



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**CLIMATOLOGIA, ESTUDO E MONITORAMENTO DA ELETRODINÂMICA  
DA BAIXA IONOSFERA EQUATORIAL**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
(PIBIC/CNPq/INPE)**

**Laís Maria Guizelli (UNITAU, Bolsista PIBIC/CNPq)**

**E-mail: [lais@dae.inpe.br](mailto:lais@dae.inpe.br)**

Dr. Clezio Marcos De Nardin (DAE /INPE, Orientador)

E-mail: [denardin@dae.inpe.br](mailto:denardin@dae.inpe.br)

**COLABORADORES**

Aluna de Mestrado Laysa Cristina Araújo Resende (DAE/INPE)

Aluno de Mestrado Pedro Daniel Santos Carvalho de Almeida(DAE/INPE)

Aluno de Doutorado Henrique Carlotto Aveiro (Cornell University – NY/EUA )

**Julho de 2009**

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPECIAIS  
Relatório Final de Atividades

## **Dados de Identificação**

### Bolsista:

Laís Maria Guizelli  
Curso: Engenharia Elétrica  
UNITAU: Universidade de Taubaté

### Orientador:

Dr. Clezio Marcos De Nardin  
Divisão de Aeronomia - DAE/CEA/INPE – /MCT  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT  
São José dos Campos - SP

### Local de Trabalho/Execução do Projeto:

O projeto foi desenvolvido na Divisão de Aeronomia (DAE) da Área de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), sob a orientação do Dr. Clezio Marcos De Nardin, pesquisador da divisão.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPECIAIS  
Relatório Final de Atividades

*“O que vale na vida não é o ponto de partida e sim a caminhada. Caminhando e semeando, no fim terás o que colher.”  
(Cora Coralina)*

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPECIAIS  
Relatório Final de Atividades

*Aos meus pais,  
Elisabeth Guizelli e  
José Joaquim de Moraes,  
e ao meu orientador  
Dr. Clezio Marcos De Nardin.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE pela oportunidade de estudos e utilização de suas instalações.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo auxílio financeiro.

A Deus, pela vida.

Ao meu orientador Dr. Clezio Marcos De Nardin, pelo apoio, a fim de realizar um bom trabalho.

A minha família, pelo carinho e presença de todos os dias.

Aos meus amigos de trabalho, Henrique, Laysa, Pedro, e a todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

Em especial, a minha mãe Elisabeth Guizelli, pelo amor, esforço, atenção e por estar sempre ao meu lado.

## SUMÁRIO

|            |  |  |
|------------|--|--|
| <b>1</b>   | <b>INTRODUÇÃO E OBJETIVOS DO TRABALHO</b>                              | <b>10</b>  |
|            | <b>1.1</b>   | <b>Introdução 10</b>                               |
|            | <b>1.2</b>   | <b>Objetivo 10</b>                                 |
| <b>2</b>   | <b>ATMOSFERA NEUTRA, IONOSFERA TERRESTRE E O ELETROJATO EQUATORIAL</b> | <b>11</b>  |
|            | <b>2.1</b>   | <b>Atmosfera Neutra 11</b>                         |
|            | <b>2.2</b>   | <b>Ionosfera Terrestre 12</b>                      |
|            | <b>2.2.1</b>   | <b>Região D 13</b>                                 |
|            | <b>2.2.2</b>   | <b>Região E 13</b>                                 |
|            | <b>2.2.3</b>   | <b>Região F 14</b>                                 |
|            | <b>2.3</b>   | <b>Eletrojato Equatorial (EEJ) 15</b>              |
|            | <b>2.3.1</b>   | <b>Irregularidades do Eletrojato Equatorial 16</b> |
| <b>3</b>   | <b>Instrumentação e Metodologia de Análise</b>                         | <b>17</b>  |
| <b>3.1</b> | <b>Radar de Espalhamento Coerente em 50 MHz do INPE</b>                | <b>17</b>  |
|            | <b>3.2</b>   | <b>Dados Coletados 18</b>                          |
|            | <b>3.3</b>   | <b>Metodologia de Análise de Dados 18</b>          |
| <b>4</b>   | <b>Resultados e Discussões</b>   | <b>21</b>  |
| <b>4.1</b> | <b>Resultados das Análises dos dados do RESCO 50 MHz</b>               | <b>21</b>  |

|              |  |           |
|--------------|--|-----------|
| <b>4.2</b>   | <b>Discussão dos Resultados</b>  | <b>23</b> |
| <b>4.2.1</b> | <b>Horário de Início de Fim do EEJ</b>   | <b>23</b> |
| <b>4.2.2</b> | <b>Altura de Início de Fim do EEJ</b>  | <b>23</b> |
| <b>4.2.3</b> | <b>Evolução da Estatística</b>   | <b>24</b> |
| <b>5</b>     | <b>Trabalhos Publicados, Participação em Palestras</b>                             | <b>25</b> |
| <b>5.1</b>   | <b>Trabalhos Publicados em Anais</b>   | <b>25</b> |
| <b>5.1.1</b> | <b>Seminário de Iniciação Científica do INPE 2008</b>                              | <b>25</b> |
| <b>5.1.2</b> | <b>II Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia</b>                    | <b>25</b> |
| <b>5.2</b>   | <b>Participação em Palestras</b>   | <b>26</b> |
| <b>5.3</b>   | <b>Trabalhos Submetidos</b>  | <b>26</b> |
| <b>5.3.1</b> | <b>11<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society</b> | <b>26</b> |
| <b>6</b>     | <b>Conclusões</b>  | <b>27</b> |
|              | <b>APÊNDICE A</b>  | <b>29</b> |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura1: Classificação da Atmosfera neutra e da atmosfera ionizada terrestre.....  | 11 |
| Figura 2 À esquerda, a localização das três camadas ionosféricas, com sua nomenclatura. E à direita, a dimensão aproximada da Ionosfera (em azul, similar à esquerda) em relação a Terra. ....   | 13 |
| Figura 3: Esquema das correntes ionosféricas e campos elétricos baseado na teoria do dínamo ionosférico. ....  | 15 |
| Figura 4: Espectros de irregularidades Tipo 1, à esquerda, e irregularidades Tipo 2, à direita, dos dados do Radar de Espalhamento Coerente em 50 MHz, no dia 24 de janeiro de 2001, as 14 horas, para a altura de 105,2 km, medidas no Observatório Espacial de São ... | 16 |
| Luís do Maranhão/INPE - MCT.....   | 16 |
| Figura 5: Fotografia do Observatório Espacial de São Luís do Maranhão do INPE/MCT, onde podem ser visto o conjunto de antenas do Radar de Espalhamento Coerente - RESCO. ....  | 17 |
| Figura 6: Exemplo de mapa RTI de variação temporal de intensidade de potência em função da altura obtido pelo RESCO no Observatório Espacial de São Luís do INPE - MCT para o dia 20 de fevereiro de 2003. ....  | 18 |
| Figura 7:Histograma de ocorrência de dias versus a hora de início (esquerda) e fim (direita), de observação das irregularidades do EEJ.....  | 21 |
| Figura 8: Histograma de ocorrência de dias versus altura de observação das irregularidades do EEJ na hora de início (esquerda) e na hora de fim (direita) para dados de 2002, 2003. .  | 22 |
| Figura 9:Histograma de ocorrência de dias versus a hora de início (esquerda) e fim (direita), de observação das irregularidades do EEJ para dados de 2002, 2003, 2004.....   | 22 |
| Figura 10: Histograma de ocorrência de dias versus altura de observação das irregularidades do EEJ na hora de início (esquerda) e na hora de fim (direita), para dados de 2002, 2003, 2004. ....   | 23 |

## CAPÍTULO 1

### 1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS DO TRABALHO

#### 1.1 Introdução

Neste trabalho serão apresentadas as atividades desenvolvidas no período de agosto de 2008 até julho de 2009. Neste período foram desenvolvidas atividades teóricas e práticas relacionadas com o tema do projeto. Como atividade teórica foi realizada uma revisão bibliográfica sobre a atmosfera neutra, ionosfera terrestre e o eletrojato equatorial. Como atividades práticas, foram processados e analisados os dados do Radar de Espalhamento Coerente (RESCO) que está instalado no Observatório Espacial de São Luís, OESLZ/INPE – MCT, no Maranhão, com coordenadas geográficas 2,33° S, 44,20° O. Nesse contexto, efetuou-se um estudo, submetido à apresentação do Seminário de Iniciação Científica do INPE (SICINPE) 2009.

No capítulo 2 deste relatório serão apresentados trabalhos de revisão teórica, a qual teve a finalidade de desenvolver os conceitos sobre a atmosfera neutra, a ionosfera terrestre e o eletrojato equatorial. No capítulo 3 serão apresentadas as instrumentações e as metodologias utilizadas para o desenvolvimento do trabalho. No capítulo 4 serão sumarizadas as discussões sobre os resultados observados nessa pesquisa. Por fim, no capítulo 5, apresentamos as conclusões deste relatório.

#### 1.2 Objetivo

O principal objetivo deste projeto é caracterizar estatisticamente e analisar o comportamento da ionosfera tropical, com atenção voltada para a presença do eletrojato equatorial na região de São Luís – MA. O interesse nesta região tropical é devido a ela apresentar uma grande diversidade de fenômenos de interesse científico, os quais também são capazes de interferir nas comunicações transionosféricas. A outra motivação é a possibilidade dos resultados deste estudo levar ao desenvolvimento de ferramentas eficientes de Previsão do Clima Espacial Local, ou seja, ferramentas que nos permitam antever possíveis efeitos das atividades “eruptivas” solares no ambiente ionosférico sobre o território brasileiro. No ambiente espacial brasileiro, os efeitos do Clima Espacial são particularmente mais intensos devido à grande extensão territorial do país, sua localização geográfica na região equatorial e à ocorrência de anomalias regionais no campo magnético e em camadas ionosféricas. Os serviços gerados pelos sistemas estrangeiros não levam em conta os fenômenos típicos das regiões equatoriais. Portanto, é importante iniciarmos nossos esforços para estabelecer as bases de um sistema científico brasileiro para pesquisas, monitoramento e previsão do Clima Espacial, capaz de realizar essas atividades de maneira a atender as necessidades regionais de maneira mais eficiente.

## CAPÍTULO 2

### 2 ATMOSFERA NEUTRA, IONOSFERA TERRESTRE E O ELETROJATO EQUATORIAL

#### 2.1 Atmosfera Neutra

A estrutura atmosférica pode ser organizada pelo perfil de temperatura, enquanto que a ionosfera é organizada conforme a densidade do plasma (Kelley, 1989). A classificação de acordo com a temperatura gradiente é mostrada à esquerda na Figura 1. A troposfera tem gradiente de temperatura igual ou abaixo de 10 K/km. A tropopausa localiza-se nas alturas entre 10 e 12 km. A estratosfera é uma região onde a temperatura aumenta com a altura, devido a absorção de energia do espectro ultravioleta pelo ozônio ( $O_3$ ). O limite superior da estratosfera é denominado estratopausa, a qual pode atingir até 50 km de altitude. A mesosfera é a camada localizada acima da estratosfera, nesta camada a temperatura diminui chegando a 180 K, sendo uma das camadas mais frias da atmosfera neutra. Acima da mesopausa encontramos a termosfera onde há um aquecimento por conta da radiação solar extremo ultravioleta, tornando-se a região mais quente da atmosfera terrestre, com cerca de 1000 K.

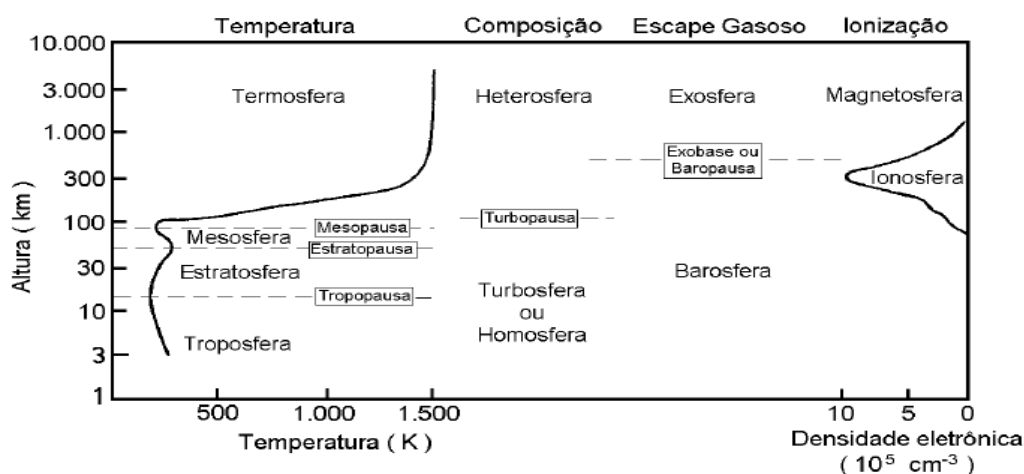


Figura1: Classificação da Atmosfera neutra e da atmosfera ionizada terrestre.  
Fonte: Hargreaves(1992).

Embora a classificação por temperatura seja a mais usada, a classificação por composição é indispensável. A parte inferior da atmosfera, conhecida como homosfera ou turbosfera, é homogênea e sua composição pouco varia em relação àquela do nível do mar, exceto para

componentes menores. Na região acima, chamada heterosfera, a mistura é mais controlada pelo gradiente de temperatura positivo, os vários componentes podem ser separados por conta da gravidade, portanto a composição varia com a altitude. O limite entre essas duas regiões ocorre próximo aos 100 km e é chamado de turbopausa. A heterosfera pode ainda ser dividida em duas regiões, uma é composta de gás Hélio e é chamada de heliosfera, a outra região é composta por gás hidrogênio e é chamada de fotonosfera.

Ainda temos a classificação de acordo com o escape gasoso, onde a atmosfera neutra se divide em exosfera e barosfera. A exosfera é uma região acima dos 600 km. A base desta região é a exobase ou baropausa. A região abaixo da baropausa é a barosfera (Hargreaves, 1992).

Para finalizar, classificaremos a atmosfera pela presença ou não de plasma. O termo ionosfera e magnetosfera são aplicados para as regiões ionizadas da atmosfera e são as regiões onde o campo magnético controla o movimento das partículas ionizadas. A ionosfera é o objeto do nosso estudo, e segue na seção seguinte.

## 2.2 Ionosfera Terrestre

A ionosfera é uma região da atmosfera terrestre situada entre 60 e 2000 km de altitude. Ela é formada, em essência, por gases ionizados sob altas temperaturas, ou seja, um plasma. Sua composição é dada por átomos e moléculas neutras, e quando os raios solares que são muito energéticos, a atingem, fazem com que essas partículas neutras liberem elétrons, formando os íons positivos, resultando no plasma ionosférico. Portanto a ionosfera só existe por que há uma interação entre a atmosfera e a radiação solar.

Ao anoitecer o plasma torna-se fracamente ionizado, pois a maior fonte de radiação cessa. Neste caso, existe uma perda na ionização atmosférica, mas essa perda chega a ser irrelevante quando a comparamos com a produção que há durante o dia. A taxa de troca de densidade eletrônica é expressa pela equação da continuidade (Hargreaves, 1992).

$$\frac{\partial N}{\partial t} = q - L - \nabla \cdot (N\mathbf{v}),$$

onde  $q$  é a taxa de produção,  $L$  é a taxa de perda por recombinação,  $\nabla \cdot (N\mathbf{v})$  expressa a perda/ganho de elétrons por transporte, sendo  $v$  a velocidade de transporte.

Esta constante criação e destruição do plasma indica que a estrutura ionosférica varia conforme a radiação solar. Além disso, a densidade ionosférica varia com o ciclo de atividade solar, a sazonalidade e a latitude. A variação da densidade atmosférica e da absorção da quantidade de energia proveniente da radiação solar geram três regiões ionosféricas distintas, que são as regiões D, E e F. A Figura 2 ilustra as três camadas com suas respectivas alturas e densidades eletrônicas.

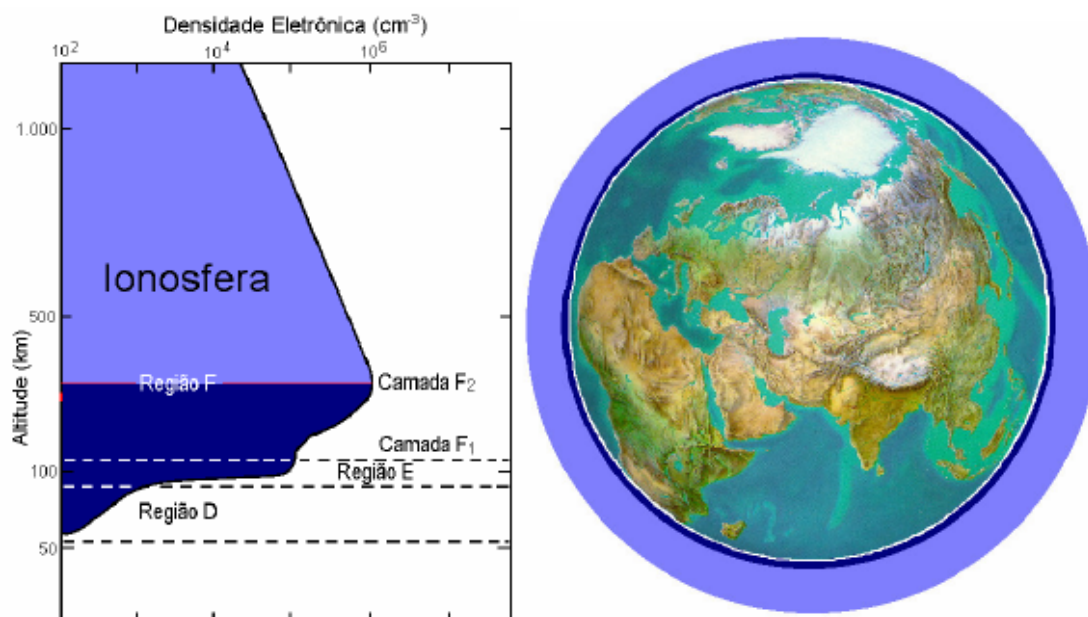


Figura 2 À esquerda, a localização das três camadas ionosféricas, com sua nomenclatura. E à direita, a dimensão aproximada da Ionosfera (em azul, similar à esquerda) em relação a Terra. Fonte Denardini (1999. p26)

### 2.2.1 Região D

A região D está localizada na porção inferior da ionosfera, entre ~ 60 e 90 km acima da superfície terrestre. É a menos densa em elétrons e praticamente desaparece durante a noite. Esta região é formada essencialmente por colisões de partículas energéticas com a atmosfera neutra. Esta região possui metais alcalinos (Na, K, Li) e as reações químicas mais importantes envolvem os seguintes elementos: O, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O. Ela também é responsável pela absorção das ondas de rádio em alta frequência (Rishbeth, 1969).

### 2.2.2 Região E

Essa camada inicia por volta dos 90 km e se estende até ~ 150 km. Durante a noite sua densidade eletrônica diminui significativamente, pois sua principal fonte produtora, o Sol, está ionizando o outro hemisfério. Nesse horário sua densidade eletrônica é da ordem de  $5 \times 10^9$  elétrons/m<sup>3</sup>, enquanto que durante o dia ela pode ser da ordem de  $10^{11}$  elétrons/m<sup>3</sup>. Ela possui dois íons majoritários: NO<sup>+</sup> e O<sub>2</sub><sup>+</sup>, mas também é caracterizada pela presença de íons metálicos como Mg<sup>+</sup> e Fe<sup>+</sup>. A presença destes íons metálicos é creditada à desintegração meteórica pelo atrito com a atmosfera terrestre. E deve ser mencionado que estes íons são os responsáveis pela formação das camadas E esporádicas em médias latitudes (Aveiro, 2005).

### 2.2.3 Região F

A região F fica acima da região E, iniciando a ~ 150 km da superfície terrestre e estendendo-se até o limite superior da ionosfera (~ 1500 km). Essa região se subdivide em F1 e F2 e em determinados horários e latitudes pode aparecer a F3 (Abdu, 1997).

#### 2.2.3.1 Camada F1

Esta porção da região F tem início por volta dos 150 km e estende-se por aproximadamente 20 - 40 km. A espécie neutra molecular predominante nessa região é o N<sub>2</sub>. A espécie atômica predominante nessa região é o O (Kivelson e Russell, 1995). O íon majoritário é o O<sup>+</sup>, e sua concentração pode variar de 2,5 x 10<sup>11</sup> a 4 x 10<sup>11</sup> m<sup>-3</sup>. Porém, à noite a densidade eletrônica dessa região se reduz.

#### 2.2.3.2 Camada F2

Esta camada localiza-se na parte mais alta da Ionosfera e seu máximo de concentração eletrônica pode atingir aproximadamente 10<sup>12</sup> elétrons/m<sup>3</sup>, localizando-se em torno dos 300 km de altitude. Durante a noite a sua densidade eletrônica normalmente decai para cerca de 5 x 10<sup>10</sup> elétrons/m<sup>3</sup>. Dentre todas as regiões, ela é a que apresenta a maior concentração de elétrons da ionosfera terrestre, mesmo durante a noite. Isso ocorre por diversos fatores, entre eles, ela possui íons atômicos como espécie predominante, os quais possuem menor taxa de recombinação.

Há grande interesse no estudo da rádio propagação através desta região, devido ela possuir um grande número de irregularidades ionosféricas, as quais alteram significativamente as características do meio e apresentam um comportamento de difícil previsão.

#### 2.2.3.3 Camada F3

A camada F3 pode ser dividida em dois tipos, dependendo da época, ou seja, tipo 1, mais comum nos meses de verão, e do tipo 2 nos meses de inverno (Abdu, 1997).

### 2.3 Eletrojato Equatorial (EEJ)

O eletrojato é uma corrente que flui ao longo do equador magnético na região E da ionosfera. Está confinado em uma faixa de 600 km de extensão na direção norte-sul, entre aproximadamente 90 e 120 km de altitude. Ele é controlado por um sistema global de campos elétricos produzidos pelo dínamo atmosférico. Ele ocorre nesta região devido a orientação horizontal do campo magnético e às condutividades ionosféricas locais (Denardini, 1999). Este esquema de correntes está exemplificado na Figura 3.

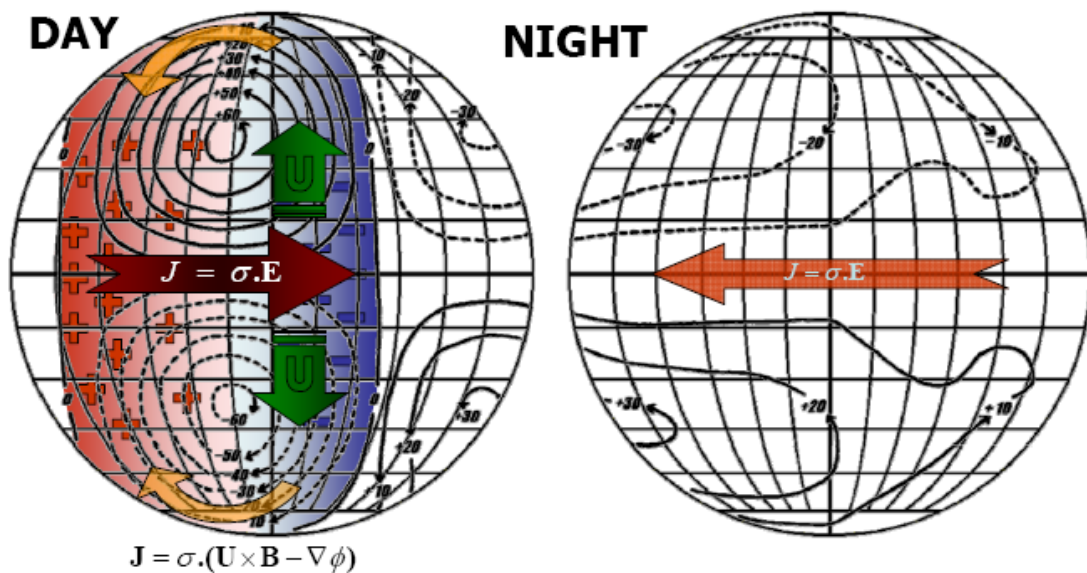


Figura 3: Esquema das correntes ionosféricas e campos elétricos baseado na teoria do dínamo ionosférico.

FONTE: Denardini (2004).

Assim como a região F, a região E também apresenta uma gama de irregularidades em seu plasma. Algumas delas estão relacionadas com o eletrojato equatorial, as quais são nosso objeto de estudo. Nas seções a seguir apresentamos estas irregularidades e algumas de suas características.

### 2.3.1 Irregularidades do Eletrojato Equatorial

Estudos feitos utilizando radares VHF mostram dois tipos distintos de irregularidades no eletrojato equatorial: irregularidades Tipo1 e Tipo2, como mostra a Figura 4.

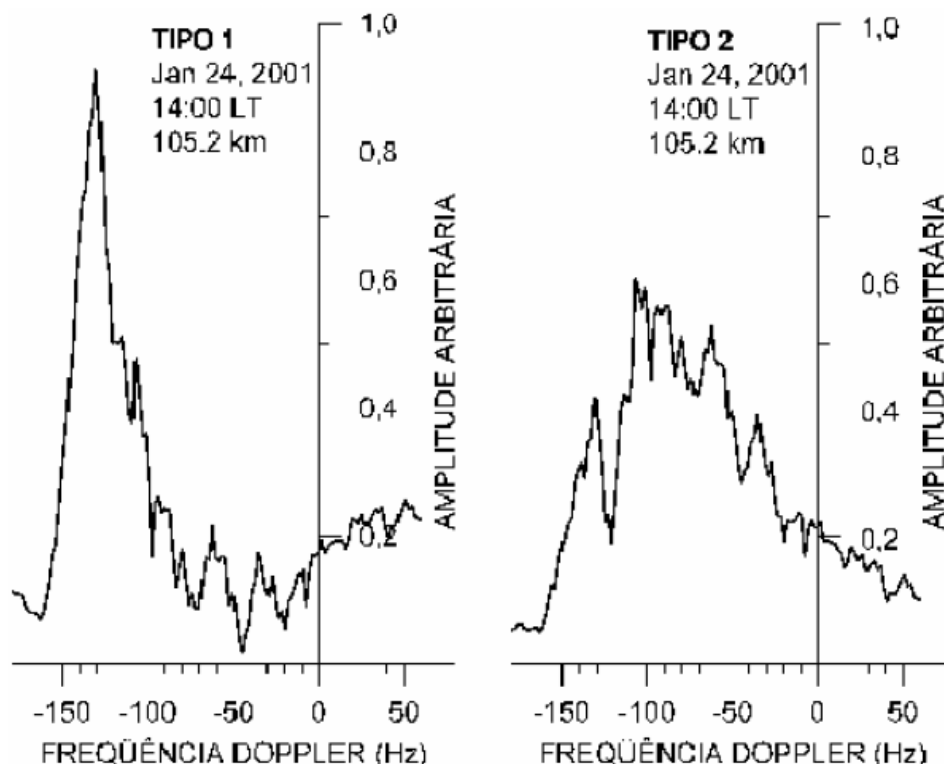


Figura 4: Espectros de irregularidades Tipo 1, à esquerda, e irregularidades Tipo 2, à direita, dos dados do Radar de Espalhamento Coerente em 50 MHz, no dia 24 de janeiro de 2001, as 14 horas, para a altura de 105,2 km, medidas no Observatório Espacial de São Luís do Maranhão/INPE - MCT.  
FONTE: Denardini (2003).

O espectro relacionado às irregularidades do Tipo 1 (à esquerda) apresenta largura de espectro estreita, com seu centro de distribuição sobre a velocidade correspondente à velocidade íon-acústica (~ 360 m/s). O espectro da direita, relacionado às irregularidades Tipo 2 tem sua largura de espectro de potência maior e seu centro de distribuição sobre uma velocidade inferior à velocidade íon-acústica.

Irregularidades Tipo 1 são mais captadas quando os pulsos são transmitidos em oblíquo. Já irregularidades Tipo 2 aparecem tanto quando as sondagens são feitas verticalmente ou em oblíquo (Bowles, 1963; Denardini 2004).



## CAPÍTULO 3

### 3 Instrumentação e Metodologia de Análise

#### 3.1 Radar de Espalhamento Coerente em 50 MHz do INPE

Uma das condições para detecção de irregularidades de plasma é que o feixe do radar deve estar no plano normal à direção do campo geomagnético nas alturas da região E , já que as irregularidades são alinhadas ao campo. Sendo assim, o radar foi instalado em São Luís que está localizado sob o equador magnético e próximo ao centro do eletrojato equatorial (Denardini, 1999).

O sistema de transmissão utilizado é o sistema pulsado, pois este sistema permite facilmente determinar a altura do espalhamento do sinal. Com a utilização deste método deve se tomar um cuidado específico. O período entre pulsos deverá ser suficientemente grande para evitar ambigüidade no recebimento.

O sistema de antenas do radar é composto por 768 dipolos de cabo coaxial, dispostos no arranjo de 32 x 24, ver Figura 5. As 32 antenas são dispostas em grupos de 4 antenas para sua alimentação pelos 8 transmissores. Cada antena do arranjo consiste de 24 dipolos ligados em série, dois a dois, alinhados no sentido norte-sul, resultando num ganho total para a antena de 32.5 dB.



Figura 5: Fotografia do Observatório Espacial de São Luís do Maranhão do INPE/MCT, onde podem ser visto o conjunto de antenas do Radar de Espalhamento Coerente - RESCO.

FONTE: Cortesia Dr. Clezio Marcos De Nardin.

### 3.2 Dados Coletados

O radar RESCO emite pulsos, que são ondas eletromagnéticas, em uma frequência de 50 MHz. Esses pulsos são retro-espalhados nas irregularidades de plasma do EEJ e sua energia é posteriormente detectada como um eco, que são armazenados pelo sistema de recepção do radar. Nesta fase os sinais analógicos são transformados para sinais digitais de 16 bits. Após feita a gravação, é aplicada a rotina de pré-processamento dos dados do radar RESCO, e obtém-se um mapa da variação de intensidade de potência, mapa RTI (*Range-Time-Intensity*), para determinado dia (Aveiro, 2005). A Figura 6 exemplifica um mapa RTI.

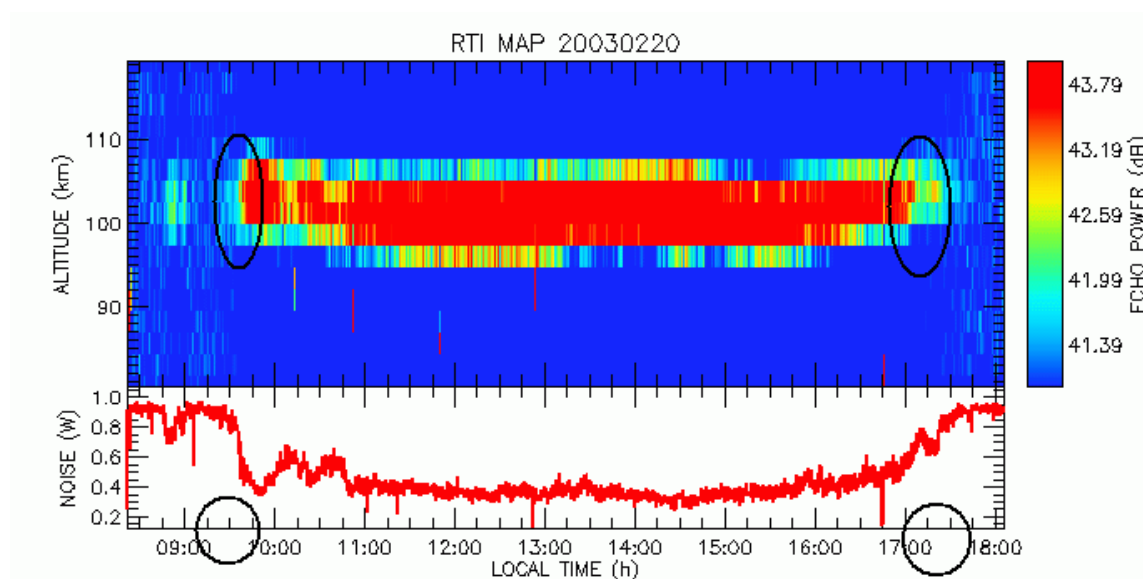


Figura 6: Exemplo de mapa RTI de variação temporal de intensidade de potência em função da altura obtido pelo RESCO no Observatório Espacial de São Luís do INPE - MCT para o dia 20 de fevereiro de 2003.

### 3.3 Metodologia de Análise de Dados

Neste período de bolsa foram desenvolvidos procedimentos para estabelecer uma metodologia de análise de dados. Para tanto, os mapas RTI foram analisados de forma manual. Os horários de inícios e fim de ocorrência de irregularidades de 3-m foram escolhidos baseados numa experiência de análise de dados desenvolvidas na bolsista. Além disso, foram investigadas as alturas destas irregularidades no EEJ nos horários de início e fim. Para um primeiro trabalho foram analisados dias de 2002 e 2003, como mostra a Tabela 1.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPCIAIS  
Relatório Final de Atividades

Tabela 1: Dias dos dados de 2002 e 2003 selecionados para análise

| 2002      |  |
|-----------|--|
| Janeiro   | 22,23,28,29,30   |
| Fevereiro | 14,15,16,20,21,22,23, 24,25,26,27,28   |
| Março     | 19,20,21,22,25,26,27,28  |
| Abril     | 22,23,24,25,26,29,30   |
| Maiο      | 2,3,20,21,22,23,24,27,28,29,31   |
| Junho     | 20,21,24,25,26,27,28   |
| Julho     | 22,23,25,26,29   |
| Agosto    | 1,14,19,26,27,29   |
| Setembro  | 10,11,12,13,17,18,19,20  |
| Novembro  | 5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18, 19,<br>20,21,22,23,24,25,26,27,28, 29,30 |
| Dezembro  | 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12   |
| 2003      |  |
| Janeiro   | 20,21,22,23,24,27,28,29,30,31  |
| Fevereiro | 17,18,19,20,21,24,25,26,27,28  |
| Março     | 17,18,24,25,26,27,28,31  |
| Abril     | 1,2,3,14,15,16,22,23,24  |
| Maiο      | 19,20,21,22,23,26,27,28,29   |

Este trabalho foi posteriormente ampliado, para ampliar a estatística de ocorrência do eletrojato equatorial. Para isso foram incluídos os dados de 2004, que são mostrados na Tabela 2.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPECIAIS  
Relatório Final de Atividades

Tabela 2: Dias dos dados de 2004 selecionados para análise

| 2004     |                |
|----------|----------------|
| Abril    | 26,27,28,29,30 |
| Agosto   | 1,4            |
| Setembro | 10,13,14,15,16 |
| Outubro  | 11,13,14,18    |
| Novembro | 11,12,16,17,18 |
| Dezembro | 6,14           |

## CAPÍTULO 4

### 4 Resultados e Discussões

Neste capítulo apresentamos os resultados das análises realizadas pela bolsista sob o conjunto de dados selecionados no capítulo anterior.

#### 4.1 Resultados das Análises dos dados do RESCO 50 MHz

Os resultados das análises de dados foram agrupados em forma de histogramas para caracterizar um comportamento médio de longo prazo, objetivo deste trabalho.

Nos histogramas da Figura 7, observamos, a esquerda, a distribuição da densidade o número de dias em que o EEJ começou no período entre 07:00 e as 10:00 (LT), para os dados de 2002 e 2003. O histograma da direita representa o número de dias cujo EEJ terminou entre as 16:30 às 19:30 (LT).

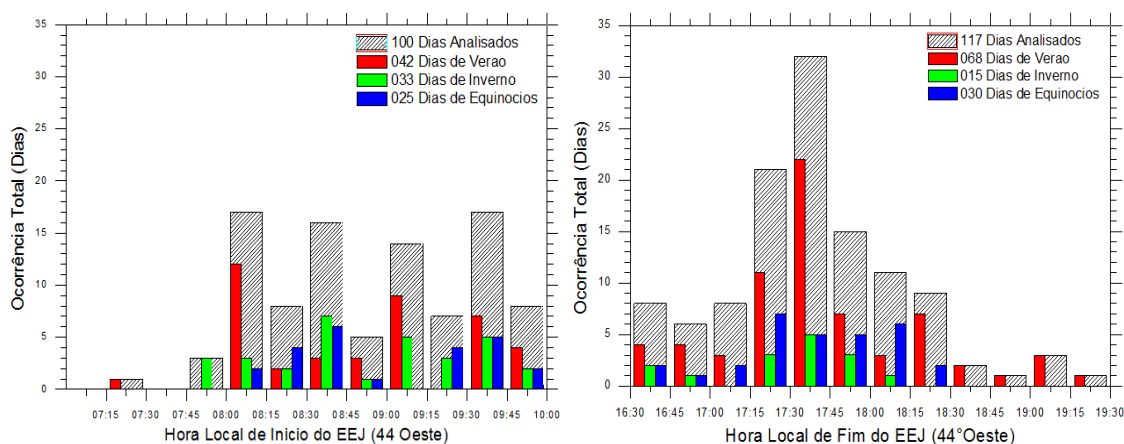


Figura 7: Histograma de ocorrência de dias versus a hora de início (esquerda) e fim (direita), de observação das irregularidades do EEJ.

A Figura 8 representa histogramas das ocorrências em dias versus a altura do EEJ. O histograma a esquerda mostra a altura do EEJ quando ele surge (dados de 2002 e 2003). O histograma o da direita, a altura do EEJ quando ele termina.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPCIAIS  
Relatório Final de Atividades

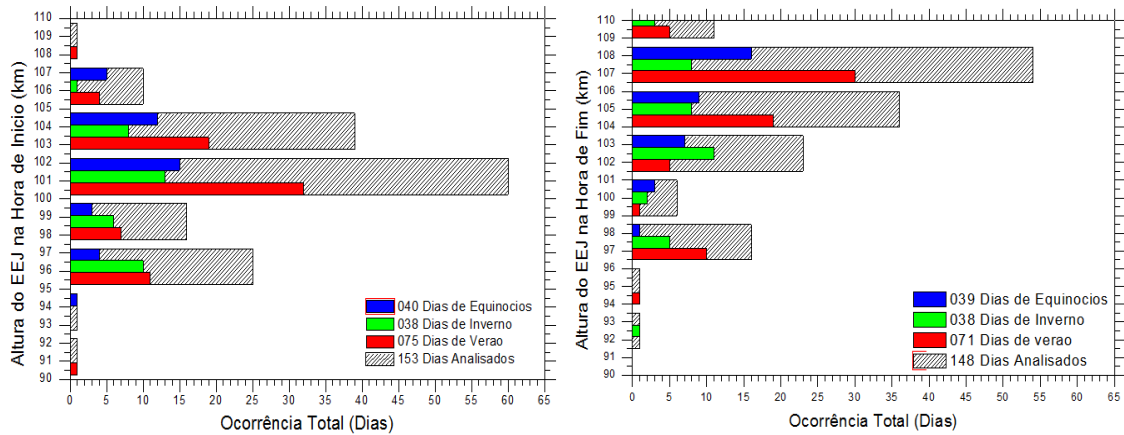


Figura 8: Histograma de ocorrência de dias versus altura de observação das irregularidades do EEJ na hora de início (esquerda) e na hora de fim (direita) para dados de 2002, 2003.

Com a expansão deste estudo, foram incluídos os dados de 2004 para ampliar a análise. Foram feitos novos histogramas, tanto para os horários de início e fim do EEJ, quanto para as alturas também de início e fim do EEJ. Observe agora que os histogramas foram construídos incluindo todo o conjunto de dados. Isto permite uma melhora na análise da estatística.

Na Figura 9, temos a esquerda, os dias em que o EEJ começou no período entre 07:45 e as 11:15 (LT), para os dias de 2002, 2003, 2004. A direita representa o número de dias cujo EEJ terminou entre as 15:45 às 19:15 (LT).

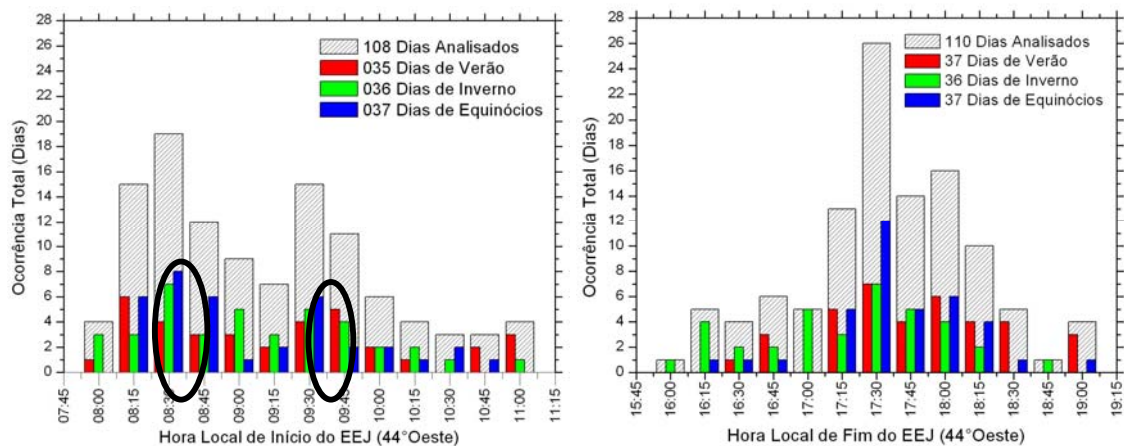


Figura 9: Histograma de ocorrência de dias versus a hora de início (esquerda) e fim (direita), de observação das irregularidades do EEJ para dados de 2002, 2003, 2004.

A Figura 10 representa histogramas das ocorrências em dias versus a altura do EEJ, para os anos de 2002, 2003, 2004. O histograma a esquerda mostra a altura do EEJ quando ele surge. Já o da direita, a altura do EEJ quando ele termina.

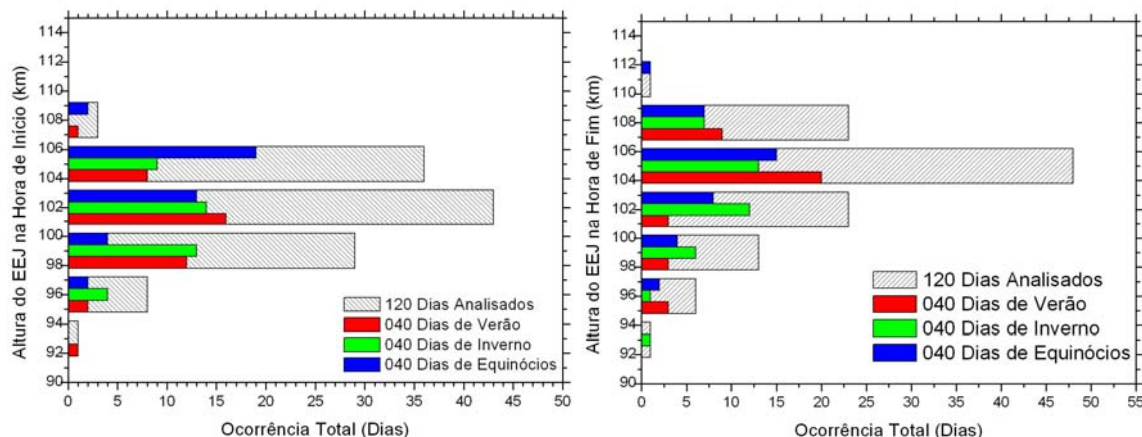


Figura 10: Histograma de ocorrência de dias versus altura de observação das irregularidades do EEJ na hora de início (esquerda) e na hora de fim (direita), para dados de 2002, 2003, 2004.

## 4.2 Discussão dos Resultados

### 4.2.1 Horário de Início de Fim do EEJ

Em termos gerais, o EEJ costuma aparecer após as 8:00(LT), e tem uma tendência a reduzir após as 9:00(LT). No verão a distribuição está centrada as 8:00(LT), há casos raros entre as 7:00(LT) e as 7:30(LT). No inverno a ocorrência do horário de início do EEJ é melhor distribuída em relação aos equinócios. Independente disso, há uma forte tendência do aparecimento do EEJ depois das 8:00(LT) no verão e depois das 8:30(LT) nos equinócios e no inverno. O aparecimento do EEJ após as 9:00(LT) deve ser analisado com atenção, visto que em boa parte dos casos o radar era ligado após este horário.

Com relação a hora do fim do EEJ podemos notar que há uma clara distribuição em torno das 17:30(LT) e as 17:45(LT), com casos extremos sendo observados após as 19:30. Podemos perceber que os únicos casos de EEJ após as 18:30 ocorreram no verão.

### 4.2.2 Altura de Início de Fim do EEJ

As alturas no início do EEJ variam entre 95 e 102,5 km, mas a distribuição está centrada entre 100 e 102,5 km. Este mesmo padrão é observada no verão, que tem características

semelhantes ao gráfico principal. No inverno não há um pico predominante, diferente dos equinócios e principalmente do verão.

No geral, a altura do fim do EEJ está entre 105-107,5 km, que se repete no verão e nos equinócios, o mesmo não pode ser observado no inverno, contudo, a ocorrência de dias no inverno pode ser dita por causa da pouca amostragem. Podemos perceber claramente que a altura do fim do EEJ supera a altura do início. Este fato foi reportado pela primeira vez por Denardini et al. (2005) no qual eles atribuíram parte da elevação que ocorre no período da tarde aos efeitos de ionização fotoquímica.

#### 4.2.3 Evolução da Estatística

Quando foram incluídos os dados de 2004 na estatística, houve uma ligeira alteração nos resultados. Quanto ao horário de início do EEJ tivemos uma maior variação, visto que no primeiro estudo o EEJ tendia a aparecer entre as 8:00 e as 9:00, já o segundo estudo mostra que o EEJ tende a aparecer entre as 8:15 e as 9:45. Observando o horário de fim do EEJ, nas duas estatísticas, notamos um pico por volta das 17:30.

Em média a altura do início do EEJ, em ambas estatísticas, ocorreu entre 100 e 103 km. Enquanto que a altura do fim do EEJ foi por volta dos 102-107 km. Os resultados das estatísticas comprovam o comportamento característico do EEJ.



## CAPÍTULO 5

### 5 Trabalhos Publicados, Participação em Palestras

Neste capítulo vamos apresentar as atividades complementares de formação do bolsista realizadas durante o período de bolsa 2008-2009 referentes ao assunto deste relatório. Essas atividades têm como objetivo o desenvolvimento pessoal e profissional da bolsista.

#### 5.1 Trabalhos Publicados em Anais

##### 5.1.1 Seminário de Iniciação Científica do INPE 2008

Título: Estudos comparativos dos perfis ionosféricos simulados com os adquiridos pela digissonda dos anos de 2001 e de 2003. De autoria de: **GUIZELLI, L. M.**, DENARDINI C. M., RESENDE L. C. A., AVEIRO H. C., ALMEIDA P. D. S. C.

Título: Estudo das presenças de camadas ionosféricas esporádicas em períodos perturbados em São Luís (MA) analisados a partir de dados de sondadores digitais e por assinatura de correntes induzidas em magnetômetros. De autoria de: RESENDE L. C. A., DENARDINI C. M., ALMEIDA P. D. S. C., AVEIRO H. C. **GUIZELLI, L. M.**

Local: INPE – São José dos Campos – SP

Período: 15 e 16 de Julho de 2008

##### 5.1.2 II Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia

Título: Variação diurna da ocorrência de irregularidade no plasma do eletrojato equatorial. De autoria de: **GUIZELLI, L. M.**, DENARDINI C. M., RESENDE L. C. A., AVEIRO H. C., ALMEIDA P. D. S. C., OLÍVIO, E. P. A.

Título: Estudo sobre as presenças de camadas ionosféricas esporádicas durante a tempestade de 1989 na estação de Fortaleza (CE). De autoria de: RESENDE L. C. A., DENARDINI C. M., **GUIZELLI, L. M.**, ALMEIDA P. D. S. C., AVEIRO H. C., OLÍVIO, E. P. A.

Título: Evidências de acoplamento entre os sistemas: sol – meio interplanetário – ionosfera – atmosfera neutra. De autoria de: DENARDINI C. M., AVEIRO H. C., RESENDE L. C. A., ALMEIDA P. D. S. C., OLÍVIO, E. P. A. **GUIZELLI, L. M.**, ABDU, M.A., SOBRAL, J.H.A., WRASSE, C.M.

Local: Campina Grande - Paraíba

Período: 8 e 11 de Setembro de 2008

## 5.2 Participação em Palestras

Além dos trabalhos realizados, a bolsista participou de algumas palestras, como ouvinte, ministradas pelo Dr. Michael C. Kelley da Universidade de Cornell, NY. As palestras foram realizadas no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais em novembro de 2008 e estão citadas abaixo:

- 1) The Equatorial Electrojet: Old Data / Old Theories / New Ideas
- 2) Spectacular Low and Mid-latitude Electrical Fields and Neutral Winds During a Superstorm: Origins and Effects.
- 3) Self- Similarity on Scales from 1 mm to One Lightyear.
- 4) F - region plasma instabilities. On the Origin of the Pre-reversal Enhancement of the Zonal Equatorial Electric Field.

## 5.3 Trabalhos Submetidos

### 5.3.1 11<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society

Título: Diurnal Variation of the Occurrence of Plasma Irregularities in the Equatorial Electrojet Over Brazilian Sector. De autoria de: **GUIZELLI, L.M.** ; DENARDINI, C. M. ; AVEIRO, H. C. ; ALMEIDA, P. D. S. C.; RESENDE, L. C. A.

Título: New Features of the Field-Aligned-Integrated Conductivity Model for the Brazilian Equatorial E-Region and the Implication on the Collision Rates. De autoria de: DENARDINI, C. M. ; OLÍVIO, Ê. P. A. ; AVEIRO, H. C. ; ALMEIDA, P. D. S. C.; RESENDE, L. C. A. ; **GUIZELLI, L. M.** ; WRASSE, C. M.; BAGESTON, J. V.

Título: Analysis of Solar Tides Signatures Seen by Magnetometer. De autoria de: ALMEIDA, P. D. S. C.; DENARDINI, C. M. ; AVEIRO, H. C. ; RESENDE, L. C. A. ; **GUIZELLI, L. M.**

Título: Study on the Ionospheric sporadic E-layers During the Maximum and minimum phase of solar cycles 23: Observations at São Luís – MA, Brazi. De autoria de: RESENDE, L. C. A. ; DENARDINI, C. M. ; AVEIRO, H. C. ; ALMEIDA, P. D. S. C.; **GUIZELLI, L. M.**

## CAPÍTULO 6

### 6 Conclusões

O estudo dos fenômenos que ocorrem na ionosfera equatorial é de grande importância para que se possa estabelecer mecanismos de previsão. Neste sentido, os esforços para formação da bolsista na área de ciência especial se concentraram, principalmente, no estudo sobre um dos fenômenos que ocorre na camada E ionosférica, o eletrojato equatorial.

Através dos dados adquiridos pelo RESCO, foi analisado manualmente os mapas RTI. Utilizando estes mapas observamos o horário de início e fim do EEJ, e suas respectivas alturas. Através do software Origin, foram plotados os resultados em forma de histogramas.

O estudo dos histogramas mostrou uma estatística de ocorrência de irregularidades de plasma de escala de 3 metros, observadas pelo radar RESCO em SLZ. Apesar de conhecido pela prática tal estudo revelou os horários médios e alturas médias de ocorrência destas irregularidades para o período de estudo. E, foi constatado que as irregularidades do EEJ estão presentes desde as 8:15 até as 18:00 (LT), podendo haver variações entre as estações do ano. Quanto à altura, o EEJ apresenta uma altura menor na sua formação e maior no esvanecimento.

Neste período de projeto a bolsista apresentou capacidade de interagir profissionalmente com os diversos integrantes do grupo de pesquisas ionosféricas do INPE, com os quais a bolsista foi capaz de colaborar com esforço integrado de pesquisa. Além disso, adquiriu a capacidade de elaborar trabalhos científicos, executá-los e compilar seus resultados, culminando com a preparação de trabalho para apresentação em eventos científico compatível com o seu grau de conhecimento, além de participar com apresentação de trabalhos em congressos internacionais da comunidade científica que atua na área em que foi desenvolvido este projeto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdu, M. A., Sastri, J. H., MacDougall, J., Batista, I. S., Sobral, J. H. A. Equatorial disturbance dynamo electric field longitudinal structure and spread F: a case study from GUARA/EITS campaigns. *Geophysical Research Letters*, v. 24, n. 13, p. 1707-1710, July 1997.
- Aveiro, H.C. Estudo da Eletrodinâmica do Eletrojato Equatorial Baseado em Dados Observacionais de Radares Coerentes, Ionossondas Digitais e Magnetômetros. 2005. INPE.
- Bowles, K. L., Balsley, B. B., Cohen, E. Field aligned E region irregularities identified with acoustic plasma waves. *Journal of Geophysical Research*, v. 68, n. A9, p. 2485-2501, May 1963.
- Denardini, C. M. Dissertação de Mestrado. Desenvolvimento de um Sistema de Correção de Fase para o Radar Ionosférico de São Luís do Maranhão. São José dos Campos, 1999. INPE.
- Denardini, C. M. Tese de Doutorado. Estudo da Eletrodinâmica da Ionosfera Equatorial Durante o período de Máxima Atividade Solar São José dos Campos, 2004. INPE.
- Hargreaves, J. K. *The solar-terrestrial environment*. Cambridge: Cambridge University Press, 1992.
- Kelley, M. C. *The Earth's Ionosphere*. San Diego: Academic Press, 1989.
- Kivelson, M. G., Russell, C. T. ed. *Introduction to space physics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.
- Rishbeth, H., Garriott, O. K. *Introduction to ionospheric physics*. New York: Academic, 1969.

## APÊNDICE A

### Rotina para Análise dos Mapas RTI

```
FUNCTION RTI_Load_OneDayPar, Txt_PathToRTI=Txt_PathToRTI, $
    Yes_EvalParam=Yes_EvalParam
;-----
ABSTRACT
;           This function loads one day of RTI maps parameters stored in
; an ASCII file corresponding. The files are named YYYYMMDD.OUT and
; are stored into the "RTI" directory.
;-----
CAPTION
; NRawFile                total number of raw data files
; Txt_PathToRTI  ----- Strings complete path where the data are stored
; Yes_EvalParam  ----- Flags           1: evaluate the fitted parameters
;-----
COPYRIGHT
; By:                    Laís Maria Guizelli Morais -lais@dae.inpe.br
; Date:                  Juny 24, 2009
; Modification : DATE (E_MAIL -> WHAT CHANGED)
;-----
--

; Declares the constants for the procedure -----
--
IF (N_ELEMENTS(Txt_PathToRTI) EQ 0) THEN RETURN, -1
; ----- flag
variable
IF (N_ELEMENTS(Yes_EvalParam) EQ 0) THEN Yes_EvalParam = 0

; Inicializes the counter and variables-----
----
Reader = ' ' ;
reader variable
LinCount = 0 ; set counter to
zero

; Open the ASCII file for loading -----
----
OPENR, nfile, Txt_PathToRTI, /GET_LUN ; opens file for
loading

; Loop for loading the data from the file -----
----
```

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPCIAIS  
Relatório Final de Atividades

```

WHILE (NOT EOF(nfile)) DO BEGIN

    READF, nfile, Reader                                ; read the
data                                                    data

    IF (STRMID(Reader, 04, 01) EQ '-') THEN GOTO, Stop_Reading

    Nbrs = STRTOK(Reader, ' ', /EXTRACT)                ; spreads the
numbers                                                numbers

    Hrs = FLOAT(Nbrs[0])                                ; convert to
Float                                                  Float

    EJC = FLOAT(Nbrs[1])                                ; convert to
Float                                                  Float

    EJT = FLOAT(Nbrs[2])                                ; convert to
Float                                                  Float

    EJP = FLOAT(Nbrs[3])                                ; convert to
Float                                                  Float

    EJNI = FLOAT(Nbrs[4])                               ; convert to
Float                                                  Float

    N_L = FLOAT(Nbrs[5])                                ; convert to
Float                                                  Float

    P_W = FLOAT(Nbrs[6])                                ; convert to
Float                                                  Float

    IF (Lincount EQ 0) THEN BEGIN                        ; create vector

        Hrs_Vct = Hrs                                    ;
create Time Vector

        EJC_Vct = EJC                                    ;
create Center Vector

        EJT_Vct = EJT                                    ;
create Thickness Vector

        EJP_Vct = EJP                                    ;
create Area Vector

        EJNI_Vct = EJNI                                  ;
create Noise Vector

        N_L_Vct = N_L                                    ;
create LevelO Vector

        P_W_Vct = P_W                                    ;
create Peak Power Vector

    ENDIF ELSE BEGIN

        Hrs_Vct = [Hrs_Vct, Hrs]                        ; concatenate
Time Vector

        EJC_Vct = [EJC_Vct, EJC]                        ; concatenate
Center Vector

        EJT_Vct = [EJT_Vct, EJT]                       ; concatenate
Thickness Vector

        EJP_Vct = [EJP_Vct, EJP]                       ; concatenate
Area Vector

```

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPCIAIS  
Relatório Final de Atividades

```

                EJV_Vct = [EJV_Vct, EJV]                ; concatenate
Noise Vector
                N_L_Vct = [N_L_Vct, N_L]                ; concatenate
Level0 Vector
                P_W_Vct = [P_W_Vct, P_W]                ; concatenate
Peak Power Vector

                ENDELSE                                ;
end all others data line

                Lincount = Lincount + 1                ; increment
line counter

ENDWHILE                                            ; end loading file

; closes the data file releases the file pointer -----
----
Stop_Reading:
CLOSE, nfile                                        ; closes the file
FREE_LUN, nfile                                    ; releases the
pointer

; Load the parameters to the return matrix -----
----
DataMtx = [TRANSPPOSE (Hrs_Vct), TRANSPPOSE (EJC_Vct), TRANSPPOSE (EJT_Vct),
$,
                TRANSPPOSE (EJP_Vct), TRANSPPOSE (EJV_Vct), TRANSPPOSE
(N_L_Vct), $
                TRANSPPOSE (P_W_Vct)]

; Evaluate the parameters loaded for inconsistencies -----
----
IF (Yes_EvalParam) THEN BEGIN
                ; for future purpose.
ENDIF

;-----
----
RETURN, DataMtx                                    ; Return loaded
data
END

```