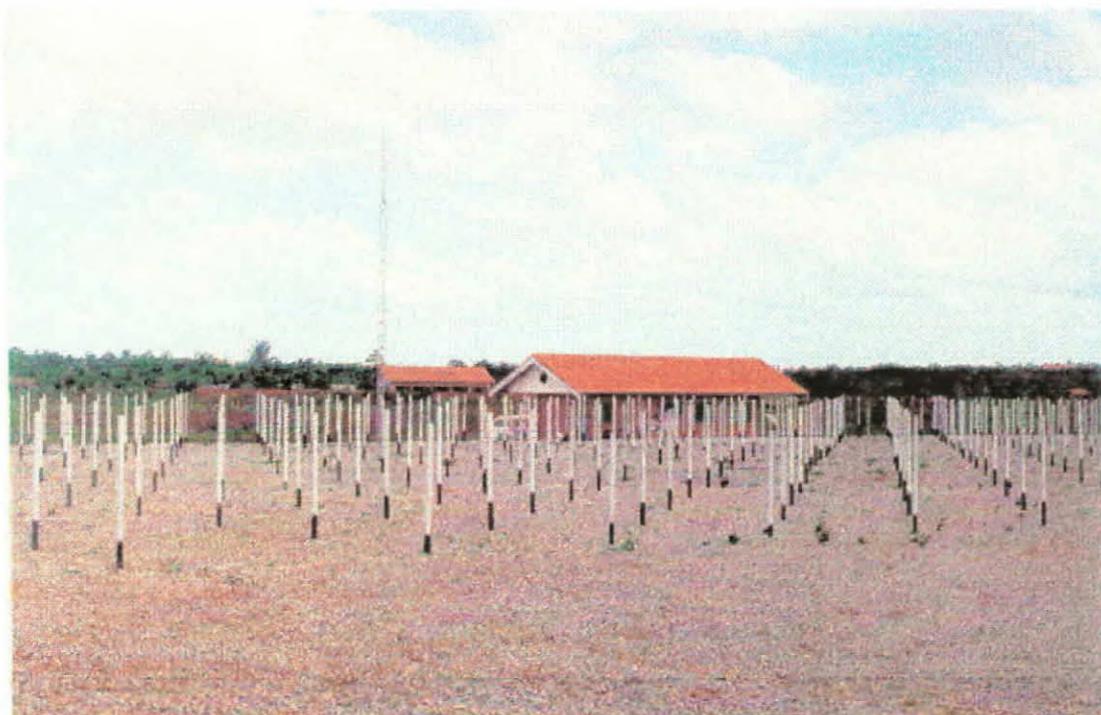


FIGURA 3.1 - Fotografia do conjunto de antenas.

3.3.1 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.

Para o uso desses radares, uma única antena não será suficiente para detectar os sinais de espalhamento 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 (oblíquo e vertical), alimentando o conjunto de antenas de maneira uniforme.

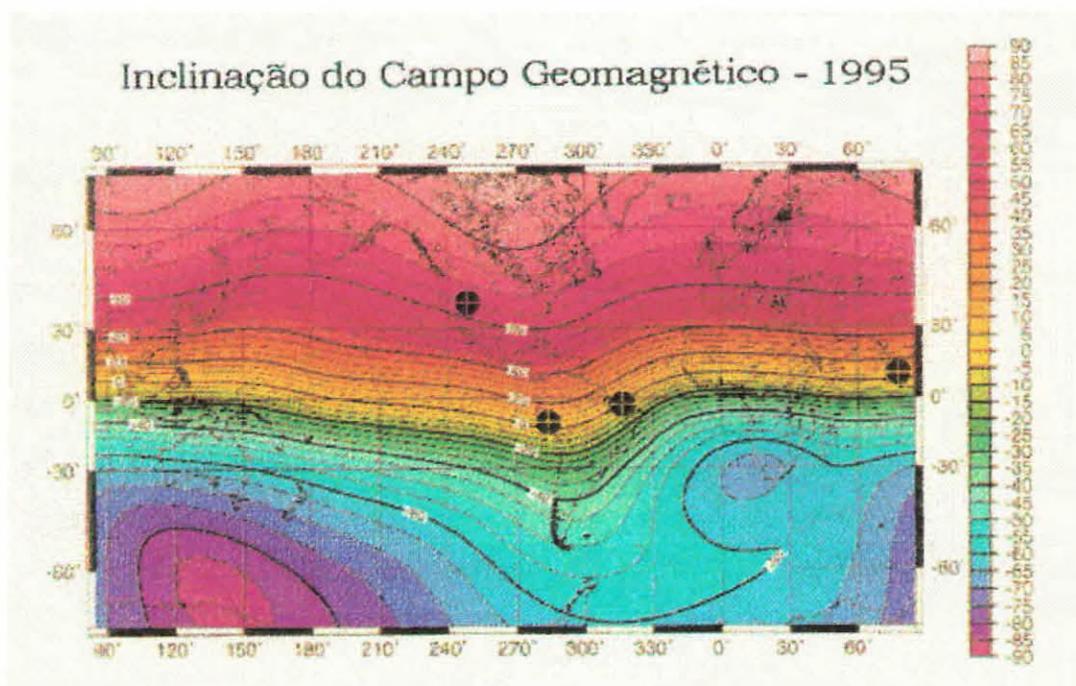


FIGURA 3.2 - Localização geográfica e geomagnética dos radares.

3.3.2 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.

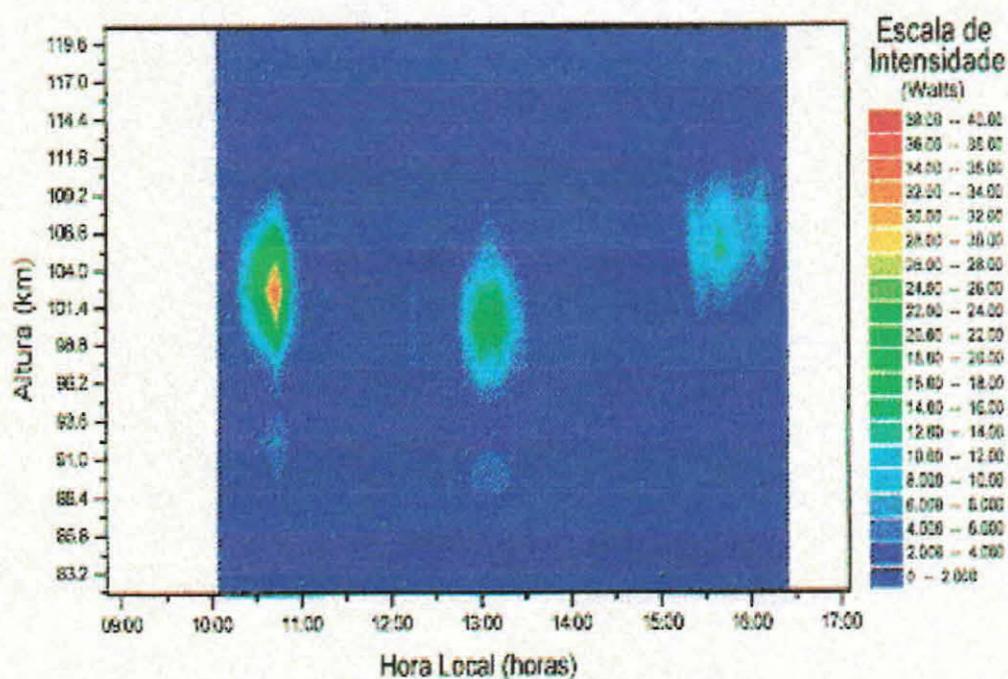


FIGURA 3.3 - Mapa de variação temporal da intensidade de sinal recebido pelo radar ionosférico, utilizando o feixe oblíquo, no dia 31 de agosto de 1998.

3.4 ANÁLISE DOS DADOS

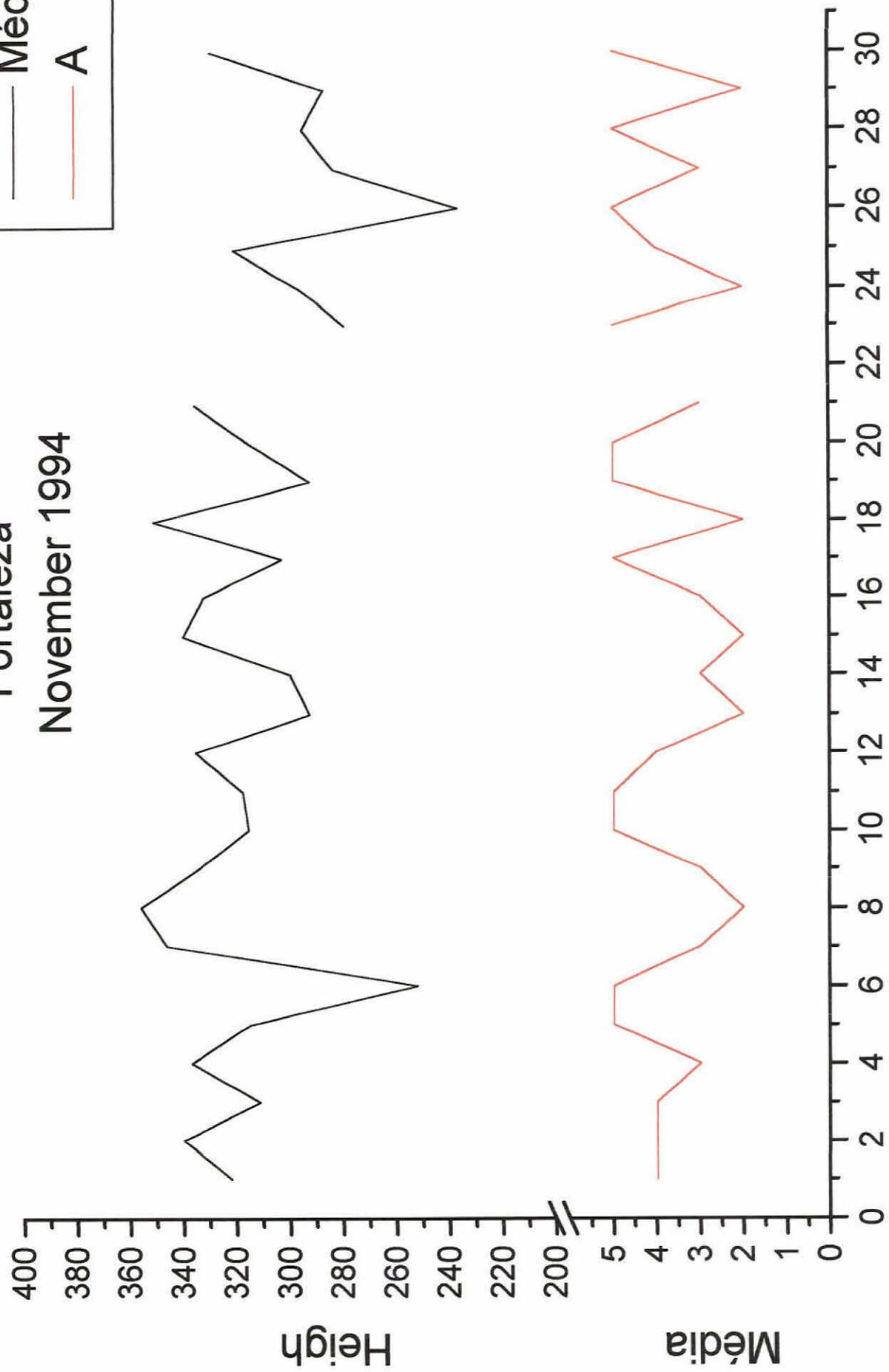
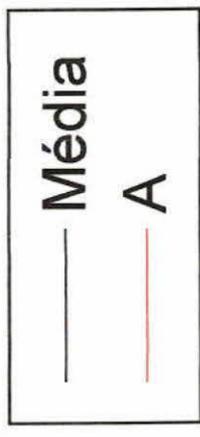
Um fator importante na análise de dados do radar ionosférico de São Luis é o tempo para a sua redução. A velocidade de aquisição dos dados é muito grande, fornecendo uma grande quantidade de dados. Porém, como o sistema ainda está em fase inicial de operação, nem todos os dados estão confiáveis. Assim, 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 inoféricas.
- 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 **anonly.exe** de binário para ASC II.

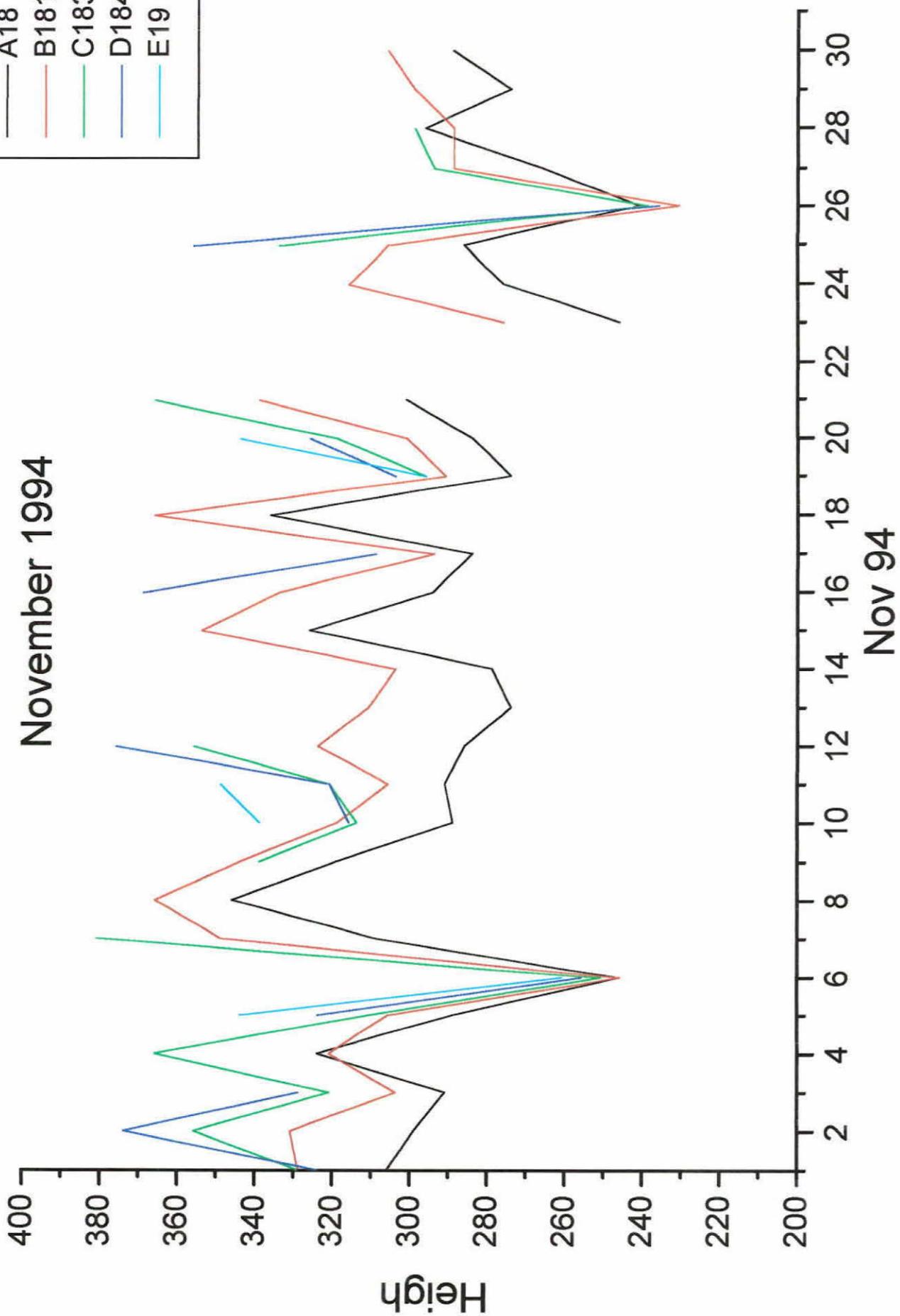
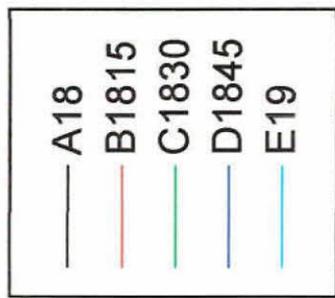
- Utilizando o programa MICROCAL ORIGIN™ foram montadas as matrizes, nelas foram ajustados os valores mínimos e máximos dos eixos X e Y, para as plotagens dos gráficos das variações temporais das amplitudes para as alturas do eletrojato.

Fortaleza November 1994



Nov/94

Fortaleza November 1994



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.

Os estudos deste trabalho ainda se encontram em andamento, portanto as conclusões finais só constarão no relatório final.

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.