



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

**ESTUDOS DO PLASMA IONOSFÉRICO NA REGIÃO DA  
ANOMALIA GEOMAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL**

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

**PROCESSO N° 127566/2008-2**

**Guilherme Aluisio Steffens Lorensen**  
Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT  
**Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre**  
LSIANT/CRS/INPE – MCT  
**Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais**  
CRS/INPE - MCT  
**E-mail:** guilhermelorensen@lacesm.ufsm.br

**Dr. Polinaya Muralikrishna**  
Orientador  
**Divisão de Aeronomia Espacial**  
DAE/CEA/INPE – MCT  
**Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**  
INPE - MCT  
**E-mail:** murali@dae.inpe.br

**Santa Maria, Junho de 2009**



**RELATÓRIO FINAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO  
PROGRAMA: PIBIC/INPE – CNPq/MCT**

**PROJETO**

**ESTUDOS DO PLASMA IONOSFÉRICO NA REGIÃO DA  
ANOMALIA GEOMAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL**

**PROCESSO: 127566/2008-2**

Relatório elaborado relativo ao período de  
Janeiro de 2009 a Julho de 2009 por:

**Guilherme Aluisio Steffens Lorensen**  
Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT  
**E-mail:** guilhermelorensen@lacesm.ufsm.br

**Dr. Polinaya Muralikrishna** – Orientador  
Divisão de Aeronomia – DAE/CEA/INPE – MCT  
**E-mail:** njschuch@lacesm.ufsm.br

**Dr. Nelson Jorge Schuch** – Co-Orientador  
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/INPE – MCT  
**E-mail:** njschuch@lacesm.ufsm.br

**Dr. Clezio Marcos Denardin** – Co-Orientador  
Divisão de Aeronomia - DAE/CEA/INPE – MCT  
**E-mail:** denardin@dae.inpe.br



## **DADOS DE IDENTIFICAÇÃO**

Título do Projeto:

### **ESTUDOS DO PLASMA IONOSFÉRICO NA REGIÃO DA ANOMALIA GEOMAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL**

**Processo CNPq N°: 127566/2008-2**

**Aluno Bolsista:**

**Guilherme Aluisio Steffens Lorensen**

Curso de Física - Bacharelado

Centro de Ciências Naturais e Exatas – CCNE/UFSM

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

**Orientador:**

**Dr. Polinaya Muralikrishna**

Divisão de Aeronomia - DAE/CEA/INPE - MCT

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE – MCT

**Co-Orientadores:**

**Dr. Nelson Jorge Schuch**

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

**Dr. Clezio Marcos Denardin**

Divisão de Aeronomia – DAE/CEA/INPE – MCT

**Colaboradores:**

**Dr. Kazuo Makita**

*University of Takushoku, Tokyo - Japão*

**Dr. Jean Pierre Raulin**

Centro de Rádio Astronomia e Astrofísica Mackenzie – CRAAM,  
São Paulo - Brasil.



**Lilian Piecha Moor**

Acadêmica do Curso de Física – Licenciatura Plena da UFSM

**Cláudio Machado Paulo**

Acadêmico do Curso de Física – Licenciatura Plena da UFSM

**Juliano Moro**

Mestrando em Geofísica Espacial

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE/MCT

**Locais de Trabalho/Execução do Projeto:**

- Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre - LSIANT/CRS/INPE – MCT, Santa Maria, RS.
- Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/INPE – MCT, São Martinho da Serra, RS.

Trabalho desenvolvido no âmbito da Parceria INPE/MCT – UFSM, através do Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre – LSIANT/CRS/INPE – MCT com o Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT – UFSM.



Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



**Estudante**  
**Guilherme Aluizio Steffens Lorenset**



[Link para Currículo Lattes](#)

[Dados gerais](#)

[Indicadores de produção C, T & A](#)

**Dados gerais**

**Identificação do estudante**

**Nome:** Guilherme Aluizio Steffens Lorenset

**Nível de treinamento:** Graduação

**Currículo Lattes:** 12/06/2009 13:06

**E-mail:** [guilherme\\_lorenset@hotmail.com](mailto:guilherme_lorenset@hotmail.com)

**Homepage:** <http://www.inpe.br/>

**Grupos de pesquisa que atua na instituição**

[Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br - INPE](#)

**Linhas de pesquisa que atua**

[AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA](#)

**Orientadores participantes de grupos de pesquisa na instituição**

[Polinaya Muralikrishna](#)

**Indicadores de produção C, T & A dos anos de 2006 a 2009**

Tipo de produção	2006	2007	2008	2009
Produção bibliográfica	0	0	0	0
Produção técnica	0	0	0	0
Orientação concluída	0	0	0	0
Produção artística/cultural e demais trabalhos	0	0	0	0



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

**Identificação****Recursos Humanos****Linhas de Pesquisa****Indicadores do Grupo****Identificação****Dados básicos**

**Nome do grupo:** Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br

**Status do grupo:** **certificado pela instituição**

**Ano de formação:** 1996

**Data da última atualização:** 23/06/2009 11:43

**Líder(es) do grupo:** Nelson Jorge Schuch - [nelson.schuch@pq.cnpq.br](mailto:nelson.schuch@pq.cnpq.br)

Natanael Rodrigues Gomes - [natanael.gomes@lacesm.ufsm.br](mailto:natanael.gomes@lacesm.ufsm.br)

**Área predominante:** Ciências Exatas e da Terra; Geociências

**Instituição:** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

**Órgão:** Coordenação de Gestão Científica - CIE

**Unidade:** Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS

**Endereço**

**Logradouro:** Caixa Postal 5021

**Bairro:** Camobi

**CEP:** 97110970

**Cidade:** Santa Maria

**UF:** RS

**Telefone:** 33012026

**Fax:** 33012030

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

**Home page:** <http://>

**Repercussões dos trabalhos do grupo**

O Grupo - CLIMA ESPACIAL, MAGNETOSFERAS, GEOMAGNETISMO:INTERAÇÃO TERRA-SOL do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/INPE-MCT, em Santa Maria, e Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/INPE - MCT, Lat. 29°26'24"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-LACESM), INPE, CRAAM-Universidade P. Mackenzie, IAG/USP, OV/ON, DPD/UNIVAP e SEFET/GO, no Brasil e internacionais do: Japão (Universidades: Shinshu, Nagoya, Kyushu, Takushoku 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), Armênia (Alikhanyan Physics Institute) e Kuwait (Kuwait University). Linhas de Pesquisas: MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL, MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO, AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA, NANOSATC-BR. Áreas de interesse: Heliosfera, Física Solar, Meio Interplanetário, Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo, Aeronomia, Ionosferas, Aeroluminescência, Raios Cósmicos, Muons, Pequenos Satélites Científicos. Objetivos: Pesquisar o acoplamento energético na Heliosfera, mecanismos de geração de energia no Sol, Vento Solar, sua propagação no Meio Interplanetário, acoplamento com as magnetosferas planetárias, no Geoespaço com a Ionosfera e a Atmosfera Superior, previsão de ocorrência de tempestades magnéticas e das intensas correntes induzidas na superfície da Terra, Eletricidade Atmosférica e seus Eventos Luminosos Transientes (TLEs). As Pesquisas base de dados de sondas no Espaço Interplanetário e dentro de magnetosferas planetárias, e de modelos computacionais físicos e estatísticos. Vice-Líderes: Alisson Dal Lago, Nalin Babulau Trivedi, Otávio Santos Cupertino Durão, Natanael Rodrigues Gomes.

**Recursos humanos**



<b>Pesquisadores</b>	<b>Total: 42</b>
<a href="#">Ademar Michels</a>	<a href="#">Jean Pierre Raulin</a>
<a href="#">Alan Prestes</a>	<a href="#">Joao Paulo Minussi</a>
<a href="#">Alicia Luisa Clúa de Gonzalez</a>	<a href="#">Jose Humberto Andrade Sobral</a>
<a href="#">Alisson Dal Lago</a>	<a href="#">Juliano Moro</a>
<a href="#">Antonio Claret Palerosi</a>	<a href="#">Mangalathayil Ali Abdu</a>
<a href="#">Barclay Robert Clemesha</a>	<a href="#">Marcelo Barcellos da Rosa</a>
<a href="#">Caitano Luiz da Silva</a>	<a href="#">Marco Ivan Rodrigues Sampaio</a>
<a href="#">Carlos Roberto Braga</a>	<a href="#">Marcos Vinicius Dias Silveira</a>
<a href="#">Clezio Marcos De Nardin</a>	<a href="#">Nalin Babulal Trivedi</a>
<a href="#">Cristiano Max Wrasse</a>	<a href="#">Natanael Rodrigues Gomes</a>
<a href="#">Delano Gobbi</a>	<a href="#">Nelson Jorge Schuch</a>
<a href="#">Eurico Rodrigues de Paula</a>	<a href="#">Nivaor Rodolfo Rigozo</a>
<a href="#">Ezequiel Echer</a>	<a href="#">Odin Mendes Junior</a>
<a href="#">Fabiano Luis de Sousa</a>	<a href="#">Osmar Pinto Junior</a>
<a href="#">Fábio Augusto Vargas dos Santos</a>	<a href="#">Otavio Santos Cupertino Durão</a>
<a href="#">Fernanda de São Sabbas Tavares</a>	<a href="#">Pawel Rozenfeld</a>
<a href="#">Fernando Luís Guarnieri</a>	<a href="#">Petrônio Noronha de Souza</a>
<a href="#">Gelson Lauro Dal' Forno</a>	<a href="#">Polinaya Muralikrishna</a>
<a href="#">Hisao Takahashi</a>	<a href="#">Rajaram Purushottam Kane</a>
<a href="#">Ijar Milagre da Fonseca</a>	<a href="#">Severino Luiz Guimaraes Dutra</a>
<a href="#">Jean Carlo Santos</a>	<a href="#">Walter Demetrio Gonzalez Alarcon</a>

<b>Estudantes</b>	<b>Total: 33</b>
<a href="#">Aline Seeger Santos</a>	<a href="#">Jose Fernando Thuorst</a>
<a href="#">Bernardo Henz</a>	<a href="#">Josemar de Siqueira</a>
<a href="#">Carlos Pinto da Silva Neto</a>	<a href="#">Lilian Piecha Moor</a>
<a href="#">Cassio Espindola Antunes</a>	<a href="#">Lucas Antunes Tambara</a>
<a href="#">Cássio Rodinei dos Santos</a>	<a href="#">Lucas Lopes Costa</a>
<a href="#">Celito Muck Felipetto</a>	<a href="#">Lucas Ramos Vieira</a>
<a href="#">Claudio Machado Paulo</a>	<a href="#">Luis Fernando Nicolini</a>
<a href="#">Cristiano Sarzi Machado</a>	<a href="#">Nikolas Kemmerich</a>
<a href="#">Edson Rodrigo Thomas</a>	<a href="#">Rafael Lopes Costa</a>
<a href="#">Eduardo Escobar Bürger</a>	<a href="#">Ricardo Cartier dos Santos</a>
<a href="#">Eduardo Weide Luiz</a>	<a href="#">Rodrigo da Rosa Azambuja</a>
<a href="#">Felipe Cipriani Luzzi</a>	<a href="#">Rubens Zolar Gehlen Bohrer</a>
<a href="#">Fernando de Souza Savian</a>	<a href="#">Tardelli Ronan Coelho Stekel</a>
<a href="#">Guilherme Aluizio Steffens Lorenset</a>	<a href="#">Thalis José Girardi</a>
<a href="#">Guilherme Grams</a>	<a href="#">Tiago Jaskulski</a>
<a href="#">Guilherme Simon da Rosa</a>	<a href="#">Willian Rigon Silva</a>
<a href="#">Igor Freitas Fagundes</a>	

<b>Técnicos</b>	<b>Total: 2</b>
Eduardo Ceretta Dalla Favera - Ensino Profissional de nível técnico - Técnico em Computação	
Vinicius Ceregati Costa - Graduação - \Outra Função	

<b>Linhas de pesquisa</b>	<b>Total: 4</b>
<ul style="list-style-type: none"><li><a href="#">AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA</a></li></ul>	



*Relatório Final de Atividades*

- [Desenvolvimento de CubeSats - NANOSATC-BR](#)
- [MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO](#)
- [MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL](#)

---

<b>Relações com o setor produtivo</b>	<b>Total: 0</b>
---------------------------------------	-----------------

---

<b>Indicadores de recursos humanos do grupo</b>	
<b>Integrantes do grupo</b>	<b>Total</b>
Pesquisador(es)	42
Estudante(s)	33
Técnico(s)	2



**Linha de Pesquisa**

**AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA**

**Linha de pesquisa**

**AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA**

**Nome do grupo:** [Clima Espacial](#), [Magnetosferas](#), [Geomagnetismo](#); [Interações Terra - Sol](#), [NanoSatC-Br](#)

**Palavras-chave:** Aeronomia/Aeroluminescência-Fotômetros/Imageadores; Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS; Eletrojato Equatorial; Interações Sol - Terra; Ionosfera - Digisonda - Radares; Mesosfera - Radares - Rastros Meteoricos;

**Pesquisadores:**

[Barclay Robert Clemesha](#)  
[Caitano Luiz da Silva](#)  
[Clezio Marcos De Nardin](#)  
[Cristiano Max Wrasse](#)  
[Delano Gobbi](#)  
[Eurico Rodrigues de Paula](#)  
[Fábio Augusto Vargas dos Santos](#)  
[Fernanda de São Sabbas Tavares](#)  
[Gelson Lauro Dal' Forno](#)  
[Hisao Takahashi](#)  
[Jean Pierre Raulin](#)  
[Mangalathayil Ali Abdu](#)  
[Marcelo Barcellos da Rosa](#)  
[Marco Ivan Rodrigues Sampaio](#)  
[Nelson Jorge Schuch](#)  
[Nivaor Rodolfo Rigozo](#)  
[Polinaya Muralikrishna](#)

**Estudantes:**

[Carlos Pinto da Silva Neto](#)  
[Cássio Rodinei dos Santos](#)  
[Claudio Machado Paulo](#)  
[Cristiano Sarzi Machado](#)  
[Edson Rodrigo Thomas](#)  
[Eduardo Weide Luiz](#)  
[Felipe Cipriani Luzzi](#)  
[Guilherme Aluizio Steffens Lorenset](#)  
[Guilherme Grams](#)  
[Lilian Piecha Moor](#)  
[Rodrigo da Rosa Azambuja](#)  
[Thalis José Girardi](#)

**Árvore do conhecimento:**

Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Aeronomia;  
Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Interações Sol - Terra;  
Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Geofísica Espacial;

**Setores de aplicação:**

Aeronáutica e espaço

**Objetivo:**

Aeronomia dos fenômenos físicos, químicos, dinâmica eletricidade da Atmosfera e seus(TLEs), observando com radares, GPS, imageadores, fotômetros e aeroluminescência (ventos) das ondas atmosféricas: planetárias, de gravidade e marés; Pesquisas com radares e digisonda 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-Líder: Marcelo Barcellos da Rosa.



## **AGRADECIMENTOS**

Meus sinceros agradecimentos: (I) aos funcionários, servidores do CRS/INPE - MCT e do LACESM/CT – UFSM pelo apoio e pela infra-estrutura disponibilizada; (II) ao Programa PIBIC/INPE - CNPq/MCT pela aprovação do Projeto de Pesquisa, que me permitiu dar os primeiros passos na iniciação científica e tecnológica, propiciando grande crescimento profissional; (III) ao Coordenador Dr. José Carlos Becceneri e a Secretária do Programa PIBIC/INPE - CNPq/MCT, Sra. Egidia Inácio da Rosa, pelo constante apoio, alertas e sua incansável preocupação com toda a burocracia e datas limites do Programa para com os bolsistas de I. C. & T do CRS/INPE - MCT.

Ao meu orientador, Dr. Polinaya Muralikrishna, pela oportunidade, sua atenção e disposição em auxiliar-me durante a realização de minhas atividades de iniciação científica. Em especial,

Um obrigado especial ao Dr. Nelson Jorge Schuch, Pesquisador Titular Sênior III e criador do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, em Santa Maria, por acreditar na capacidade do Bolsista.

Outro agradecimento especial aos colegas Lilian Piecha Moor e Cláudio Machado Paulo do Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre – LSIANT/CRS/INPE – MCT pelo companheirismo e pelo apoio no desenvolvimento do Projeto de Pesquisa.

Agradeço aos meus amigos e à minha família, principalmente à minha mãe Cristina Steffens e aos meus avôs Adélia Steffens e Benno Carlos Steffens, que sempre acreditaram em mim, me incentivando e me ajudando a vencer todos os obstáculos e a seguir em frente.



## RESUMO

O Relatório apresenta as atividades de pesquisa vinculadas ao Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT realizadas pelo Bolsista Guilherme Aluisio Steffens Lorenset, durante o período de janeiro de 2009 a julho 2009, no Projeto “**ESTUDOS DO PLASMA IONOSFÉRICO NA REGIÃO DA ANOMALIA GEOMAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL**” junto ao Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE-MCT. As atividades relativas ao Projeto foram desenvolvidas pelo bolsista no Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre do CRS/INPE-MCT, no âmbito da Parceria: INPE/MCT – UFSM, através do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT – UFSM. O Projeto de pesquisa tem dois objetivos específicos.

O primeiro objetivo do Projeto de Pesquisa é observar a variação da absorção ionosférica de ondas de rádio de origem cósmica a partir do equipamento “Riômetro” instalado no Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS. O segundo objetivo é o monitoramento da atividade solar a longo prazo na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS, utilizando a rede de receptores do Sistema SAVNET - *South America VLF Network*, que faz uso das propriedades de propagação de rádio ondas de VLF (*Very Low Frequency*: 3 - 30 kHz). O estudo e o desenvolvimento da pesquisa, redução, análise e interpretação de dados, são realizadas no Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre – LSIANT do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE - MCT, em Santa Maria, RS.



## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>13</b>
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>16</b>
<b>IONOSFERA.....</b>	<b>16</b>
1.1 - <i>Introdução</i> .....	16
1.2 - <i>Fontes de Ionização</i> .....	17
1.3 - <i>Perdas de Íons</i> .....	18
1.4 - <i>Camadas Ionosféricas</i> .....	18
1.4.1 - <i>Região D</i> .....	19
1.4.2 - <i>Região E</i> .....	19
1.4.3 - <i>Região F</i> .....	20
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>21</b>
<b>CAMPO GEOMAGNÉTICO .....</b>	<b>21</b>
2.1 - <i>Campo Magnético Terrestre</i> .....	21
2.2 - <i>Cinturões de Radiação de Van Allen</i> .....	22
2.3 - <i>Vento Solar, Tempestades e Sub-tempestades Geomagnéticas</i> .....	23
2.4 - <i>Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS)</i> .....	24
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>27</b>
<b>RIÔMETROS .....</b>	<b>27</b>
3.1 - <i>Riômetros</i> .....	27
3.2 - <i>Curva do Dia Quiet</i> .....	28
3.3 - <i>Riômetro Convencional</i> .....	28
3.4 - <i>Riômetro Imageador</i> .....	29
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>31</b>
<b>PROJETOS COM COOPERAÇÃO DO LABORATÓRIO DE SONDAÇÃO IONOSFÉRICA E</b>	
<b>ATMOSFERA NEUTRA TERRESTRE .....</b>	<b>31</b>
4.1 <i>Rede SARINET – SOUTH AMERICA RIOMETER NETWORK</i> .....	31
4.2 <i>Rede SAVNET – SOUTH AMERICA VLF NETWORK</i> .....	31
<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>33</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>34</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.1 – GRÁFICO ILUSTRANDO A DISTRIBUIÇÃO DAS CAMADAS DA ATMOSFERA TERRESTRE SEGUNDO PRESSÃO, TEMPERATURA, ALTITUDE E DENSIDADE ELETRÔNICA.....</b>	<b>16</b>
<b>FIGURA 1.2 – À ESQUERDA, AS DENSIDADES ELETRÔNICAS EM RELAÇÃO À ALTITUDE DAS TRÊS CAMADAS IONOSFÉRICAS, COM SUA NOMENCLATURA. À DIREITA, REPRESENTAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DAS CAMADAS IONOSFÉRICAS. ....</b>	<b>19</b>
<b>FIGURA 1.3 - REPRESENTAÇÃO DA ESTRUTURA DIURNA E NOTURNA DA IONOSFERA E SUAS CAMADAS.....</b>	<b>20</b>
<b>FIGURA 2.1 – REPRESENTAÇÃO DAS LINHAS DE FORÇA MAGNÉTICA DO CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE. NO CENTRO DA IMAGEM, REPRESENTAÇÃO DE UMA BÚSSOLA INDICANDO O EIXO NORTE-SUL MAGNÉTICO. ....</b>	<b>21</b>
<b>FIGURA 2.2 – REPRESENTAÇÃO DOS CINTURÕES DE RADIAÇÃO DE VAN ALLEN. NA REPRESENTAÇÃO É POSSÍVEL VISUALIZAR O MOVIMENTO DAS PARTÍCULAS ENERGÉTICAS NOS CINTURÕES, CAUSADAS PELAS LINHAS DE CAMPO GEOMAGNÉTICO.....</b>	<b>23</b>
<b>FIGURA 2.3 – REPRESENTAÇÃO DO CHOQUE DE PARTÍCULAS ENERGÉTICAS COM O CAMPO GEOMAGNÉTICO. EM AZUL, MAGNETOSFERA. ....</b>	<b>24</b>
<b>FIGURA 2.4 – MAPA DO CAMPO MAGNÉTICA DA TERRA PARA O ANO DE 2000, MOSTRANDO A LOCALIZAÇÃO DA ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL (EM AZUL) E DO SEU CENTRO (TRIÂNGULO VERMELHO).....</b>	<b>25</b>
<b>FIGURA 3.1 – ESQUEMA DE CONSTRUÇÃO DE UM RIÔMETRO CONVENCIONAL.....</b>	<b>29</b>
<b>FIGURA 3.2 – DISPOSIÇÃO DAS ANTENAS DE UM RIÔMETRO IMAGEADOR 4X4.....</b>	<b>30</b>



## INTRODUÇÃO

É apresentado no Relatório as atividades que foram realizadas no Projeto: **ESTUDOS DO PLASMA IONOSFÉRICO NA REGIÃO DA ANOMALIA GEOMAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL** (Processo número **105427/2006-3**) com vigência de Agosto de 2008 a Julho de 2009, pelo aluno **Antonio Marcos Martins Silveira**, aluno do Curso de Física – Licenciatura Plena Diurno da UFSM. Em Janeiro de 2009 houve a troca de bolsistas, por **Guilherme Aluisio Steffens Lorenset**, aluno do Curso de Física – Bacharelado da UFSM que assumiu a titularidade da Bolsa para o período de Janeiro de 2009 a Julho de 2009. O relatório é de autoria de Guilherme Aluisio Steffens Lorenset.

O Projeto de Pesquisa tem dois objetivos específicos. O primeiro objetivo é observar a variação da absorção ionosférica de ondas de rádio de origem cósmica a partir do equipamento “Riômetro” instalado no Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS. O segundo objetivo é o monitoramento da atividade solar a longo prazo na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS, utilizando a rede de receptores do Sistema SAVNET - *South America VLF Network*, que faz uso das propriedades de propagação de rádio ondas de VLF (*Very Low Frequency*: 3 - 30 kHz). O estudo e o desenvolvimento da pesquisa, redução, análise e interpretação de dados, são realizadas no Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre – LSIANT do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE - MCT, em Santa Maria, RS.

No Capítulo 1 é apresentada uma revisão bibliográfica referente à Ionosfera Terrestre e dos eventos físicos e químicos que podem ocorrer nesta parte da atmosfera, para o entendimento básico da mesma. O Capítulo 2 refere-se ao Campo Magnético Terrestre, Cinturões de Radiação de Van Allen e a Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS, tratando a respeito da sua origem, manutenção e influência sobre a Ionosfera.

O Capítulo 3 descreve sobre o equipamento Riômetro, sua constituição e método de análise dos dados obtidos. Atualmente, há instalado no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS, três Riômetros, sendo dois deles do tipo convencional e um deles do tipo imageador. A diferença, visual entre eles,



está no número de antenas constituintes. Enquanto que o convencional possui duas antenas, o imageador possui uma matriz 4x4, ou seja, 16 antenas.

No quarto Capítulo é feita uma apresentação simplificada aos projetos que o Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre – LSIANT/CRS/INPE – MCT, auxilia no desenvolvimento, a Rede SARINET – *South America Riometer Network* e a Rede SAVNET - *South America VLF Network*. A Rede SARINET faz uso de Riômetros, inclusive de Imageadores para pesquisa da precipitação de partículas na Anomalia Magnética do Atlântico Sul em função da atividade geomagnética e de sua geometria.

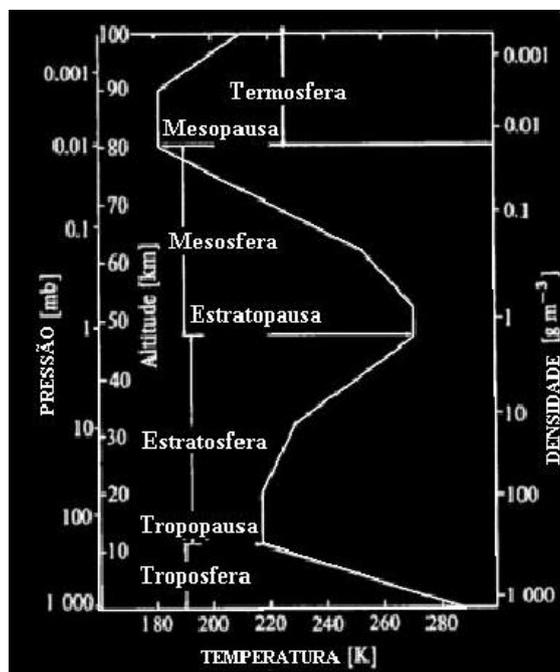
## CAPÍTULO 1

### IONOSFERA

#### 1.1 – Introdução

A atmosfera terrestre é dividida em atmosfera neutra e atmosfera ionizada, de acordo com as características dos seus elementos constituintes (Figura 1.1). A atmosfera neutra, como o próprio nome já diz, é formada por moléculas de gases em estado neutro. A atmosfera ionizada é constituída por íons moleculares e elétrons livres. Não existe um limite bem definido entre a atmosfera neutra e a atmosfera ionizada, sendo que há uma grande variação desse limite durante o dia e a noite. Durante o dia a base da Ionosfera, atmosfera ionizada, situa-se em torno dos 60 a 70 km de altitude, e a noite ela situa-se em torno de 90 km.

A existência de uma camada condutora, a Ionosfera no caso, na atmosfera superior foi sugerida inicialmente pelas variações periódicas notadas nas medições do campo geomagnético. Os primeiros estudos diretos da Ionosfera foram realizados através de dados de reflexão de ondas de rádio.



**Figura 1.1** – Gráfico ilustrando a distribuição das camadas da atmosfera terrestre segundo a pressão, temperatura, altitude e densidade eletrônica.

Fonte: <http://portalmie.com/escoteiros/2008/11/11/estados-fisicos-da-materia/>

## 1.2 - Fontes de Ionização

A origem da Ionosfera é a partir da ionização dos elementos neutros constituintes da atmosfera, e por isso mesmo que em larga escala a Ionosfera é considerada eletricamente neutra, pois o número de elétrons livres é diretamente proporcional ao número de íons positivos. Esta ionização ocorre principalmente através da absorção de radiação solar na faixa espectral do extremo ultravioleta (EUV) e dos raios-X, chamada de foto ionização. A radiação Lyman- $\alpha$  também tem uma importante influência na ionização na base da Ionosfera, assim como a precipitação de partículas energéticas, provenientes do espaço ou mesmo da energia que íons e elétrons livres locais acelerados desprendem após colisões com os componentes da atmosfera neutra.

Para que haja ionização da atmosfera terrestre, as fontes de ionização precisam possuir energias superiores ao potencial de ionização ou à energia das ligações dos átomos ou moléculas da atmosfera neutra.

A taxa de variação temporal da densidade eletrônica pode ser expressa através da equação da continuidade:

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

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

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

sendo  $I$  a intensidade da radiação ionizante no topo da atmosfera,  $\eta$  é a eficiência de ionização,  $\sigma$  é a seção transversal de absorção do gás e  $n$  a concentração de átomos ou moléculas capazes de serem ionizadas por este espectro de radiação.

Os íons comumente produzidos são  $O^+$ ,  $N_2^+$  e  $O_2^+$ , na região do pico, porém, a maior densidade é a de  $O^+$ . Na região ionosférica mais baixa, um íon importante é o  $NO^+$ , produzido pela radiação Lyman- $\alpha$  em 1216 Å.

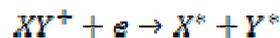
### 1.3 - Perdas de Íons

Devido aos processos de recombinação entre íons e elétrons, e pelo transporte ou movimento do plasma, ocorre uma perda na ionização resultando em uma diminuição da densidade eletrônica na Ionosfera. Os processos que podem ocorrer são:

- Recombinação iônica (taxa de reação  $\alpha_i$ )



- Recombinação eletrônica (taxa de reação  $\alpha_e$ )



- Troca de carga ( $\gamma$ )



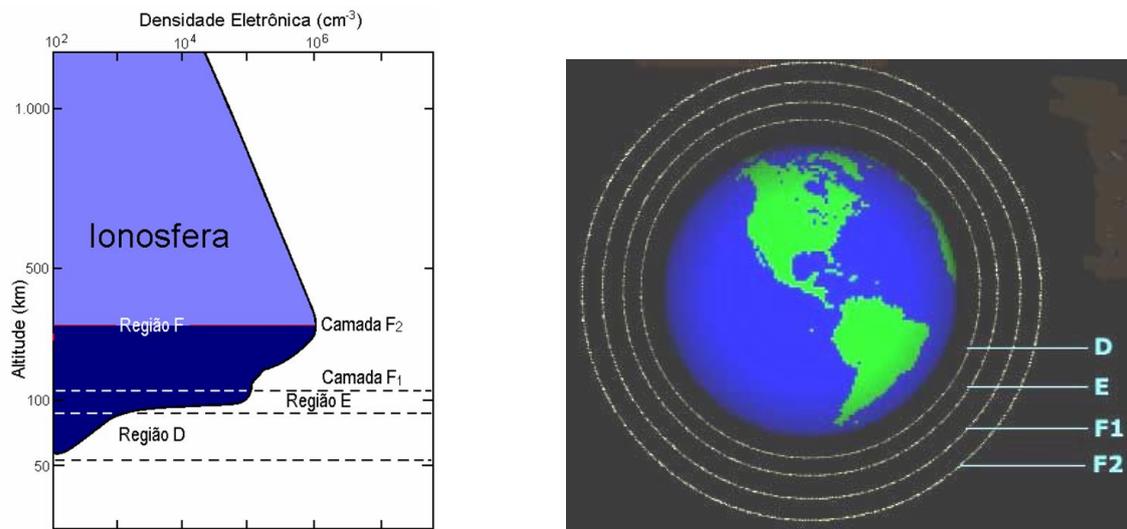
- Junção eletrônica (*attachment*)



- Transporte vertical: o movimento do plasma de íons e elétrons acontece tanto horizontalmente como verticalmente, porém este último costuma ser mais eficiente nos processos de perda da região F da Ionosfera.

### 1.4 - Camadas Ionosféricas

A Ionosfera está dividida em três camadas distintas: D, E e F (Figura 1.2). Estas divisões levam em consideração os pontos em que ocorrem os picos na densidade eletrônica, pois enquanto que uma determinada radiação penetra na atmosfera, sua produção eletrônica aumenta na medida em que aumenta a densidade atmosférica, até um ponto onde esta radiação produz o máximo de densidade eletrônica.



**Figura 1.2** – À esquerda, as densidades eletrônicas em relação à altitude das três camadas ionosféricas, com sua nomenclatura. À direita, representação da localização das camadas ionosféricas.

Fonte: Denardini (1999); <http://www.sarmento.eng.br/IntroPropagacao.htm>.

#### 1.4.1 - Região D

Em torno de 60 a 90 km de altitude está situada a região D da Ionosfera. Como esta é a região limite entre a atmosfera neutra e a Ionosfera e devido a processos turbulentos, há uma grande mistura entre os gases neutros e ionizados, ocorrendo uma elevada taxa de perdas. Os elétrons livres presentes nessa camada podem se combinar com as moléculas neutras, e desta maneira formar íons negativos. Este processo é conhecido como *attachment* e ocorre principalmente a noite, consequentemente acarreta no desaparecimento desta região (Figura 1.3). As radiações ionizantes mais importantes são raios-X, que ionizam o oxigênio e nitrogênio, a radiação solar Lyman- $\alpha$  que ioniza o óxido nítrico, os raios cósmicos galácticos e as partículas energéticas de origem solar.

#### 1.4.2 - Região E

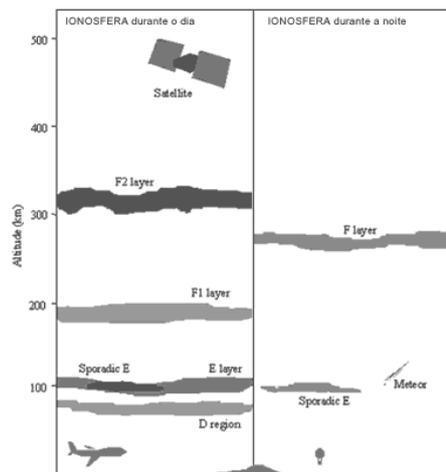
Parte da Ionosfera situada entre 90 e 140 km, aproximadamente. É a região de máxima condutividade elétrica e, portanto, a região onde se desenvolvem as corrente

elétricas ionosféricas. Sua principal fonte de ionização e são radiações na faixa do extremo ultravioleta (EUV) e os raios-X moles (de menor energia e de comprimento de onda maior). Esta região depende fortemente da radiação solar e de características como posição solar em relação ao zênite. A partir dos 100 km existe uma camada ionizada densa, com espessura em torno de 20 km e com vários quilômetros de extensão chamada de camada E esporádica, ver Figura 1.3.

### 1.4.3 - Região F

Subdividida em camada F1 e camada F2. A camada F1, situada entre 140 e 200 km de altitude e é formada principalmente a partir da ionização solar com radiação na faixa do extremo ultravioleta (EUV), esta camada ocorre somente de dia, pois depende do ângulo zenital solar.

A camada F2, situada entre 200 e 1000 km de altitude, possui densidade eletrônica máxima entre 250 e 400 km. Esta é a região que possui a maior densidade eletrônica entre todas as camadas da Ionosfera, mesmo durante a noite. A radiação ionizante desta camada é basicamente a mesma radiação responsável pela ionização da camada F1.



**Figura 1.3** – Representação da estrutura diurna e noturna da Ionosfera e suas camadas.

Fonte: <http://www.feirinhadigital.com.br/rbr/HAM/projetos-suarios/NVIS/nvis.htm>

## CAPÍTULO 2

### CAMPO GEOMAGNÉTICO

#### 2.1 - Campo Magnético Terrestre

A Terra possui um campo magnético que a envolve e se estende pelo espaço interplanetário e acredita-se que este campo origina-se do centro da Terra, causado pelo processo de indução eletromagnética que ocorre no interior da Terra, devido a fortes correntes elétricas que fluem na parte líquida do núcleo do planeta. As linhas de força magnéticas estendem-se a grandes distâncias da Terra, atingindo a 10 raios terrestres no lado de frente ao Sol, como mostrado na Figura 2.1. O campo magnético consta de uma parte principal e de vários tipos de perturbações sobrepostos. As variações mais comuns observadas no campo magnético são as produzidas através das correntes elétricas que fluem na parte inferior da Ionosfera, assim como, variações mais bruscas e intensas provocadas pelas tempestades magnéticas.



**Figura 2.1** – Representação das linhas de força magnética do campo magnético terrestre. No centro da imagem, representação de uma bússola indicando o eixo norte-sul magnético.

Fonte: <http://rbrebello.wordpress.com/>

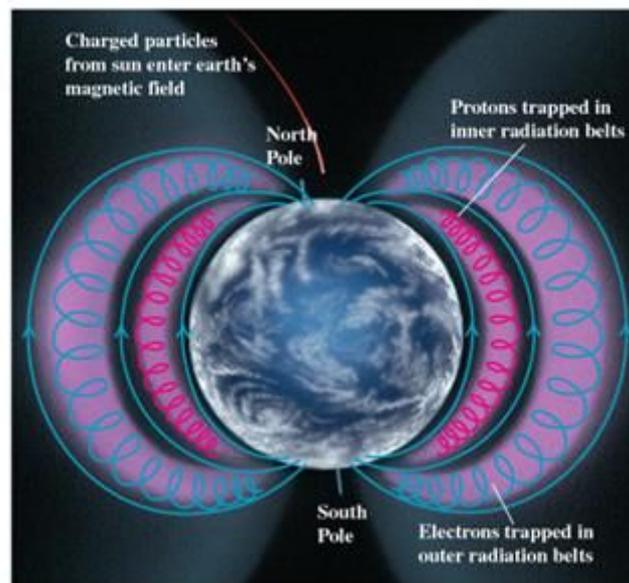
Na Linha do Equador, o campo geomagnético possui uma média de 30000 nT, e nos pólos do planeta pode ser dado como sendo em média 60000 nT. Mas as anomalias e a distribuição não uniforme de materiais magnéticos próximos a crosta terrestre, podem causar grandes variações no campo, na escala de nanoTeslas e alcançar milhares de quilômetros de extensão.

As partículas energéticas, vindas com o vento solar, têm sua trajetória alterada e modulada em virtude da presença do campo geomagnético, impedindo a incidência direta de tais partículas. O campo é responsável por controlar o movimento das partículas ionizadas na Ionosfera, portanto, qualquer perturbação no campo, resultará em modificações nas condições de transporte do meio ionizado.

## **2.2 - Cinturões de Radiação de Van Allen**

O Cinturão de Radiação de Van Allen é a região do espaço próximo a Terra, onde ocorrem o aprisionamento e a concentração de partículas energéticas nas linhas do campo magnético. Esta região foi descoberta por James Van Allen em 1958 e é constituída de dois cinturões em forma de anéis com centro no equador, sendo o interno localizado entre 1000 e 5000 km de altitude, e o segundo cinturão situado entre 15000 e 30000 km de altitude.

Quando raios cósmicos se chocam contra os constituintes atmosféricos, ocorre a desintegração de átomos e uma parte dos nêutrons é ejetada para fora da atmosfera, onde decaem em prótons e elétrons na região do cinturão interno, sendo aprisionadas e então espiralando ao longo das linhas de campo geomagnético, ver Figura 2.2. O cinturão externo contém partículas eletricamente carregadas tanto de origem atmosférica quanto solar, principalmente íons de hélio trazidos pelo Vento Solar. Durante períodos de atividade solar mais intensa, grande parte das partículas eletricamente carregadas vindas com o Vento Solar, conseguem romper a barreira criada pelos Cinturões de Radiação de Van Allen, que ao atingirem a alta atmosfera produzem fenômenos como as auroras polares e as tempestades magnéticas.



**Figura 2.2** – Representação dos Cinturões de Radiação de Van Allen. Na representação é possível visualizar o movimento das partículas energéticas nos cinturões, causadas pelas linhas de campo geomagnético.

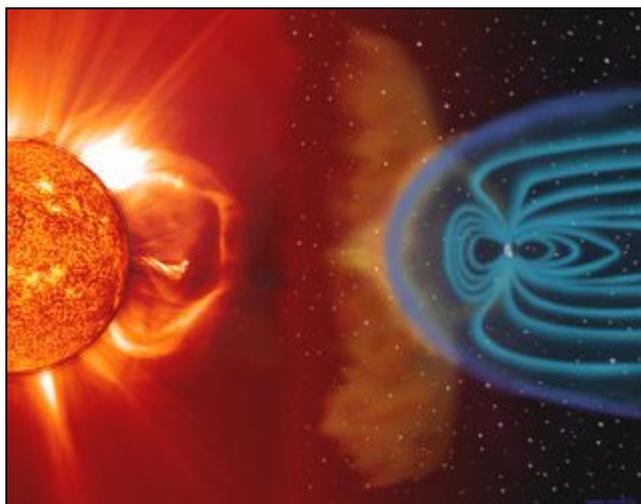
Fonte: [http://fisica.ufpr.br/viana/fisicab/aulas2/a\\_21.htm](http://fisica.ufpr.br/viana/fisicab/aulas2/a_21.htm)

### 2.3 - Vento Solar, Tempestades e Sub-tempestades Geomagnéticas

O Sol está continuamente emitindo radiação e partículas carregadas, tais como elétrons, prótons e subpartículas. A emissão dessas partículas recebe o nome de Vento Solar.

As emissões provenientes do Sol, que podem ser chamadas de ejeções de massa coronal, ao atingir o campo geomagnético, faz com que este se confine e se distorça, formando uma cavidade com uma longa cauda que se estende por vários raios terrestres na direção anti-solar. Esta cavidade recebe o nome de magnetosfera, como ilustrado na Figura 2.3.

Como o Sol é instável, frequentemente ocorrem explosões solares, que são erupções de plasma solar para o meio interplanetário. Quando essas erupções solares são violentas, podem resultar em tempestades e sub-tempestades geomagnéticas na Terra, que influem diretamente no clima espacial do planeta.



**Figura 2.3** – Representação do choque de partículas energéticas com o campo geomagnético. Em azul, representação da magnetosfera.

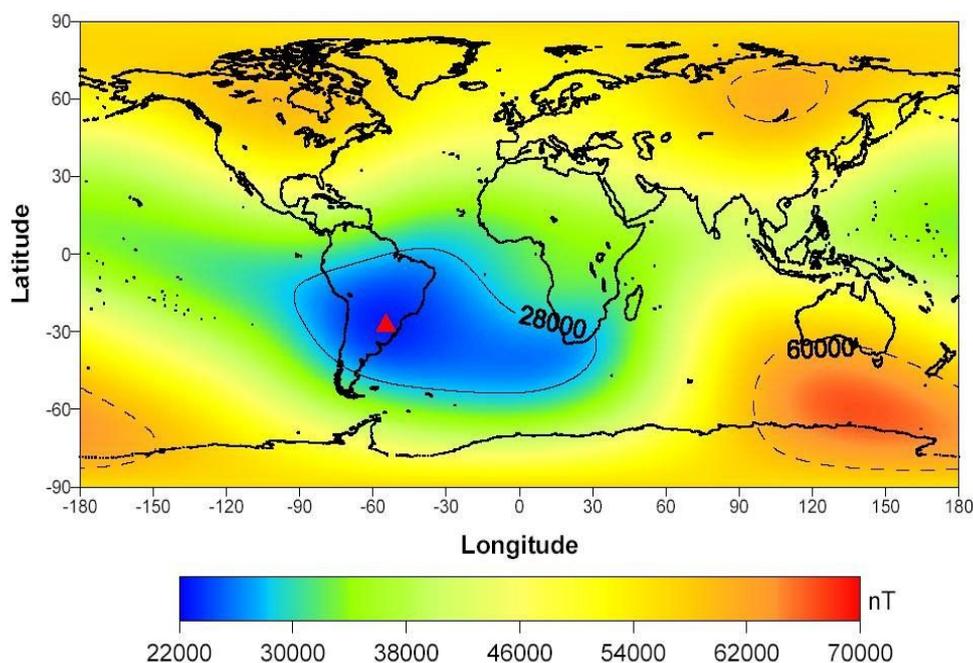
Fonte: <http://terraagora.blogspot.com/2009/01/anomalia-magnética-do-atlântico-sul.html>

Tempestades geomagnéticas são alterações que ocorrem na magnetosfera quando uma sequência de eventos que ocorrem após uma explosão solar. Caso o campo magnético interplanetário estiver numa configuração adequada, e se esse evento for suficientemente longo, o Vento Solar pode comprimir o campo geomagnético e transferir parte de sua energia para a Magnetosfera, dando princípio a uma tempestade geomagnética. Estas tempestades podem alcançar variações de centenas de nT e afetar sistemas de distribuição de energia elétrica, sistema de telecomunicação e danificar satélites.

As sub-tempestades são menos intensas que as tempestades, embora corram com maior frequência. Sua origem está ligada as correntes de campo que fluem na região auroral. Ao ocorrer o transporte de energia de interação entre o Vento Solar e a Magnetosfera, ocasionado pelo balanço dinâmico da energia das correntes de campo quando se torna instável, surgem as sub-tempestades que alcançam variações da ordem dos 40 nT.

## 2.4 - Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS)

A Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS) é uma porção do planeta que apresenta o campo magnético terrestre com uma intensidade muito baixa, tendo em seu centro uma intensidade em torno de 23000 nT, podendo ser considerado o mínimo global, ver Figura 2.4. Esta anomalia foi descoberta em meados de 1950 e localizava-se sobre o Atlântico Sul, por este motivo recebeu o nome. A AMAS não é estática e atualmente encontra-se em lento movimento para o oeste geográfico, em direção à Argentina e o Chile. Sua origem está ligada a distribuições assimétricas de corrente elétrica no magma fluido do interior da Terra, de forma que, localmente é gerado um campo magnético oposto ao campo principal da Terra, e conseqüentemente o campo geomagnético é enfraquecido nesta região.



**Figura 2.4** – Mapa do campo magnética da Terra para o ano de 2000, mostrando a localização da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (em azul) e do seu centro (triângulo vermelho).

Fonte: <http://anomalia.magnetica.atlantico.sul.googlepages.com/>

A menor intensidade do campo geomagnético nesta região, e com isto, sua menor rigidez magnética, propicia a precipitação de partículas energéticas provenientes do Sol



e aprisionadas nos Cinturões de Radiação de Van Allen, que contribuem para a ionização das camadas mais internas da Ionosfera Terrestre e produção de efeitos semelhantes ao que ocorrem nas regiões polares aurorais. O ponto de reflexão das partículas aprisionadas, que estão espiralando nas linhas do campo geomagnético, sobre a AMAS, é aproximadamente 100 km de altitude. Esta região é onde o Cinturão Interno de Radiação está mais próximo da superfície terrestre, e então as partículas energéticas precipitam e ionizam os constituintes atmosféricos. Em períodos de tempestades magnéticas, a precipitação é bastante intensificada, principalmente em períodos de máximo solar do ciclo solar, onde ocorre aumento das ejeções de massa coronal e do vento solar, que ocasionam as chamadas Tempestades e Sub-Tempestades Magnéticas em maior quantidade e intensidade.

## CAPÍTULO 3

### RIÔMETROS

#### 3.1 – Riômetros

O Riômetro (do inglês *Riometer: Radio Ionosphere Opacity Meter*, ou seja, medida da opacidade relativa da Ionosfera) consiste de um simples receptor que registra a intensidade do ruído cósmico incidente sobre a superfície terrestre, através de uma antena direcional. Por ruído cósmico entende-se a radiação eletromagnética proveniente das mais diversas fontes do espaço. Como a intensidade das ondas é muito tênue, a antena e o Riômetro devem ser instalados em locais afastados de fontes de radiointerferência, tais como, os próprios radiotransmissores, microcomputadores, motores elétricos, entre outros. Os Riômetros normalmente captam os sinais em frequências que variam de 20 MHz a 50 MHz e investigam principalmente a absorção na baixa Ionosfera (camadas D e E) situada na faixa de 80 km a 130 km. Atualmente encontra-se instalado no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/INPE – MCT, em São Martinho do Sul, RS, um Riômetro do tipo Imageador, operando na frequência de 38,2 MHz e dois Riômetros convencionais, estando um deles operando na frequência de 30 MHz e o outro operando em 32 MHz.

Para um dado ponto no espaço, fora da interferência da atmosfera terrestre, podemos considerar que o sinal do ruído cósmico possui uma intensidade constante, mas quando o ruído atravessa a atmosfera, parte da energia da onda é dissipada na Ionosfera sob forma de energia cinética transferida aos elétrons livres. Portanto, quanto maior for a densidade eletrônica na Ionosfera maior será a absorção do sinal do ruído cósmico.

Direcionando a antena numa determinada direção fixa, a intensidade registrada depende apenas da hora local. Assim, a Terra ao girar em torno do seu eixo, fará com que a antena varra uma determinada faixa do céu. Por isto, a intensidade registrada apresentará um ciclo diário, com um máximo e um mínimo. Logo, a amplitude do sinal dependerá da orientação da antena.

### 3.2 - Curva do Dia Quiet

O nível de ruído cósmico sobre a superfície terrestre, não pode ser determinado sem a absorção ionosférica, pois esta absorção está sempre presente. Dessa forma, determina-se através de métodos estatísticos uma curva com o nível de intensidade do ruído cósmico mais alto captado no Riômetro ao longo de vários dias de dados, que se refere a um período magneticamente calmo, com pouca absorção. Este curva é denominada de Curva do Dia Quiet (QDC – *Quiet Day Curve*).

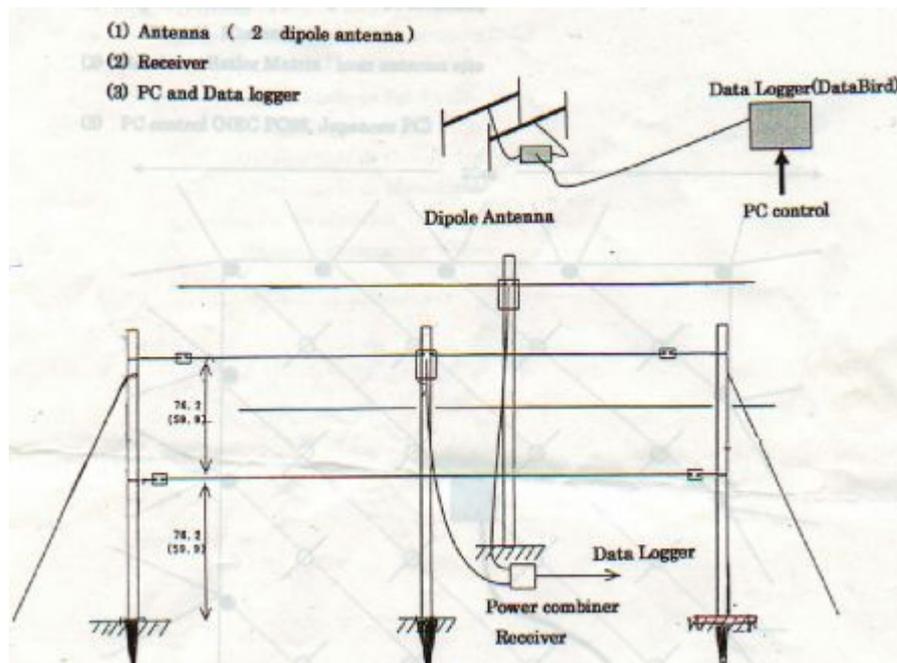
A transparência da atmosfera terrestre, em um particular instante de tempo é dada pela razão entre a intensidade do sinal recebido e o sinal recebido na mesma hora sideral sob condições de absorção ionosférica desprezível. É possível obter a absorção ionosférica em um dado instante de tempo pela relação:

$$A(db) = 10 \log (I_r/I_q)$$

onde,  $I_r$  é a potência de ruído recebida num dado instante de tempo e  $I_q$  é a potência do ruído da curva do dia quieto para a mesma hora sideral.

### 3.3 - Riômetro Convencional

Consiste de um Riômetro com antenas do tipo dipolo de meia onda, unidas por um divisor de potência, com um elemento refletor cada, seu esquema de montagem está apresentado na Figura 3.2. Este aparelho produz imagens em duas dimensões da absorção ionosférica. No Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS, os Riômetros convencionais foram instalados na direção Norte-Sul magnético.

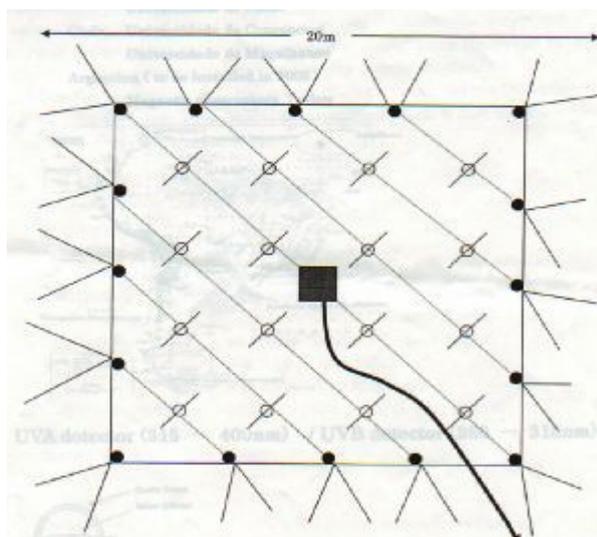


**Figura 3.2** – Esquema de construção de um Riômetro convencional.

Fonte: Material fornecido pelo Dr. Kazuo Makita.

### 3.4 - Riômetro Imageador

O Riômetro Imageador consiste de uma matriz 4x4 (16 antenas), ver Figura 3.3, do tipo dipolo simples, espaçadas uma da outra por uma distância de meio comprimento de onda ( $\sim 3,93\text{m}$ ) e com uma altura a partir do solo de um quarto de comprimento de onda ( $\sim 1,96\text{m}$ ). Este equipamento capta sinais de 38,2 MHz e produz 16 feixes que varrem a Ionosfera local com um campo de visão de aproximadamente 330x330 km um uma altitude de 100 km, tanto na direção norte-sul, quanto na direção leste-oeste. Além de produzir imagens em duas dimensões da absorção, este equipamento é capaz de capturar o movimento das irregularidades ionosféricas



**Figura 3.3** – Disposição das antenas de um Riômetro imageador 4x4.

Fonte: Material fornecido pelo Dr. Kazuo Makita.

## CAPÍTULO 4

### PROJETOS COM COOPERAÇÃO DO LABORATÓRIO DE SONDAAGEM IONOSFÉRICO E ATMOSFERA NEUTRA TERRESTRE

#### **4.1 - Rede SARINET – *SOUTH AMERICA RIOMETER NETWORK***

O projeto SARINET (do inglês: *South America Riometer Network*) tem como objetivo a implantação completa de uma rede de Riômetros Imageadores e de um canal no Cone-Sul da América: no Brasil, Chile e Argentina, permitindo o estudo das interações Sol-Terra, a pesquisa da precipitação de partículas na Anomalia Magnética do Atlântico Sul em função da atividade geomagnética e de sua geometria. Tal como, será possível determinar a estrutura espacial e dinâmica da AMAS e monitorar a escala espacial da variação de absorção e o movimento do plasma ionosférico ao longo da região da anomalia. O Brasil participa desta rede no âmbito da cooperação internacional entre Japão, Chile e Argentina, tendo como Principal Investigador e Coordenador Internacional o Prof. Dr. Kazuo Makita, da *University of Takushoku*, Tokyo – Japão, com o qual o bolsista passou um curto período no mês de fevereiro de 2009 no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS, auxiliando e aprendendo sobre os Riômetros Imageadores. O bolsista participa do projeto, fazendo a coleta dos dados de 2009 enviando-os para o servidor do projeto SARINET, assim como salvar uma cópia no servidor do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE - MCT.

#### **4.2 - Rede SAVNET – *SOUTH AMERICA VLF NETWORK***

O projeto SAVNET (do inglês: *South America VLF Network*) consiste em um conjunto de sistemas de estações de radio recepção em baixas frequências, distribuídos na América do Sul, sendo utilizado para o monitoramento da atividade solar a longo prazo e para o estudo dos seus efeitos na grande região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul. A rede usa as propriedades da radio propagação de ondas VLF (*Very Low Frequency*: 3 – 30 kHz). O Projeto tem como Principal Investigador e Coordenador Geral o Dr. Raulin Jean Pierre, do Centro de Rádio Astronomia e Astrofísica Mackenzie – CRAAM, São Paulo, Brasil.



Em distâncias longas entre um receptor e um transmissor, a base da Ionosfera atua como a parede superior de um imenso guia de onda esférica, sendo que a parte inferior é constituída da superfície terrestre. A propagação de ondas VLF é uma ferramenta potente para o estudo da camada D ionosférica e camada E noturna, devido ao fato que esta propagação pode ser efetuada através de distâncias de até milhares de quilômetros com grande estabilidade. Efeitos físicos são observados nas características das ondas de VLF, como sua fase e amplitude, quando acontece uma perturbação que resulta em uma mudança das propriedades elétricas da baixa Ionosfera.

No Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/INPE – MCT, em São Martinho do Sul, RS, encontram-se instaladas as três antenas de uma estação do Projeto SAVNET, sendo uma vertical e duas Loop, os pré-amplificadores, de sistema GPS e de computador, que são os constituintes básicos do sistema de uma estação receptora em VLF da Rede do Projeto SAVNET. Atualmente, a estação do Projeto SAVNET do Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/INPE – MCT, possui suas antenas Loop desativadas devido a existência de forte radio interferência provocado pelo sistema UPS de geração de energia do Observatório. Um novo Sistema UPS esta sendo estudo para ser adquirido para o área o Observatório Espacial do Sul livre de radio interferência no intervalo de 0,1 a 50 KHz.



## CONCLUSÃO

No Relatório o bolsista demonstra as atividades desenvolvidas no Projeto **“ESTUDOS DO PLASMA IONOSFÉRICO NA REGIÃO DA ANOMALIA GEOMAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL”**, que foi desenvolvido no período de Janeiro de 2009 a Julho de 2009, no Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – LSIANT/CRS/INPE – MCT, em Santa Maria, RS.

Durante o período de execução do Projeto de Pesquisa, foram feitas revisões bibliográficas para o maior conhecimento do aluno sobre a Ionosfera e a Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS. Foi estudada a importância da Ionosfera para a transmissão de sinais de rádio em longas distâncias. Testes, coleta de dados e parte da interpretação de dados foram efetuadas. Uma substancial troca de correspondências eletrônicas foi efetuada com o Coordenador Geral do Projeto SAVNET relativas as transferências eletrônicas de dados. Devido a problemática da rádio interferência provocada pelo Sistema UPS do Observatório Espacial do Sul, em baixas frequências foram realizados muitos testes, inclusive com a transferência física do local de instalação das antenas para diferentes áreas dentro do Observatório Espacial do Sul com objetivo de minimizar as perdas dos sinais observados. Nas reinstalações das antenas Loop do Projeto SAVNET, foi possível ao aluno aprender e entender sobre o funcionamento dos sistemas de antenas do Projeto.



## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

**AVEIRO, H. C. ESTUDOS DA ELETRODINÂMICA ELETROJATO EQUATORIAL BASEADO EM DADOS OBSERVADOS DO RADAR DE ESPALHAMENTO COERENTE DE SÃO LUÍS.** Santa Maria, 2004. 60 p.

**DAROIT, C. A. ESTUDO DA ELETRODINÂMICA DA IONOSFERA BASEADO EM DADOS DE RADARES COERENTES E SONDAADORES DIGITAIS.** Santa Maria, 2008. 84 p.

**DIOGO, E. M. ESTUDO DA ANOMALIA EQUATORIAL DE IONIZAÇÃO.** 2008. 103 p. (INPE-15377TDI/1396). Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2008. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/10.10.15.10>>. Acesso em: 09 abr. 2009.

**JASKULSKI, T.; MORO, J. ESTUDOS DO PLASMA IONOSFÉRICO NA REGIÃO DA ANOMALIA GEOMAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL.** Santa Maria, 2007. 54 p.

**KIRCHHOFF, V. W. J. INTRODUÇÃO À GEOFÍSICA ESPACIAL.** 1º Edição. São Paulo: Nova Stella, Editora da Universidade de São Paulo: FAPESP, 1991. 151 p. ISBN 85-7233-001-1

**MOOR, L. P. ESTUDO DA VELOCIDADE DE DERIVA ZONAL DAS IRREGULARIDADES IONOSFÉRICAS UTILIZANDO RECEPTORES ESPAÇADOS DE GPS E RECEPTORES VHF.** Santa Maria, 2007. 109p.

**MORO, J.; SILVEIRA, A. M. M. ESTUDOS DO PLASMA IONOSFÉRICO NA REGIÃO DA ANOMALIA GEOMAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL.** Santa Maria, 2008. 75 p.