



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

**ESTUDO DA VELOCIDADE DE DERIVA ZONAL DAS  
IRREGULARIDADES IONOSFÉRICAS UTILIZANDO RECEPTORES  
ESPAÇADOS DE GPS E RECEPTORES VHF**

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

**PROCESSO: 105375/2005-5**

Lilian Piecha Moor (UFSM, Bolsista INPE - CNPq/MCT)

E-mail: [lilian@lacesm.ufsm.br](mailto:lilian@lacesm.ufsm.br)

Dr. Eurico Rodrigues de Paula (Orientador - DAE/CEA/INPE - MCT)

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

Dr. Nelson Jorge Schuch (Co-Orientador - CRS/CIE/INPE-MCT)

E-mail: [njschuch@lacesm.ufsm.br](mailto:njschuch@lacesm.ufsm.br)

Santa Maria, julho de 2007

## **DADOS DE IDENTIFICAÇÃO**

Título:

### **ESTUDO DA VELOCIDADE DE DERIVA ZONAL DAS IRREGULARIDADES IONOSFÉRICAS UTILIZANDO RECEPTORES ESPAÇADOS DE GPS E RECEPTORES VHF**

Processo cnpq Nº: 105375/2005-5

Bolsista:

Lilian Piecha Moor

Curso de Física Licenciatura Plena

Centro de Ciências Naturais e exatas – CCNE/UFSM

Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT - UFSM

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

Orientador:

Eurico Rodrigues de Paula

Divisão de Aeronomia – DAE/CEA/INPE - MCT

Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas – CEA/INPE - MCT

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT

Co-Orientadores:

Dr. Nelson Jorge Schuch

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/CIE/INPE-MCT

Dr. Clezio Marcos Denardini – DAE/CEA/INPE-MCT

Divisão de Aeronomia - DAE/CEA/INPE – MCT

Colaboradores:

Henrique Carlloto Aveiro – DAE/CEA/INPE – MCT

Tiago Jaskulski – UFSM

Juliano Moro - UFSM

César Augusto Daroit – UFSM

Eduardo Ceretta Dalla Favera - UFSM

Acácio Cunha Neto – OESLZ/INPE-MCT

Márcio Muella - DAE/CEA/INPE – MCT

Local de Trabalho/Execução do projeto:

Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre–

LSINT/CRS/INPE–MCT

Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE – MCT

Trabalho desenvolvido no âmbito da parceria INPE/MCT – UFSM, através do

Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT/UFSM

**Estudante: Lilian Piecha Moor - Windows Internet Explorer**  
 http://dgp.cnpq.br/buscaoperacional/detalheest.jsp?est=1604152610776015

**Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil**

**Estudante**  
**Lilian Piecha Moor**

**Dados gerais** | **Indicadores de produção C, T & A**

**Dados gerais**

**Identificação do estudante**  
 Nome: Lilian Piecha Moor  
 Nível de treinamento: Graduação  
 Certificado Letra: 17/06/2007 19:08  
 E-mail: [lian@cpem.ufsm.br](mailto:lian@cpem.ufsm.br)  
 Homepage: <http://www.inpe.br>

**Grupos de pesquisa que atua na instituição**  
[Clima Espacial, Magnetosferas: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br - INPE](#)

**Linhas de pesquisa que atua**  
[Atividade científica e desenvolvimento científico](#)

**Orientadores participantes de grupos de pesquisa na instituição**  
[Lucia Stenques de Deus](#)

**Indicadores de produção C, T & A dos anos de 2001 a 2004**

| Grupo de pesquisa                              | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
|------------------------------------------------|------|------|------|------|
| Produção bibliográfica                         | 0    | 0    | 0    | 0    |
| Produção técnica                               | 0    | 0    | 0    | 0    |
| Produção artística/cultural e demais trabalhos | 0    | 0    | 0    | 0    |
| Orientação concluída                           | 0    | 0    | 0    | 0    |

---

**Grupo de pesquisa: Clima Espacial, Magnetosferas: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br - Windows Intern...**  
 http://dgp.cnpq.br/buscaoperacional/detalhegrupo.jsp?grupo=0087107QKT1AMW

**Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil**

**Grupo de Pesquisa**  
**Clima Espacial, Magnetosferas: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br**

**Identificação** | **Recursos Humanos** | **Linhas de Pesquisa** | **Indicadores do Grupo**

**Identificação**

**Dados básicos**  
 Nome do grupo: Clima Espacial, Magnetosferas: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br  
 Status do grupo: **certificado pela instituição**  
 Ano de formação: 1996  
 Data da última atualização: 16/06/2007 11:07  
 Líder(es) do grupo: Nelson Jorge Schuch - [nelson.schuch@cpem.cnpq.br](mailto:nelson.schuch@cpem.cnpq.br)  
 Ademar Michels - [michels@cpem.cnpq.br](mailto:michels@cpem.cnpq.br)

**Área predominante:** Ciências Exatas e da Terra; Geociências  
**Instituição:** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
**Órgão:** Coordenação de Gestão Científica - CG  
**Unidade:** Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS

**Endereço**  
 Logradouro: Caixa Postal 5201  
 Bairro: Cambé  
 Cidade: Santa Maria  
 Telefone: 33012020  
 E-mail: [njschuch@cpem.ufsm.br](mailto:njschuch@cpem.ufsm.br)  
 CEP: 97110-970  
 UF: RS  
 Fax: 33012030  
 Home page: <http://>

**Referências dos trabalhos do grupo**  
 O Grupo de Pesquisa - CLIMA ESPACIAL, MAGNETOSFERAS: INTERAÇÃO TERRA-SOL do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/CIE/INPE-MCT, em Santa Maria, e Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE - MCT, Lat. 29°28' 24"S, Long. 53°48' 38"W, Alt. 488m, em São Martinho da Serra, RS, criado por Nelson Jorge Schuch em 1996, colabora com pesquisadores da: UFSM (CT-LACEM), INPE (CEA, ETE, CRA), CRAAM-Universidade P. Mackenzie, IAGUSP, ÖVON, DRDIUNVAP e SEFETIG, no Brasil e internacionais de: Japão (Universidades: Shizuoka, Nagoya, Kyushu, Takahoku e National Institute of Polar Research), EUA (Bartol Research Institute/University of Delaware e NASA (Jet Propulsion Laboratory e Goddard Space Flight Center)), Alemanha (University of Greifswald e Max Planck Institute for Solar System Research), Austrália (Australian Government Antarctic Division e University of Tasmania), Arábia Saudita (Abdus Salam Physics Institute) e Kuwait (Kuwait University). Linhas de Pesquisa: MEO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL, MAGNETOSFERAS X GEOMAGNETISMO, AERONÔMICA - IONOSFERAS X AEROLUMINESCÊNCIA, NANOSATC-BR. Áreas de interesse: Heliosfera, Física Solar, Meio Interplanetário, Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo, Aeronômica, Ionosferas, Aeroluminescência, Radares Científicos, Drones. Pesquisas de acoplamento energético na Heliosfera, os mecanismos de geração de energia no Sol e Vento Solar, sua propagação no Meio Interplanetário, acoplamento com as magnetosferas planetárias, no Geminado com a biosfera e a Atmosfera Superior, previsão de ocorrência de tempestades magnéticas e das tempestades coronais induzidas na superfície da Terra. Pesquisas teóricas e observacionais utilizando-se de larga base de dados de sondas no Espaço Interplanetário e dentro de magnetosferas planetárias, bem como de modelos computacionais físicos e estatísticos. Vice-Líderes: Alison Dal Lago, Nairi Babulau Trivedi, Marcelino Riera-Ribeiro, de Souza, de Amaral, Miriam.

Relatório Final de Atividades, 2007

**Grupo de pesquisa: Clima Espacial, Magnetosferas; Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br**

Arquivo Editar Exibir Favoritos Ferramentas Ajuda

---

**Recursos humanos**

**Pesquisadores** Total: 26

|                                                    |                                                  |
|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| <a href="#">Ademir Botelho</a>                     | <a href="#">Jean Carlo Santos</a>                |
| <a href="#">Alan Prestes</a>                       | <a href="#">Jean Pierre Bayle</a>                |
| <a href="#">Alice Luiza Cilia de Souza</a>         | <a href="#">João David Menezes</a>               |
| <a href="#">Alexon Delgado</a>                     | <a href="#">Margherita Al-Abidi</a>              |
| <a href="#">Benedy Robert Coimbra</a>              | <a href="#">Marcos Barcelina da Rosa</a>         |
| <a href="#">Claudio Marcos De Macedo</a>           | <a href="#">Said Babiker Taha</a>                |
| <a href="#">Cristiano Elias Vilasbo</a>            | <a href="#">Natalinet Rodrigues Gomes</a>        |
| <a href="#">Delfino Galvão</a>                     | <a href="#">Séverin Josje Schuch</a>             |
| <a href="#">Eunice Rodrigues de Paula</a>          | <a href="#">Somer Pires Junior</a>               |
| <a href="#">Espaquet Coner</a>                     | <a href="#">Oscar Santos Cupertino Durão</a>     |
| <a href="#">Fabrício Augusto Vargas dos Santos</a> | <a href="#">Rafaela Moura Lima</a>               |
| <a href="#">Fernando Luis Guarnieri</a>            | <a href="#">Séverino Luiz Guimarães Dória</a>    |
| <a href="#">Hélio Tolpeltshi</a>                   | <a href="#">Walter Benedito Souza de Alencar</a> |

**Estudantes** Total: 25

|                                             |                                            |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------|
| <a href="#">Carla Ribeiro Braga</a>         | <a href="#">Marcelo dos Santos Zastrow</a> |
| <a href="#">Cassio Fagundes de Sousa</a>    | <a href="#">Marcelo Vinícius Das Sales</a> |
| <a href="#">Cícero Augusto Dorati</a>       | <a href="#">Milton Sasaki Schell</a>       |
| <a href="#">Cleber Pereira da Silva</a>     | <a href="#">Erick da Silva Benczer</a>     |
| <a href="#">Cristiano Sara Machado</a>      | <a href="#">Márcio Kemmerich</a>           |
| <a href="#">Eduardo Ceretta Dala Favera</a> | <a href="#">Diego Fernando Carneiro</a>    |
| <a href="#">Fagner Chagas Rother</a>        | <a href="#">Rafael Lopes Costa</a>         |
| <a href="#">Jean Carlos Dorati</a>          | <a href="#">Rodrigo Gerlach Silva</a>      |
| <a href="#">José Fernando Theouart</a>      | <a href="#">Samuel Martins da Silva</a>    |
| <a href="#">Josemar de Siqueira</a>         | <a href="#">Sandro Fettermann Benajoun</a> |
| <a href="#">Juliano Moro</a>                | <a href="#">Silvano Lucas Prochnow</a>     |
| <a href="#">Lilian Peche Hoor</a>           | <a href="#">Tápio Jesuiski</a>             |
| <a href="#">Lucas Lopes Costa</a>           |                                            |

**Técnicos** Total: 4

Anderson Pereira Góes - Ensino Profissional de nível técnico - Técnico em Eletrônica  
 Eduardo Ceretta Dala Favera - Ensino Profissional de nível técnico - Técnico em Computação  
 Keli Ozaki - Especialização - Analista de Sistemas  
 Roben Castagna Lunardi - Graduação - Técnico em Computação

---

**Linhas de pesquisa** Total: 4

- [AERONÔMIA - ONDASPERAS e AEROLIMNOCÔNICAS](#)
- [MAGNETOSFERAS e GEOFÍSICA](#)
- [MIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL](#)
- [NANOSATC-BR](#)

---

**Relações com o setor produtivo** Total: 6

---

**Indicadores de recursos humanos do grupo**

|                 | Integrantes do grupo | Total |
|-----------------|----------------------|-------|
| Pesquisador(es) |                      | 26    |
| Estudante(s)    |                      | 25    |
| Técnicos(a)     |                      | 4     |

[Fechar](#)

The screenshot shows a Windows Internet Explorer browser window. The address bar contains the URL: <http://dgp.cnpq.br/buscaoperacional/detalhelinha.jsp?grupo=0087107QKT1AMW&seqlinha=3>. The browser's menu bar includes 'Arquivo', 'Editar', 'Exibir', 'Favoritos', 'Ferramentas', and 'Ajuda'. The page header features the logo of the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) and the text 'Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil'. Below this, the title 'Linha de Pesquisa AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA' is displayed. The main content area is titled 'Linha de pesquisa AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA'. It lists the group name as 'Clima Espacial, Magnetosferas, Interações Terra - Sol, NanoSat-BR'. The keywords are 'Aeronomia/Aeroluminescência-Fotômetro/Imapadores, Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS, Eletrodo Equatorial, Interações Sol - Terra, Ionosfera - Digsonda - Radars, Mesosfera - Radars - Raaios Metéoricos'. The researchers listed are: Robert Carmesha, Carlos Marcos De Araújo, Cristiano Max. Viana, Daniel Galati, Eunice Bonifácio de Paula, Fábio Augusto Vaccaro dos Santos, Fábio Talantini, João Pedro Sampaio, Mansourah Al-Abidi, Marcelo Barcellos da Rosa, Nelson Jorge Schuch, and Poliana Maralbach. The students listed are: César Augusto Darci, Cristiano Sara Machado, Eduardo Ceretta Dalla Favera, Juliana Mota, Liane Theola Moor, Mariana Sakas Schuch, and Paulo Fernando Carneiro. The knowledge tree includes 'Ciências Exatas e da Terra', 'Geociências', 'Aeronomia', 'Ciências Exatas e da Terra', 'Geociências', 'Interações Sol - Terra', 'Ciências Exatas e da Terra', 'Geociências', and 'Geofísica Espacial'. The application sectors are 'Aeronáutica e espaço'. The objective is: 'Aeronomia dos fenômenos físicos, químicos e dinâmica da Atmosfera observando com radares, imageadores, fotômetros e aeroluminescência (perfil de vento) das ondas atmosféricas: planetárias, de gravidade e marés atmosféricas. Pesquisas com radares e digsonda da dinâmica da Troposfera, Estratosfera, Ionosfera e Alta Atmosfera, investigando o acoplamento vertical e transporte de energia do Sistema Atmosfera-Ionosfera na Região Sul Brasileira. Vice-Lider: Marcelo Barcellos da Rosa.' A 'Fechar' button is located at the bottom of the content area. The browser's taskbar at the bottom shows the 'Iniciar' button, several open applications (3 Micro..., Adobe Re..., Diretório..., Grupo de..., Estudante..., Linha de...), and the system tray with the date and time (10:40).

*“A mais alta das torres tem sua base no chão”*

(Provérbio Chinês)

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer aos meus pais, João e Nadir, pelo constante apoio e incentivo nos meus estudos.

A Deus pelo dom da vida, da sabedoria, da perseverança e do amor. Sem Ele nada seria possível.

Ao Dr. José Carlos Becceneri, Coordenador do programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT, por ter acreditado no meu potencial para realizar este Projeto Científico.

Em especial ao meu Co-Orientador Dr. Nelson Jorge Schuch, Coordenador da Ação de Implantação do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais CRS/CIE/INPE – MCT, em Santa Maria, RS, pela confiança depositada, pela orientação pessoal/profissional e acadêmica e pelo constante incentivo, sempre indicando a direção a ser tomada nos momentos de maior dificuldade.

Ao meu orientador Dr. Pesquisador Eurico Rodrigues de Paula, da Divisão de Aeronomia – DAE/CEA/INPE –MCT, em São José dos Campos, SP pela atenção e toda orientação que dedicou a bolsista durante o período de Projeto.

A Dr<sup>a</sup>. Damaris Kirsch Pinheiro, Diretora do Laboratório de Ciência Espaciais de Santa Maria, por toda atenção, paciência e orientação.

Ao Dr. Clezio Marcos Denardini, pesquisador da Divisão de Aeronomia – DAE/CEA/INPE –MCT pela orientação, pelo apoio ao desenvolvimento do projeto e pelo estímulo à vida acadêmica.



Aos colegas de Laboratório Henrique Carlloto Aveiro, Tiago Jaskulski, Juliano Moro, Cezar Daroit e Eduardo Ceretta por toda atenção, companheirismo e ajuda imprescindível no desenvolvimento do projeto.

Aos funcionários da E.MANT. pelo apoio técnico à manutenção das estações GPS.

Aos funcionários do LACESM/CT – MCT e da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM.

Ao funcionário Acácio Cunha, do Observatório de São Luis no Maranhão e o Aluno de Doutorado Márcio Muella da Divisão de Aeronomia - DAE/CEA/INPE – MCT pelas constantes ajudas e pelo apoio técnico, os quais foram imprescindíveis para o desenvolvimento do projeto.

Agradeço ao todos os funcionários do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE – MCT, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE e do Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE – MCT, que de alguma forma contribuíram para a realização deste Projeto, em especial as secretárias Egídia e Angelita pelo constante apoio e atenção às necessidades dos alunos/estagiários do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/CIE/INPE – MCT.

## RESUMO

As irregularidades ionosféricas são geradas no equador magnético logo após o pôr do Sol devido às instabilidades do plasma ionosférico e quando evoluem atingem dimensões continentais, são chamadas bolhas ionosféricas, e apresentam uma velocidade de cerca de 150 m/s para leste durante períodos magneticamente calmos e em geral durante tempestades magnéticas o movimento das bolhas é para oeste. No Brasil estas irregularidades ocorrem de setembro a março e de cerca de 20 às 24 horas, entretanto durante tempestades magnéticas elas podem ocorrer em qualquer estação do ano e podem ocorrer também no setor entre meia noite e o amanhecer.

As irregularidades ionosféricas, as quais são formadas por instabilidades do plasma de diversos tamanhos de escala, são conhecidas pelo nome genérico de Spread-F e são estudadas no INPE e na comunidade internacional utilizando modelos teóricos e utilizando diversos equipamentos de sondagem ionosférica, tais como radares VHF, digissondas, fotômetros, imageadores all-sky, receptores de VHF e recentemente com receptores de GPS. Cada tamanho de escala das irregularidades é sensível a uma determinada frequência e os equipamentos acima (exceto os óticos) possuem frequências diferentes, e, portanto, são complementares.

As irregularidades ionosféricas são muito estudadas, pois afetam drasticamente os sistemas de telecomunicações e de navegação e posicionamento global (GPS). No Brasil já foram afetados pelas irregularidades ionosféricas alguns sistemas de telecomunicações da Embratel, sistemas de posicionamento por DGPS (GPS diferencial) das plataformas em águas profundas da Petrobrás e o sistema de navegação aérea CNS/ATM que se encontra em teste e será implantado pela Força Aérea Brasileira.

A determinação da velocidade zonal das irregularidades ionosféricas (bolhas) é muito importante, pois após serem geradas no equador magnéticos e se evoluírem atingindo dimensões continentais, elas se deslocam para leste e todos os sinais eletromagnéticos que as atravessam sofrem cintilações podendo ser drasticamente afetados. Também o

conhecimento da velocidade zonal das bolhas é essencial para o desenvolvimento de modelos de predição de suas ocorrências.

O índice de atividade magnética Dst e o índice Kp foram adotados para a caracterização magnética do período considerado neste projeto.

## SUMÁRIO

|                                                 |           |
|-------------------------------------------------|-----------|
| <b>DADOS DE IDENTIFICAÇÃO</b>                   | <b>2</b>  |
| <b>AGRADECIMENTOS</b>                           | <b>8</b>  |
| <b>RESUMO</b>                                   | <b>10</b> |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>                        | <b>15</b> |
| <b>CAPÍTULO 1</b>                               | <b>17</b> |
| <b>CAPÍTULO 1</b>                               | <b>17</b> |
| <b>INTRODUÇÃO</b>                               | <b>17</b> |
| <b>CAPÍTULO 2</b>                               | <b>19</b> |
| <b>IONOSFERA</b>                                | <b>19</b> |
| 2.1 Introdução                                  | 19        |
| 2.2 Princípio da teoria do dínamo atmosférico   | 21        |
| 2.3 Anomalia Equatorial ou Anomalia de Appleton | 22        |
| 2.4 O Fenômeno da camada F espalhada – ESF      | 22        |
| <b>CAPÍTULO 3</b>                               | <b>26</b> |
| <b>O SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL (GPS)</b> | <b>26</b> |
| 3.1 Introdução                                  | 26        |
| 3.2 Estrutura do Sistema GPS                    | 26        |
| 3.3 Posicionamento                              | 27        |
| 3.4 Características do sinal GPS                | 28        |
| 3.1 Aplicações                                  | 32        |
| <b>CAPÍTULO 4</b>                               | <b>33</b> |
| <b>TEMPESTADES MAGNÉTICAS</b>                   | <b>33</b> |
| 4.1 Introdução                                  | 33        |
| 4.2 Sub-Tempestades Magnéticas                  | 35        |
| 4.3 Índices Magnéticos                          | 36        |
| 4.3.1 Índice Dst                                | 36        |
| 4.3.2 Índice Kp                                 | 37        |
| 4.3.3 Índice Ae                                 | 38        |

|                                                                                                                      |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>CAPÍTULO 5</b>                                                                                                    | <b>39</b> |
| <b>EFEITOS DA IONOSFERA NO SINAL GPS</b>                                                                             | <b>39</b> |
| 5.1 Introdução                                                                                                       | 39        |
| 5.2 Cintilações ionosféricas                                                                                         | 40        |
| 5.3 O Índice de cintilação (S4)                                                                                      | 42        |
| 5.4 O Índice S4 calculado pelos receptores SCINTMON                                                                  | 44        |
| <b>CAPÍTULO 6</b>                                                                                                    | <b>47</b> |
| <b>MONITOR DE CINTILAÇÃO IONOSFÉRICA – SCINTMON</b>                                                                  | <b>47</b> |
| 6.1 Introdução                                                                                                       | 47        |
| 6.2 Instalação das Estações (S) e (T) no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE - MCT – Santa Maria | 51        |
| <b>CAPÍTULO 7</b>                                                                                                    | <b>53</b> |
| <b>SISTEMA VHF</b>                                                                                                   | <b>53</b> |
| 7.1 Introdução                                                                                                       | 53        |
| 7.1 Sistema VHF                                                                                                      | 53        |
| <b>CAPÍTULO 8</b>                                                                                                    | <b>56</b> |
| <b>METODOLOGIA, DADOS E RESULTADOS</b>                                                                               | <b>56</b> |
| 8.1 Metodologia                                                                                                      | 56        |
| 8.2 Dados                                                                                                            | 58        |
| 8.3 Seleção do Período de Análise dos Dados para a Região do Observatório Espacial do Sul                            | 59        |
| 8.4 Dados de 3 Regiões do Território Brasileiro                                                                      | 64        |
| 8.5 Atividades Extras da Acadêmica                                                                                   | 68        |
| 8.5.1 – Cursos:                                                                                                      | 69        |
| 8.5.2 – Congressos:                                                                                                  | 69        |
| 8.5.3 – Congressos: Trabalhos Submetidos e Aceitos                                                                   | 73        |
| 8.5.3 – Congressos: Participação como Ouvinte                                                                        | 74        |
| <b>CAPÍTULO 9</b>                                                                                                    | <b>75</b> |
| <b>CONCLUSÃO</b>                                                                                                     | <b>75</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>                                                                                    | <b>77</b> |
| <b>APÊNDICE A</b>                                                                                                    | <b>83</b> |

|                                                                                                                     |                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| <b><i>DESCRIÇÃO DO ARQUIVO SUMÁRIO</i></b>                                                                          | <b><i>83</i></b> |
| <b><i>APÊNDICE B</i></b>                                                                                            | <b><i>86</i></b> |
| <b><i>CERTIFICADOS DE PALESTRAS E CURSOS E RESUMOS DE CONGRESSOS, OS QUE A BOLSISTA FOI AUTORA E CO-AUTORA.</i></b> | <b><i>86</i></b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>FIGURA 2.1 - Perfis verticais típicos da densidade eletrônica.</i>                                                                                                                                                                                                                                                     | 20 |
| <i>FIGURA 2.3 – Ilustração da Teoria da instabilidade hidrodinâmica RT,</i>                                                                                                                                                                                                                                               | 24 |
| <i>FIGURA 3.1 (a). – Constelação de satélites do sistema GPS. (b) Número de satélites necessário para o posicionamento 3-D.</i>                                                                                                                                                                                           | 27 |
| <i>FIGURA 3.2 - Modulação do código sobre a onda portadora.</i>                                                                                                                                                                                                                                                           | 29 |
| <i>FIGURA 4.1 – Seção transversal norte-sul da cavidade geográfica e do fluxo de plasma externo, mostrando a Magnetopausa e a frente de choque.</i>                                                                                                                                                                       | 34 |
| <i>FIGURA 4.2 – Fases características de uma tempestade magnética.</i>                                                                                                                                                                                                                                                    | 35 |
| <i>FIGURA 4.3 – Variação do índice Dst para o mês de maio, 1998.</i>                                                                                                                                                                                                                                                      | 36 |
| <i>TABELA 4.1 – Classificação das Tempestades Magnéticas.</i>                                                                                                                                                                                                                                                             | 37 |
| <i>TABELA 4.2 - Distribuição dos valores Kp conforme a atividade magnética.</i>                                                                                                                                                                                                                                           | 38 |
| <i>FIGURA 5.1 – Ilustração da cintilação do sinal ao passar a camada ionosférica</i>                                                                                                                                                                                                                                      | 39 |
| <i>FIGURA 5.2 - Exemplo de cintilação e correspondentes valores de S4 calculados para intervalos de 1 minuto.</i>                                                                                                                                                                                                         | 46 |
| <i>TABELA 6.1 - Coordenadas das estações GPS distribuídas no Território Brasileiro.</i>                                                                                                                                                                                                                                   | 48 |
| <i>FIGURA 6.1 - Disposição dos 13 receptores GPS instalados em 8 pontos sobre o Território Brasileiro.</i>                                                                                                                                                                                                                | 48 |
| <i>FIGURA 6.2 - Os painéis mostram os valores de potência em banda larga de sinal recebido, WBP em decibéis, para cada satélite rastreado na noite de 02/01/06 para 03/01/06, junto a Estação (S) – Santa Maria no Observatório Espacial do Sul do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – OES/CRSPE/INPE – MCT.</i> | 50 |
| <i>FIGURA 6.3 - Os painéis mostram os valores do índice S4, calculados para os sinais mostrados na Figura 6.2. Valores de S4 acima de 0.2 estão associados a irregularidades, junto a Estação (S) – Santa Maria no Observatório Espacial do Sul do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – OES/CRSPE/INPE – MCT.</i> | 50 |
| <i>FIGURA 6.4 – Prédio Sede do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE - MCT – localizado em Santa Maria - RS. Instalação provisória da Estação (T) do Sistema GPS.</i>                                                                                                                                   | 51 |
| <i>FIGURA 6.5 – Prédio Sede do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE - MCT – localizado em Santa Maria - RS. Instalação provisória da Estação (S) do Sistema GPS.</i>                                                                                                                                   | 52 |
| <i>FIGURA 7.1 - Antenas do tipo Yagi do Sistema VHF, instaladas no Observatório Espacial de São Luís – OESLZ/INPE – MCT, São Luis-MA.</i>                                                                                                                                                                                 | 54 |
| <i>Figura 7.2 - Sinais processados com informações do Índice S4 e calculo da velocidade de deriva das cintilações detectadas em São Luis-MA.</i>                                                                                                                                                                          | 55 |
| <i>FIGURA 8.1 – Prédio Sede do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CIE/INPE - MCT – localizado em Santa Maria - RS.</i>                                                                                                                                                                                      | 56 |
| <i>FIGURA 8.2 – Exemplo de gráficos de índice S4 durante o processo de cálculo da velocidade zonal das irregularidades ionosféricas. As setas indicam onde deve ser feita a seleção do período.</i>                                                                                                                       | 57 |
| <i>FIGURA 8.3 – Exemplo do cálculo da velocidade de deriva zonal das irregularidades ionosféricas para o dia 06/01/2001 sobre o Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE – MCT em São Martinho da Serra – RS.</i>                                                                                                  | 58 |
| <i>FIGURA 8.4 – Prédio 2 do Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra-RS, onde se encontravam instaladas as estações GPS até dezembro de 2005.</i>                                                                                                                                    | 59 |
| <i>FIGURA 8.6 – Gráfico do índice Dst para o mês de novembro de 2004. Ocorrência de tempestade magnética intensa que se iniciou no dia 7.</i>                                                                                                                                                                             | 59 |
| <i>FONTE: Adaptada de <a href="http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir/dst1/prov.html">http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir/dst1/prov.html</a></i>                                                                                                                                                                   | 59 |
| <i>FIGURA 8.7 – Gráfico do índice Kp para o mês de outubro de 2004. Ocorrência de tempestade magnética intensa que se iniciou no dia 7.</i>                                                                                                                                                                               | 60 |
| <i>FONTE: <a href="http://www.sec.noaa.gov/ftpdir/warehouse/2004/2004_plots/?S=A">http://www.sec.noaa.gov/ftpdir/warehouse/2004/2004_plots/?S=A</a>.</i>                                                                                                                                                                  | 60 |

|                                                                                                                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>FIGURA 8.8 – Gráfico do índice Kp para o mês de novembro de 2004.</i>                                                                                                                                                                   | 60 |
| <i>FONTE: <a href="http://www.sec.noaa.gov/ftpdir/warehouse/2004/2004_plots/?S=A">http://www.sec.noaa.gov/ftpdir/warehouse/2004/2004_plots/?S=A</a>.</i>                                                                                   | 60 |
| <i>TABELA 8.1 – Seleção do período de dados para o cálculo da velocidade zonal das irregularidades ionosféricas.</i>                                                                                                                       | 61 |
| <i>FIGURA 8.9 – Velocidade zonal das irregularidades ionosféricas para o dia 05/11/2004 sobre a região do Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE–MCT, em São Martinho da Serra – RS, Brasil.</i>                                  | 61 |
| <i>FIGURA 8.10 – Velocidade zonal das irregularidades ionosféricas para o dia 06/11/2004 sobre a região do Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE–MCT, em São Martinho da Serra – RS, Brasil.</i>                                 | 62 |
| <i>FIGURA 8.11 – Velocidade zonal das irregularidades ionosféricas para o dia 07/11/2004 sobre a região do Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE–MCT, em São Martinho da Serra – RS, Brasil.</i>                                 | 62 |
| <i>FIGURA 8.12 – Velocidade zonal das irregularidades ionosféricas para o dia 023/10/2004 sobre a região do Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE–MCT, em São Martinho da Serra – RS, Brasil.</i>                                | 63 |
| <i>FIGURA 8.13 – Velocidade zonal das irregularidades ionosféricas para o dia 24/10/2004 sobre a região do Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE–MCT, em São Martinho da Serra – RS, Brasil.</i>                                 | 63 |
| <i>FIGURA 8.14 – Velocidade zonal das irregularidades ionosféricas para o dia 05/11/2004 sobre a região do Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE–MCT, em São Martinho da Serra – RS, Brasil.</i>                                 | 64 |
| <i>FIGURA 8.15 – Regiões do Território Brasileiro com receptores VHF e receptores espaçados GPS instalados para o estudo das irregularidades ionosféricas; Campo Grande -MS, Cachimbo – PA e Boa Vista – AP, durante a campanha COPEX.</i> | 65 |
| <i>FIGURA 8.16 – Gráfico do índice Dst para o mês de novembro de 2002.</i>                                                                                                                                                                 | 65 |
| <i>FONTE: Adaptada de <a href="http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir/dst1/prov.html">http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir/dst1/prov.html</a></i>                                                                                    | 65 |
| <i>FIGURA 8.17 - Cálculo da velocidade de deriva média das bolhas ionosféricas para a região de Campo Grande – MS, Brasil.</i>                                                                                                             | 66 |
| <i>FIGURA 8.18 - Cálculo da velocidade de deriva média das bolhas ionosféricas para a região de Cachimbo – PA, Brasil.</i>                                                                                                                 | 67 |
| <i>FIGURA 8.19 - Cálculo da velocidade de deriva média das bolhas ionosféricas para a região de Boa Vista – AP, Brasil.</i>                                                                                                                | 67 |
| <i>FIGURA 8.20 – Cálculo da velocidade de deriva média das bolhas ionosféricas para as regiões de Campo Grande -MS, Cachimbo – PA e Boa Vista - AP.</i>                                                                                    | 68 |



## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUÇÃO**

O aparecimento das irregularidades ionosféricas, tais como a bolha de plasma, segue um determinado padrão sazonal. A época de observação das bolhas ionosféricas normalmente tem início em setembro e segue até março. Com relação ao horário de ocorrência, elas são observadas nos períodos entre as 18 horas e 6 horas (hora local). Entretanto, as bolhas de plasma podem ser observadas em outras estações do ano em períodos magneticamente perturbados. As bolhas de plasma causam mudanças no índice de refração e dispersam ondas de rádios transionosféricas. Estas flutuações causadas pelas bolhas de plasma são denominadas de “cintilações ionosféricas”.

A determinação da velocidade zonal das irregularidades ionosféricas (bolhas) é muito importante, pois após serem geradas no equador magnéticos e se evoluírem atingindo dimensões continentais, elas se deslocam para leste e todos os sinais eletromagnéticos que as atravessam sofrem cintilações podendo ser drasticamente afetados.

As irregularidades ionosféricas são muito estudadas, pois afetam drasticamente os sistemas de telecomunicações e de posicionamento global, GPS. No Brasil foram afetados pelas irregularidades ionosféricas alguns sistemas de telecomunicações da Embratel, sistemas de posicionamento por DGPS, GPS diferencial, das plataformas em águas profundas da Petrobrás e o sistema de navegação aérea CNS/ATM, que se encontra em teste e será implantado pela Força Aérea Brasileira.

Nos Capítulos 2 e 4 é realizada uma revisão bibliográfica sobre a Ionosfera e tempestades magnéticas, e suas características relevantes para o assunto discutido. O Capítulo 3 traz um relato do sistema GPS. No Capítulo 5 são relatados alguns efeitos da Ionosfera no sinal GPS. No Capítulo 6 é descrita a instrumentação utilizada no trabalho. No Capítulo 7 consta a análise de dados relativos ao objetivo deste Trabalho, o estudo da velocidade de deriva zonal das

irregularidades ionosféricas utilizando receptores espaçados de GPS e receptores VHF, a metodologia e atividades extras exercida pelo bolsista no período do Projeto. Considerando os resultados obtidos através da análise dos dados selecionados o Capítulo 8 descreve as conclusões deste Projeto.

## CAPÍTULO 2

### IONOSFERA

#### 2.1 Introdução

A parte ionizada da atmosfera terrestre, a Ionosfera, contém um significativo número de elétrons livres e íons positivos (Hargreaves, 1995). A Ionosfera é considerada eletricamente neutra em larga escala, pois o número de elétrons livres é igual ao número de íons positivos.

A Ionosfera é formada pela ionização de gases atmosféricos N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> e O. Em médias e baixas latitudes é ionizada em maior parte pela radiação solar no espectro do Extremo Ultra-Violeta e Raios-X. Uma vez formados os íons e elétrons tendem a se recombinar. A equação da continuidade que expressa a taxa de variação temporal da densidade eletrônica é dada por:

$$\frac{\partial N}{\partial t} = q - L - \text{div}(Nv) \quad 2.1$$

onde q é a taxa de produção de elétrons, L é a taxa de perda da ionização por recombinação eletrônica, e  $\text{div}(nv)$  expressa a perda de elétrons por transporte, e v é a velocidade das partículas ionizadas. A produção q de elétrons é dada por:

$$q = \eta \sigma n I \quad 2.2$$

sendo I e a intensidade da radiação ionizante no topo da atmosfera e n e a concentração de átomos ou moléculas capazes de serem ionizadas por este espectro de radiação (Hargreaves, 1995).

Em altas latitudes outra fonte de ionização importante é a precipitação de partículas energéticas, que está associada com as auroras polares. Essas partículas energéticas são emitidas pelo Sol e se intensificam durante as Explosões Solares.

À medida que a radiação penetra na atmosfera mais densa a produção de elétrons aumenta até um nível onde a densidade eletrônica é máxima. Abaixo deste nível, a produção de elétrons decresce, pois a maior parte da radiação já foi absorvida, predominando a taxa de perda sobre a taxa de produção de elétrons. Conseqüentemente distintas regiões são formadas na Ionosfera, as quais são chamadas de camadas D, E, F1 e F2. A Figura 2.1 ilustra o perfil típico da densidade eletrônica da Ionosfera, tanto para o dia quanto para a noite.

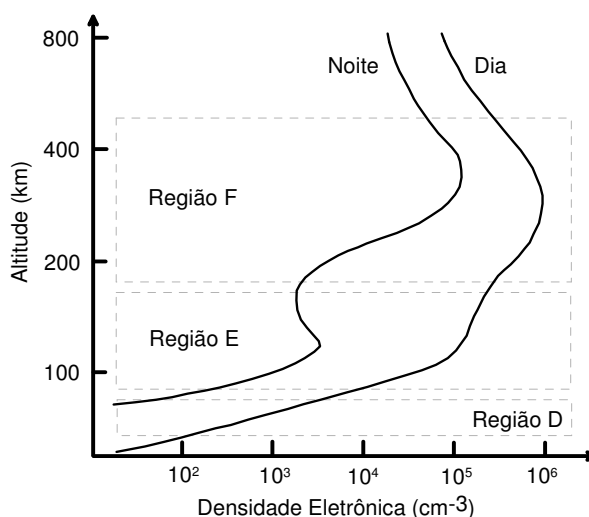


FIGURA 2.1 - Perfis verticais típicos da densidade eletrônica.

FONTE: Adaptado de Baumjohann e Treumann (1997, p. 63), retirada da dissertação Rodrigues, 2003.

A região D está mais próxima da superfície terrestre e está situada entre 60 km e 90 km de altitude, e existe somente durante o dia, pois durante a noite os elétrons livres se recombinam com moléculas formando íons negativos (Tascione, 1988). Este processo é conhecido como “attachment”. Contudo com a presença da radiação os elétrons voltam a aparecer devido ao processo de “dettachment”. Logo acima da região D encontramos a região E, que se encontra aproximadamente entre 105 km e 160 km. Ambas as regiões D e

E são controladas primariamente por processos fotoquímicos de produção e perda, embora os processos de transporte de plasma desempenham papel fundamental em algumas situações.

A partir dos 160 km até 1000 km de altitude a atmosfera é conhecida como região F e durante o dia bifurca-se em duas camadas distintas conhecidas como camadas F1 e camada F2. A região F1 está situada entre aproximadamente 160 km e 180 km de altitude e é representativa do máximo de produção de íons por fotoionização sendo controlada por processos fotoquímicos. A região F2 estende-se desde 180 km de altura até o início da plasmasfera, em aproximadamente 1000 km. A principal característica desta camada é a existência de uma região de máxima concentração eletrônica conhecida como “pico da camada F”, situada tipicamente aproximadamente aos 300 km de altitude, cuja formação deve-se à competição entre processos químicos e de transporte de plasma. A radiação ionizante desta camada é basicamente a mesma radiação responsável pela ionização da camada F1 (Fedrizzi, 1999).

## **2.2 Princípio da teoria do dínamo atmosférico**

Segundo Rishbet e Garriot (1969), a teoria do dínamo explica o surgimento de campos elétricos e correntes na Atmosfera e seu mecanismo pode ser resumido da seguinte forma: O Sol e a Lua produzem forças de marés na Atmosfera, causando movimentos de gases neutros da Atmosfera que, em primeira ordem, podem ser considerados movimentos horizontais. Os movimentos destes gases neutros através das linhas de campo geomagnético produzem correntes em níveis onde a condutividade elétrica é apreciável, camada E. Devido às variações horizontais e verticais de condutividade, as correntes não podem fluir livremente em todas as direções. Desta forma, assim são geradas cargas de polarização que, por sua vez, modificam o fluxo de corrente. Os campos eletrostáticos associados com estas cargas são transmitidos à região F equatorial, através das linhas de campo magnéticas que são altamente condutoras. Na região F, estes campos eletrostáticos dão origem às derivas eletrostáticas,  $ExB$ , (Rodrigues, 2003).

### **2.3 Anomalia Equatorial ou Anomalia de Appleton**

Uma característica da região-F ionosférica em baixas latitudes, aproximadamente entre 20° Sul e 20° Norte, é a Anomalia Equatorial ou Anomalia de Appleton. Esta região possui uma alta densidade eletrônica devido à deriva vertical  $E \times B$  do plasma nessa camada ionosférica (Muralikrishna et al; 2003).

A interpretação teórica da anomalia Equatorial é dada geralmente nos termos “do efeito fonte” - o campo elétrico zonal existente na ionosfera equatorial é dirigido para leste durante o dia, criando uma deriva vertical  $E \times B/B^2$ . Logo após o pôr-do-sol, este campo elétrico dirigido para leste é acentuado (pico pré-reversão) e o plasma da região F deriva até elevadas altitudes. Enquanto isso, o plasma de baixas altitudes decai rapidamente devido à diminuição da intensidade de radiação solar incidente (Kelley, 1989). Quando uma determinada altitude é alcançada, devido à ação do gradiente de pressão e da gravidade, o plasma inicia um movimento de descida ao longo das linhas do campo geomagnético conduzindo às baixas latitudes como se fosse o fluxo de uma fonte (Muralikrishna et al; 2003).

### **2.4 O Fenômeno da camada F espalhada – ESF**

O Fenômeno da camada F espalhada (do inglês “Equatorial Spread F” - ESF) foi o nome dado ao espalhamento observado em traços de ionogramas na camada F de baixas latitudes, o qual é considerado como uma hierarquia de instabilidades do plasma nesta região. O fenômeno de ESF foi estudado extensivamente com técnicas experimentais e de modelagem, que revelaram características importantes. O ESF foi investigado por ionossondas, radares de espalhamento coerente, sensores a bordo de foguetes ou satélites, flutuações na fase e amplitude de sinais transionosféricos (cintilação), dentre outros (ver,

por exemplo; (Abdu et al., 1992; Aarons, 1993, and references therein) (Woodman and LaHoz, 1976; Tsunoda, 1980). (Raghavarao et al;1999).

Atualmente, o termo ESF está associado a um amplo espectro de irregularidades de plasma, com escalas de tamanho variando desde dezenas de centímetros até centenas de quilômetros e ocorrendo desde alturas da região F até alturas em torno de 1500 km (Fejer, 1996). Cada instrumento ou técnica é sensível a uma determinada escala de tamanho ou faixa de escalas (Rodrigues, 2003).

Dungey (1956) foi o primeiro a propor a Teoria da Instabilidade Gravitacional Rayleigh-Taylor (RT) como processo gerador do ESF. Outras teorias também foram apresentadas nas décadas de 50 e 60. Contudo, Farley et al. (1970) concluíram a partir das primeiras medidas realizadas pelo Rádio Observatório de Jicamarca, que nenhuma teoria até então poderia explicar os dados obtidos. Com isto, a Teoria RT juntamente com todas as outras teorias apresentadas até então foram temporariamente rejeitadas, pois estas teorias podiam explicar apenas a geração de estruturas na porção inferior do perfil de densidade de plasma da camada F. Com os passar dos anos, novos estudos foram realizados e uma maior quantidade e qualidade de dados foram obtidos, de forma que a Teoria RT foi aprimorada e generalizada, incluindo parâmetros do ambiente ionosférico, tais como campo elétrico ambiente (E) e a ação de ventos neutros (U) e com isto, muitas das características do ESF podem agora ser explicadas pela denominada teoria RT generalizada (GRT). Um perfil vertical típico da Ionosfera Equatorial para o período do pôr-do-sol é apresentado na Figura 2.2.

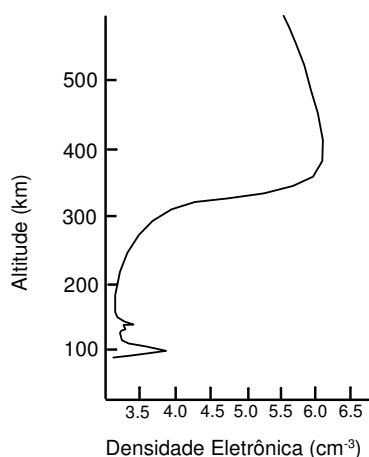


FIGURA 2.2 - Perfil vertical típico da ionosfera equatorial para o período do pôr-do-sol.  
FONTE: Adaptado de Baumjohann e Treumann (1997, p. 63), retirada da dissertação Rodrigues, 2003.

É possível observar um acentuado gradiente de densidade na porção inferior da camada F separando duas regiões distintas: uma de baixa densidade e outra, de alta densidade, localizadas respectivamente abaixo e acima de aproximadamente 300 km de altura. Em termos didáticos faz-se uma analogia deste perfil com o caso da instabilidade hidrodinâmica RT, no qual um fluido mais denso é sustentado por um fluido menos denso. Na instabilidade hidrodinâmica RT uma pequena perturbação surge na superfície de contato dos dois fluidos e com o auxílio da gravidade, esta perturbação evolui até que o fluido menos denso tende a se elevar enquanto que o fluido mais denso desce como ilustrado na Figura 2.3.



FIGURA 2.3 – Ilustração da Teoria da instabilidade hidrodinâmica RT,  
FONTE: Kelley (1989, pag. 76 e 122) retirada da dissertação Rodrigues, 2003.



Contudo, o processo de instabilidade RT generalizada o qual se aplica à ionosfera não é tão simples como ilustra a Figura 2.3. Processos eletrodinâmicos intrínsecos da ionosfera equatorial e de médias latitudes, assim como efeitos de acoplamento ionosfera-magnetosfera em altas latitudes controlam o processo de geração e evolução das irregularidades ionosféricas (Fejer, 1996, Aarons, 1991).

Acredita-se que as condições necessárias para a ocorrência de irregularidades de larga-escala são: 1) presença de uma perturbação inicial de larga-escala, 2) um gradiente direcionado para cima, do perfil de densidade eletrônica da ionosfera e 3) um aumento do campo elétrico para leste. O início do ESF pode também ser afetado por perturbações de campo elétrico originadas em altas latitudes durante condições magneticamente perturbadas. Existem ainda vários processos tais como ventos neutros meridionais e condutividade das camadas E conjugadas, que podem inibir o crescimento das irregularidades. O grande número de efeitos potencialmente importantes faz com que os termos de variabilidade dia-a-dia constituam os problemas a serem mais analisados no estudo do ESF (Fejer, 1996; Batista et al., 1999; Abdu, 2001) (Rodrigues, 2003).

## CAPÍTULO 3

### O SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL (GPS)

#### 3.1 Introdução

O Sistema de Posicionamento Global ou GPS (abreviação do inglês “Global Positioning System”) teve início em 1958 quando os americanos lançaram o satélite Vanguard tendo assim o início do desenvolvimento do sistema Navstar (Navigation satellite with Timing and Ranging). A partir de 1967 foi liberado para uso civil, o sistema denominado Navy Navigation Satellite System (NNSS) também chamado de Transit. Em 1973, iniciou-se o desenvolvimento do Global Positioning System (GPS), projetado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América (EUA). O sistema GPS entrou em operação em 1991 e em 1993 a constelação dos satélites utilizados pelo sistema foi concluída (LETHAM, 1996).

#### 3.2 Estrutura do Sistema GPS

O GPS é um sistema de rádio navegação, que utiliza satélites artificiais para determinar a posição de um objeto, fixa ou móvel, situado em qualquer ponto sobre a superfície terrestre. Os primeiros protótipos (Bloco I) foram lançados entre 1978 e 1985, totalizando 11 satélites dispostos em dois planos orbitais com 63° de elevação (Seeber, 1993), sendo que quatro ou mais satélites pudessem ser observados durante uma considerável fração do dia numa mesma região (Beutler, 1995). Em 1989 para fazer parte da primeira constelação operacional, foram lançados os primeiros satélites do Bloco II, constituindo no total 24 (Blocos I, II, IIA) satélites, distribuídos em 6 rotas orbitais com inclinação de 55°. Em dezembro de 1993 foi declarada a capacidade operacional do sistema. Atualmente a constelação é formada no total por 28 satélites (Blocos I, II, IIA, IIR) (USNO, 2003a).

Os satélites constituem o segmento espacial do sistema e estão dispostos em órbitas circulares, em uma altitude de aproximadamente 20.200 km e com período orbital de 12

horas siderais (Beutler, 1995). Isto significa que a posição do satélite se repete, a cada dia, com 4 minutos de adiantamento em relação ao dia anterior (FEDRIZZI, 1999).

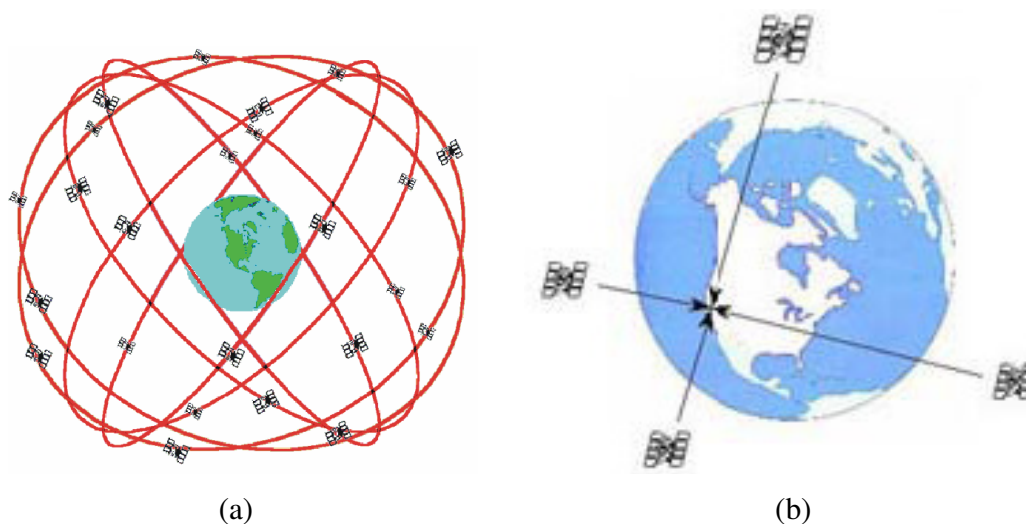


FIGURA 3.1 (a). – Constelação de satélites do sistema GPS. (b) Número de satélites necessário para o posicionamento 3-D.

FONTE: Adaptado de <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textogps.pdf>.

### 3.3 Posicionamento

O sistema GPS foi desenvolvido fundamentalmente com o objetivo de fornecer um posicionamento com precisão aos usuários, através de medidas da distância entre satélite e receptor. O processo para determinação destas medidas é baseado no tempo de propagação do sinal enviado pelo satélite, desde o instante da emissão até o momento de sua chegada no receptor. Admitindo-se que os relógios dos satélites e receptores estivessem perfeitamente sincronizados com o tempo GPS, o tempo de propagação deste sinal corresponderia à distância geométrica entre o satélite e o receptor. Todavia, os relógios dos receptores, por serem menos precisos, apresentam uma pequena diferença em relação ao tempo GPS e, apesar da precisão dos osciladores atômicos instalados a bordo dos satélites, periodicamente são efetuados ajustes em seus relógios. Isto significa que as distâncias obtidas através do sistema GPS não correspondem às distâncias reais entre satélites e

receptores, pois em ambos, os relógios estão defasados em relação ao sistema de tempo do GPS. Estas medidas incorretas de distância recebem, portanto, o nome de pseudo-distâncias (“pseudoranges”). Além do atraso dos relógios, estão incluídos nas medidas de pseudo-distância os erros devido à propagação e à limitação na precisão do sinal GPS e os erros relacionados aos receptores e satélites.

O posicionamento do receptor em um referencial tridimensional ocorre, aproximadamente, da seguinte forma: considerando-se que o receptor esteja situado a uma distância  $R$  de um determinado satélite e os relógios dos satélites e receptores estejam perfeitamente sincronizados com o tempo GPS, é possível dizer que o receptor encontra-se em algum ponto sobre a superfície de uma esfera que envolve o satélite e cujo raio é igual a  $R$ . Entretanto, se o receptor estabelecer as distâncias relativas a dois satélites, então ele pode estar localizado em qualquer ponto sobre o círculo formado pela intersecção entre duas esferas. Adicionando-se um terceiro satélite, apenas dois pontos (um dos quais, fisicamente incorreto) resultam da intersecção entre três esferas.

Admitindo-se que os relógios estejam incorretos, a intersecção das esferas ocorrerá em pontos falsos. Todavia, a medida de um quarto satélite visível ao receptor elimina os erros de posicionamento devido à imprecisão dos relógios dos receptores (Hofmann-Wellenhof et al., 1994) (Fedrizzi, 1999).

### **3.4 Características do sinal GPS**

Cada satélite GPS transmite duas ondas portadoras, chamadas “Link 1” e “Link 2” ou L1 e L2 (Spilker Jr. e Parkinson, 1996). Estas duas portadoras são geradas simultaneamente a partir de uma frequência fundamental de 10,23 MHz. L1 e L2 correspondem à frequência fundamental multiplicada por 154 e 120, respectivamente. Desta forma, L1 corresponde à frequência de 1,57542 GHz, enquanto que L2 corresponde a 1,22760 GHz.

Os satélites também emitem uma mensagem de navegação, onde podem ser identificados através de um número relacionado a um segmento particular do código pseudo-aleatório (“Pseudo Random Noise - PRN”), definido a partir de uma seqüência de códigos

modulados sobre as portadoras, que é atribuído sobre cada uma das portadoras L1 e L2. A modulação de códigos permite realizar medidas de distâncias a partir da estimativa do tempo de propagação da modulação. Os códigos são reconhecidos através de uma seqüência de valores binários (0 e 1, ou +1 e -1).

A modulação é feita por um deslocamento de  $180^\circ$  na fase da portadora quando ocorre a mudança de estado (“biphase modulation”) (Rodrigues, 2003). Ver Figura 3.2.

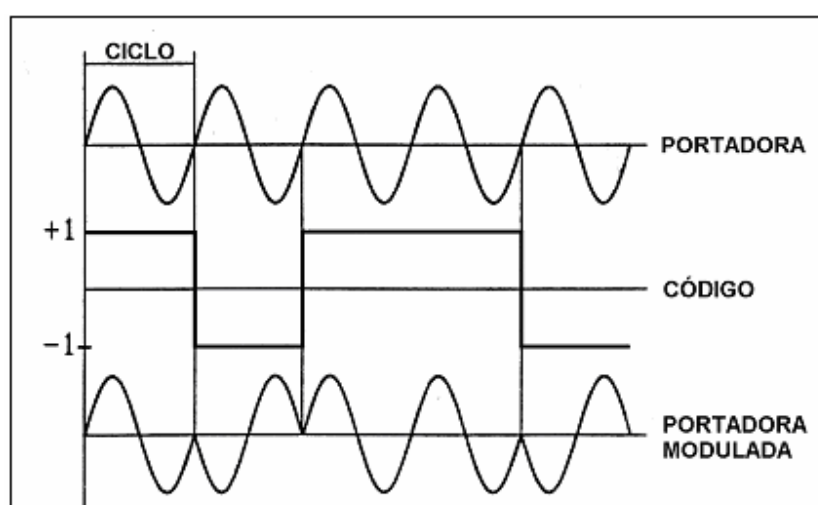


FIGURA 3.2 - Modulação do código sobre a onda portadora.

FONTE: Hofmann-Wellenhof et al. (1994, p. 77), retirada da dissertação de Fedrizzi, 1999.

Dois códigos formam a seqüência PRN: O código C/A (“Coarse/Aquisition” ou “Clear/Access”) que possui uma freqüência de 1,023 MHz e é repetido a cada milissegundo e o código P (“Precision” ou “Protection”) que possui freqüência de 10,23 MHz e são repetidos aproximadamente cada 266,4 dias. Existe ainda o código W utilizado para criptografar o código P, transformando-o no código Y, não disponível aos usuários civis. A criptografia do código P só é utilizada quando o procedimento “Anti-Spoofing” (AS) é acionado. O objetivo principal do AS é evitar que o código P seja fraudado, mediante a geração de uma réplica do mesmo. Já a mensagem de navegação consiste de 1500 bits transmitidos em 30 segundos e que contém informações sobre o relógio do satélite, a sua órbita, suas condições operacionais e outras informações. Pode-se observar que existem três

tipos de sinais envolvidos no GPS: as portadoras (L1 e L2), os códigos C/A e P(Y) e a mensagem de navegação (D). Esta estrutura permite medir a fase da portadora e sua variação e o tempo de propagação da modulação.

As portadoras moduladas podem ser representadas pelas seguintes equações:

$$L1(t) = a_1 P(t) D(t) \cos[\omega_1 t + \phi(t)] + a_1 C/A(t) D(t) \sin[\omega_1 t + \phi(t)] \quad 3.1$$

e

$$L2(t) = a_2 P(t) D(t) \cos[\omega_2 t + \phi(t)] \quad 3.2$$

onde  $\cos[\omega_i t + \phi(t)]$  é a portadora não modulada,  $D(t)$  contém a mensagem de navegação,  $P(t)$  e  $C/A(t)$  representam as seqüências de pulsos dos códigos P e C/A, respectivamente. O termo  $a_1 C/A(t) D(t) \sin[\omega_1 t + \phi(t)]$  indica que o código C/A é modulado em quadratura de fase (deslocamento de 90o) com o código P(t). O índice  $i=1,2$  representa a portadora L1 ou L2,  $\omega_i$  é a frequência angular da portadora e  $\phi(t)$  é o ruído da fase.

Todos os satélites transmitem em mesma frequência e utilizam a técnica CDMA (“Code Division Multiple Access”) na qual cada satélite é identificado pelo seu código característico. Além disso, o sinal é espalhado em frequência (“spread spectrum”) de forma a evitar efeitos de interferência eletromagnética (Rodrigues, 2003).

## **Receptores**

Atualmente, existem diversos tipos de receptores que possuem características próprias e são utilizados em áreas específicas, tais como navegação, geodésia, atividades militares, entre outras. Apesar desta diversidade de equipamentos, os receptores em geral são compostos basicamente pelos seguintes elementos (Seeber, 1993), como mostrado na Figura 3.3.

- antena com pré-amplificador
- seção de rádio frequência (RF)
- oscilador de precisão
- dispositivo de armazenamento
- microprocessador
- interface para o usuário (painel de visualização e controle)
- fonte de energia

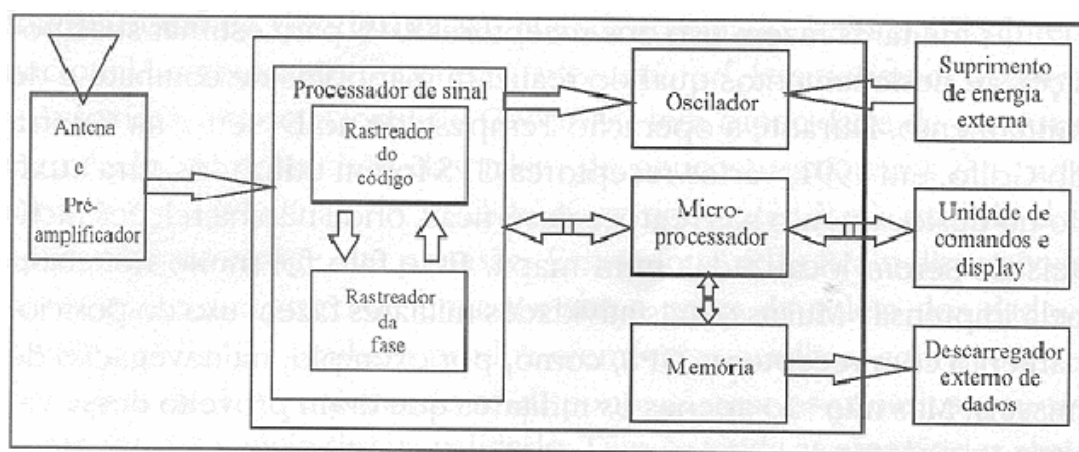


FIGURA 3.3 - Esquema de recepção do sinal GPS.

FONTE: Adaptado de <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textogps.pdf>

Uma antena detecta os sinais dos satélites que são amplificados e filtrados para eliminar a maior quantidade possível de interferências. Em geral, os receptores utilizam uma antena onidirecional hemisférica, cujo diagrama de radiação permite a recepção do sinal em todas as elevações e azimutes do hemisfério visível. O sinal é enviado, posteriormente, à seção de rádio frequência e processado em um ou mais canais, de acordo com o tipo de receptor. Alguns receptores podem sintonizar quatro ou mais satélites simultaneamente, enquanto outros fazem um rastreamento alternado entre os satélites. A seção de rádio frequência é formada por osciladores (onde é gerada a frequência de referência), multiplicadores, filtros e misturadores. A frequência de referência é controlada por osciladores de cristal quartzo, menos precisos do que os osciladores atômicos dos satélites, denominados osciladores de

precisão. Os dados recebidos (observáveis e mensagens de navegação) devem estar constantemente disponíveis para um posterior processamento e, por este motivo, um dispositivo de armazenamento torna-se necessário. Alguns receptores têm memórias internas ou armazenam os dados em fitas magnéticas. Todavia, os dados podem ser gravados diretamente em micro-computadores conectados ao receptor. As operações do receptor, tais como aquisição e processamento dos sinais, decodificação das mensagens transmitidas e cálculos de posição e velocidade, são controladas pelo microprocessador.

A comunicação entre o receptor e o usuário é estabelecida por meio de um painel de visualização e controle e o fornecimento de energia para o funcionamento dos receptores pode ocorrer através de baterias internas recarregáveis ou fontes externas, conforme o período de tempo de utilização e tipo de receptor.

### **3.1 Aplicações**

Foi desenvolvido inicialmente para atender às necessidades militares, porém com o passar dos anos vem ocupando um espaço crescente em diversas aplicações da área civil.

Atualmente o GPS tem um elevado número de aplicações em várias áreas, entre os quais podemos citar:

Orientação de navegação aérea e marítima;

Determinação de órbita e posição de outros satélites;

Agricultura de precisão;

Exploração de petróleo;

Telecomunicações;

Obtenção de medidas ionosféricas;

Além dessas aplicações, qualquer pessoa que queira saber sua posição, conhecendo a velocidade e direção de seu deslocamento, pode fazer uso deste sistema. Todavia, existem aplicações onde a precisão torna-se um fator crítico e o efeito da degradação do sinal pode ser minimizado através da utilização do GPS Diferencial (“Differential GPS” - DGPS).



## CAPÍTULO 4

### TEMPESTADES MAGNÉTICAS

#### 4.1 Introdução

As tempestades magnéticas são grandes perturbações no campo magnético da Terra, tendo recebido esta denominação desde a metade do século XIX (Gonzalez et al, 1994). Emissões supersônicas de plasma oriundas do vento solar confinam e distorcem as linhas do campo magnético terrestre em uma cavidade longa com uma cauda que se estende por centenas de raios terrestres na direção anti-solar, esta cavidade denomina-se magnetosfera, ver Figura 4.1. A característica principal de uma tempestade magnética é o decréscimo da componente H do campo Geomagnético e a posterior fase de recuperação (Kamide et al., 1998). O decréscimo é atribuído ao aumento de partículas aprisionadas na magnetosfera. Essas emissões são chamadas de “Solar Flares” ou ejeções de massa coronal (“Coronal Mass Ejections” – CME), as quais provêm do Sol em direção a Terra. Contudo, esses eventos não têm acesso direto a Atmosfera Terrestre. A magnetosfera que é formada pelo campo magnético da Terra atua como uma camada protetora para o planeta Terra desviando o campo magnético e o plasma interplanetário. Deriva devido ao gradiente do campo magnético da Terra e a sua curvatura produzem a “Corrente de Anel”.

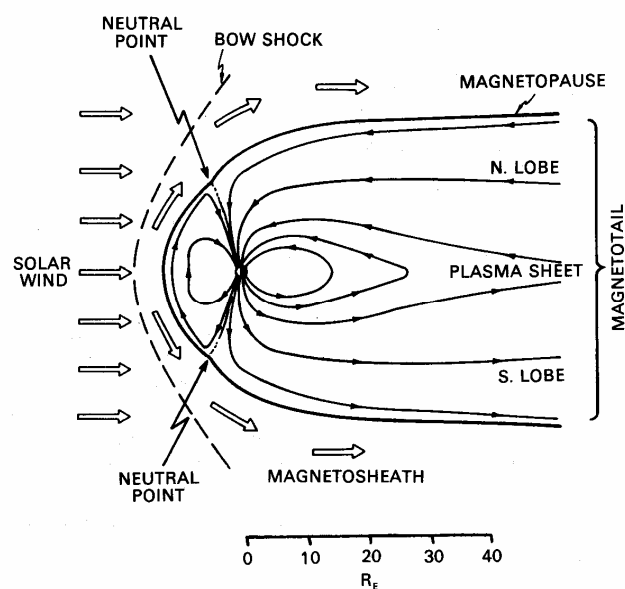


FIGURA 4.1 – Seção transversal norte-sul da cavidade geográfica e do fluxo de plasma externo, mostrando a Magnetopausa e a frente de choque.

FONTE: Hargreaves, 1995.

Essa corrente é gerada pelo movimento de partículas eletricamente carregadas, sendo que prótons derivam da meia-noite em direção ao anoitecer e elétrons da meia-noite em direção ao amanhecer, devido distribuição de partículas injetadas e aprisionadas na magnetosfera interna.

Esta corrente diminui a intensidade do campo magnético terrestre e um aumento na sua intensidade é o primeiro indicador de uma tempestades magnética. De acordo com Gonzalez et al. (1994), a tempestade magnética é um intervalo de tempo quando um campo elétrico de convecção interplanetário de longa duração e suficientemente intenso produz através de uma substancial energização no sistema magnetosfera-ionosfera, uma corrente de anel suficientemente intensa para exceder o limiar da magnitude do índice Dst (definido posteriormente), o qual quantifica a intensidade da tempestade magnética.

Uma tempestade magnética caracteriza-se por três fases: (1) Um início súbito – sudden commencement – ou fase inicial, esta associada ao aumento da pressão dinâmica, incidência de partículas do vento solar, que comprime a magnetosfera indicando um aumento brusco no campo magnético. (2) Fase principal – main phase – e caracterizada por uma redução na intensidade do campo magnético na Superfície Terrestre, essa redução esta associada a Corrente de Anel e (3) Uma fase de recuperação – recovery phase – caracterizada pela diminuição e eliminação gradual da pressão passando a predominar os processos de perda da Corrente de Anel. A Figura 4.2 mostra as fases de uma tempestade magnética.

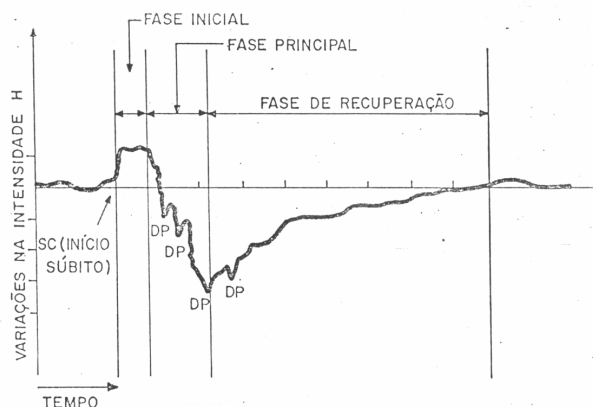


FIGURA 4.2 – Fases características de uma tempestade magnética.

FONTE: de Paula et al, 1987.

## 4.2 Sub-Tempestades Magnéticas

Muitos estudos mostram que Tempestades magnéticas são resultados de constantes sub-tempestades. Uma sub-tempestade magnetosférica é um processo transiente, iniciando no lado noturno da Terra, através da qual uma significativa quantidade de energia derivada da interação vento solar-magnetosfera é depositada na magnetosfera e ionosfera auroral.

Em períodos de sub-tempestades há a injeção de partículas carregadas na Corrente de Anel e no Cinturão de Van Allen, estas partículas provenientes do vento solar ficam depositadas

na magnetosfera interna. São sugeridos processos importantes associados às sub-tempestades, como a rápida penetração do campo elétrico de convecção na Magnetosfera interna, resultando na injeção de plasma da bainha de plasma na região de aprisionamento.

### 4.3 Índices Magnéticos

Os distúrbios geomagnéticos são monitorados a partir de estações terrenas, instaladas em observatórios magnéticos que registram a intensidade do campo geomagnético.

#### 4.3.1 Índice Dst

O índice Dst (Disturbance Storm-Time), é uma medida simétrica da Corrente de Anel e obtido em unidades de nano Tesla (nT) e resolução temporal de uma hora, a Figura 4.3 mostra um esboço do índice Dst para maio de 1998.

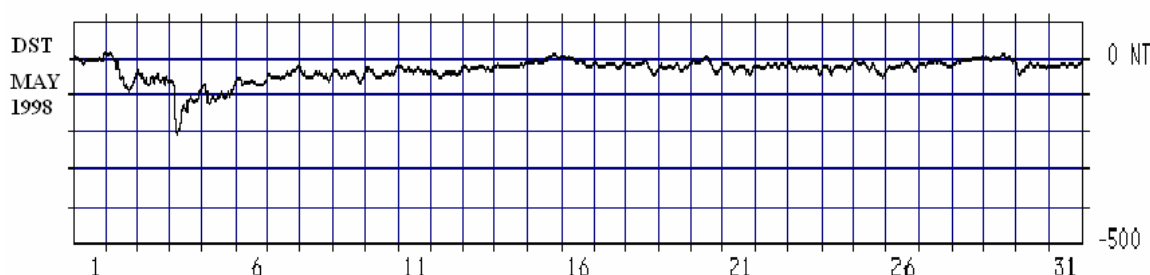


FIGURA 4.3 – Variação do índice Dst para o mês de maio, 1998.

FONTE: <http://swdcd.db.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir>

Para a determinação deste índice, utiliza-se a medida da componente horizontal (H) do campo geomagnético de superfície fornecida por estações localizadas em baixas latitudes e distribuídas longitudinalmente. Ele é obtido pela subtração da componente de períodos calmos, o valor médio das componentes H das estações contribuintes e calculado e multiplicado pela secante da latitude média das estações contribuintes (Rostoker et al., 1997). O índice Dst contém contribuições de sistemas de correntes que não são azimutalmente simétricas, como por exemplo, a Corrente de Anel assimétrica, “magnetoital

current”. Considera-se o valor da Corrente de Anel simétrica mais um erro associado com outros sistemas de correntes assimétricas.

Podemos classificar uma tempestade magnética de acordo com a sua intensidade que é fornecida pelo índice Dst, conforme mostrado na Tabela 4.1.

TABELA 4.1 – Classificação das Tempestades Magnéticas.

| Intensidade da Tempestade | Dst (nT)    |
|---------------------------|-------------|
| Muito Intensa             | < -250      |
| Intensa                   | -100 a -250 |
| Moderada                  | -50 a -100  |
| Fraca                     | -30 a -50   |

FONTE: Retirada da dissertação de Fedrizzi, 1999.

### 4.3.2 Índice Kp

O índice Kp global (planetary index) é obtido a partir de uma média que envolve 13 observatórios distribuídos entre 46 e 63 ao norte e -46 e -63 ao sul do equador geomagnético (Komjathy, 1997). Os níveis locais dos distúrbios geomagnéticos K são determinados, para um período de observação de 3 horas, através da diferença entre o maior e o menor valor observado na componente horizontal, do campo geomagnético, a mais afetada pelos distúrbios. Este índice diário tem uma escala de 28 níveis, variando de 0 (muito calmo) até 9 (muito perturbado), sendo cada intervalo subdividido em três partes. Como o índice K tem características locais, aplica-se uma tabela de conversão (GFZ, 2001) para eliminar os efeitos locais gerando então o índice Kp global. Ver Tabela 4.2.

TABELA 4.2 - Distribuição dos valores Kp conforme a atividade magnética.

| Comportamento    | Kp      |
|------------------|---------|
| Muito calmo      | 0 a 1   |
| Calmo            | 1 a 2-  |
| Normal           | 2- a 3+ |
| Perturbado       | 3+ a 4+ |
| Muito perturbado | 4+ a 9  |

FONTE: Wrenn et al., 1987.

### 4.3.3 Índice Ae

O índice Ae é utilizado para o estudo da atividade geomagnética na região auroral. Este índice é obtido a partir de medidas das várias variações da componente horizontal H do campo geomagnético, coletados de observatórios selecionados e distribuídos uniformemente ao longo da região auroral no hemisfério norte (Kamei et al. 2000). Os dados são normalizados em relação a um valor base mensal para cada estação, que posteriormente, é subtraído dos dados obtidos para cada minuto do mês considerado.

## CAPÍTULO 5

### EFEITOS DA IONOSFERA NO SINAL GPS

#### 5.1 Introdução

A Ionosfera representa a maior fonte de erro para o Sistema de Posicionamento Global – GPS fato esse decorrer da natureza dispersiva da ionosfera (Smita et al; 2005) e existe uma relação direta entre a velocidade de propagação da onda eletromagnética e sua frequência como ilustrado na Figura 5.1.

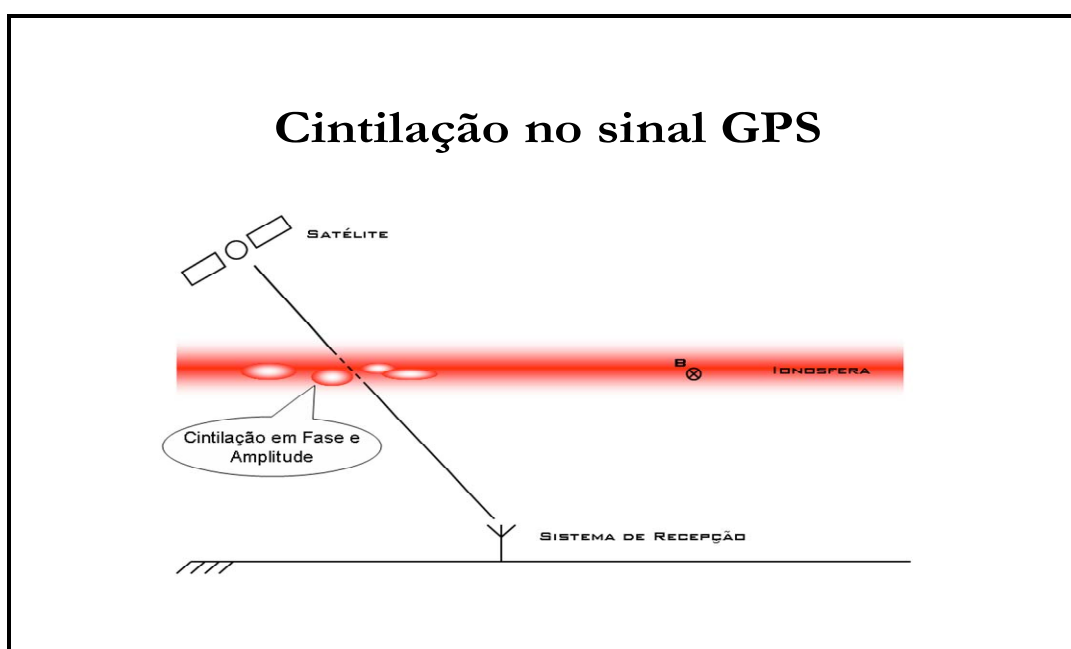


FIGURA 5.1 – Ilustração da cintilação do sinal ao passar a camada ionosférica

Os principais efeitos desta região Atmosférica sobre os sinais do GPS são: o atraso de grupo na modulação do sinal, o avanço na fase portadora, o deslocamento Doppler, a rotação da polaridade

do sinal, a refração da onda de rádio, a distorção na forma de onda do pulso, a cintilação da fase do sinal, o desvanecimento e a cintilação da amplitude do sinal (Klobuchar, 1996).

## **5.2 Cintilações ionosféricas**

Em 1946 foram observadas, pela primeira vez, flutuações irregulares de curto período de tempo na intensidade da radiação na banda de rádio (64 MHz) emitida pela estrela Cygnus (Hey et al; 1946). Inicialmente, considerou-se que as flutuações eram inerentes à fonte de emissão. Observações posteriores indicaram que não existia correlação entre flutuações registradas em duas estações espaçadas 210 km, enquanto que se observou boa correlação para uma separação de 4 km. Isto sugeriu que o fenômeno seria produzido localmente, provavelmente pela atmosfera terrestre. Observações subseqüentes confirmaram as especulações e isto marcou a primeira observação do fenômeno de cintilação ionosférica (Rodrigues, 2003). As cintilações ionosféricas são flutuações da amplitude ou fase de uma onda de rádio, causadas por irregularidades na densidade eletrônica da Ionosfera. (Smita et al; 2005).

Após o lançamento do primeiro satélite artificial em 1957, tornou-se possível observar cintilações ionosféricas em sinais emitidos por rádio-transmissores a bordo de satélites. O interesse no estudo deste fenômeno tem continuado com dois objetivos principais, um científico e outro prático. Do ponto de vista científico, os dados de cintilação fornecem informações sobre a ocorrência das irregularidades ionosféricas, cuja climatologia ainda não é totalmente compreendida. Do ponto de vista prático, o estudo da cintilação está diretamente relacionado a problemas de estabilidade de enlaces de comunicação e navegação por satélite (Rodrigues, 2003).

De acordo com Rodrigues (2003), o estudo de teorias que explicassem as cintilações iniciou com a consideração de que o meio pelo qual o sinal de rádio se propaga seria equivalente à uma tela de difração, “diffracting screen”, com irregularidades aleatórias de densidade que não se deformam e que se movem com direção e velocidade fixas. Se a região de difração é suficientemente fina, as variações na frente de onda emergente estarão presentes somente



na fase e não na amplitude do sinal. À medida que a onda se propaga além da região de difração, as flutuações em amplitude começam então a surgir.

Inicialmente, esta aproximação foi utilizada em diversos casos tais como os de uma tela de difração unidimensional e de uma tela de difração bidimensional. Logo em seguida, considerou-se o caso de uma tela de difração espessa tri-dimensional. Referências de trabalhos que consideraram diferentes aproximações para a tela de difração podem ser encontradas no Apêndice A de Kelley (1989). Os casos prévios foram então revistos por Salpeter (1967) que estendeu a teoria a importantes regimes que não haviam sido considerados e derivou condições suficientes para validação da aproximação de uma tela fina de difração, “thin phase screen”.

Para o caso de espalhamento fraco causado por uma tela fina de difração, o espectro de potência das flutuações de densidade deve ser multiplicado por uma função que depende da altura da camada de irregularidades e da frequência da onda incidente o que produziria o espectro de potência das cintilações observadas. Sob estas aproximações, o espectro de potência da cintilação é uma versão linearmente filtrada do espectro de potência das flutuações de densidade. A função multiplicadora, conhecida como filtro de Fresnel age como um filtro passa alta (Kelley, 1989) e apresenta mínimos em pontos proporcionais à raiz quadrada de números inteiros de frequência. Recentemente, Bhattacharyya et al. (2001) encontrou tais mínimos de Fresnel, em espectros de potência de cintilações em sinais VHF. Os mínimos de Fresnel não são observados quando a camada de irregularidades é espessa. Matematicamente a teoria das cintilações é amplamente demonstrada em Yeh e Liu (1982). Já sobre cintilações com enfoque à sua aplicação no estudo das irregularidades ionosféricas pode ser encontrada em Aarons (1982). É importante salientar que a maioria das teorias considera apenas o caso de espalhamento fraco. Teorias para explicar matematicamente o caso de espalhamento forte ainda estão em desenvolvimento.

### 5.3 O Índice de cintilação (S4)

O índice de cintilação S4 tem sido amplamente utilizado para quantificar a magnitude das cintilações em amplitude de sinais transionosféricos e é definido em termos da intensidade (I) do sinal recebido, como mostra a Equação (5.1), (Yeh e Liu, 1982):

$$S_4^2 = \frac{\langle I^2 \rangle - \langle I \rangle^2}{\langle I \rangle^2} \quad 5.1$$

É possível mostrar, a partir da Teoria para Cintilação Fraca, que o índice S4 está relacionado ao desvio de densidade do plasma ionosférico ( $\Delta N$ ) ao longo do caminho de propagação do sinal e à espessura da camada de irregularidades ionosféricas (L), pela seguinte expressão (Yeh e Liu, 1982):

$$S_4^2 \cong 8\pi^2 r_e^2 \lambda^2 L \iint \left[ 1 - \frac{2k}{k_{\perp}^2 L} \sin\left(\frac{k_{\perp}^2 L}{2k}\right) \cos\left(\frac{k_{\perp}^2}{k} \left(k - \frac{L}{2}\right)\right) \right] \Phi_{\Delta N}(\vec{k}_{\perp}, 0) d^2 k_{\perp} \quad 5.2$$

Onde  $r$  é o raio do elétron,  $\lambda$  é o comprimento de onda do sinal e  $\Phi_{\Delta N}(\vec{k}_{\perp}, 0)$  é o espectro tridimensional da flutuação de densidade  $\Delta N$  com  $k_z = 0$  e  $k_{\perp}$  está na direção perpendicular à propagação da onda. A integral na Equação (5.2) indica que a contribuição para a cintilação, das irregularidades de diversos números de onda ( $k$ ), é ponderada por uma função filtro espacial, isto é, a expressão em colchetes na Equação (5.2).

A Equação (5.2) não é facilmente interpretável e trabalhos de modelagem das cintilações, como o realizado por Basu e Basu (1980) apresenta equações mais simples nas quais, tanto as cintilações em amplitude quanto em fase são expressas em quantidades que podem ser obtidas experimentalmente. Contudo, apesar de explicarem muitas das características das cintilações, estas equações não podem explicar fenômenos mais complexos observados e,

por esta razão, modelos computacionais têm sido desenvolvidos (por exemplo, Fremouw e Secan, 1984; Secan et al., 1995). Fremouw e Secan (1984) já incluem o efeito de foco que ocorre nas cintilações e que dá origem a valores de  $S_4 > 1$  (Singleton, 1970).

A Equação (5.3) abaixo foi utilizada por Basu e Basu (1980) para modelagem das cintilações equatoriais e inclui os principais parâmetros responsáveis pela cintilação em amplitude.

$$S_4^2 = 8\pi^2 (r_e \lambda)^2 L \sec\theta < \Delta N^2 > \frac{\lambda z \sec\theta}{4\pi} k_o F \quad (5.3)$$

Além da dependência do  $S_4$  com relação ao desvio RMS médio ( $\Delta N$ ) de densidade, ao longo do caminho de propagação do sinal, e com relação à espessura da camada de irregularidades ( $L$ ), Basu e Basu (1980) também deixaram evidente a dependência do índice  $S_4$  com relação à altura ( $z$ ) da camada, ao ângulo de zênite ( $\theta$ ) do sinal na altura da camada de irregularidades e ao comprimento de onda do sinal ( $\lambda$ ).  $F$  é um fator relacionado à geometria das irregularidades e  $k_o$  se refere ao menor número de onda que contribui para a cintilação.

De acordo com Kintner et al. (2001), a magnitude da cintilação depende da distribuição espacial e da amplitude das irregularidades de densidade. Contudo, a escala de tempo do desvanecimento (“fading”) depende da velocidade das irregularidades e de uma escala espacial conhecida como comprimento de Fresnel, o qual, em primeira ordem, depende somente do comprimento de onda do sinal GPS e da distância às irregularidades ionosféricas. A escala de Fresnel tem origem no filtro de Fresnel.

De acordo com Salpeter (1967), para o caso de espalhamento fraco, o espectro de potência horizontal da intensidade do sinal tem a seguinte forma:

$$\varphi_1(k) = 4\Phi_\varphi(k) \sin^2\left(\frac{k^2 r_F^2}{4\pi}\right) \quad (5.4)$$

onde  $k$  é o número de onda horizontal,  $r_F$  é o comprimento de Fresnel ( $r_F = \sqrt{\lambda d}$ , onde  $d$  é a distância até a camada espalhadora e  $\lambda$  é o comprimento de onda do sinal), e  $\Phi_\varphi(k)$  é a densidade espectral de potência das irregularidades que causam o espalhamento. Tipicamente,  $\Phi_\varphi(k)$  decresce rapidamente com o aumento de  $k$  (Basu e Basu, 1993), de forma que o primeiro máximo na função  $\sin^2$  domina o espectro de potência. Isto significa que o espectro de potência mostrará um número de onda dominante dado por:

$$k = \frac{\sqrt{2\pi}}{r_F} \quad (5.5)$$

Ou,

$$\lambda_F = \sqrt{2}r_F \quad (5.6a)$$

Mas como  $r_F = \sqrt{\lambda d}$ , tem-se que:

$$\lambda_F = \sqrt{2\lambda d} \quad (5.6b)$$

Considerando que a camada de irregularidades se encontra a uma distância  $d = 350$  km e que o satélite encontra-se no zênite, pode-se dizer que as irregularidades que mais contribuem para a cintilação em sinais GPS ( $L1 = 1,57542$  GHz) são as irregularidades com escalas de tamanho de aproximadamente  $\lambda_F = 400$  metros.

#### 5.4 O Índice S4 calculado pelos receptores SCINTMON

De acordo com Beach (1998), o procedimento computacional para o cálculo do S4 realizado pelo programa de redução de dados dos receptores SCINTMON, que serão

realizados neste estudo, pode ser resumido da seguinte forma: utiliza-se um filtro passa-baixas com frequência de corte em 0,1 Hz, de modo a obterem-se valores médios locais do canal de potência em banda larga  $P_k$  e do canal de ruído em banda larga  $N_k$ , onde  $k$  é o número da amostra numérica. Estes valores filtrados de  $P_k$  e  $N_k$  são denotados por  $\langle P \rangle_k$  e  $\langle N \rangle_k$ , respectivamente. Definiu-se então a variância da intensidade de sinal para o intervalo de um minuto a partir de:

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M (P_k - \langle P \rangle_k)(P_{k-1} - \langle P \rangle_{k-1}) \quad (5.7)$$

Onde  $M = 3000$  é o número de amostras por minuto enquanto que  $P_0$  e  $\langle P \rangle_0$  são definidos como os valores finais de potência e potência média do intervalo de 1 minuto anterior. Além disso, determina-se a potência média sobre o mesmo período a partir de:

$$\hat{S} = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M (\langle P \rangle_k - \langle N \rangle_k) \quad (5.8)$$

A partir destas definições o índice de cintilação para o, devido, intervalo de 1 minuto torna-se (Beach, 1998):

$$S_4 = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}^2}}{\hat{S}} \quad (5.9)$$

Pode-se observar pela Equação (5.9) que o índice  $S_4$  também pode ser interpretado como o desvio padrão normalizado pela potência média do sinal. A Figura 5.2 mostra um exemplo de sinal amostrado por um receptor SCINTMON e os valores de  $S_4$  calculados para este caso. Observa-se que os valores de  $S_4$  aumentam à medida que a flutuação do sinal (cintilação) também aumenta. O índice  $S_4$  apresentado neste exemplo foi calculado por um

dos receptores SCINTMON utilizados neste trabalho e que serão descritos posteriormente (Rodrigues, 2003).

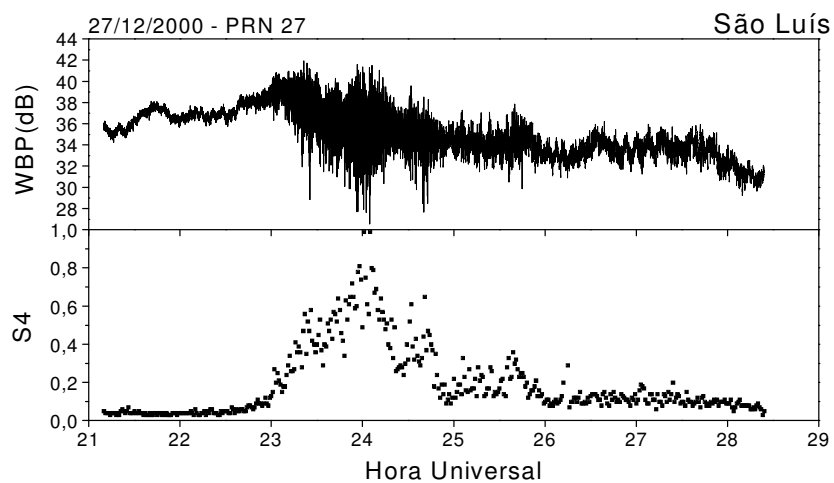


FIGURA 5.2 - Exemplo de cintilação e correspondentes valores de S4 calculados para intervalos de 1 minuto.

FONTE: Retirada da dissertação de Rodrigues, 2003.

## CAPÍTULO 6

### MONITOR DE CINTILAÇÃO IONOSFÉRICA – SCINTMON

#### 6.1 Introdução

Para investigar o ambiente onde ocorrem cintilações no sinal GPS, o grupo de pesquisadores Space Physics da Universidade de Cornell – E.U.A desenvolveu um receptor especializado do sinal GPS, denominado de Monitor de Cintilação Ionosférica – SCINTMON.

O SCINTMON é um software computacional desenvolvido a partir de um kit GEC Plessey Builder - 2<sup>TM</sup>. Ele permite monitorar a frequência L1 transmitida pelo GPS, e é capaz de amostrar simultaneamente 11 satélites, porém somente coleta dados de satélites com uma elevação superior a 10°.

Atualmente, a Divisão de Aeronomia – DAE/INPE, em colaboração com a Universidade de Cornell, mantém 13 receptores GPS – SCINTMON instalados sobre o Território Brasileiro, como mostrado na figura 6.1. Esta rede de receptores SCINTMON tem sido ampliada e recentemente já foram instalados receptores em Boa Vista (Roraima), São João do Cariri (Paraíba), Presidente Prudente (SP) e Campinas (SP), os quais não estão mostrados na Figura 6.1. A Tabela 6.1 mostra as coordenadas das estações GPS distribuídas no território brasileiro.

TABELA 6.1 - Coordenadas das estações GPS distribuídas no Território Brasileiro.

| Station              | Geog. Lat. | Geog. Long. | Magnetic Declination | Dip Lat. |
|----------------------|------------|-------------|----------------------|----------|
| S. Martinho da Serra | 29,28° S   | 53,82° O    | 12,90° O             | -18,57   |
| S. J. dos Campos     | 23,07° S   | 45,86° O    | 20,03° O             | -18,01   |
| Cachoeira Paulista   | 22,57° S   | 45,01° O    | 20,54° O             | -18,12   |
| Palmas               | 26,36° S   | 51,98° O    | 15,36° O             | -17,27   |
| Cuiabá               | 15,45° S   | 56,07° O    | 14,98° O             | -6,1     |
| São Luís             | 02,57° S   | 44,2° O     | 20,74° O             | -1,3     |
| Manaus               | 03,08° S   | 59,97° O    | 13,96° O             | +5,79    |

FONTE: <http://www.dae.inpe.br/iono/iongps/mapPort.html>.



FIGURA 6.1 - Disposição dos 13 receptores GPS instalados em 8 pontos sobre o Território Brasileiro.

FONTE: <http://www.dae.inpe.br/iono/iongps/mapPort.html>.

O programa é executado em ambiente DOS e permite ao usuário definir um modo de operação no qual o sistema opera de forma automática. Recentemente foram instalados



receptores SCINTMON que rodam no ambiente Linux (CASCADE) e permitem visualização do S4 e outros parâmetros como azimute e elevação em tempo real. O usuário deve apenas definir os horários de início e fim de gravação de dados. Como as irregularidades formam-se no período do anoitecer e permanecem até aproximadamente meia-noite local, em períodos magneticamente calmos, e até em algumas vezes até o amanhecer, para períodos magneticamente perturbados, sendo feitas observações entre as 18h00min e 06h00min horas locais para todas as estações GPS brasileiras.

Cada período de observação gera dois arquivos:

- “fsl” que contém informações de amplitude do sinal recebido de todos os satélites rastreados;

- “n” que contém informações gerais sobre cada satélite rastreado.

A partir desses arquivos é gerado um terceiro arquivo sumário, que contém informações coletadas a cada um minuto sobre a posição de cada satélite, potência do sinal recebido e índice de cintilação “índice S4”, como também outras informações referentes ao sinal GPS. As Figuras 6.2 e 6.3 mostram a potência em banda larga (WBP) e o índice de cintilação S4 calculado a partir do WBP, respectivamente para a estação S e para 02 de janeiro de 2006.

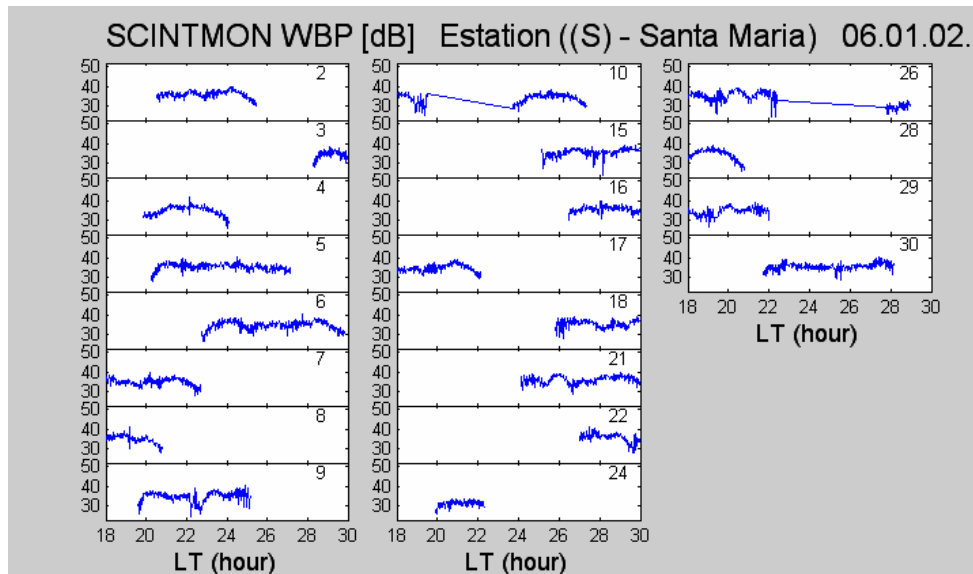


FIGURA 6.2 - Os painéis mostram os valores de potência em banda larga de sinal recebido, WBP em decibéis, para cada satélite rastreado na noite de 02/01/06 para 03/01/06, junto a Estação (S) – Santa Maria no Observatório Espacial do Sul do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – OES/CRSPE/INPE – MCT.

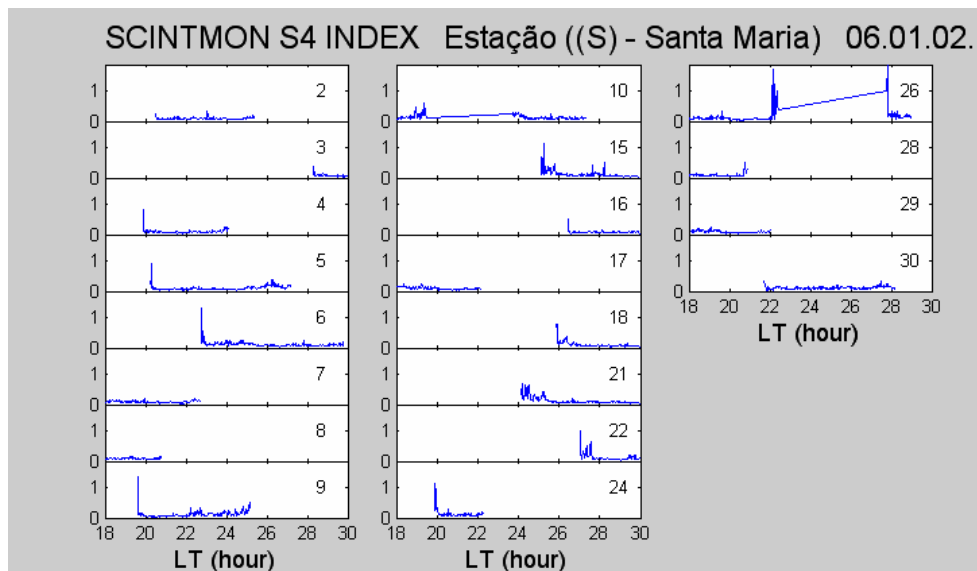


FIGURA 6.3 - Os painéis mostram os valores do índice S4, calculados para os sinais mostrados na Figura 6.2. Valores de S4 acima de 0.2 estão associados a irregularidades, junto a Estação (S) – Santa Maria no Observatório Espacial do Sul do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – OES/CRSPE/INPE – MCT.

## **6.2 Instalação das Estações (S) e (T) no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE - MCT – Santa Maria**

Em 2000 foram instaladas as estações (S) e (T) no Observatório espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE - MCT (latitude: 29,28°; longitude: 53,82°), localizado em São Martinho da Serra – RS. Em dezembro de 2005 elas foram transferidas, provisoriamente, para o prédio sede do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT, (latitude: 29,42°; longitude: 53,43°) EM Santa Maria, RS. As Figuras 6.4 e 6.5 mostram as instalações das antenas T e S, respectivamente. A instalação definitiva está prevista para área destinada ao Laboratório de Sondagem Ionosférica - LSI/CRSPE/INPE – MCT no campus da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM.



FIGURA 6.4 – Prédio Sede do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE - MCT – localizado em Santa Maria - RS. Instalação provisória da Estação (T) do Sistema GPS.



FIGURA 6.5 – Prédio Sede do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE - MCT – localizado em Santa Maria - RS. Instalação provisória da Estação (S) do Sistema GPS.

## **CAPÍTULO 7**

### **SISTEMA VHF**

#### **7.1 Introdução**

Desenvolvido pela empresa Americana SCION, o principal objetivo do sistema VHF é prever anomalias ionosféricas detectadas ao longo do equador magnético, reduzindo assim os impactos ionosféricos causados nas telecomunicações e, também, pesquisar os impactos causados pelas cintilações ionosféricas detectadas em sinais de satélites geo-estacionários. O sistema VHF compõe uma rede global de monitoração de cintilações eletromagnéticas presentes nos sinais dos satélites FLT-7 (0° latitude, -100° Longitude) e FLT-8 (0° latitude, -23° Longitude). No Brasil, temos três sistemas instalados estrategicamente, ao longo do equador magnético, nas cidades de Cuiabá-MT, Cachoeira Paulista-SP e São Luis-MA.

#### **7.1 Sistema VHF**

Este sistema recebe sinais VHF na banda L provenientes de satélites geo-estacionários e as cintilações monitoradas são detectadas em frequências na faixa compreendida entre 240 e 260 MHz. Os dados recebidos são processados e enviados, em tempo real através de Internet, para o Instituto nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e para o Laboratório de pesquisa de Sistemas RF em Impactos Ionosféricos da Força Aérea Americana na base aérea de Hanscom, Massachusetts. Cada sistema é composto por três módulos chamados de Conversor de RF, conversor de FI e um computador e multiplex que formam o módulo de processamento dos dados recebidos, e quatro antenas tipos Yagi posicionadas duas-a-duas, espaçadas a 100 metros, na direção leste-oeste magnética, ver Figura 7.1. O módulo RF com quatro canais, um para cada antena, ao receber os sinais RF provenientes dos satélites, mistura-os com o sinal do oscilador local de alto nível, amplifica-os e os envia para o

módulo de FI, onde são demodulados e as informações contendo os dados específicos às cintilações detectadas são extraídos. Esses dados após terem sido detectadas são enviados para o módulo de processamento que gera imagens digitais do índice de cintilação S4 e das velocidades leste-oeste das irregularidades do plasma ionosférico, como ilustrado na Figura 7.2.



FIGURA 7.1 - Antenas do tipo Yagi do Sistema VHF, instaladas no Observatório Espacial de São Luís – OESLZ/INPE – MCT, São Luís-MA.

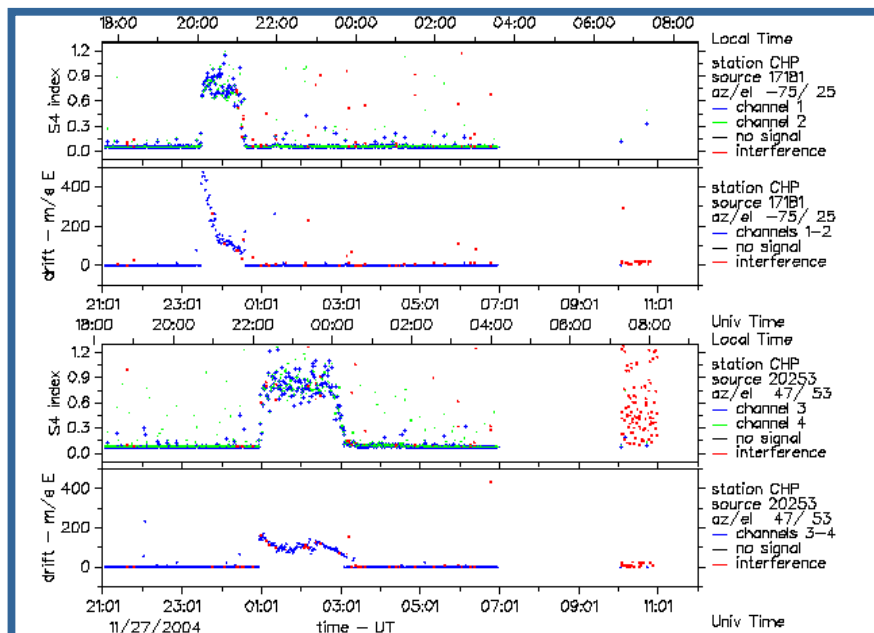


Figura 7.2 - Sinais processados com informações do Índice S4 e calculo da velocidade de deriva das cintilações detectadas em São Luis-MA.

Para o processamento dos dados utiliza-se um microcomputador dedicado exclusivamente ao Sistema VHF o qual se encontra instalado o sistema operacional Linux/debian para processamento em tempo real dos índices de cintilações observadas na região.

## CAPÍTULO 8

### METODOLOGIA, DADOS E RESULTADOS

#### 8.1 Metodologia

A Acadêmica realizou este Projeto de Pesquisa nas dependências do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/CIE/INPE–MCT, em Santa Maria, RS, ver Figura 8.1, onde estão instaladas duas estações, S e T, do Sistema GPS, no âmbito da Parceria INPE – Cornell University.



FIGURA 8.1 – Prédio Sede do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CIE/INPE - MCT – localizado em Santa Maria - RS.

Para o estudo da velocidade de deriva zonal das irregularidades ionosféricas foram utilizados receptores espaçados de GPS. A velocidade de deriva das irregularidades é calculada a partir da correlação cruzada do padrão de cintilação medidos por dois receptores de GPS espaçados na direção leste-oeste magnética. Este algoritmo foi originalmente desenvolvido pela Cornell University, porém a sua versão atual sofreu algumas modificações e foi também adaptada pelo grupo de GPS do INPE para facilitar a



sua operação através dos usuários. Este código foi desenvolvido em Matlab. Para o cálculo segue-se o seguinte cronograma: Depois de instalado um pacote com 9 programas, foi seguido uma rotina para o cálculo da velocidade zonal. São extraídas informações sobre os arquivos sumários e posteriormente são gerados gráficos do índice S4 para cada satélite, através dos quais o usuário seleciona o período de cintilação do sinal GPS, ou seja, quando o índice S4 for maior ou igual a 0.2, como ilustrado na Figura 8.2.

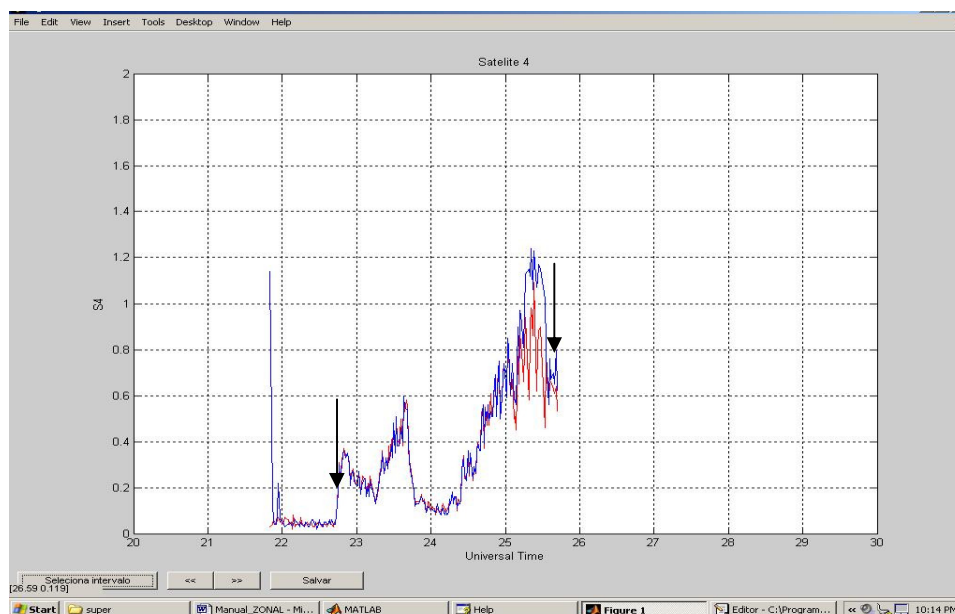


FIGURA 8.2 – Exemplo de gráficos de índice S4 durante o processo de cálculo da velocidade zonal das irregularidades ionosféricas. As setas indicam onde deve ser feita a seleção do período.

Após a realização da seleção de intervalos começa a extração dos dados referentes aos intervalos selecionados. Posteriormente é verificada a qualidade dos dados selecionados para cada satélite. Se os dados não forem suficientemente bons serão descartados e não serão considerados no cálculo. Isto pode ocorrer devido a vários motivos, entre os quais podemos mencionar: seleção de intervalos em que houve perda de lock de um dos satélites, ruídos, dados não válidos para as condições estabelecidas no programa, como ângulo de elevação e índice de cintilação S4. Os dados que não são descartados irão ser processados e posteriormente a deriva zonal é calculada e os gráficos com os valores de velocidade de deriva são plotados, como mostra a Figura 8.3.

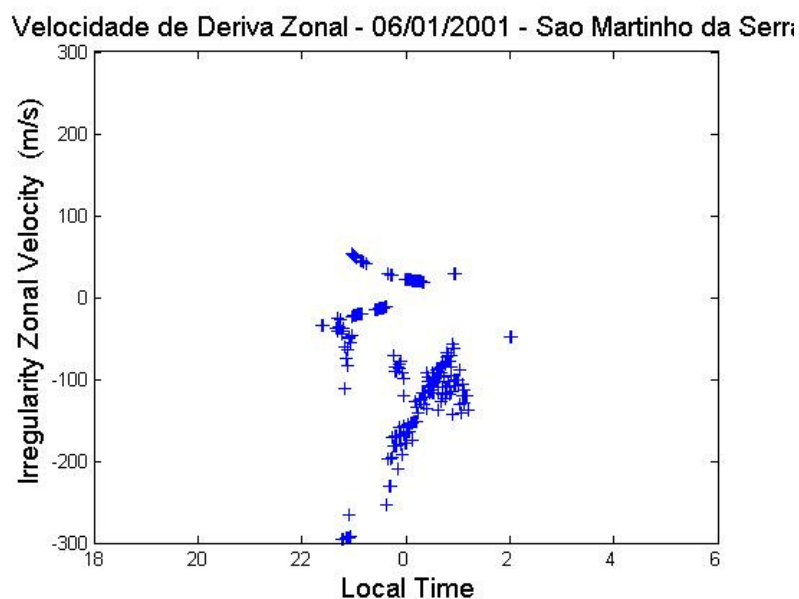


FIGURA 8.3 – Exemplo do cálculo da velocidade de deriva zonal das irregularidades ionosféricas para o dia 06/01/2001 sobre o Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE – MCT em São Martinho da Serra – RS.

## 8.2 Dados

Neste Capítulo é apresentado o estudo da velocidade de deriva zonal das irregularidades ionosféricas utilizando GPS. Foram utilizados dados de 2 receptores espaçados localizados no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE – MCT em São Martinho da Serra, como ilustrado na Figura 8.4. Para este estudo foram utilizados dados com diferentes períodos geomagnéticos. Para a seleção deste período foram utilizados índices de atividade magnética: índice Kp e o índice Dst.



FIGURA 8.4 – Prédio 2 do Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra-RS, onde se encontravam instaladas as estações GPS até dezembro de 2005.

### 8.3 Seleção do Período de Análise dos Dados para a Região do Observatório Espacial do Sul

Os períodos foram selecionados de acordo com os índices magnéticos Dst e Kp, que estão apresentados nas: Figura 8.5, Figura 8.6, Figura 8.7 e Figura 8.8. Durante as tempestades magnéticas se verifica um aumento apreciável na radiação solar do EUV e Raios-X que produz um aumento da ionização nas camadas mais baixas da Ionosfera.

Também durante tempestades magnéticas campos elétricos de origem magnetosférica penetram em baixas latitudes e afetam a Anomalia da Ionização Equatorial e conseqüentemente a distribuição da ionização em baixas latitudes, bem como afetam a geração das irregularidades do plasma ionosférico. Nessas ocasiões tanto o campo geomagnético quanto a Ionosfera sofrem mudanças drásticas (Kirchhoff, 1991).

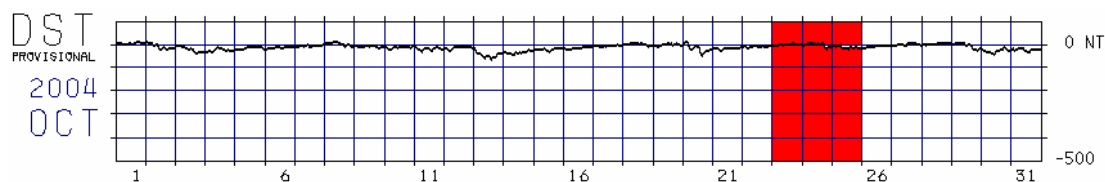


FIGURA 8.5 – Gráfico do índice Dst para o mês de outubro de 2004.

FONTE: Adaptada de <http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst/dir/dst1/prov.html>

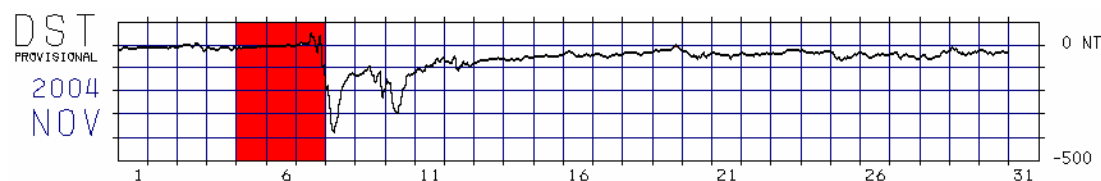


FIGURA 8.6 – Gráfico do índice Dst para o mês de novembro de 2004. Ocorrência de tempestade magnética intensa que se iniciou no dia 7.

FONTE: Adaptada de <http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst/dir/dst1/prov.html>

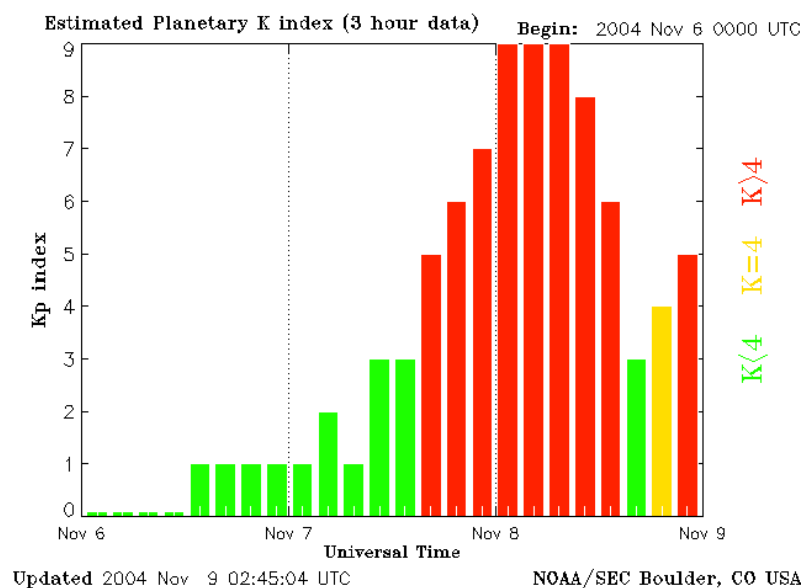


FIGURA 8.7 – Gráfico do índice Kp para o mês de outubro de 2004. Ocorrência de tempestade magnética intensa que se iniciou no dia 7.

FONTE: [http://www.sec.noaa.gov/ftplib/warehouse/2004/2004\\_plots/?S=A](http://www.sec.noaa.gov/ftplib/warehouse/2004/2004_plots/?S=A).

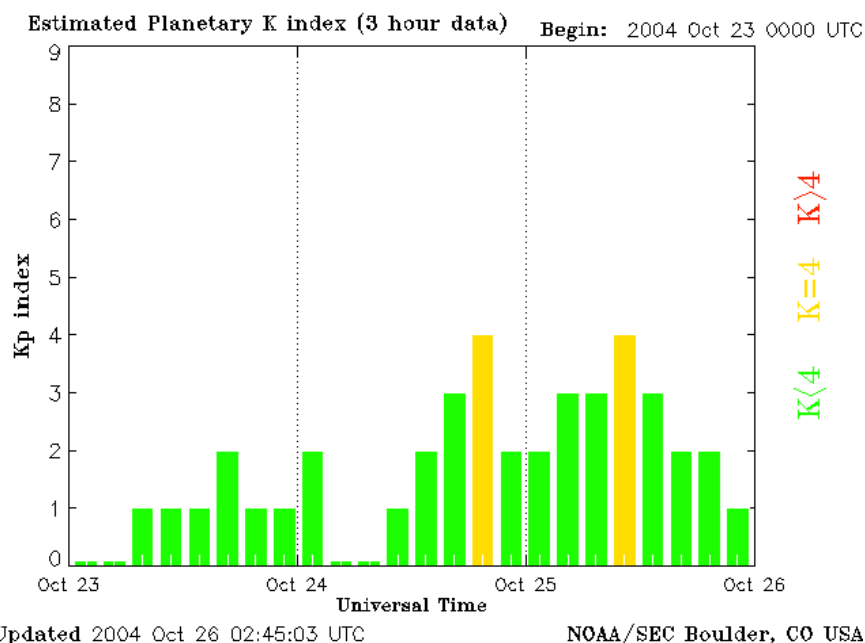


FIGURA 8.8 – Gráfico do índice Kp para o mês de novembro de 2004.

FONTE: [http://www.sec.noaa.gov/ftplib/warehouse/2004/2004\\_plots/?S=A](http://www.sec.noaa.gov/ftplib/warehouse/2004/2004_plots/?S=A).

Posteriormente à seleção dos períodos em função dos índices geomagnéticos, escolhemos 1 dia magneticamente perturbado e 5 dias magneticamente calmos, para os quais havia dados simultâneos nas estações S e T, conforme mostrado na Tabela 8.1.

TABELA 8.1 – Seleção do período de dados para o cálculo da velocidade zonal das irregularidades ionosféricas.

| Mês              | Condição Magnética             |                                     |
|------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
|                  | Períodos Magneticamente Calmos | Períodos Magneticamente Perturbados |
| Outubro de 2004  | 23, 24 e 25                    |                                     |
| Novembro de 2004 | 05 e 06                        | 07                                  |

Finalmente plotamos gráficos da velocidade de deriva zonal das bolhas de plasma para cada dia (Figuras 8.9 a 8.14), para a análise do comportamento destas estruturas, as bolhas de plasma, para diferentes períodos geomagnéticos.

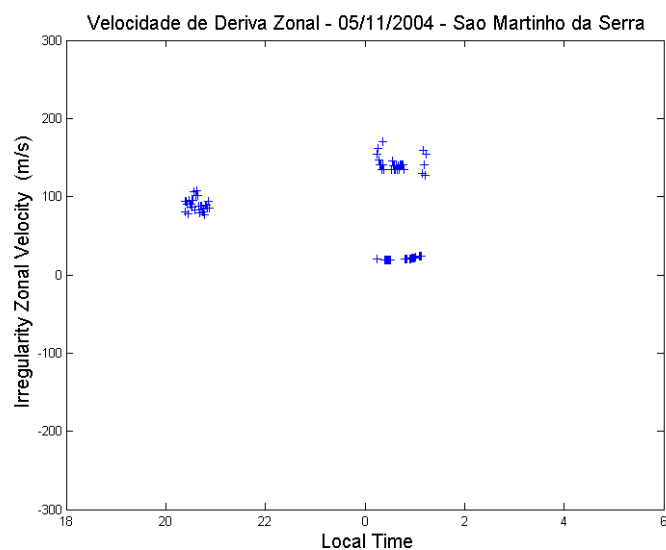


FIGURA 8.9 – Velocidade zonal das irregularidades ionosféricas para o dia 05/11/2004 sobre a região do Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE–MCT, em São Martinho da Serra – RS, Brasil.

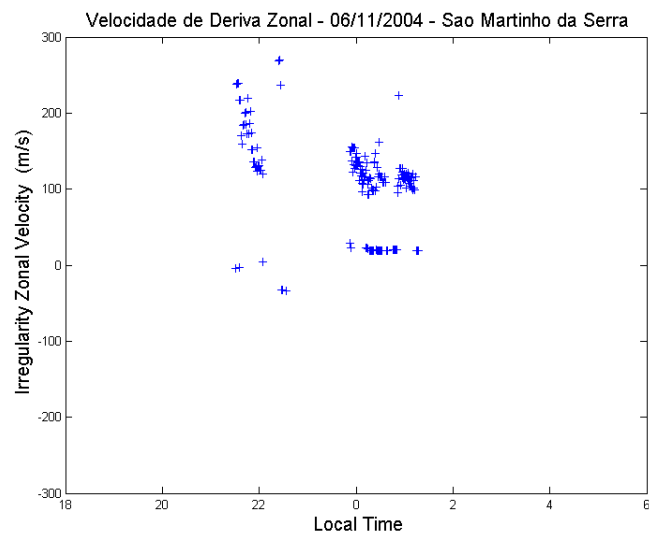


FIGURA 8.10 – Velocidade zonal das irregularidades ionosféricas para o dia 06/11/2004 sobre a região do Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE–MCT, em São Martinho da Serra – RS, Brasil.

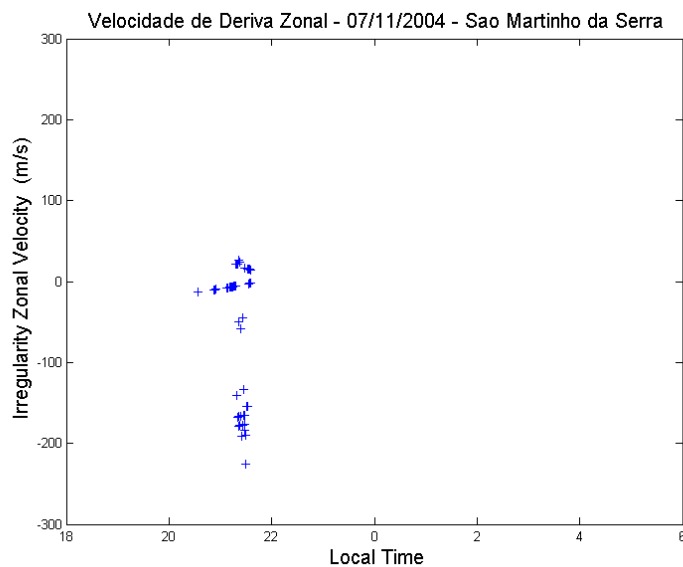


FIGURA 8.11 – Velocidade zonal das irregularidades ionosféricas para o dia 07/11/2004 sobre a região do Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE–MCT, em São Martinho da Serra – RS, Brasil.

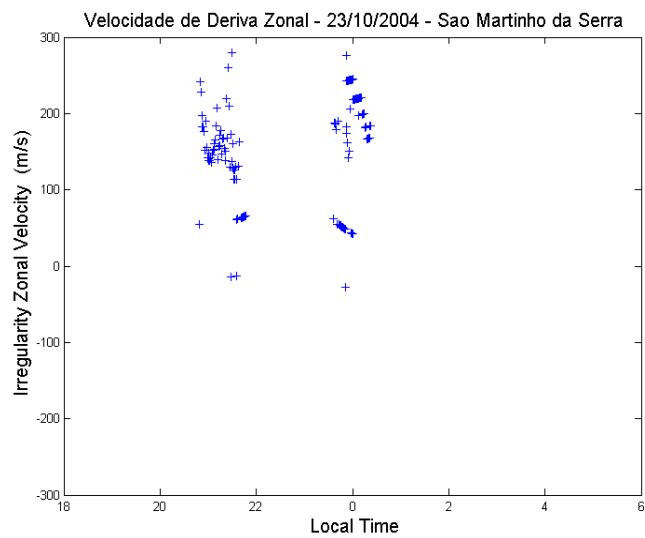


FIGURA 8.12 – Velocidade zonal das irregularidades ionosféricas para o dia 023/10/2004 sobre a região do Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE–MCT, em São Martinho da Serra – RS, Brasil.

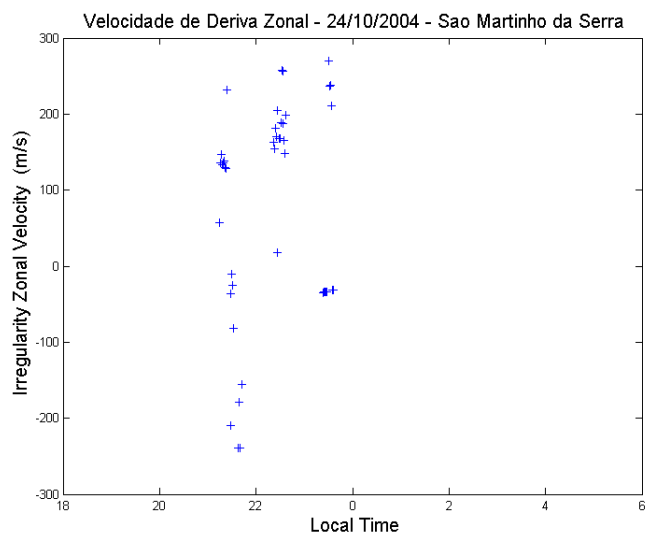


FIGURA 8.13 – Velocidade zonal das irregularidades ionosféricas para o dia 24/10/2004 sobre a região do Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE–MCT, em São Martinho da Serra – RS, Brasil.

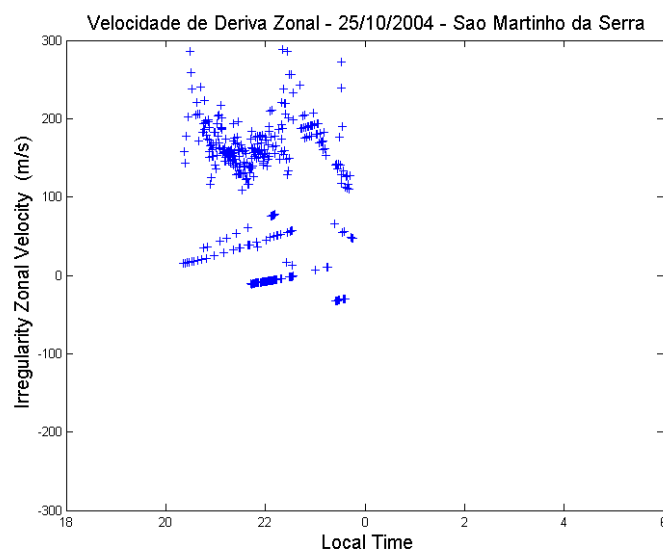


FIGURA 8.14 – Velocidade zonal das irregularidades ionosféricas para o dia 05/11/2004 sobre a região do Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE–MCT, em São Martinho da Serra – RS, Brasil.

#### **8.4 Dados de 3 Regiões do Território Brasileiro**

O Brasil é o único país do mundo que possui território ao norte e ao sul do equador geomagnético que, portanto, permite o estudo de estruturas como as bolhas de plasma, as quais são geradas na camada F no equador magnético. Estas bolhas, que são estruturas alinhadas à linha de campo geomagnético, se deslocam para leste e durante o seu desenvolvimento (crescimento) vertical a medida de sua velocidade zonal é contaminada pela componente vertical de deriva do plasma. Portanto, medidas das bolhas nas longitudes (e latitudes) mais para leste (e ao sul) serão bastante desejáveis para a previsão da geração das bolhas.

A determinação da velocidade zonal das irregularidades utilizando receptores VHF (240 MHz e sinais recebidos de 2 satélites geoestacionários), com antenas espaçadas cerca de 100 m na direção leste-oeste magnética, permite sondar estruturas ionosféricas maiores (cerca de 930 m) do que as sondadas por GPS (cerca de 400 m), bem como permite comparar as velocidades zonal calculadas pelos 2 métodos. No Brasil, três sistemas VHF foram instalados estrategicamente de 01 de outubro a 10 de dezembro de 2002, ao longo do



equador magnético, nas regiões de Campo Grande -MS, Cachimbo – PA e Boa Vista – AP, ver Figura 8.15.

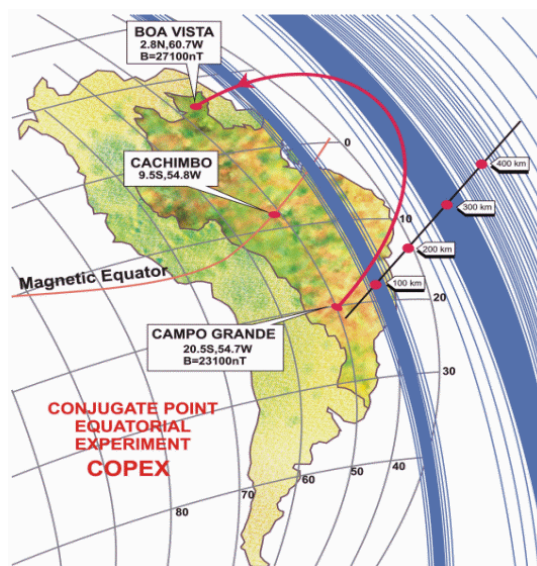


FIGURA 8.15 – Regiões do Território Brasileiro com receptores VHF e receptores espaçados GPS instalados para o estudo das irregularidades ionosféricas; Campo Grande -MS, Cachimbo – PA e Boa Vista – AP, durante a campanha COPEX.

Durante o mês de novembro de 2002 observamos uma tempestade magnética registrada pelo índice Dst ( $Dst = -128 \text{ nT}$ ) para os dias 21 e 22, ver Figura 8.16.

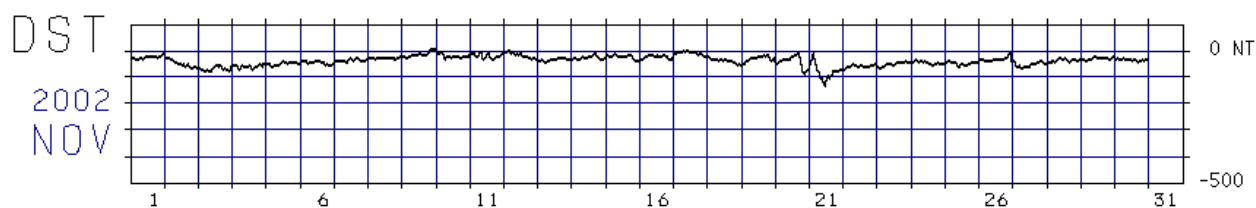


FIGURA 8.16 – Gráfico do índice Dst para o mês de novembro de 2002.

FONTE: Adaptada de <http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst/dir/dst1/prov.html>

Para o dia 26, dia geomagneticamente calmo, temos dados coletados para as 3 localidades (Campo Grande, Cachimbo e Boa Vista), ver Figuras 8.17 a 8.19. Para os dias geomagneticamente

perturbados deste mês de novembro de 2002 citados acima temos também dados coletados como ilustrado na Figura 8.20.

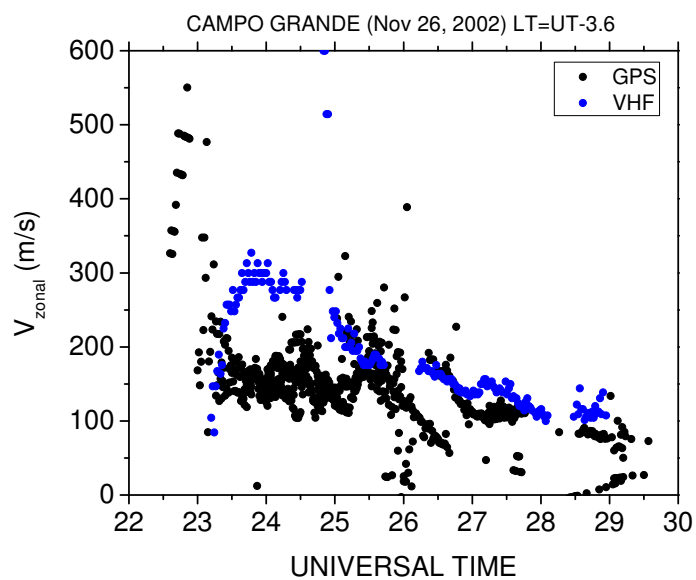


FIGURA 8.17 - Cálculo da velocidade de deriva média das bolhas ionosféricas para a região de Campo Grande – MS, Brasil.

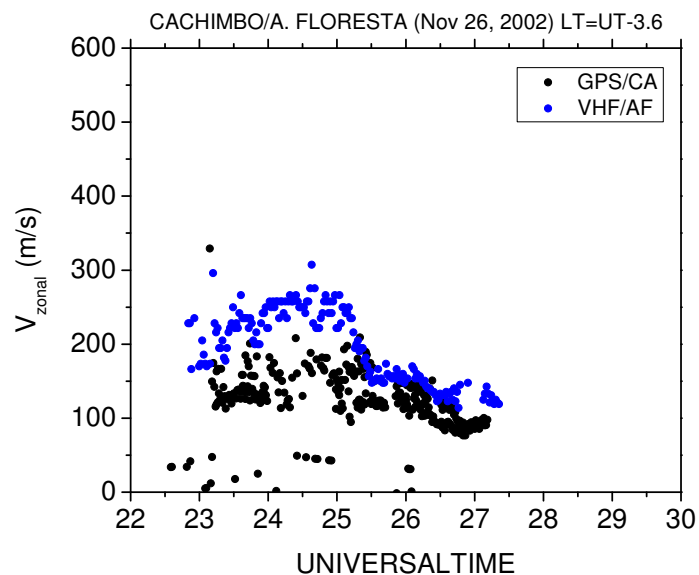


FIGURA 8.18 - Cálculo da velocidade de deriva média das bolhas ionosféricas para a região de Cachimbo – PA, Brasil.

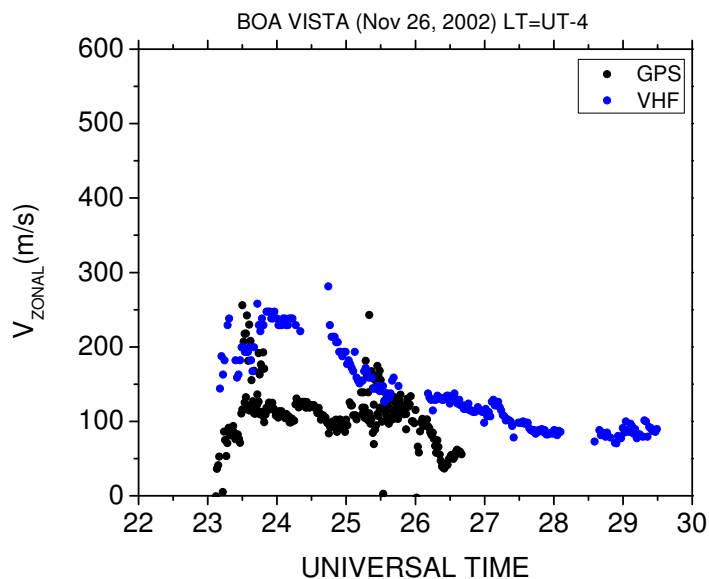


FIGURA 8.19 - Cálculo da velocidade de deriva média das bolhas ionosféricas para a região de Boa Vista – AP, Brasil.

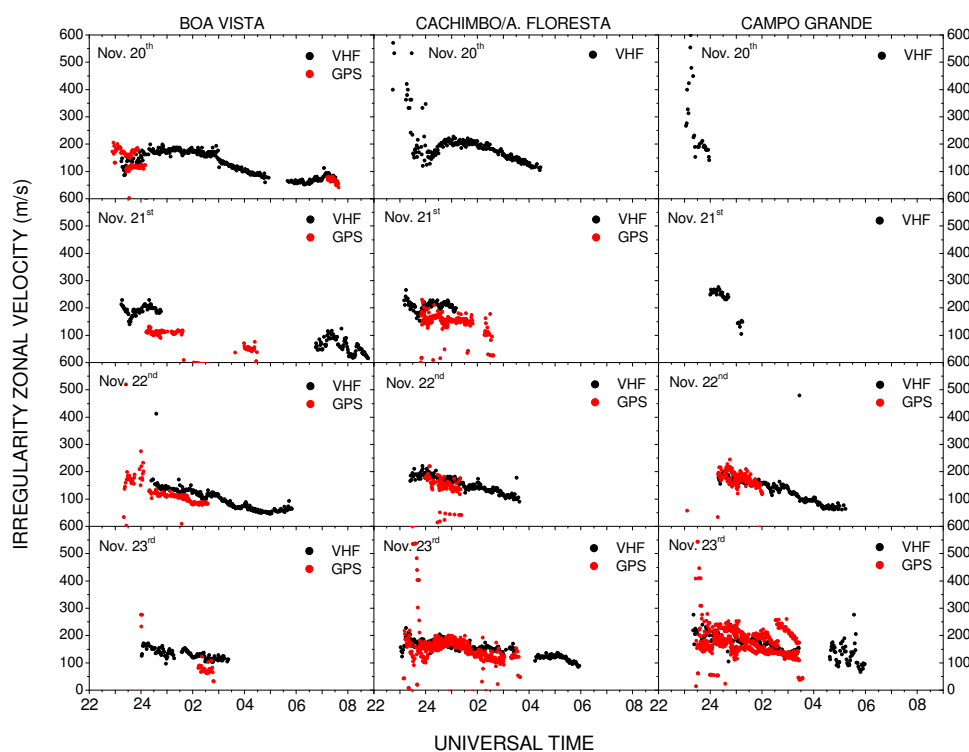


FIGURA 8.20 – Cálculo da velocidade de deriva média das bolhas ionosféricas para as regiões de Campo Grande -MS, Cachimbo – PA e Boa Vista - AP.

### 8.5 Atividades Extras da Acadêmica

A Acadêmica durante o período do Projeto de Iniciação Científica interagiu com pesquisadores japoneses em estudos de geofísica básica através da Cooperação Brasil – Japão, participou de um curso sobre montagem de antenas no Radiobservatório de Atibaia, SP, e também, participou como ouvinte de um Workshop On the Future of Ionospheric Research for Satellite Navigation and Positioning: Its Relevance for Developing Countries, no the Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics - ICTP em Trieste, Itália. No período do Projeto, o bolsista participou de palestras, cursos e congressos, os quais são listados a seguir. Os certificados encontram-se no Apêndice B.

**8.5.1 – Cursos:**

**1 - Título: Montagem de Antenas VLF, fabricação de pré-amplificadores e respectivas alimentações; conexões e teste com GPS referentes ao projeto SAVNET.**

**Local:** Radiobservatório de Atibaia-SP, Brasil.

**Ministrante:** Dr. Jean-Pierre Raulin.

**Período:** 16 a 21 de abril de 2007.

**Carga horária:** 50 horas.

**2 - Título: Aspectos Científicos da Rede SAVNET.**

**Local:** Universidade de Mackenzie, São Paulo-SP, Brasil.

**Ministrante:** Dr. Jean-Pierre Raulin.

**Período:** 16 a 21 de abril de 2007.

**Carga horária:** 50 horas.

**8.5.2 – Congressos:**

A bolsista participou de congressos, os quais são listados a seguir. Os resumos encontram-se no Apêndice B.

**1 - Título: EFEITOS DAS IRREGULARIDADES IONOSFÉRICAS SOBRE SINAIS DE SATÉLITES GPS NO SUL DO BRASIL.**

**Autores:** Lilian Piecha Moor, Eurico Rodrigues de Paula, Henrique Carlotto Aveiro, Tiago Jaskulski, Nelson Jorge Schuch, Clezio Marcos Denardini.

**Evento:** XXI Congresso Regional de Iniciação Científica em Engenharia – IV Feira de Protótipos.

**Local:** Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI, Ijuí– RS.

**Período:** 4 a 6 de outubro de 2006.

**2 - Título: METODOLOGIA PARA DETECÇÃO DE RASTROS METEÓRICOS UTILIZANDO RADARES COERENTES.**

**Autores:** Henrique C. Aveiro, Tiago Jaskulski, Lilian P. Moor, Laysa Resende, Pedro Almeida, Clezio M. Denardini, Mangalathayil A. Abdu & Nelson J. Schuch.

**Evento:** XXI Congresso Regional de Iniciação Científica em Engenharia – IV Feira de Protótipos.

**Local:** Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI, Ijuí– RS.

**Período:** 4 a 6 de outubro de 2006.

**3 - Título: ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO MODELO IRI NA DETERMINAÇÃO DA ALTURA DO PICO DA CAMADA DA REGIÃO F NA REGIÃO DE SÃO LUÍS (MA) NOS HORÁRIOS DE PRÉ-REVERSÃO DURANTE PERÍODOS MAGNÉTICAMENTE CALMOS.**

**Autores:** Pedro Almeida, Laysa Resende, Henrique C. Aveiro, Clezio M. Denardini, Lilian P. Moor.

**Evento:** XXI Congresso Regional de Iniciação Científica em Engenharia – IV Feira de Protótipos.

**Local:** Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI, Ijuí– RS.

**Período:** 4 a 6 de outubro de 2006.

**4 - Título: Comparação da Amplitude da Deriva de Pré-Reversão ( $V_z$ ) em Cachoeira Paulista (SP) e São Luís (MA).**

**Autores:** Laysa Resende, Pedro Almeida, Henrique C. Aveiro, Clezio M. Denardini, Lilian P. Moor.

**Evento:** XXI Congresso Regional de Iniciação Científica em Engenharia – IV Feira de Protótipos.

**Local:** Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI, Ijuí– RS.

**Período:** 4 a 6 de outubro de 2006.

**5 - Título: ESTUDO DO PLASMA IONOSFÉRICO DA ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL (AMAS) UTILIZANDO RIÔMETROS.**

**Autores:** Tiago Jaskulski, Henrique C. Aveiro, Lilian P. Moor, Clezio M. Denardini, Polinaya Muralikrishna & Nelson J. Schuch.

**Evento:** XXI Congresso Regional de Iniciação Científica em Engenharia – IV Feira de Protótipos.

**Local:** Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI, Ijuí– RS.

**Período:** 4 a 6 de outubro de 2006.

**6 - Título: ANÁLISE DOS EFEITOS DAS TEMPESTADES MAGNÉTICAS SOBRE A IONOSFERA EM DIFERENTES LATITUDES DO TERRITÓRIO BRASILEIRO UTILIZANDO A REDE DE SATÉLITES GPS.**

**Autores:** Lilian Piecha Moor, Henrique Carlotto Aveiro, Tiago Jaskulski, Eurico Rodrigues de Paula, Clezio Marcos Denardini, Nelson Jorge Schuch

**Evento:** XXI Jornada Acadêmica Integrada.

**Local:** Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria – RS.

**Período:** 28 a 30 de novembro de 2006.

**7 - Título: EFEITOS DA TEMPESTADE MAGNÉTICA OCORRIDA EM MAIO DE 2003 SOBRE SINAIS DE SATÉLITES GPS DETECTADOS EM DIFERENTES LATITUDES DO TERRITÓRIO BRASILEIRO**

**Autores:** Lilian P. Moor, Henrique C. Aveiro, Tiago Jaskulski, Clezio M. Denardini, Eurico Rodrigues de Paula, Nelson J. Schuch.

**Evento:** Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia – SBGEA

**Local:** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, SP.

**Período:** 23 a 26 de outubro de 2006.

**8 - Título: ESTUDOS DO PLASMA IONOSFÉRICO NA REGIÃO DA ANOMALIA GEOMAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL (AMAS) UTILIZANDO RIÔMETROS**

**Autores:** Tiago Jaskulski, Henrique C. Aveiro, Lílian P. Moor, Polinaya Muralikrishna, Clezio M. Denardini, Nelson J. Schuch.

**Evento:** Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia - SBGEA

**Local:** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, SP

**Período:** 23 a 26 de outubro de 2006.

**9 - Título: ANÁLISE DA OCORRÊNCIA DE ECOS TIPOS 1 E 2 DE IRREGULARIDADES DO ELETROJATO EQUATORIAL PRÓXIMO AO AMANHECER**

**Autores:** Henrique C. Aveiro, Lílian P. Moor, Tiago Jaskulski, Clezio M. Denardini, Mangalathayil A. Abdu, Nelson J. Schuch

**Evento:** Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia - SBGEA

**Local:** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, SP

**Período:** 23 a 26 de outubro de 2006

**10 - Título: OVERVIEW OF IONOSPHERIC IRREGULARITIES OVER THE BRAZILIAN TERRITORY.**

**Autores:** E.R. de Paula, I.J. Kantor, L.P. Moor, M.T.A.H Muella, L.F.C de Rezende, A.A.N. Campos and P.F. Smorigo,

**Evento:** Workshop on the Future of Ionospheric Research for Satellite Navigation and Positioning: Its Relevance for Developing Countries, I:

**Local:** the Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics - Trieste, Itália.

**Período:** 4 a 15 de dezembro de 2006.



### **8.5.3 – Congressos: Trabalhos Submetidos e Aceitos**

#### **1 - Título: GPS SIGNAL SCINTILLATION DURING DISTURBANCE MAGNETIC PERIODS OVER BRAZILIAN TERRITORY.**

**Autores:** Lilian P. Moor, Nelson J. Schuch, Henrique C. Aveiro, Tiago Jaskulski, Juliano Moro, Eurico Rodrigues de Paula, Clezio M. Denardini.

**Evento:** XXIV International Union of Geodesy and Geophysics General Assembly.

**Local:** Perúgia, Itália.

**Período:** 2 a 13 de julho 2007.

#### **2 - Título: STUDY OF THE SOUTH ATLANTIC MAGNETIC ANOMALY INFLUENCE ON THE ENERGETIC PARTICLE PRECIPITATION.**

**Autores:** Tiago Jaskulski, Nelson J. Schuch, Henrique C. Aveiro, Lilian P. Moor, Juliano Moro, Clezio M. Denardini, Polinaya Muralikrishna.

**Evento:** XXIV International Union of Geodesy and Geophysics General Assembly.

**Local:** Perúgia, Itália.

**Período:** 2 a 13 de julho 2007.

#### **3 - Título: IONOSPHERIC IRREGULARITY ZONAL VELOCITIES DURING THE COPEX CAMPAIGN.**

**Autores:** E.R. de Paula, K.M. Groves, T.L. Beach, M.T.A.H. Muella, L.P. Moor, L.P., de Camargo, Beacon.

**Evento:** Satellite Symposium.

**Local:** Boston College, Boston, USA.

**Período:** 9 a 16 de junho de 2007.

#### **4 – Título: EFFECTS OF MAGNETIC STORMS ON GPS SCINTILLATION**

**Autores:** E.R. de Paula, I.J. Kantor, L.P. Moor, M.T.A.H Muella, L.F.C de Rezende, A.A.N. Campos and P.F. Smorigo.

**Local:** the Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics – Trieste, Itália.

**Período:** 4 a 15 de dezembro de 2006.

### **8.5.3 – Congressos: Participação como Ouvinte**

A bolsista participou de congressos como ouvinte, os quais são listados a seguir. Os certificados encontram-se no Apêndice B.

#### **1 - Título: Workshop on the Future of Ionospheric Research for Satellite Navigation and Positioning: Its Relevance for Developing Countries.**

**Local:** the Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics – Trieste, Itália.

**Período:** 4 a 15 de dezembro de 2006.

#### **2 - Título: XXI Congresso Regional de Iniciação Científica em Engenharia – IV Feira de Protótipos.**

**Local:** Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI, Ijuí– RS.

**Período:** 4 a 6 de outubro de 2006.

## **CAPÍTULO 9**

### **CONCLUSÃO**

A deriva zonal do plasma da região F é produzida pelo campo elétrico vertical, sendo caracterizada por velocidades na direção leste durante o dia na direção oeste durante a noite. Essa deriva sofre influências principalmente dos campos elétricos de polarização da região F, sendo, portanto, influenciada diretamente pelos ventos termosféricos que geram estes campos. Portanto existe uma diferença no comportamento da deriva zonal entre períodos magneticamente perturbados e períodos magneticamente calmos.

O Estudo da velocidade de deriva zonal das irregularidades ionosféricas utilizando receptores espaçados GPS e receptores VHF se mostrou importante. Foi observada uma boa concordância entre as velocidades zonais calculadas por estes 2 métodos. Notamos que a velocidade começa ser registrada aproximadamente a partir das 23 horas locais e também percebemos que no decorrer do período noturno a velocidade de deriva média das bolhas ionosféricas decresce para valores bem inferiores ao registrado no início da noite.

O Estudo da velocidade de deriva zonal das irregularidades ionosféricas utilizando receptores espaçados de GPS sobre a região de São Martinho da Serra, foi muito importante para o arquivamento de maiores informações do comportamento da Ionosfera Terrestre, porém mais pesquisas se fazem necessárias a fim de entender melhor os processos envolvidos no acoplamento de energia entre a Terra e o Sol durante diferentes períodos geomagnéticos.

Tendo uma visão global dos resultados aqui obtidos, podemos inferir que este trabalho é mais uma contribuição para o conhecimento da dinâmica da velocidade zonal e morfologia das bolhas de plasma ionosféricas durante períodos magneticamente perturbados e calmos.

No contexto do estudo da velocidade de deriva zonal das irregularidades ionosféricas, o Sistema GPS se mostrou um equipamento eficiente para a realização do estudo, por apresentar uma cobertura global da Ionosfera.

O desenvolvimento do Projeto de Iniciação Científica foi de muito proveito, pois possibilitou à acadêmica a realização de diversos estudos na área da Geofísica Espacial e Aeronomia, estudo o qual agregou conhecimento para esclarecer os mecanismos de geração e desenvolvimento desses fenômenos na Ionosfera e assim desenvolver o Projeto. No entanto a acadêmica não realizou todos os objetivos propostos no projeto, pois mais cálculos da velocidade de deriva zonal das bolhas de plasma utilizando receptores espaçados VHF e GPS se fazem necessários para a realização da correlação dos dados entre as duas técnicas, atividade esta que a acadêmica pretende concluir no próximo ano.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aarons, J. Global morphology of ionospheric scintillations. *Proceedings of the IEEE*, v. 70, n. 4, p. 360-378, Abr. 1982.
- Aarons, J. The role of the ring current in the generation or inhibition of equatorial F layer irregularities during magnetic storms. *Radio Science*, v. 26, n. 4, p. 1131-1149, Jul.-Aug. 1991.
- Aarons, J.; DasGupta, A. Equatorial scintillations during the major magnetic storm of April 1981. *Radio Science*, v. 19, n. 3, 731-739, 1984.
- Abdu, M. A. Outstanding problems in the equatorial ionosphere – thermosphere electrodynamics relevant to spread F. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, v. 63, n. 9, p. 869-884, Jun. 2001.
- Abdu, M. A.; Medeiros, R. T.; Sobral, J. H. A.; Bittencourt, J. A.; Spread F plasma bubble vertical rise velocities determined from spaced ionosonde observations. *Journal of Geophysical Research*, v. 88, n. A11, p. 9197-9204, 1983a.
- Abdu, M. A.; Sobral, J. H. A.; Batista, I. S. Equatorial spread F statistics in the American longitudes: some problems relevant to ESF description in the IRI scheme. *Advances on Space Research*, v. 25, n. 1, p. 113-124, 2000.
- Abdu, M. A.; Sobral, J. H. A.; Batista, I. S.; Rios, V. H.; Medina, C. Equatorial spread-F occurrence statistics in the American longitudes: diurnal, seasonal and solar cycle variations. *Advances on Space Research*, v. 22, n. 6, p. 851-854, 1998.
- Basu, S.; Basu, Su. Equatorial scintillations: a review. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, v. 43, n. 5-6, p. 473-489, 1981.
- Beach T. L.; Kintner, P. M. Development and Use of a GPS Ionospheric Scintillation Monitor. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 39, n. 5, p. 918-928, May 2001.

Beach, T. L. Global Positioning System Studies of Equatorial Scintillations. Ithaca. 335 p. Tese (Doutorado) - Cornell University, 1998.

DasGupta, A.; Maitra A.; Das, S. K. Post-midnight scintillation activity in relation to geomagnetic disturbances. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, v. 47, n. 8-10, 911-916, 1985.

David N. Anderson, Bodo Reinisch, Cesar Valladare, Jorge Chau, Oscar Veliz. Forecasting the occurrence of ionospheric scintillation activity in the equatorial ionosphere on a day-to-day basis. *Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics*, n. 66, p. 1567-1572, 2004.

de Paula E. R.; Kantor, I. J.; Sobral, J.H.A.; Takahashi, H.; Santana, D. C.; Gobbi, D.; de Medeiros, A. F.; Limiro, L. A. T.; Kil, H.; Kintner, P. M.; Taylor, M. J. Ionospheric irregularity zonal velocities over Cachoeira Paulista. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, v. 64, n.12-14, p. 1511-1516, 2002a.

de Paula, E. R. Resposta da região F ionosférica às tempestades magnéticas em baixas latitudes no Brasil. São José dos Campos. 210 p. (INPE-4106-TDL/259). Tese (Doutorado em Ciência Espacial) – Instituto de Pesquisas Espaciais, 1987.

de Paula, E. R., Kantor, I. J., Sobral, J. H. A., Takahashi, H., Santana, D. C., Gobbi, D., Medeiros, A. F., Limiro, L. A. T., Kintner, P. M. and Taylor, M., 2002, Ionospheric irregularity zonal velocities over Cachoeira Paulista: *J. Atmos. Terr. Phys.*, Vol. 64, p1511-1516.

de Paula, E. R.; Rodrigues, F. S.; Iyer, K. N.; Kantor, I. J.; Abdu, M. A.; Kintner, P. M.; Ledvina, B.; Kil, H. Equatorial anomaly effects on GPS scintillations in Brazil. *Advances on Space Research*, v.31, No. 3, 749-754,2003.

Doherty, P. H.; Dehel, T.; Klobuchar, J. A.; Delay, S. H.; Datta-Barua, S.; de Paula, E. R.; Rodrigues, F. S. Ionospheric effects on low-latitude space based augmentation systems. In: ION GPS, Portland-Oregon, 2002. Proceedings: Institute of Navigation, 2002.

Dungey, J. W. Convective diffusion in the equatorial F – region. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, v.9, n. 5-6, p. 304-310, 1956.

Fedrizzi, M. Observações do conteúdo eletrônico total com dados do GPS. São José dos Campos. 123 p. (INPE-7259-TDI/703). Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1999.

Fejer, B. G. Natural Ionospheric plasma waves. In: Kohl, H.; Ruster, R.; Schlegel, K. ed. *Modern Ionospheric Science*. Katlenburg-Lindau, European Geophysical Society, 1996. p. 216-273.

Fejer, B. G.; Sherliess L; de Paula, E. R. Effects of the vertical plasma drift velocity

G. A. Mansilla. Disturbances at F2-region heights of equatorial anomaly during geomagnetic storms. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, v. 65, n. 9, p. 987-995, 2003.

Hargreaves, J. K. *The solar-terrestrial environment*. Cambridge: Cambridge University Press, 1992.

Kelley, M. C. *The earth's ionosphere: plasma physics and electrodynamics*, San Diego: Academic Press, 1989. 484 p.

Kil H.; Kintner, P. M.; de Paula, E. R.; Kantor, I. J. Global Positioning System measurements of the ionospheric zonal velocity at Cachoeira Paulista in Brazil. *Journal of Geophysical Research*, v. 105, n. A3, p. 5317-5327, Mar. 2000.

Kil, H., Kintner, P. M., de Paula, E. R., and Kantor, I. J., 2000, Global Positioning System measurements of the ionospheric zonal apparent velocity at Cachoeira Paulista in Brazil: *J. Geophys. Res*, Vol. 105, p5317-5327.

Kil, H., Kintner, P. M., de Paula, E. R., and Kantor, I. J., 2002, Latitudinal variations of scintillation activity and zonal plasma drifts in South America: *Radio Sci.*, Vol. 37, No. 1, p6 – 1-6 – 7.

- Kil, H.; Kintner, P. M.; Paula, E. R.; Kantor, I. J. Latitudinal variations of scintillation activity and zonal plasma drifts in South America. *Radio Science*, v. 37, n. 1, p. 6/1-6/7, 2002.
- Kintner, P. M.; Kil, H.; Beach, T. L.; de Paula, E. R. Fading timescales associated with GPS signals and potential consequences. *Radio Science*, v. 36, n. 4, p. 731-743, 2001.
- Klobuchar, J. A.; Doherty, P. H.; Bakry El-Arini, M.; Lejeune, R.; Dehel, T.; de Paula, E. R.; Rodrigues, F. S. Ionospheric issues for a SBAS in the Equatorial Region. In: *Ionospheric Effects Symposium, Alexandria, 2002. Proceedings: Alexandria: JMG Associates, 2002.*
- Kumar, S.; Gwal A. K. VHF ionospheric scintillations near the equatorial anomaly crest: solar and magnetic effects. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, v. 62, n. 3, p. 157-167, Feb. 2000.
- Ledvina, B. M., Kintner, P. M., and de Paula, E. R., 2004, Understanding spaced-receiver zonal velocity estimation: *J. Geophys. Res.*, Vol. 109, doi:10.1029/2004JA010489.
- M. Materassi, C. N. Mitchell and P. S. J. Spencer. Ionospheric imaging of the northern crest of the Equatorial Anomaly. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, n. 65, n.16-18, p. 1393-1400, 2003.
- Muella, M. T. A. H., E. R. de Paula, I. J. Kantor, I. S. Batista, M. A. Abdu, J. H. A. Sobral, L. F. C. de Rezende and K. M. Groves. GPS scintillations, TEC and Zonal Plasma Drifts observed during the COPEX 2002 campaign: Preliminary results. *Proceedings of the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, Salvador, 2005. On the generation and evolution of equatorial spread F. Journal of Geophysical*
- R. Raghavarao, R. Suhasini, H.G. Mayr, W.R. Hoegy, L.E. Wharton. R. Raghavarao, R. Suhasini, H.G. Mayr, W.R. Hoegy, L.E. Wharton. *Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics*, n. 61, p. 607-617, 1999. *Research*, v. 104, n. A9, p. 19859-19869, 1999.



- Rodrigues, F. S. Estudo das Irregularidades Ionosféricas equatoriais utilizando sinais GPS: Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2003.
- Rodrigues, F. S.; de Paula, E. R.; Makita, K.; Abdu, M. A.; Sobral, J. H.; Iyer, K. N.; Monteiro, S.; Gobbi, D.; Takahashi, H.; Schuch, N. J. Ionospheric plasma bubble and GPS scintillation measurements in South Brazil or How far can plasma bubbles be ordenar observed in Brazilian longitudes? *Advances on Space Research*. (submetido para publicação em Outubro/2002b).
- Rodrigues, F. S.; de Paula, E. R.; Iyer, K. I.; Kintner, P. M.; Hysell, D. L.; Abdu, M. A.; Jardim, A. C. ESF irregularity characteristics over São Luís (Brazil) using VHF radar and GPS scintillations techniques. *Radio Science*, Vol. 39, No. 1, RS1S31, 24 fevereiro de 2003.
- Rodrigues, F. S.; de Paula, E. R.; Iyer, K. I.; Kintner, P. M.; Hysell, D. L.; Abdu, M. A.; Jardim, A. C. ESF irregularity characteristics over São Luís (Brazil) using VHF radar and GPS scintillations techniques. *Radio Science*, aceito para publicação em 2003.
- Seeber, G. *Satellite Geodesy: Foundations, methods, and applications*. Berlin: Walter de Gruyter, 1993. 531 p.
- Smita Dubey, Rashmi Wahi, A.K. Gwal. Ionospheric effects on GPS positioning, Space Science Laboratory, Department of Physics, Barkatullah University, Bhopal, MP 462026, Índia Received 1 November 2004; received in revised form 3 July 2005; accepted 8 July 2005.
- Sobral J. H. A.; Abdu M.A.; Takahashi H.; Taylor M. J.; de Paula E. R.; Zamlutti C. J.; de Aquino M. G.; Borba G. L. Ionospheric plasma bubble climatology over Brazil based on 22 years (1977-1998) of 630 nm airglow observations. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, v. 64, n. 12-14, 1517-1524, Aug.-Sep. 2002.
- Sobral, J. H. A.; Abdu, M. A.; Zamlutti, C. J.; Batista, I. S. Association between plasma bubble irregularities and airglow disturbances over Brazilian low latitudes. *Geophysical Research Letters*, v. 7, n. 11, p. 980- 982, 1980.

T. Obara, M. Den, Y. Miyoshi, A. Morioka. Energetic electron variation in the outer radiation zone during early May 1998 magnetic storm. *Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics*, n. 62, p. 1405-1412, 2000.

Wrenn, G. L. (1987): Time-weighted accumulations  $ap(t)$  and  $Kp(t)$ , *J. Geophys. Res.*, 92, 10,125-10,129.

Yeh, K. C.; Liu, C. H. Radio wave scintillations in the ionosphere. *Proceedings of the IEEE*, v. 70, n. 4, p.324-360, Abr. 1982.

**APÊNDICE A****DESCRIÇÃO DO ARQUIVO SUMÁRIO**

A descrição do arquivo sumário gerado pelo programa SCINTMON é especificada na Tabela A.1.

Tabela A.1 – EXEMPLO DE DADOS GRAVADOS NO ARQUIVO SUMÁRIO.

|                                                        |
|--------------------------------------------------------|
| SAO JOSE DOS CAMPOS BRAZIL                             |
| ABC-1998 CAMPAIGN                                      |
| 4085.0 -4209.2 -2498.5                                 |
| 2000 3 31 21 2                                         |
| 1                                                      |
| 2100 8 104                                             |
| 02 11318.3 -15618.5 -17488.8 -1363 2458 0 0.09 90 9999 |
| 07 19999.4 -16823.2 4172.9 2271 2263 0 0.06 40 9999    |
| 08 19252.3 -3828.9 -18176.3 -885 3612 0 0.05 9999 9999 |
| 10 -1533.4 -26399.5 -650.3 -2016 2305 0 0.06 90 9999   |
| 13 19510.3 -17005.2 -5668.0 -1537 2540 0 0.08 94 9999  |

|    |         |          |          |       |      |   |      |      |      |
|----|---------|----------|----------|-------|------|---|------|------|------|
| 18 | 23117.5 | -6180.0  | 11411.9  | -3773 | 4663 | 0 | 0.04 | 9999 | 9999 |
| 26 | -6198.2 | -13952.5 | -21722.0 | 3051  | 2656 | 0 | 0.05 | 51   | 9999 |
| 27 | 22290.1 | -1129.8  | -14684.3 | -1603 | 3194 | 0 | 0.05 | 9999 | 9999 |

As cinco primeiras linhas fazem parte de um cabeçalho inicial de arquivo com as seguintes informações:

- 1<sup>a</sup> linha: Estação de Observação
- 2<sup>a</sup> linha: Informação adicional
- 3<sup>a</sup> linha: Coordenadas ECEF do receptor
- 4<sup>a</sup> linha: Ano Mês Dia Hora Minuto
- 5<sup>a</sup> linha: 1 (fim do cabeçalho)

A partir da sexta linha são gravados conjuntos de dados referentes a análise de um minuto, 3000 amostras, do sinal GPS, L1 = 1,57542 GHz, de cada satélite rastreado naquele minuto. Logo após, segue uma linha de sub-cabeçalho com as informações:

- 1<sup>a</sup> coluna: Hora (HHMM)
- 2<sup>a</sup> coluna: Número de satélites (n) rastreados naquele minuto
- 3<sup>a</sup> coluna: Potência de ruído

E então, segue-se “n” linhas com as seguintes informações sobre os satélites rastreados:

- 1<sup>a</sup> coluna: Identificação do satélite (PRN)
- 2<sup>a</sup> coluna: Coordenada ECEF X
- 3<sup>a</sup> coluna: Coordenada ECEF Y
- 4<sup>a</sup> coluna: Coordenada ECEF Z
- 5<sup>a</sup> coluna: Deslocamento Doppler (Hz) do sinal GPS
- 6<sup>a</sup> coluna: Potência em banda larga (WBP)
- 7<sup>a</sup> coluna: Número que indica quantas vezes o “lock” foi perdido naquele minuto
- 8<sup>a</sup> coluna: Índice de cintilação  $S_4$
- 9<sup>a</sup> coluna: Largura de auto-correlação do sinal
- 10<sup>a</sup> coluna: Não utilizado



## **APÊNDICE B**

**CERTIFICADOS DE PALESTRAS E CURSOS E RESUMOS DE CONGRESSOS,  
OS QUE A BOLSISTA FOI AUTORA E CO-AUTORA.**









**CERTIFICADO**

Certificamos que, **LILIAN PIECHA MOOR** participou do XXI Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia e 6ª. Feira de Protótipos, na condição de **APRESENTADOR**, referente ao trabalho intitulado “EFEITOS DAS IRREGULARIDADES IONOSFÉRICAS SOBRE SINAIS DE SATÉLITES GPS NO SUL DO BRASIL” realizado pela UNIJUI, no período de 04, 05 e 06 de outubro de 2006.

Ijuí (RS), 06 de outubro de 2006.

*Maurício de Campos*  
Prof. Maurício de Campos  
Coordenador do CRIC/IE 2006

*Edson Luiz Padoin*  
Prof. Edson Luiz Padoin  
Chefe do Departamento de Tecnologia

*Dr. Telmo Ruyli Franz*  
Mec. Reitor do Pós-Graduação, Pesquisa e Extensão



XXI Congresso de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia  
VI Feira de Protótipos

**CRICTE 2006**



**UNIJUI**  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS

DeTec - Departamento de Tecnologia



# 21ª Jornada

## Acadêmica Integrada

### CERTIFICADO

Certificamos que,

**LILIAN PIECHA MOOR**

participou da 21ª Jornada Acadêmica Integrada da Universidade Federal de Santa Maria, nos dias 28, 29 e 30 de novembro de 2006, como APRESENTADOR (A) do trabalho

ANÁLISE DOS EFEITOS DAS TEMPERATURAS NAS NET CAS SOBRE A IONOSFERA EM DIFERENTES LATITUDES DO TERRITÓRIO BRASILEIRO UTILIZANDO A REDE DE SATELITES GPS.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

Comissão Executiva  
PRPGP/UFPSM

**SBGE 2006 CERTIFICADO**

Certificamos que **LILIAN PIECHA MOOR** participou do Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia, realizado em São José dos Campos de 23 a 26 de outubro de 2006, na qualidade de apresentador.

*[Handwritten signature]*

**Hisaio Takanashi**  
Presidente do Comitê Organizador

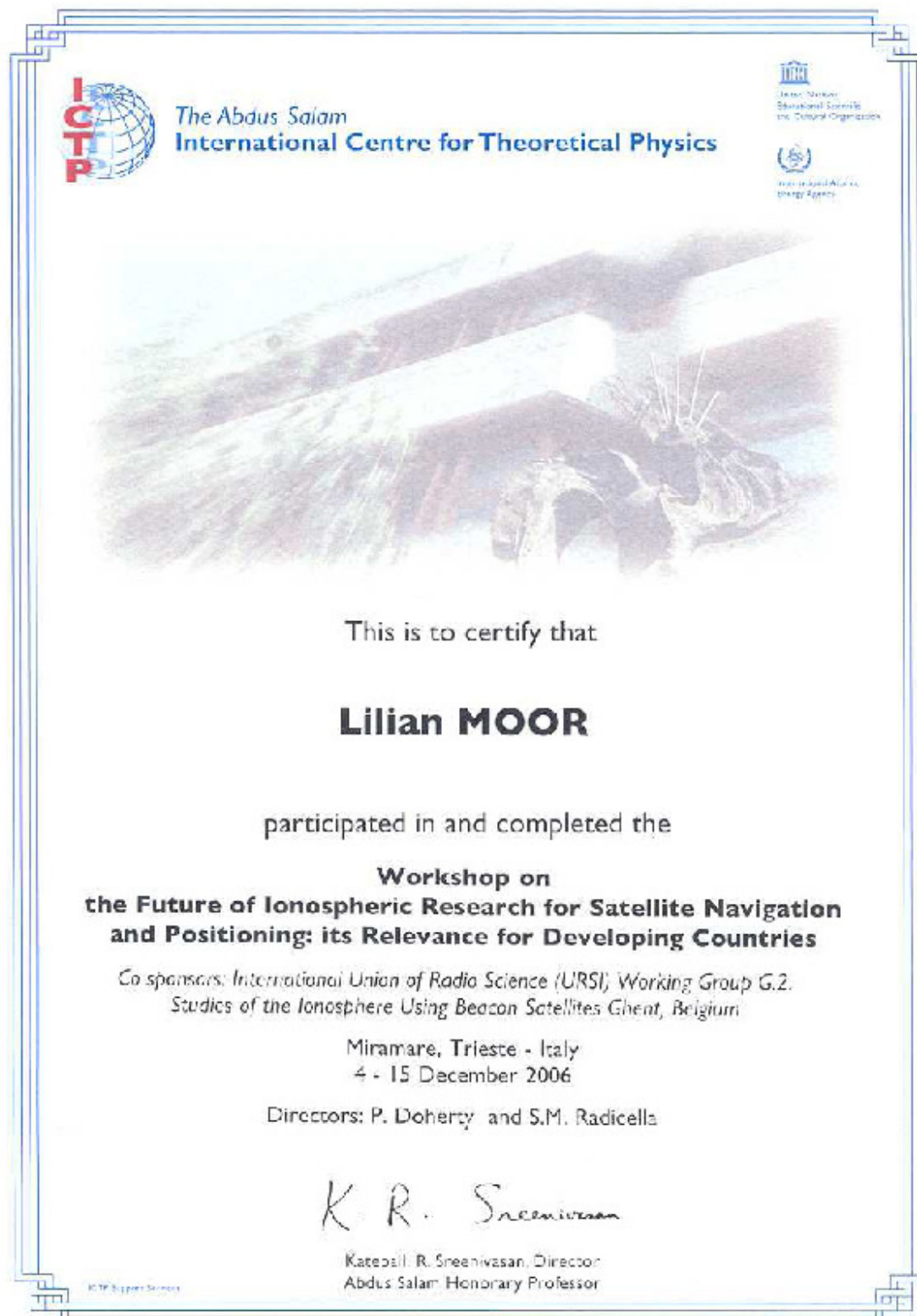
**Inez Sabarim Batista**  
Vice-Presidente do Comitê Organizador Local

**PROMOÇÃO**

- INPE
- SBGE
- CNPq
- SBGE
- Unifap
- Atac
- MAPISA

**PATROCÍNIO**

**APÓIO**





**UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE**

ESCOLA DE ENGENHARIA  
CRAAM – Centro de Rádio-Astronomia e Astrofísica Mackenzie  
Rua da Consolação, 969 - CEP 01302-907  
Fone: 0256-3734 - Fax: 0256-2300 - SÃO PAULO  
Internet: www.craam.mackenzie.br

**DECLARAÇÃO**

Declaramos que Liliana Piecha Moor participou, em 19 de abril de 2007, de visita técnica ao Centro de Rádio Astronomia e Astrofísica Mackenzie – CRAAM, campus da Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, SP, e participou, como ouvinte, da palestra “Aspectos Científicos da Rede SAVNET”, proferida pelo signatário.

São Paulo, 21 de abril de 2007.

Jean-Pierre Raulin

Coordenador do Projeto SAVNET



**UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE**

**ESCOLA DE ENGENHARIA**

**CRARM – Centro de Rádio-Astronomia e Astrofísica Mackenzie**

7ª Av. Conselheiro Eriberto, CEP 03411-100

Fone: 3245-1104 - Fax: 3244-2390 - SÃO PAULO

Internet: www.upm.br/mackenzie.br

## DECLARAÇÃO

Declaramos que Lilliana Piecha Moir cumpriu estágio de treinamento, no total de 50 horas, no Rádio Observatório de Itapetinga, Atibaia, SP, período de 14 a 21/04/2007, desenvolvendo atividades de montagem de antenas de VLF; fabricação dos pré-amplificadores e respectivas alimentações; e conexões e testes do GPS, referentes ao projeto SAVNET: Atividade Solar e da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS), utilizando uma Rede de Receptores de Ondas de Muito Baixa Frequência (VLF)\*, financiado pela FAPESP, processo 2006/02979-6.

São Paulo, 21 de abril de 2007.

Jean-Pierre Raulin

Coordenador do Projeto SAVNET

## ANÁLISE DA OCORRÊNCIA DE ECOS TIPOS 1 E 2 DE IRREGULARIDADES DO ELETROJATO EQUATORIAL PRÓXIMO AO AMANHECER

Aveiro, H. C. [1,3]; Moor, L. P. [1,3]; Jaskulski, T. [1,3];  
Denardini, C. M. [2], Abdu, M. A. [2], Schuch, N. J. [3]

[1] *Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT – UFSM  
Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Parceria: CRSPE/INPE/MCT – LACESM/CT/UFSM  
Av. Roraima, 1000 - CEP 97.105-900 – Santa Maria, RS, Brasil*

[2] *Divisão de Aeronomia do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – DAE/INPE – MCT  
CEP 12.201-970, C. P. 515, São José dos Campos, SP, Brasil*

[3] *Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT  
Av. Roraima, s/n - Campus UFSM CEP 97.110-970 C.P. 5021 - Santa Maria, RS, Brasil*

### RESUMO

O eletrojato equatorial (EEJ) faz parte do sistema de correntes e campos elétricos controlados pela ação do dínamo atmosférico da região E ionosférica. Ele é uma corrente elétrica confinada entre 90 e 120 km de altura numa faixa de 6° de latitude, fluindo de oeste para leste no lado do amanhecer e de leste para oeste do lado do anoitecer. Estudos do EEJ utilizando radares VHF mostraram a existência de dois tipos distintos de irregularidades de plasma: Tipo 1 e Tipo 2. Nestes estudos os ecos caracterizados como Tipo 1 são observados, preferencialmente, nos horários em torno do meio-dia local, enquanto os ecos Tipo 2 são esperados ao longo de todo o desenvolvimento do EEJ. Eles revelam ainda que, nos horários diurnos, ambas as irregularidades de plasma Tipo 1 e 2 deslocam-se para oeste, invertendo seu sentido à noite. Este deslocamento é controlado pela direção do campo elétrico do EEJ e pelo gradiente de plasma local. Neste trabalho, desenvolvido no Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre do CRSPE/INPE – MCT, verificamos ocorrência de ecos Tipos 1 e 2 de irregularidades do EEJ para horários anteriores e posteriores à reversão do sentido de sua corrente, o que ocorre em períodos próximos ao nascer e pôr-do-sol. Para tanto os dados do Radar de Espalhamento Coerente (RESCO), instalado no Observatório Espacial de São Luís (OESLZ-INPE/MCT), no Maranhão (2,33° S; 44,20° O) são analisados para caracterizar o comportamento deste fenômeno sobre o território brasileiro. O radar RESCO detecta as irregularidades de plasma com escala de 3 metros de comprimento perpendiculares às linhas de campo magnético. Através da análise espectral dos ecos recebidos das irregularidades do EEJ é feito o acompanhamento das evoluções dos espectros de um tipo para outro, além de tornar possível a determinação do deslocamento Doppler em frequência das suas irregularidades. Para caracterizarmos o nível de perturbação magnética será utilizado o índice  $Kp$ .



## EFEITOS DA TEMPESTADE MAGNÉTICA OCORRIDA EM MAIO DE 2003 SOBRE SINAIS DE SATÉLITES GPS DETECTADOS EM DIFERENTES LATITUDES DO TERRITÓRIO BRASILEIRO

Moor, L. P. [1,2]; Aveiro, H. C. [1,2]; Jaskulski, T. [1,2]; Denardini, C. M. [3]; de Paula, E. R. [3]; Schuch, N. J. [4]

[1] *Laboratório de Ionosfera Radio-Propagação do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais CRSPE / INPE;*

*Caixa Postal 5021 - Santa Maria, RS, Brasil;*

[2] *Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria, - LACESM/CT – UFSM, parceria INPE – UFSM;*  
*Av. Roraima, 100, - Santa Maria, RS, Brasil;*

[3] *Divisão de Aeronomia, Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas;*

*Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – DAE/CEA/INPE – MCT,*

*CEP 12.201-970, C. P. 515, São José dos Campos, SP, Brasil;*

[4] *Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais CRSPE / INPE,*

*Caixa Postal 5021 - Santa Maria, RS, Brasil;*

### RESUMO

Instabilidades de plasma ionosférico, as quais costumam ocorrer após o pôr-do-Sol, podem gerar irregularidades na região do equador magnético, tais como as bolhas ionosféricas. Normalmente, estas bolhas se deslocam com uma velocidade de aproximadamente 150 m/s para leste durante períodos magneticamente calmos e para oeste em períodos magneticamente perturbados. Estas irregularidades, após serem geradas na região do equador magnético, tendem a evoluir atingindo dimensões continentais. Isto pode fazer com que todos os sinais eletromagnéticos que as atravessam sofram cintilações, podendo ser degradados. As irregularidades ionosféricas têm sido bastante estudadas, pois podem afetar sensivelmente os sistemas de telecomunicações e de navegação, tais como o sistema de posicionamento global (GPS). A magnitude da interferência nos sinais eletromagnéticos depende da densidade de ionização do plasma ionosférico. Em períodos magneticamente perturbados devido a tempestades magnéticas, se verifica um aumento apreciável na radiação solar do EUV e Raios-X, os quais aumentam a densidade de ionização nas camadas mais baixas da ionosfera. Portanto, a intensidade das cintilações depende do nível da atividade magnética. Estudos dos efeitos das tempestades magnéticas na ionosfera têm sido um dos pontos essenciais para o desenvolvimento de modelos de predição da ocorrência de bolhas de plasma. Estas irregularidades possuem diferentes características para diferentes latitudes. Assim, realizamos uma análise de sinais GPS para três observatórios no Território Brasileiro: Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra, RS (Lat. Geo 02,57° S e Dip Lat. -18,57), Observatório Espacial de São Luís, em São Luís, MA (Lat. Geo 23,07° S e Dip Lat. -1,73 ) e São José dos Campos, SP (Lat. Geo 23,07° S e Dip Lat -18,01.). Apresentamos os efeitos causados pela tempestade magnética ocorrida em 29/05/2003 sobre sinais de satélites GPS para estes 3 sítios, realizando uma análise comparativa sobre os efeitos nestas localizações do território brasileiro.

## **ESTUDOS DO PLASMA IONOSFÉRICO NA REGIÃO DA ANOMALIA GEOMAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL (AMAS) UTILIZANDO RIÔMETROS**

Jaskulski, T. [1,2]; Aveiro, H. C., [1,2]; Moor, L. P. [1,2]; Denardini, C. M. [3]; Muralikrishna, P. [3]; Schuch, J. N. [1]

[1] *Laboratório de Ionosfera Rádio-Propagação do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais CRSPE / INPE - MCT, Caixa Postal 5021 - Santa Maria, RS, Brasil;*

[2] *Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria, - LACESM/CT – UFSM, cooperação INPE – UFSM, Av. Roraima, 100, - Santa Maria, RS, Brasil;*

[3] *Divisão de Aeronomia – DAE/CEA/INPE – MCT, CEP 12.201-970, C. P. 515, São José dos Campos, SP, Brasil;*

### **RESUMO**

Riômetros são importantes equipamentos utilizados para o estudo da Ionosfera, em especial na grande região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS). Os Riômetros investigam a absorção de ondas eletromagnéticas na baixa Ionosfera (camadas D e E) situada na faixa dos 80 km a 130 km. O Riômetro é um rádio receptor sensível o suficiente para medir o nível de ruído cósmico incidente sobre a superfície terrestre. Para um dado ponto do espaço, fora da interferência da atmosfera terrestre, a intensidade do ruído cósmico é constante. Quando o ruído se propaga através da atmosfera, parte da energia da onda é dissipada na ionosfera na forma de energia cinética transferida aos elétrons livres. Portanto, quanto maior for sua densidade eletrônica, maior será a absorção do sinal de ruído cósmico e menor será a intensidade do sinal captado pelo Riômetro. Deste modo, é possível estimarmos a densidade eletrônica na baixa ionosfera de maneira indireta. A análise é feita comparando-se a intensidade de ruído cósmico incidente na superfície terrestre em dias calmos com aqueles períodos em que há grande ionização da ionosfera devido a tempestades geomagnéticas. Uma maior densidade eletrônica na ionosfera indica que houve uma ionização extra, a qual pode ser causada por precipitação de partículas energéticas. Como a ionização por partículas energéticas é fortemente influenciada pelo campo magnético terrestre, temos então uma ferramenta para o estudo do papel da precipitação de partículas na ionização do plasma ionosférico na AMAS. Nesta região o campo geomagnético possui uma menor intensidade. Neste trabalho, apresentamos uma descrição dos equipamentos Riômetros instalados no Observatório Espacial do Sul do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – OES/CRSPE/INPE-MCT, em São Martinho da Serra, RS, e a sua utilização em estudos do plasma ionosférico da região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS).



## EFEITOS DAS IRREGULARIDADES IONOSFÉRICAS SOBRE SINAIS DE SATÉLITES GPS NO SUL DO BRASIL

Lilian Piecha Moor<sup>1</sup>, Henrique Carlotto Aveiro<sup>2</sup>, Tiago Jakulski<sup>2</sup>,  
Eurico Rodrigues de Paula<sup>3</sup> & Nelson Jorge Schuch<sup>4</sup>

*Acadêmicos dos Cursos de Física<sup>1</sup> e de Engenharia Elétrica da UFSM<sup>2</sup>, Bolsistas*

*PIBIC/INPE – CNPq/MCT<sup>3</sup>, no âmbito da Parceria CRSPE/INPE/MCT–LA CESP/CT/UFSC, Santa Maria, RS.*

*Pesquisador Titular AIII, da Divisão de Aeronomia – DAE/CEA/INPE – MCT<sup>3</sup>, São José dos Campos, SP, e do Centro*

*Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE-MCT<sup>4</sup>, Santa Maria, RS.*

*e-mail: (lilian, aveiro, tiagojk, njschuch)@lacs.m.ufsm.br; eurico@dae.inpe.br*

### 1. INTRODUÇÃO

As irregularidades ionosféricas são geradas no equador magnético logo após o pôr do Sol devido às instabilidades do plasma ionosférico. Quando evoluem atingem dimensões continentais e apresentam uma velocidade cerca de 150 m/s para leste durante períodos magneticamente calmos e em geral durante tempestades magnéticas o movimento das bolhas é para oeste. No Brasil estas irregularidades ocorrem de setembro a março e de cerca de 20 as 24 horas, entretanto durante tempestades magnéticas elas podem ocorrer em qualquer estação do ano e podendo ocorrer no setor entre meia noite e o amanhecer. As irregularidades ionosféricas, as quais são formadas por instabilidades do plasma de diversos tamanhos de escala, são estudadas no INPE e na comunidade internacional por meio de modelos teóricos e utilizando diversos equipamentos de sondagem ionosférica, tais como radares VHF, digissondas, receptores de VHF e recentemente com receptores de GPS. Cada tamanho de escala das irregularidades é sensível a uma determinada frequência. A Ionosfera representa a maior fonte de erro para o Sistema de Posicionamento Global – GPS fato esse decorrente de sua natureza dispersiva [2]. O estudo das bolhas ionosféricas é muito importante, pois todos os sinais eletromagnéticos que as atravessam sofrem cintilações podendo ser drasticamente afetados. Este trabalho foi desenvolvido no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, CRSPE/INPE – MCT, e tem como principal objetivo prever anomalias ionosféricas, reduzindo assim os impactos ionosféricos causados nas telecomunicações.

### 2. INSTRUMENTAÇÃO, METODOLOGIA E DADOS

#### 2.1 Sistema GPS no Brasil

Atualmente, a Divisão de Aeronomia – DAE/INPE, em colaboração com a Universidade de

Cornell (EUA), mantém 15 receptores GPS instalados em 11 pontos de observação distribuídos no Brasil, ver Figura 1. O receptor SCINTMON é um monitor de cintilação ionosférica da portadora L1 transmitida pelos satélites GPS [3] e foi implementado a partir de uma placa ISA de desenvolvimento (GEC Plessey GPS Builder-2TM). O Sistema de Navegação GPS transmite constantemente duas ondas portadoras chamadas “Link 1” e “Link 2”, assim fornecendo uma cobertura global e instantânea de toda a Terra.



Figura 1 - Distribuição dos receptores SCINTMON sobre o Território Brasileiro.

#### 2.2 SCINTMON - Monitor de Cintilação Ionosférica

Para investigar e assim, entender melhor a fenomenologia do ambiente onde ocorrem as cintilações no sinal GPS, um grupo de pesquisadores da Universidade de Cornell – E.U.A. desenvolveu um receptor especializado do sinal GPS, denominado Monitor de Cintilação Ionosférica – SCINTMON, a Figura 2 mostra a

do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais  
CRSPE/INPE – MCT.

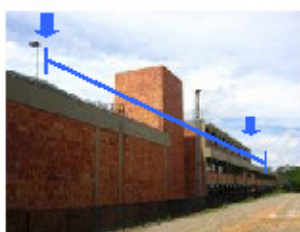


Figura 2 - Receptores espaçados em 100 m na direção leste-oeste magnética no Prédio Sede do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais CRSPE/INPE – MCT.

O Sistema receptor SCINTMON, ver Figura 3, é capaz de amostrar simultaneamente sinais de até 11 satélites.



Figura 3 - Computador dedicado à aquisição e processamento de dados da Estação - S do Sistema GPS no Prédio Sede do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE - MCT – localizado em Santa Maria - RS.

Através do processamento dos dados, obtemos a elevação de cada satélite no campo de visada do receptor e os valores de potência de sinal recebido, ver Figura 3. A partir deste último, identificamos a ocorrência ou não de cintilação do sinal.

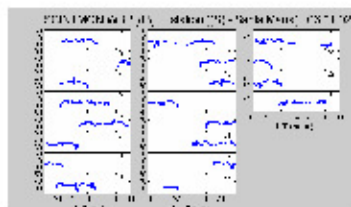


Figura 4 - Os painéis mostram os valores de potência em banda larga de sinal recebido, WBP em decibéis, para cada satélite rastreado na noite de 02/01/06 para 03/01/06 para a Estação (S) do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT.

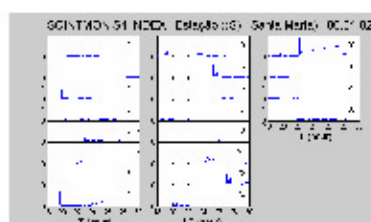


FIGURA 4 - Os painéis mostram os valores do índice S4, calculados para os sinais mostrados na Figura 3. Valores de S4 acima de 0.2 estão associados a irregularidades junto à Estação (S) do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT.

#### 4. CONCLUSÕES

O estudo das irregularidades ionosféricas é muito importante, pois contribui para a compreensão dos mecanismos de geração e transporte do plasma ionosférico. Entender o fenômeno pode fazer com que não se perca tempo buscando falhas técnicas nos equipamentos com aplicações espaciais e ainda permite reavaliar os projetos de tais serviços para que estes se tomem mais confiáveis e eficientes.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT pela aprovação e oportunidade de desenvolvimento do Projeto de Pesquisa.

#### REFERÊNCIAS

1. de Paula, E.R., I.J. Kantor, J.H.A. Sobral, H. Takahashi, D.C. Santana, D. Gobbi, A.F. de Medeiros, L. A.T. Limiro, H. Kil, P.M. Kintner, M.J. Taylor, Ionospheric irregularity zonal velocities over Cachoeira Paulista, J.A.S.T. P., 64, 1511-1516, 2002.
2. Smita Dubey, Rashmi Wahi, A.K. Gwal. Ionospheric effects on GPS positioning, Advances in Space Research, India, 2005.
3. Beach T. L.; Kintner, P. M. Development and Use of a GPS Ionospheric Scintillation Monitor.

## ANÁLISE DOS EFEITOS DAS TEMPESTADES MAGNÉTICAS SOBRE A IONOSFERA EM DIFERENTES LATITUDES DO TERRITÓRIO BRASILEIRO UTILIZANDO A REDE DE SATÉLITES GPS<sup>1</sup>

Lilian Piecha Moor<sup>2</sup>, Henrique Carlotto Aveiro<sup>3</sup>, Tiago Jaskulski<sup>3</sup>, Eurico Rodrigues de Paula<sup>4</sup>, Clezio Marcos Denardini<sup>5</sup>, Nelson Jorge Schuch<sup>6</sup>

### 1. INTRODUÇÃO

O Sistema GPS Norte Americano consiste numa rede de 31 satélites distribuídos em 6 diferentes órbitas em torno da Terra. Cada satélite emite constantemente dois sinais com frequências na banda L, 1,57542 GHz e 1,22760 GHz. Atualmente a Divisão de Aeronomia – DAE/CEA/INPE - MCT, em colaboração com a Universidade de Cornell (EUA), mantém 15 receptores GPS instalados em 8 pontos de observação, distribuídos no Território Brasileiro, sendo que 2 receptores encontram-se instalados no Prédio Sede do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT, em Santa Maria. Estes receptores são monitores de cintilação em amplitude (SCINTMON) da portadora L1 transmitida pelos satélites GPS e foram desenvolvidos no intuito de estudar os efeitos da Ionosfera sobre sinais de GPS. A Ionosfera apresenta irregularidades, entre elas citamos as bolhas de plasma. Estas são regiões de rarefação do plasma ionosférico que causam mudanças no índice de refração no meio, sendo capazes de dispersar o sinal emitido pelo GPS. O aparecimento destas bolhas segue um determinado padrão sazonal. A observação das bolhas ionosféricas, normalmente tem início em setembro e segue até abril. Elas são observadas nos períodos entre as 18 horas e 6 horas (hora local). Entretanto, as bolhas de plasma podem ocorrer em outras estações do ano em períodos magneticamente perturbados. No presente estudo utilizou-se dados coletados por uma rede de 4 receptores SCINTMON de sinal GPS instalados em 4 sítios no território brasileiro. Através do processamento dos dados, obtemos os valores de potência de sinal recebido pelo qual identificamos a ocorrência ou não de cintilação do sinal. Assim, como resultado deste estudo desenvolvido no CRSPE/INPE - MCT, em Santa Maria, RS, pretende-se apresentar os resultados de um estudo do efeito das tempestades magnéticas na ocorrência de bolhas, identificadas através de cintilação nos sinais de GPS. O índice de atividade magnética Dst foi adotado para caracterizar os períodos magneticamente perturbados e para apresentarmos uma correlação entre a observação dessas irregularidades sobre o Brasil utilizando dados de GPS e a atividade magnética.

### 2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo estudar os efeitos causados pelas tempestades magnéticas no meio ionosférico em 4 sítios do Território Nacional Brasileiro, utilizando o Sistema de Posicionamento Global (GPS).

### 3. METODOLOGIA, INSTRUMENTAÇÃO E DADOS

<sup>1</sup> Projeto desenvolvido no laboratório Clima Espacial do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT.

<sup>2</sup> Apresentador, Aluno do Curso de Física Licenciatura Plena da UFSM.

<sup>3</sup> Co-autor, Aluno do Curso de Engenharia Elétrica da UFSM.

<sup>4</sup> Orientador, Co-autor e Pesquisador da Divisão de Aeronomia – DAE/INPE - MCT.

<sup>5</sup> Co-autor e Pesquisador da Divisão de Aeronomia – DAE/INPE - MCT.

<sup>6</sup> Co-Orientador, Pesquisador e Chefe da RSU/CIE/INPE - MCT.

Atualmente, a Divisão de Aeronômica – DAE/INPE, em colaboração com a Universidade de Cornell (EUA), mantém 15 receptores GPS instalados em 11 pontos de observação distribuídos no Brasil. O receptor SCINTMON é um monitor de cintilação ionosférica da portadora L1 transmitida pelos satélites GPS e foi implementado a partir de uma placa ISA de desenvolvimento (GEC Plessey GPS Builder-2TM), ver Fig. 2. O Sistema de Navegação GPS transmite constantemente duas ondas portadoras chamadas “Link 1” e “Link 2”, assim fornecendo uma cobertura global e instantânea de toda a Terra.



Fig. 2 - Receptores espaçados em 100 m na direção leste-oeste magnética no Prédio Sede do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais CRSPE/INPE – MCT, em Santa Maria, RS.

Para esta análise foram utilizados dados coletados durante 5 anos (jan/2001 a dez/2005) para 4 receptores SCINTMON instalados em 4 pontos diferentes sobre o Território Brasileiro. Ressalta-se que os dados do Sul foram obtidos pelos receptores instalados ainda no Observatório Espacial do Sul, posteriormente os receptores foram instalados no Prédio Sede do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT, em Santa Maria. A seleção de todos os dias que apresentavam perturbações no campo magnético da Terra para o período de jan/2000 até dez/2005 utilizando o índice de atividade magnética Dst, quando este índice  $Dst < -100$ nT, representando tempestades intensas, como pode ser visto na Fig. 3.



Fig. 3 – Gráfico do índice Dst para o mês de maio de 2003. Ocorrência de tempestade magnética intensa pode ser observada nos dias 29 e 30.

O período de dados selecionado é o período de decréscimo do índice Dst, o que ocorre quando a atividade solar (erupção, CME) aumenta. Escolheu-se essa intensidade ( $Dst < -100$ ) para caracterizar uma tempestade magnética intensa. Durante uma tempestade magnética, tanto o campo magnético terrestre quanto a Ionosfera sofrem mudanças drásticas. Nesses 5 anos de período selecionado tivemos um número de aproximadamente 84 dias com tempestades magnéticas intensas, distribuídos anualmente como mostra a Fig. 4.

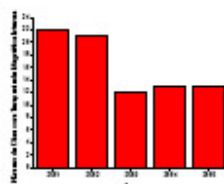


Fig. 4 – Número de dias com tempestade magnética intensa ( $Dst < -100$  nT) no período de jan/2001 até dez/2005.

O ano de 2001 foi o ano com maior número de tempestades magnéticas e coincidiu com o ano em que o ciclo Solar estava em seu máximo. Depois da seleção do período, começamos a fazer a seleção dos dados de GPS existentes em 4 sítios, simultaneamente, sobre o território

brasileiro para dias em que havia perturbações no campo magnético da Terra. Para o número de 84 dias com tempestades magnéticas obtivemos 9 dias de dados coletados simultaneamente, que são mostrados na Tab. 1.

Tab. 1 – Número de dias com tempestade magnética intensa ( $Dst < -100$  nT) anual desde jan/2001 até dez/2005.

| Ano  | Número de dias com tempestade magnética | Data de coleta dos dados simultâneos (2001-2005) |
|------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 2001 | 10                                      | -                                                |
| 2002 | 10                                      | -                                                |
| 2003 | 10                                      | -                                                |
| 2004 | 10                                      | -                                                |
| 2005 | 10                                      | -                                                |

Para cada dia foram gerados gráficos do índice de cintilação S4 para verificar o que ocorria com o sinal do GPS quando o mesmo incidia na camada ionosférica durante a ocorrência de tempestades magnéticas. Um exemplo de forte cintilação na amplitude do sinal de vários satélites GPS em São Martinho das Serra para a tempestade magnética de 29 de maio de 2003 é mostrado na Fig. 5.

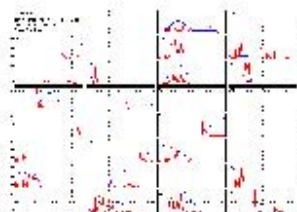


Fig. 5 – Gráfico do índice S4 (vermelho) e do ângulo de elevação dos satélites (azul) para o dia 29/05/03 para a estação-S em São Martinho da Serra, RS do Observatório Espacial do Sul do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – OES/CRSPE/INPE – MCT.

A partir desta análise confeccionamos uma tabela (Tab. 2) onde o número de dias com tempestade magnética foi colocado em ordem crescente em relação à intensidade da tempestade, da menos intensa até a mais intensa; juntamente com a hora de ocorrência da fase principal, a data de ocorrência da tempestade magnética, referentes aos 9 dias de seleção, como também a análise dos efeitos das tempestades sobre o sinal GPS para os 4 sítios.

Tab. 2 – Análise dos 9 dias de dados para os 4 sítios sobre o território brasileiro com o dia e a hora da fase principal de cada tempestade magnética.

| Índice | Data     | Tempo | Site         | Local | Latitude | Longitude | Altitude | Sítio |
|--------|----------|-------|--------------|-------|----------|-----------|----------|-------|
| 100    | 29/05/03 | 19h   | São Martinho | RS    | -29,2    | -51,2     | 1000     | 1     |
| 100    | 19/08/01 | 19h   | São Martinho | RS    | -29,2    | -51,2     | 1000     | 1     |
| 100    | 27/02/02 | 19h   | São Martinho | RS    | -29,2    | -51,2     | 1000     | 1     |
| 100    | 19/08/01 | 19h   | São Martinho | RS    | -29,2    | -51,2     | 1000     | 1     |
| 100    | 29/05/03 | 19h   | São Martinho | RS    | -29,2    | -51,2     | 1000     | 1     |
| 100    | 29/05/03 | 19h   | São Martinho | RS    | -29,2    | -51,2     | 1000     | 1     |
| 100    | 29/05/03 | 19h   | São Martinho | RS    | -29,2    | -51,2     | 1000     | 1     |
| 100    | 29/05/03 | 19h   | São Martinho | RS    | -29,2    | -51,2     | 1000     | 1     |
| 100    | 29/05/03 | 19h   | São Martinho | RS    | -29,2    | -51,2     | 1000     | 1     |

#### 4. CONCLUSÃO

O efeito das tempestades magnéticas nas cintilações é bem complexo e a seguir vamos descrever os efeitos de algumas tempestades: 1) perturbações magnéticas ocorridas nos dias 24/11/2001, 19/08/2001, 30/05/2003 e 10/11/2004. As irregularidades do plasma sempre são geradas no equador magnético, contudo a amplitude da cintilação devido a estas





irregularidades depende da ionização. Nesses quatro dias de tempestades se verificou inibição da cintilação no sinal GPS nas estações analisadas. As perturbações magnéticas de 24/11/2001 e de 10/11/2004 certamente inibiram as cintilações, pois no mês de novembro se espera ocorrência de cintilações, enquanto que para se certificar o efeito das tempestades nos dias 19/08/2001 e 30/05/2003, quando não se espera cintilações, se faz necessário uma análise mais criteriosa para verificar qual foi o efeito das tempestades. A inibição das cintilações ocorre quando um campo elétrico apontando para oeste, gerado pelo dínamo perturbado inibe a subida da deriva do plasma no equador magnético e conseqüentemente inibe a formação de irregularidades do plasma que causam as cintilações da amplitude do sinal do GPS. Neste último caso as cintilações ficam inibidas em latitudes equatoriais ou de latitude bem baixa, onde a densidade eletrônica cai a níveis bem baixos. 2) Perturbações magnéticas ocorridas nos dias 25/11/2001, 29/05/2003, 29/10/2003, 30/10/2003. Durante esses dias de tempestade foi verificada a ocorrência de cintilação no sinal GPS apenas para as estações do Observatório Espacial do Sul OES/CRSPE/INPE – MCT, e São José dos Campos, provavelmente devido à intensificação do efeito da anomalia equatorial, que foi causada pela penetração de campo elétrico de origem magnetosférica dirigido para leste. A Anomalia equatorial é caracterizada por uma subida rápida do plasma da região equatorial devido à presença de uma deriva vertical (efeito fonte), fazendo com que a ionização difunda ao longo das linhas de campo magnético e seja depositada em médias latitudes. O efeito das tempestades magnéticas sobre a Ionosfera em diferentes latitudes e longitudes depende de vários fatores. Portanto mais pesquisas se fazem necessárias a fim de entender melhor os processos envolvidos no acoplamento de energia entre a Terra e o Sol durante períodos magneticamente perturbados.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT pela aprovação e oportunidade de desenvolvimento do Projeto de Pesquisa.

#### 6. REFERÊNCIAS

1. Kintner, P. M.; Kil, H.; Beach, T. L.; de Paula, E. R. Fading timescales associated with GPS signals and potential consequences. *Radio Science*, v. 36, n. 4, p. 731-743, 2001.
2. de Paula, E. R.; Rodrigues, F. S.; Iyer, K. N.; Kantor, I. J.; Abdu, M. A.; Kintner, P. M.; Ledvina, B.; Kil, H. Equatorial anomaly effects on GPS scintillations in Brazil. *Advances on Space Research*, v.31, No. 3, 749-754, 2003.
3. de Paula, E.R., K.N. Iyer, D.L. Hysell, F.S. Rodrigues, E. A. Kherani, A.C. Jardim, L.F.C. Rezende, S.G. Dutra, N.B. Trivedi, Multi-technique investigations of storm-time ionospheric irregularities over the São Luís equatorial station in Brazil, *Annales Geophysicae*, 22, 3513-3522, 2004.



## METODOLOGIA PARA DETECÇÃO DE RASTROS METEÓRICOS UTILIZANDO RADARES COERENTES

Henrique C. Aveiro<sup>1</sup>, Tiago Jaskulski<sup>1</sup>, Lilian P. Moor<sup>2</sup>, Laysa Resende<sup>3</sup>, Pedro Almeida<sup>3</sup>, Clezio M. Denardini<sup>4</sup>, Mangalathayil A. Abdu<sup>5</sup> & Nelson J. Schuch<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica – UFSM, Bolsista PIBIC/INPE-CNPQ/MCT no âmbito da Parceria CRSPE/INPE/MCT-LACESM/CT/UFSM, Santa Maria, RS.

<sup>2</sup> Acadêmica do Curso de Física – UFSM, Bolsista PIBIC/INPE-CNPQ/MCT no âmbito da Parceria CRSPE/INPE/MCT-LACESM/CT/UFSM, Santa Maria, RS.

<sup>3</sup> Acadêmico do Curso de Física – ETEP Faculdades, Bolsista PIBIC/INPE-CNPQ/MCT, São José dos Campos, SP.

<sup>4</sup> Pesquisador Adjunto I da Divisão de Aeronomia DAE/CEA/INPE – MCT, São José dos Campos, SP.

<sup>5</sup> Pesquisador Titular AIII da Divisão de Aeronomia DAE/CEA/INPE – MCT, São José dos Campos, SP.

<sup>6</sup> Pesquisador Titular AIII do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT, Santa Maria, RS.

E-mail para contato: aveiro@lacesm.ufsm.br.

### 1. INTRODUÇÃO

A ionosfera é a parte ionizada da atmosfera, localizando-se entre aproximadamente 70 km e 1500 km de altitude [1]. Devido as diferentes composições, processos de ionização, densidade eletrônica e altura, a ionosfera é dividida em três regiões básicas: Região D, Região E e Região F. A Região E inicia por volta dos 90 km e se estende por aproximadamente 50 km. Ela é composta por dois íons majoritários:  $\text{NO}^+$  e  $\text{O}_2^+$ , mas também é caracterizada pela presença de íons metálicos como  $\text{Mg}^+$  e  $\text{Fe}^+$ . A presença destes íons metálicos é creditada à desintegração meteórica pelo atrito com a atmosfera terrestre. Estes íons são os principais responsáveis pela formação das camadas E-espóricas em médias e baixas latitudes. Em estudos utilizando radares com frequência acima de 30 MHz, os traços dos meteoros podem ser detectadas como um eco de reflexão do sinal do radar, sendo que a maioria destes ecos é produzida por meteoróides de massa inferior a  $10^{-5}$  kg com raio menor que  $10^{-3}$  m [2], geralmente observados entorno de 100 km de altitude. Já a camada espórica não é visível aos radares em VHF, apenas suas irregularidades. Isto ocorre por uma questão de geometria. É nestas alturas da região E que é observado o fenômeno do eletrojato equatorial (EEJ), caracterizado por uma corrente elétrica que se localiza entorno de 105 km de altitude, na região E equatorial, cobrindo uma faixa latitudinal de  $\pm 3^\circ$  entorno do equador geomagnético [3].

### 2. EQUIPAMENTO: O RADAR RESCO

Um radar de espalhamento coerente em 50 MHz, conhecido pelo acrônimo RESCO, tem sido operado desde 1998 no Observatório Espacial de São Luís, no Maranhão ( $2,33^\circ$  S;  $44,20^\circ$  O), próximo ao equador geomagnético (inclinação de  $0,5^\circ$  S em relação ao campo) com o objetivo principal de estudar a dinâmica do EEJ [4].

A ocorrência do eco do sinal enviado pelo radar ocorre basicamente por dois processos físicos: espalhamento e reflexão. No caso de ecos recebidos de irregularidades do EEJ, o fenômeno relacionado é o retro-espalhamento coerente, o qual possui um eco de baixa potência. A energia recebida no processo de reflexão é maior do que a esperada no caso de retro-espalhamento pelas irregularidades do EEJ. Assim, mesmo durante a presença de irregularidades de plasma é possível a observação de reflexões de meteoros em meio aos dados de irregularidades de plasma do eletrojato.

### 3. MÉTODO DE ANÁLISE

A presente análise foi efetuada na CRSPE/INPE – MCT. Foram selecionados dados de alguns dias dos meses de janeiro e fevereiro de 2003. O eco retro-espalhado recebido pelo arranjo de antenas é amplificado antes de passar através dos dois detectores de fase coerente, provendo um sinal em fase e outro em quadratura contendo as informações da frequência e potência Doppler. Os sinais detectados são amostrados em 16 faixas de altura e armazenados num formato binário seqüencial. Os sinais são organizados em grupos de 512 pulsos para cada faixa de altura amostrada.

O processamento dos dados é baseado na análise espectral de Fourier para cada faixa de altura de 512 pulsos, o que resulta em uma distribuição espectral de frequências Doppler contidas no eco de cada faixa de altura. Para os períodos de análise, a resolução temporal entre cada grupo de 512 pulsos

**GPS SIGNAL SCINTILLATION DURING DISTURBANCE MAGNETIC PERIODS OVER BRAZILIAN TERRITORY**

MOOR L. P.; 1, Schuch N. J.; 1, Aveiro H. C.; 1, Jaskulski T.; 1, Moro J.; 1, 1, Paula E. R.; 2, Denardini C. M.; 2

1. Southern Regional Space Research Center – CRS/INPE – MCT, Santa Maria, RS, Brazil
2. National Institute Space Research – DAE/INPE – MCT, São José dos Campos, SP, Brazil

At the Brazilian low latitude ionosphere the ionospheric irregularities (bubbles) occur from September through March after sunset and in the sunset-midnight time sector during magnetically quiet time periods. The bubbles present also dependency with the solar flux and latitude. These plasma irregularities cause amplitude and phase scintillations in the GPS signal and can cause degradation in the GPS navigational accuracy due to losses of lock in the GPS satellite signals. However during magnetically disturbed periods this scintillation pattern can change and irregularities can be also observed during April to August and even during the post-midnight time sector. In this work we present the effects of four magnetic storms over the ionosphere using data from 4 GPS receivers that monitor the signal of GPS satellites in the L1 band. We used data from one Brazilian GPS stations located at the São Martinho da Serra, Southern Space Observatory – SSO/CRS/INPE (29.28° S, 53.82° W, dip lat. 18,57° S), and compare its data with the data from three others INPE's stations located at São Luís (2.33° S, 44.21° W, dip lat. 1.73° S), São José dos Campos (23.07° S, 45.86° W, dip lat. 18,01° S) and Cuiabá (15.45° S, 56.07° W, dip lat. 6.56° S). The Dst and Kp magnetic indices were used to select the storm periods. Examples of plasma irregularity triggering and inhibitions due to magnetic storms are presented and the physical mechanisms responsible for such anomalous behavior are discussed.

**1. JMS023**

2. Instabilities in the Neutral Atmosphere, Ionosphere and Magnetosphere
3. Storm time, Ionosphere and GPS
4. Lillianm, Lillian Moor,— Southern Regional Space Research Center – CRS/INPE – MCT, C. P. 5021, Santa Maria, RS, Brazil. E-mail: lilian@lasesm.ufsm.br
5. P
6. NONE
7. YES
8. Lillian Piecha Moor. YES,
9. The author is applying for a grant and she is submitting two abstracts (one as first author and the other as co-author).

**STUDY OF THE SOUTH ATLANTIC MAGNETIC ANOMALY INFLUENCE ON THE ENERGETIC PARTICLE PRECIPITATION**

JASKULSKI, T. 1; Schuch N. J. 1; Aveiro, H. C. 1; Moor, L. P. 1; Moro, J. 1; Denardini, C. M. 2; Muralikrishna P. 2.

1. Southern Regional Space Research Center – CRS/INPE – MCT, Santa Maria, RS, Brazil
2. National Institute for Space Research – DAE/INPE – MCT, São José dos Campos, SP, Brazil

The South Atlantic Magnetic Anomaly (SAMA), localized in the South Hemisphere, reaches almost all the region of the South Atlantic and extends longitudinally until the west coast of the South America. It is characterized as a region where the geomagnetic field has its lowest intensity and, therefore, there is a depression in its Field lines intensity. This depression anomaly occurs only in this region of the planet and its origin is attributed to the anti-symmetrical distribution of the electric currents in the interior of the planet. One of the consequences of the low intensity of the geomagnetic field in this region is that the energetic particles trapped in the Van Allen's inner radiation belt can precipitate easily. The mirror point of the trapped particles over the SAMA is approximately 100 km of altitude, while is around 600 km in the magnetic conjugate point in the north hemisphere. In virtue of this, these energetic particles can precipitate over this region and dissipate their energy ionizing the atmospheric components, as occurs in the auroral region. This process is further enhanced during periods of geomagnetic storms and substorms. One of the usual methods to study the particle precipitation in the SAMA is through of the Imaging Riometer. The level of ionospheric absorption of cosmic noise is indirectly obtained from the data acquired with this equipment. From this data it is possible to infer the variation of the ionosphere electronic density. A higher ionospheric absorption indicates that an increase in the electronic density could have occurred in consequence of the energetic particle precipitation. Currently, there are three Imaging Riometer equipments in the SAMA region. The first one was installed in 1999 in the Southern Space Observatory - SSO/CRS/INPE - MCT, in São Martinho da Serra, Brazil, (29.4°S, 53.8°W). This observatory is strategically located near of the SAMA center, where the intensity of geomagnetic field is around of 23000 nT. In 2003 the second equipment was installed in Punta Arenas, Chile (53.1°S, 71.0°W). The third one was installed in Concepcion, Chile (37.5°S, 72.7°W). From these three equipments it has been possible to carry out studies to determine spatial scale and movement of the events of ionospheric absorption. The objective of this work is to present the analysis of data observed during a magnetically disturbed period with the Imaging Riometer installed at the Southern Space Observatory, as well as to give its brief description.

1. ASICDC042

2. Advances in the investigation of equatorial aeronomic processes since the International Geophysical Year 1957

3. Geomagnetic anomaly, particle precipitation, imaging riometer

4. tiagojk, Tiago Jaskulski, Southern Regional Space Research Center – CRS/INPE – MCT, Caixa Postal 5021, Santa Maria, RS, Brazil. E-mail: tiagojk@lacs.m.ufrsm.br

5. P

6. NONE

7. YES

8. Tiago Jaskulski: YES

9. Yes – T. Jaskulski is presenting 2 abstracts to IUGG – 2007 for IAGA. He is first author in one (1) and co-author in other abstract.

