

INPE

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

**PIBIC/CNPq - Programa Institucional De Bolsas
De Iniciação Científica.**

RELATÓRIO FINAL

**Título: Estudos De Perfis De Densidade
Eletrônica e Através De Análise De Dados De
Foguetes.**

Órgão: DAE

Bolsista: *Daniela Cristina Santana*

Orientador: *Mangalatayhl Ali Abdu*

São José dos Campos, 19 de junho de 1997.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	5
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	6
CAPÍTULO II - A IONOSFERA TERRESTRE.	7
II.1 - AS IRREGULARIDADES DA IONOSFERA.	8
II.2 - PROPRIEDADE DA IONOSFERA TERRESTRE.	9
II.3 - AS REGIÕES DA IONOSFERA.	10
II.3.1 - A REGIÃO D.	10
II.3.2 - A REGIÃO E.	10
II.3.3 - A REGIÃO F.	10
II.4 - MODELO IRI.	11
CAPÍTULO III - A LINGUAGEM COMPUTACIONAL.	12
CAPITULO IV - PROCEDIMENTO	13
CAMPANHA GUARÁ	13
IV.1 - OBTENÇÃO DOS DADOS	13

IV.2 - PROCESSAMENTO DOS DADOS	14
IV.3 - PERFIL FINAL DE DENSIDADE ELETRÔNICA	18
IV.4 - COMPARAÇÃO COM OUTROS EXPERIMENTOS	19
IV.5 - CONCLUSÃO	22
BIBLIOGRAFIA	23

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 - As Camadas Atmosféricas - Ionosfera.

FIGURA 02 - Modelo IRI para a Campanha GUARÁ.

FIGURA 03 - Perfil de densidade eletrônica da Campanha GUARÁ alta frequência.

FIGURA 04 - Perfil de densidade eletrônica da Campanha GUARÁ baixa frequência.

FIGURA 05 - Perfil de densidade eletrônica da Campanha GUARÁ alta frequência com os demais experimentos - (upleg).

FIGURA 06 - Perfil de densidade eletrônica da Campanha GUARÁ alta frequência com os demais experimentos - (downleg).

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

É desnecessário justificar a importância que a comunicação tem nos dias de hoje, principalmente a comunicação via satélite. É mais desnecessário ainda justificar as pesquisas e os estudos desse meio de comunicação, mesmo para um país em desenvolvimento como o Brasil.

O Brasil tem, até nos dias de hoje, nove campanhas realizadas sendo que apenas sete foram bem sucedidas, ou seja, os dados coletados puderam ser processados para os devidos fins.

Os resultados das pesquisas e dos estudos desse meio de comunicação fornecem um conhecimento prévio que é útil em diversas aplicações, tais como: o melhoramento do sistema de telecomunicações, o desenvolvimento de sistemas de localização geográfica e o aperfeiçoamento dos sistemas de navegação de satélites.

Existem vários meios de comunicação brilhantemente descobertos pelo homem, mas não se pode ignorar a existência dos meios naturais de comunicação, principalmente de um meio natural que se comporta de maneira particular sobre a Linha do Equador: a ionosfera terrestre.

CAPÍTULO II - A IONOSFERA TERRESTRE.

A existência de uma camada condutora, ou ionizada, na atmosfera da Terra foi sugerida inicialmente pelas variações periódicas notadas nas medições do campo geomagnético terrestre. Os primeiros estudos diretos da ionosfera terrestre foram realizados através de dados de reflexão de ondas de rádio, porém os trabalhos pioneiros, realizados na tentativa de provar a existência da camada condutora, foram feitos em clima de controvérsia. Trabalhos cientificamente orientados começaram nos anos 30.

Os limites inferior e superior não são perfeitamente definidos, porém a concentração de íons se torna muito pequena, abaixo de 70km e acima de 1000km. A essa região, entre 70km e 1000km, dá-se o nome de "Plasma Ionosférico".

Em resumo, a ionosfera terrestre é a região da atmosfera da Terra altamente condutora, possuindo elevada densidade de íons e elétrons que interferem nos sinais de comunicação via satélite.

A figura 01 mostra as camadas da atmosfera da Terra normalmente definidas em função do perfil de temperatura e a localização da ionosfera.

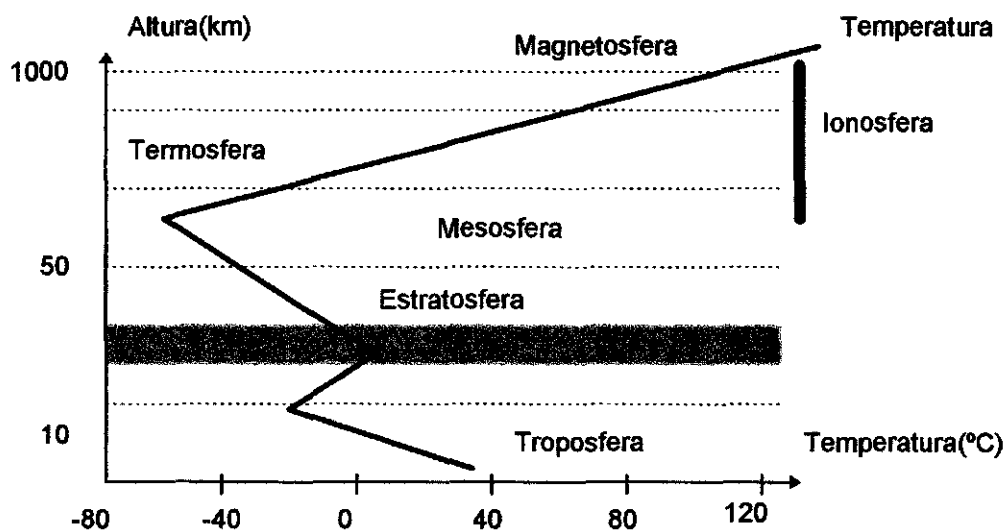


FIGURA 01 - As Camadas Atmosféricas - Ionosfera. (Fonte: ...)

II.1 - AS IRREGULARIDADES DA IONOSFERA.

Devido à sua complexidade e variabilidade, a ionosfera terrestre necessita ser monitorada continuamente através de intensa atividades de medidas de modo a fornecer um quadro claro da dinâmica da região. Na região equatorial ocorrem alguns fenômenos que são chamadas de irregularidades ionosféricas.

Algumas irregularidades ionosféricas são:

Bolhas Ionosféricas

Na literatura científica é também conhecida como "Spread-F" e o que se sabe a seu respeito hoje, é que apresenta concentração mais baixa de plasma em seu interior e se forma na região do equador magnético.

X Essas bolhas ionosféricas interferem na faixa de rádio-frequência devido as bruscas alterações na densidade de plasma entre o seu interior e exterior aprisionando o sinal de comunicação. É um fenômeno noturno.

Eletrojato Equatorial

Vem a ser um fluxo de corrente intensificado gerado pelo "impulso" dado aos íons pelos ventos neutros (movimento global das partículas não ionizadas) que corresponde a uma faixa muito ^{estreita} fina (~20km) com corrente de 10^5 A na direção leste-oeste. O fator de assimetria que possibilita o movimento de íons e elétrons em direções opostas (para gerar correntes) é o campo magnético da Terra.

II.2 - PROPRIEDADE DA IONOSFERA TERRESTRE.

A produção de ionização na ionosfera terrestre é ocasionada pela radiação solar, principalmente pela radiação ultravioleta. A perda da ionização se processa através da recombinação dos pares elétrons-íons e, no caso mais simples, quando se tem o equilíbrio fotoquímico, há a igualdade entre os processos de perdas e produção, do que se pode deduzir a densidade eletrônica, a densidade de íons e elétrons. Essa é a propriedade característica da ionosfera terrestre.

Essa densidade de íons e elétrons é suficientemente alta de modo a interferir na comunicação. É essa interferência que permite o estudo da ionosfera

terrestre através da teoria magneto-iônica, a qual relaciona as propriedades eletrônicas da região, tais como campo magnético e campo elétrico, com as características das ondas de comunicação que se propagam nessa região, tais como frequência das ondas, polarização, vetor das ondas e fase.

II.3 - AS REGIÕES DA IONOSFERA.

De acordo com a sua variação em altura, a ionosfera terrestre está dividida em três regiões, cada uma delas com suas propriedades características. Essas regiões são denominadas de: região D, região E e região F.

II.3.1 - A REGIÃO D.

Na parte inferior da ionosfera terrestre, também denominada de baixa ionosfera, a região D situa-se entre 70km e 95km acima da superfície terrestre e é a menos densa deixando de existir durante a noite.

II.3.2 - A REGIÃO E.

A região E situa-se entre aproximadamente 95km e 130km acima da superfície terrestre e é a região de máxima condutividade elétrica e, portanto, a região onde se desenvolvem as correntes elétricas ionosféricas.

II.3.3 - A REGIÃO F.

A região F situa-se acima de 130km da superfície terrestre, possuindo as camadas refletoras mais importantes denominadas de F1 em torno de 200km e a região F2 acima de 200km.

II.4 - MODELO IRI.

O IRI (International Reference Ionospheric) é um modelo empírico padrão baseado em observações experimentais do plasma ionosférico (Bilitza, 1986). Seu objetivo principal é produzir um modelo realista do comportamento médio global e temporal dos mais importantes parâmetros ionosféricos, tais como: densidade eletrônica, concentração de íons O^+ , H^+ , NO^+ e O_2^+ e temperatura de elétrons e íons, para as condições ionosféricas magneticamente não perturbadas. O IRI fornece perfis de densidade eletrônica normalizados que são então combinados com os valores do pico da densidade eletrônica da região F e da altura do pico previsto pela CCIR (International Radio Consultative Committee).

Estes perfis são previstos para determinada localização geográfica ou geomagnética, tempo em hora local, hora universal ou ângulo zenital solar, sazonalidade (mês ou dia do ano) e níveis de atividade solar (valor médio do número de manchas solares que são publicados mensalmente em periódicos especializados em dados geofísicos e solares, tais como "Solar Geophysical Data", da "US Department of Commerce/NOAA" em Boulder, CO, Estados Unidos).

CAPÍTULO III - A LINGUAGEM COMPUTACIONAL.

O processamento dos dados foi feito completamente em linguagem computacional C e C++ devido a sua disponibilidade no setor de trabalho, ao conhecimento prévio do desenvolvedor e as vantagens que a mesma oferece para esse tipo de processamento sequencial, como por exemplo, ser uma linguagem de médio nível combinando elementos das linguagens de alto nível, visivelmente mais elaborada e compreensível, com a funcionabilidade das linguagens de baixo nível, acessando diretamente as máquinas.

Outro exemplo, é “compartimentalização” do programa, ou seja, a habilidade de seccionar e máscarar o resto do programa de todas as informações necessárias para se realizar uma tarefa específica do próprio programa. Ainda outro exemplo, é a característica de ser uma linguagem estruturada permitindo a declaração de funções e procedimentos facilitando a manutenção de programa por completo. Por essa particular característica, essa linguagem ainda é muito aceita entre os programadores e a mais “portátil”, tornando possível adaptar um programa escrito para um tipo de máquina a outra máquina com hardware semelhante, assim um mesmo programa pode ser executado em diferentes máquinas.

CAPITULO IV - PROCEDIMENTO

CAMPANHA GUARÁ

A Campanha GUARÁ foi um trabalho de pesquisas científicas realizadas entre os EUA, representado pela NASA - National Aeronautics Space Administrations - e o Brasil, representado pelo INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais junto com outras instituições de pesquisas brasileiras - no período de 15 de agosto a 20 de outubro de 1994.

A Campanha recebeu esse nome de GUARÁ devido a um típico pássaro brasileiro existente na região equatorial.

Foram ao todo 33 lançamentos de foguetes com vários experimentos acoplados em cada um, para o estudo do *Eletrojato Equatorial*, *Eletrodinâmica do Pôr do Sol* e *Spread-F*.

IV.1 - OBTENÇÃO DOS DADOS

Para se obter mais esse perfil, primeiramente trabalhou-se com os dados coletados pelo experimento denominado *HFC - High Frequency Probe* - lançado a bordo do foguete do dia 14 de outubro de 1994, às 19:55hs(LT) da base brasileira (CLA) em Alcântara(MA) sendo 1053segundos de tempo total de dados coletados atingindo o apogeu em 956km de altitude.

Os dados "puros" do experimento *HFC* estão disponíveis em 14 arquivos distribuídos em disquetes de 3½" cordialmente fornecidos pelos pesquisadores americanos. Um perfil teórico dessa campanha foi calculado pelo modelo IRI, ilustrado na figura abaixo:

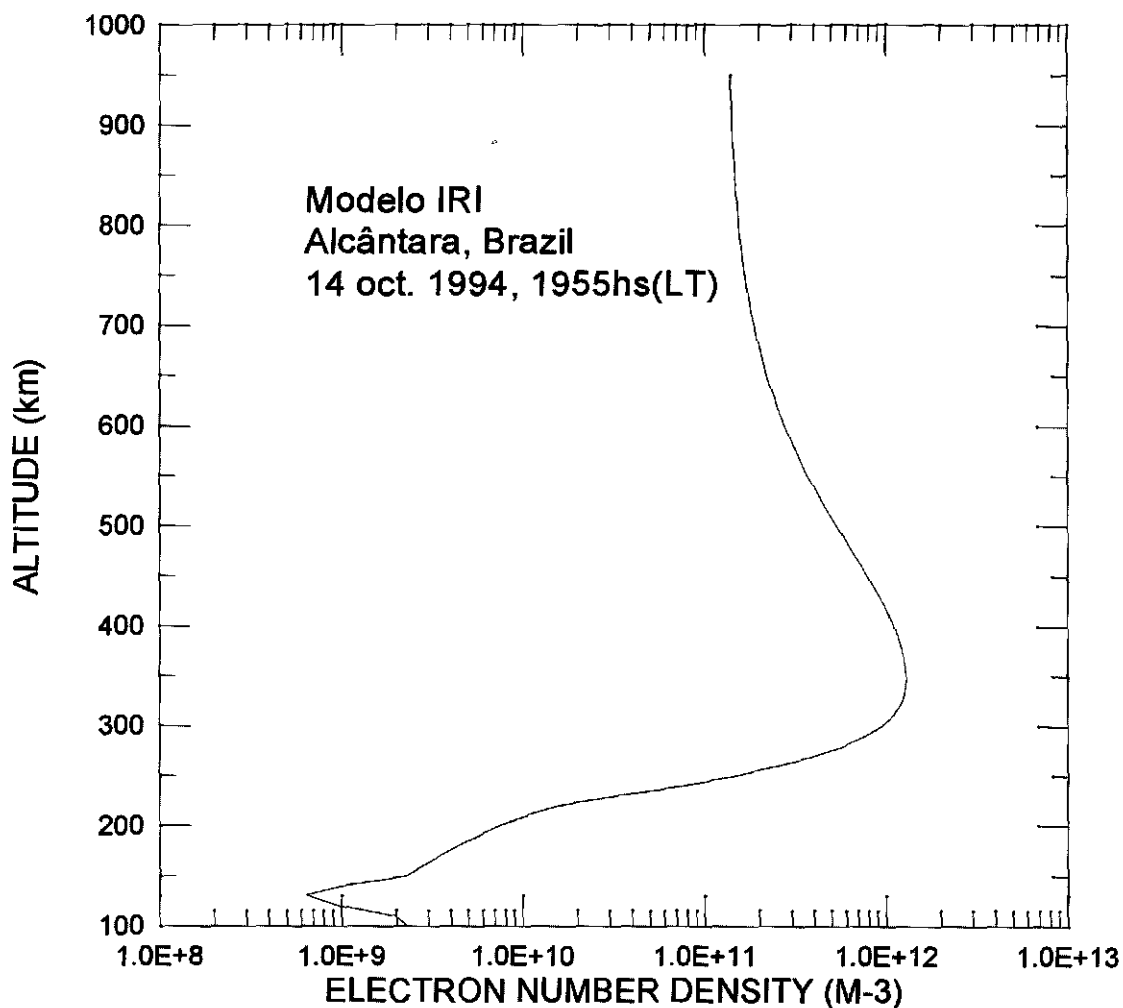


FIGURA 02 - Modelo IRI para a Campanha GUARÁ.

IV.2 - PROCESSAMENTO DOS DADOS

O experimento *HFC* é composto por 2 canais de dados denominados de alta frequência e baixa frequência cuja finalidade é apenas confirmar o perfil final obtido, ou seja, o perfil final de ambos os canais deve ser o mesmo.

Após a coleta dos dados do experimento *HFC*, esses foram processados por vários softwares desenvolvidos especificamente para os devidos fins conforme instruções do orientador.

Nos 14 arquivos disponíveis encontram-se “misturados” os dados do canal de alta frequência e baixa frequência.

Esses softwares estão disponíveis na Divisão de Aeronomia/CEA e serão apenas descritos sucintamente a seguir:

- Gua01.c - responsável por gerar um valor médio único para cada pulso e um tempo médio para cada pulso de todos os 14 arquivos disponíveis.
- Gua02.c - como os dados coletados foram limitados a um valor máximo de 20 bits, por uma questão de projeto físico do experimento, torna-se necessário fazer uma adaptação dos mesmos. Esse software é responsável por essa adaptação que consiste em multiplicar o valor médio único pela constante 0.05539 obtida dos testes sobre o experimento *HFC*, em laboratório, antes de ser lançado a bordo de foguete.
- Gua03.c - responsável por separar os dados oriundos do software gua02.c em 2 arquivos respectivamente para os 2 canais de alta frequência e baixa frequência. Daqui em diante, trabalhou-se com 2 arquivos distintos.
- Gua04.c - tanto para o arquivo de alta frequência quanto para o arquivo de baixa frequência os dados apresentam-se dispostos em 2 colunas sendo uma para o tempo do dado e outra para o valor do dado. Agora torna-se,

então, necessário gerar mais 1 coluna para a altura do dado. Esses valores da altura dos dados foram obtidos através de uma fórmula que interpola o tempo do dado com o tempo disponível em um arquivo denominado "guaalt.dat" que foi gerado manualmente pela bolsista com o auxílio de um formulário fornecido pelo orientador. Esse formulário descreve a altura do foguete de 10 em 10 segundos.

$$\text{altura do dado} = \text{thi} + \left(\frac{\text{thf} - \text{thi}}{\text{tdf} - \text{tdi}} \right) * (\text{td} - \text{tdi})$$
 onde

thi: tempo inicial da altura disponível no arquivo "guaalt.dat",

thf: tempo final da altura disponível no arquivo "guaalt.dat",

tdi: tempo inicial da faixa de dado no arquivo oriundo do "gua03.c",

tdf: tempo final da faixa de dado no arquivo oriundo do "gua03.c",

td: tempo do dado atual no arquivo oriundo do "gua03.c".

Esse software foi executado tanto para o arquivo de baixa frequência como para o arquivo de alta frequência, sendo ambos agora composto por 3 colunas sendo respectivamente a coluna de tempo do dado, a coluna da altura do dado e a coluna do valor do dado.

- Gua05.c - responsável por retirar de ambos os arquivos, alta frequência e baixa frequência, os dados de calibração do experimento que interferem no resultado final do perfil.
- Gua06.c - responsável por calcular a frequência de densidade eletrônica tanto para o arquivo de alta frequência como para o arquivo de baixa

frequência, através da fórmula abaixo fornecida pelo orientador e retirada de estudos científicos com constantes empíricas:

$$\text{densidade eletrônica} = (2 * f^2 * df) / (f_0 * 81 * 0.5 * k) \text{ onde,}$$

f₀: valor da calibração,

f: valor do dado atual,

df: (f - f₀),

k: constante = 0.369 (para alta frequência)

constante = 0.442 (para baixa frequência)

- Gua07.c - responsável por eliminar o movimento de precessão do foguete, tanto para o arquivo de alta frequência como para o arquivo de baixa frequência, pela média aritmética de 73 pontos, ou seja, soma-se os 73 dados sequenciais e divide-se por 73. Esse número, 73, foi obtido após a plotagem dos arquivos oriundos do campo magnético e a contagem do número de pontos(73) para cada ciclo, uma volta de 360 graus, que a ogiva do foguete completava.
- Gua08.c - responsável também para retirar o movimento de precessão do foguete porém pela média corrida de 73 pontos, obtido o número 73 da mesma forma citado acima. O resultado apresentado, para ambos os arquivos de alta frequência e baixa frequência foi melhor que o resultado apresentado pelo "gua07.c".

Ignorou-se então o resultado apresentado pelo "gua07.c" e trabalhou-se ainda mais no resultado apresentado pelo "Gua08.c", sempre com a intenção

de diminuir o movimento de precessão do foguete através do uso das médias corridas com várias quantidades pontos.

IV.3 - PERFIL FINAL DE DENSIDADE ELETRÔNICA

Após todo o procedimento, execução passo a passo de todos os softwares, o perfil final obtido para alta frequência e para baixa frequência são respectivamente ilustrados a seguir e conclui-se, visualmente, que são os mesmos:

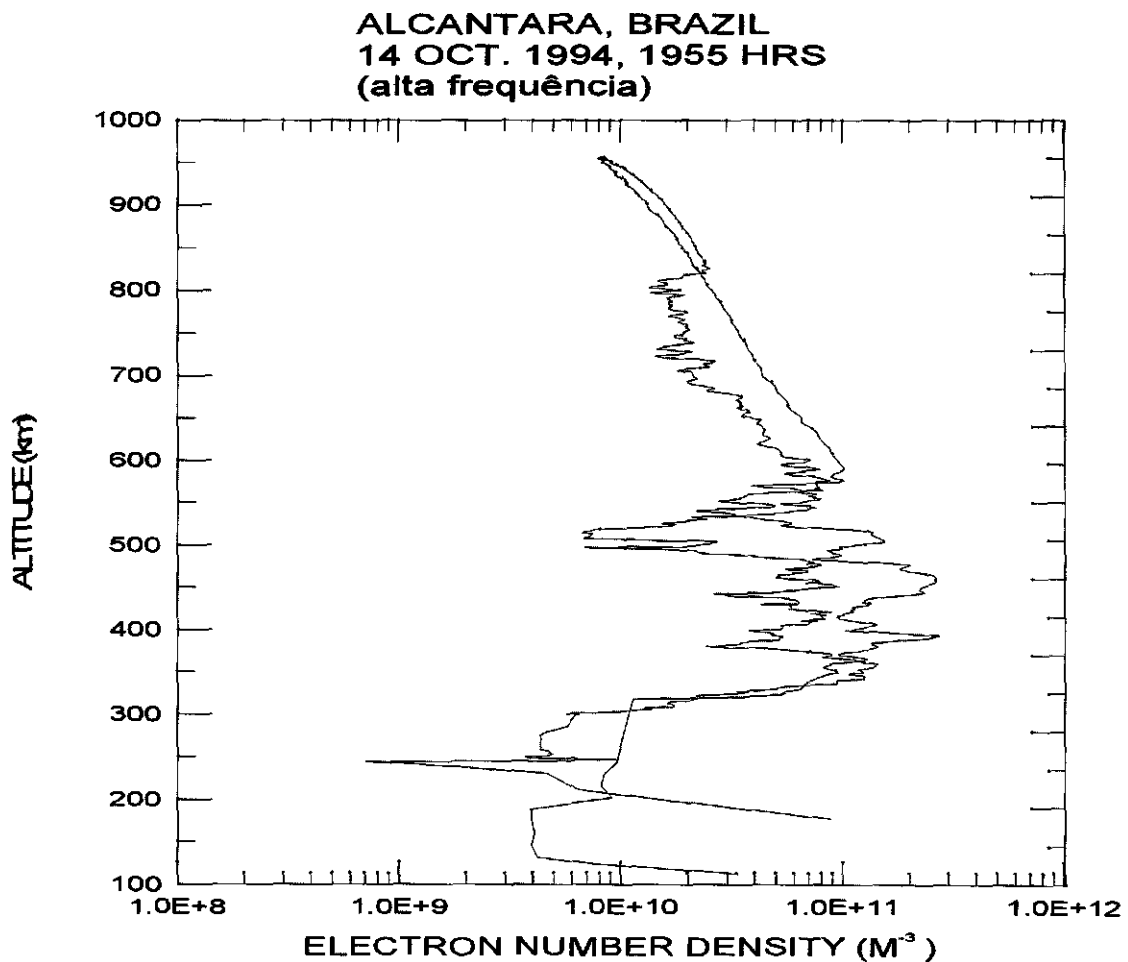


FIGURA 03 - Perfil de densidade eletrônica da Campanha GUARÁ alta frequência.

ALCANTARA, BRAZIL
14 OCT. 1994, 1955 HRS
(baixa frequência)

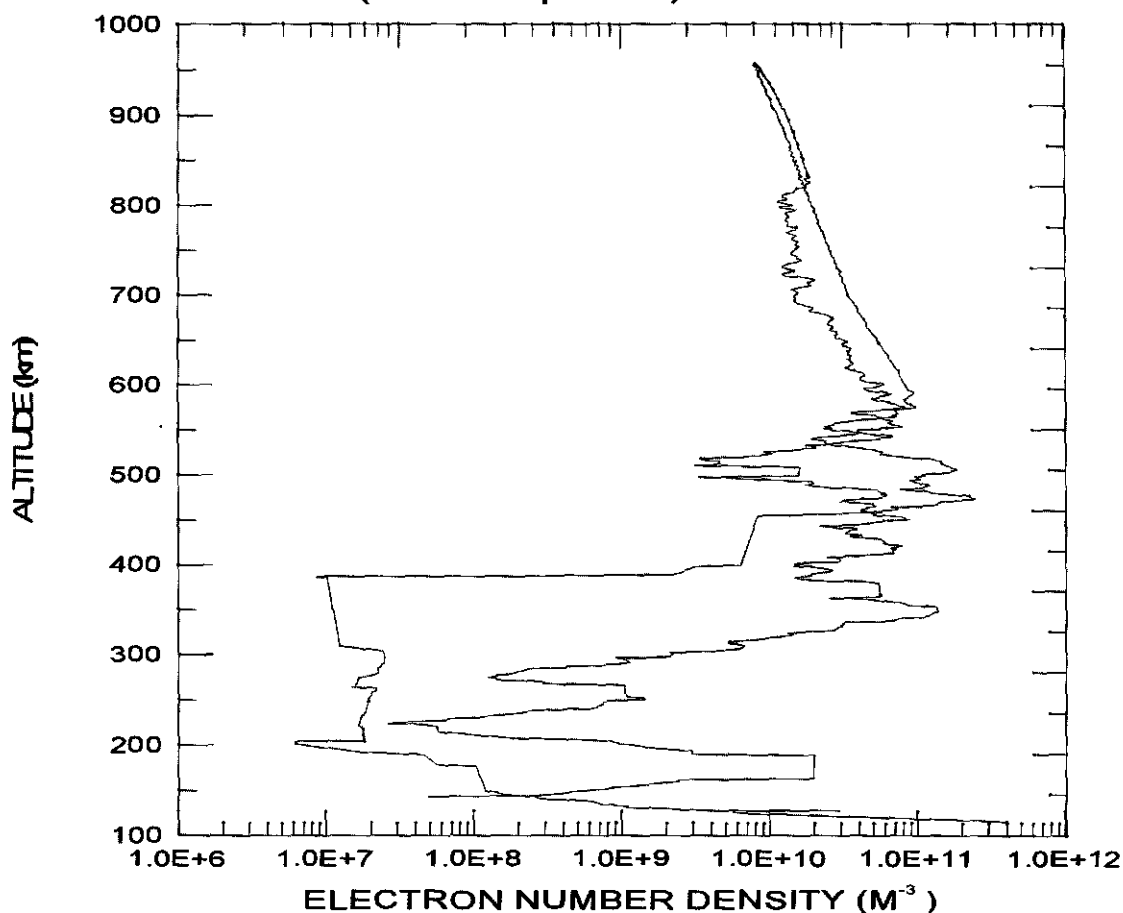


FIGURA 04 - Perfil de densidade eletrônica da Campanha GUARÁ baixa frequência.

IV.4 - COMPARAÇÃO COM OUTROS EXPERIMENTOS

Torna-se necessário ainda, para uma maior confiabilidade nos perfis finais obtidos, uma comparação desse experimento *HFC*, com mais 2 experimentos que também foram lançados a bordo do mesmo foguete denominados de *PFP - Plasma Frequency Probe*, e *LP - Langmuir Probe*. O processamento feito com esses 2 experimentos foi simples porém trabalhoso, restringindo-se a plotagem dos respectivos dados e a conferência manualmente dos mesmos.

As figuras a seguirem ilustram os 3 experimentos juntos:

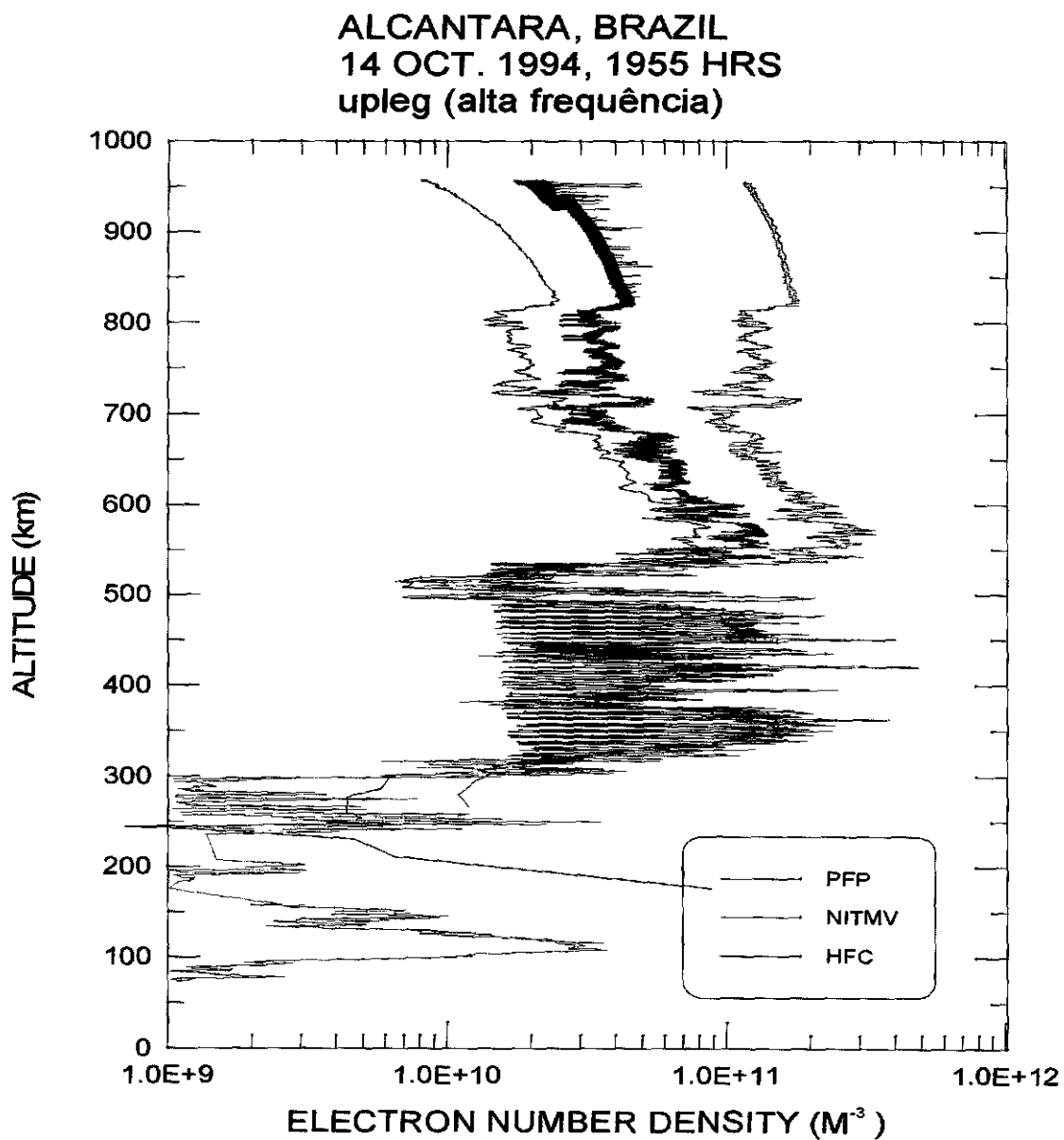


FIGURA 05 - Perfil de densidade eletrônica da Campanha GUARÁ alta frequência com os demais experimentos - (upleg).

ALCANTARA, BRAZIL
14 OCT. 1994, 1955 HRS
downleg (alta frequência)

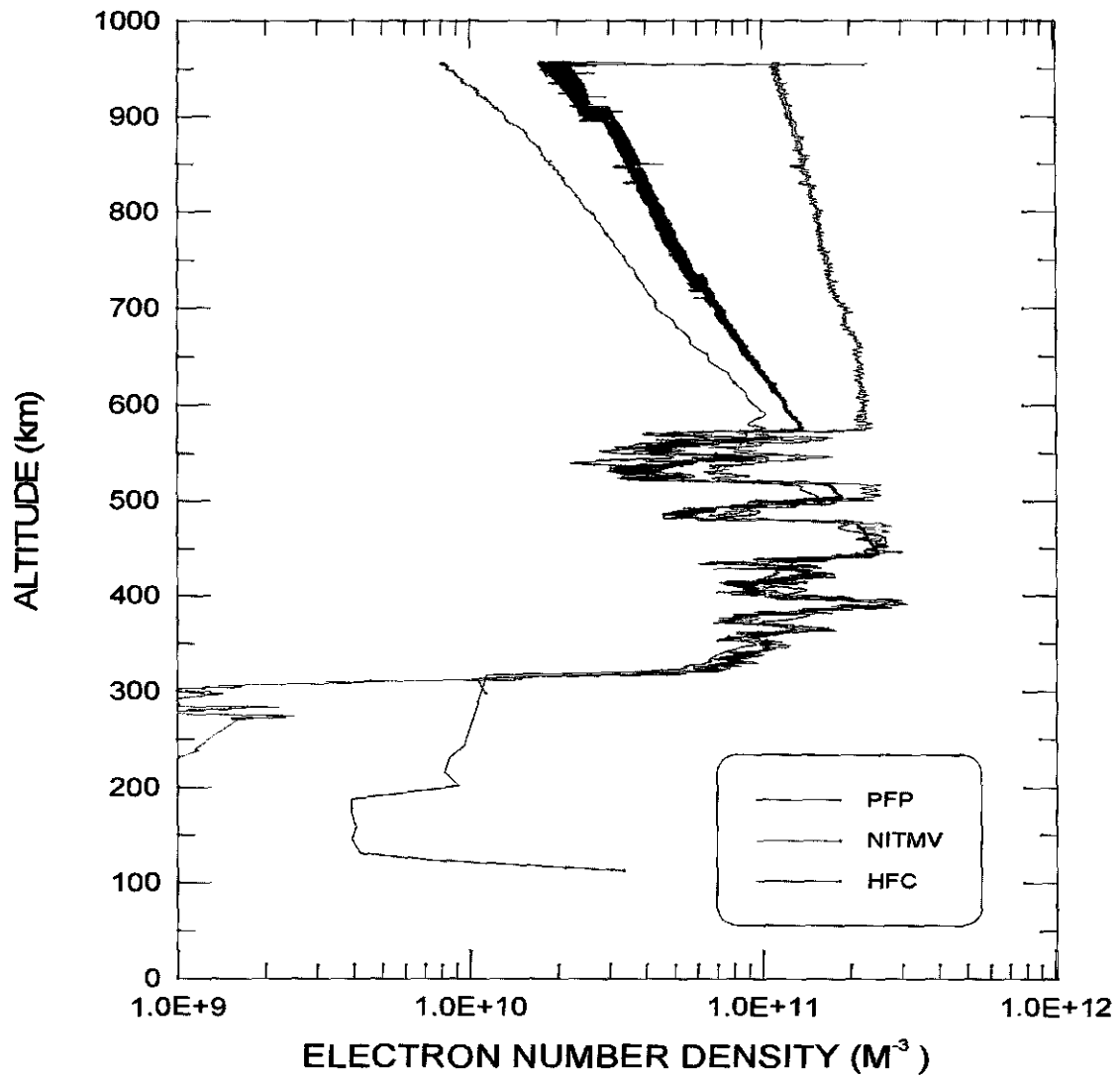


FIGURA 06 - Perfil de densidade eletrônica da Campanha GUARÁ alta frequência com os demais experimentos - (downleg).

IV.5 - CONCLUSÃO

Pode-se concluir que o perfil de densidade eletrônica obtido pela Campanha Guará é digno de confiabilidade pois o resultado atingido entre 300km e 600km é equivalente aos demais resultados dos experimentos lançados a bordo do mesmo foguete, concluindo-se ainda que entre essas alturas, é visível a presença de uma irregularidade ionosférica, o *Spread-f*, citada no item II.1.

Porém há uma discrepância entre os experimentos quando as alturas ultrapassam os 600km devido aos problemas inerentes ao funcionamento de cada um dos experimentos.

BIBLIOGRAFIA

Kirchhoff, V.W.J.H. - "Introdução a Geofísica Espacial" - São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, 1991.

Machado, F.N.R. e Abreu, M.P. - "Projeto de Banco de Dados - uma visão prática", - Editora Érica Ltda, 1995.

Duntemann, J. , Mischel, J. e Taylor, D. - "Delphi - kit do explorador" , - Editora Berkeley Brasil, 1996.