



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° 104748/2010-9

**Dimas Irion Alves – Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT
Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre
LSIANT/CRS/CCR/INPE – MCT
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais
CRS/CCR/INPE - MCT
E-mail: dirion@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 2010



**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: 104748/2010-9

**Relatório elaborado por DIMAS IRION ALVES relativo ao período de
Abril de 2010 a Julho de 2010 de execução das atividades por:**

**Dimas Irion Alves - Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT
E-mail: dirion@lacesm.ufsm.br**

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

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



DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

Título:

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

Processo CNPq N°: 104748/2010-9

Bolsista no período de Abril/10 a julho/10

Dimas Irion Alves

Curso de Engenharia Elétrica

Centro de Tecnologia – CT/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-Orientador:

Dr. Nelson Jorge Schuch

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

Colaboradores:

Dr. Jean Pierre Raulin

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

Dr. Kazuo Makita

University of Takushoku, Tokyo - Japão

Cláudio Machado Paulo

Acadêmico do Curso de Física – Licenciatura Plena da UFSM



Juliano Moro

Mestrando em Geofísica Espacial

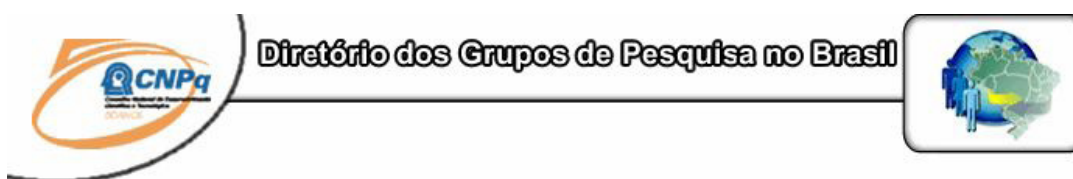
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE/MCT

São José dos Campos, SP.

Locais de Trabalho/Execução do Projeto:

- Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre - LSIANT/CRS/CCR/INPE – MCT
- Observatório Espacial do Sul OES/CRS/CCR/INPE – MCT

Trabalho desenvolvido no âmbito da Parceria e Convênio: INPE/MCT – UFSM, através do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT – UFSM.



Estudante
Dimas Irion Alves



[Link para Currículo Lattes](#)

Dados gerais

Indicadores de produção C, T & A

Dados gerais

Identificação do estudante

Nome: Dimas Irion Alves

Nível de treinamento: Graduação

Currículo Lattes: 01/04/2010 19:04

E-mail:

Homepage: <http://www.ufsm.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](#)

[Desenvolvimento de CubeSats - NANOSATC-BR](#)

[MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO](#)

[MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL](#)

Orientadores participantes de grupos de pesquisa na instituição

[Polinaya Muralikrishna](#)

Indicadores de produção C, T & A dos anos de 2007 a 2010

Tipo de produção	2007	2008	2009	2010
Produção bibliográfica	0	0	1	0
Produção técnica	0	0	4	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: 06/04/2010 10:54

Líder(es) do grupo: Nelson Jorge Schuch

Natanael Rodrigues Gomes

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

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



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

Estudantes	Total: 29
Carlos Pinto da Silva Neto	Lucas Antunes Tambara
Cassio Espindola Antunes	Lucas Lopes Costa
Cássio Rodinei dos Santos	Lucas Lourencena Caldas Franke
Claudio Machado Paulo	Lucas Ramos Vieira
Cristiano Sarzi Machado	Luciano Homercher Dalsasso
Dimas Irion Alves	Nikolas Kemmerich
Edson Rodrigo Thomas	Rafael Lopes Costa
Eduardo Escobar Bürger	Rodrigo da Rosa Azambuja
Eduardo Weide Luiz	Rubens Zolar Gehlen Bohrer
Felipe Cipriani Luzzi	Tardelli Ronan Coelho Stekel
Fernando de Souza Savian	Thalis José Girardi
Guilherme Grams	Tiago Jaskulski
Guilherme Simon da Rosa	William do Nascimento Guareschi
Igor Freitas Fagundes	Willian Rigon Silva
Lilian Piecha Moor	

Técnicos	Total: 2
Fernando Sobroza Pedroso - Graduação - \Outra Função	
Henrique Sobroza Pedroso - Graduação - Analista de Sistemas	

Linhas de pesquisa	Total: 4
<ul style="list-style-type: none">AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIADesenvolvimento de CubeSats - NANOSATC-BRMAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO	



- [MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL](#)

Relações com o setor produtivo	Total: 0
---------------------------------------	-----------------

Indicadores de recursos humanos do grupo	
---	--

	Integrantes do grupo	Total
Pesquisador(es)		42
Estudante(s)		29
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](#)
[Dimas Irion Alves](#)
[Edson Rodrigo Thomas](#)
[Eduardo Weide Luiz](#)
[Felipe Cipriani Luzzi](#)
[Guilherme Grams](#)
[Lilian Piecha Moor](#)
[Rodrigo da Rosa Azambuja](#)
[Tardelli Ronan Coelho Stekel](#)
[Thalis José Girardi](#)
[William do Nascimento Guareschi](#)

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

O aluno agradece a todos os funcionários do CRS/CCR/INPE – MCT pelo apoio e pela infra-estrutura disponibilizada.

Ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação científica – PIBIC/INPE-CNPq/MCT e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, assim como ao Coordenador do Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT pela oportunidade de dar seus primeiros passos na Iniciação Científica e Tecnológica, propiciando grande desenvolvimento acadêmico.

Ao Orientador do Projeto, Dr. Polinaya Muralikrishna, Pesquisador do DAE/CEA/INPE-MCT, pela atenção e ajuda prestada com suas sugestões e correções aos trabalhos desenvolvidos pelo bolsista.

O bolsista agradece especialmente a seu Co-Orientador Dr. Nelson Jorge Schuch, Pesquisador Titular Sênior III do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE – MCT pela confiança depositada, orientação pessoal e acadêmica, auxílio durante os momentos de dificuldades e pelo constante incentivo.

Outro agradecimento especial ao colega de Laboratório Cláudio Machado Paulo e para Juliano Moro, Mestrando em Geofísica Espacial no INPE/MCT, por toda atenção, companheirismo e apoio no desenvolvimento do Projeto de Pesquisa.

Por fim o bolsista agradece a seus amigos e sua família, principalmente a seus pais Maria do Carmo Oliveira Irion e Dimas José Cardoso Alves, pelo constante apoio e incentivo em seus estudos e pelo auxílio para vencer todos os obstáculos e seguir em frente.



RESUMO

Este relatório apresenta as atividades e os estudos realizados referentes ao Projeto **“ESTUDOS DO PLASMA IONOSFÉRICO NA REGIÃO DA ANOMALIA GEOMAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL”** (Processo nº 104748/2010-9) com vigência de Agosto de 2009 a Julho de 2010, realizados por Dimas Irion Alves, aluno do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, bolsista no Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT.

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



SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
CAPÍTULO 1.....	15
IONOSFERA.....	15
1.1 - <i>Introdução</i>	15
1.2 - <i>Produção de Íons</i>	16
1.3 - <i>Perdas de Íons</i>	17
1.4 - <i>Regiões Ionosféricas</i>	17
1.4.1 - <i>Região D</i>	19
1.4.2 - <i>Região E</i>	19
1.4.3 - <i>Região F</i>	19
CAPÍTULO 2.....	21
CAMPO GEOMAGNÉTICO	21
2.1 - <i>Campo Magnético Terrestre</i>	21
2.2 - <i>Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS)</i>	22
2.3 - <i>Cinturões de Radiação de Van Allen</i>	24
2.4 - <i>Distúrbios Ionosféricos Súbitos (DIS), Tempestades Magnéticas e Sub-Tempestades Magnéticas</i>	25
CAPÍTULO 3.....	28
ESTUDO DO PLASMA IONOSFÉRICO COM RIÔMETROS	28
3.1 - <i>Riômetros</i>	28
3.2 - <i>Curva do Dia Quietos (QDC)</i>	29
3.3 - <i>Riômetro Imageador</i>	30
3.4 - <i>Rede SARINET</i>	33
CAPÍTULO 4.....	35
ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE A VIGÊNCIA DA BOLSA	35
CAPÍTULO 5.....	36
CONCLUSÃO.....	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 – ILUSTRAÇÃO DA DIVISÃO DA ATMOSFERA TERRESTRE EM CAMADAS DE ACORDO COM A ALTITUDE	15
FIGURA 1.2 – ILUSTRAÇÃO DA VARIAÇÃO DA DENSIDADE ELETRÔNICA E A VARIAÇÃO DE ALTITUDE DA BASE DA IONOSFERA ENTRE OS PERÍODOS DIURNO E NOTURNO	16
FIGURA 1.3 – ILUSTRAÇÃO DAS DENSIDADES ELETRÔNICAS EM RELAÇÃO À ALTITUDE DAS TRÊS REGIÕES IONOSFÉRICAS, COM SUA NOMENCLATURA.....	18
FIGURA 1.4 – REPRESENTAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DAS REGIÕES E CAMADAS IONOSFÉRICAS.....	18
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	21
FIGURA 2.2 – ESQUEMA DA INTENSIDADE DO CAMPO MAGNÉTICO OBTIDO PELO MODELO IGRF PARA A ÉPOCA 2000, BASEADO EM OBSERVAÇÕES DE SOLO, LOCALIZAÇÃO DA ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL (EM AZUL) E DO SEU CENTRO (TRIÂNGULO VERMELHO)	23
FIGURA 2.3 – REPRESENTAÇÃO DO CINTURÃO DE RADIAÇÃO DE VAN ALLEN	24
FIGURA 2.4 – REPRESENTAÇÃO DO RESULTADO DA COLISÃO DE PARTÍCULAS ENERGÉTICAS COM CONSTITUINTES ATMOSFÉRICOS	25
FIGURA 2.5 – REPRESENTAÇÃO DA MAGNETOSFERA (AZUL) E DO CHOQUE DE PARTÍCULAS ENERGÉTICAS COM O CAMPO GEOMAGNÉTICO	26
FIGURA 3.1 – DIAGRAMA DE BLOCOS SIMPLIFICADO DE UM RIÔMETRO	28
FIGURA 3.2 – REPRESENTAÇÃO DA QDC (VERMELHO) E DO SINAL ATENUADO PELA IONOSFERA (PRETO).....	29
FIGURA 3.3 – FOTOGRAFIA DAS ANTENAS DO RIÔMETRO IMAGEADOR NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL, OES/CRS/CCR/INPE – MCT 29,4°S, 53,8°O 480 M DE ALTITUDE, EM SÃO MARTINHO DA SERRA, RS.....	30
FIGURA 3.4 – IMAGENS GERADAS A PARTIR DE UMA ROTINA <i>MATLAB</i> , ATRAVÉS DE DADOS OBTIDOS PELO SISTEMA RIÔMETRO IMAGEADOR OPERACIONAL NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL – OES/CRS/CCR/INPE – MCT 29,4°S, 53,8°O 480 M DE ALTITUDE, EM SÃO MARTINHO DA SERRA, RS, DO DIA 15/12/2006	31
FIGURA 3.5 – DISPOSIÇÃO DAS ANTENAS DE UM RIÔMETRO IMAGEADOR (4X4).....	31
FIGURA 3.6 – GRÁFICOS GERADOS A PARTIR DE UMA ROTINA <i>MATLAB</i> , ATRAVÉS DE DADOS OBTIDOS PELO SISTEMA RIÔMETRO IMAGEADOR OPERACIONAL NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL – OES/CRS/CCR/INPE – MCT 29,4°S, 53,8°O 480 M DE ALTITUDE, EM SÃO MARTINHO DA SERRA, RS, DO DIA 15/12/2006	32
FIGURA 3.7 – REPRESENTAÇÃO DOS SÍTIOS DE COLETAS DE DADOS DE RIÔMETROS IMAGEADORES NA REDE SARINET	33



INTRODUÇÃO

São apresentadas no Relatório as atividades que foram realizadas no Projeto: **ESTUDOS DO PLASMA IONOSFÉRICO NA REGIÃO DA ANOMALIA GEOMAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL** (Processo número **104748/2010-9**) com vigência de Agosto de 2009 a Julho de 2010. No período de **Abril de 2010 até Julho 2010** as atividades foram realizadas pelo aluno **Dimas Irion Alves**, autor deste relatório, aluno do Curso de Engenharia Elétrica da UFSM, dando continuidade as atividades anteriores.

O objetivo do Projeto de Pesquisa é observar a variação da absorção ionosférica de ondas de rádio de origem cósmica com o equipamento “Riômetro”, instalado e em operação no Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CCR/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS, com o estudo e o desenvolvimento da pesquisa, redução, análise e interpretação de dados, no Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre, do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE – MCT, em Santa Maria, RS. Obtendo assim dados experimentais a fim de estabelecer a relação entre a absorção ionosférica do ruído cósmico e o fluxo de partículas energéticas observadas na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS.

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 de seu comportamento.

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 refere-se ao equipamento Riômetro, sua constituição e método de análise dos dados obtidos. Além de feita uma apresentação simplificada do Projeto SARINET – *South America Riometer* que o Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre – LSIANT/CRS/CCR/INPE – MCT, auxilia no desenvolvimento.

No Capítulo 4 é feito um resumo das atividades desenvolvidas pelo bolsista durante o a vigência da bolsa.

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 é formada por moléculas de gases em estado neutro. A Ionosfera, Atmosfera ionizada, é constituída por íons moleculares e elétrons livres produzidos pela influência ionizante da radiação solar e por partículas cósmicas energéticas. Não existe um limite definido entre a Atmosfera neutra e a Ionosfera, devido à grande variação deste limite durante os períodos noturnos e diurnos (Figura 1.2). Durante o dia a base da Ionosfera, limite entre a Atmosfera neutra e a Ionosfera, situa-se em torno de 60 a 70 km de altitude e a noite situa-se em torno de 90 a 100 km de altitude.

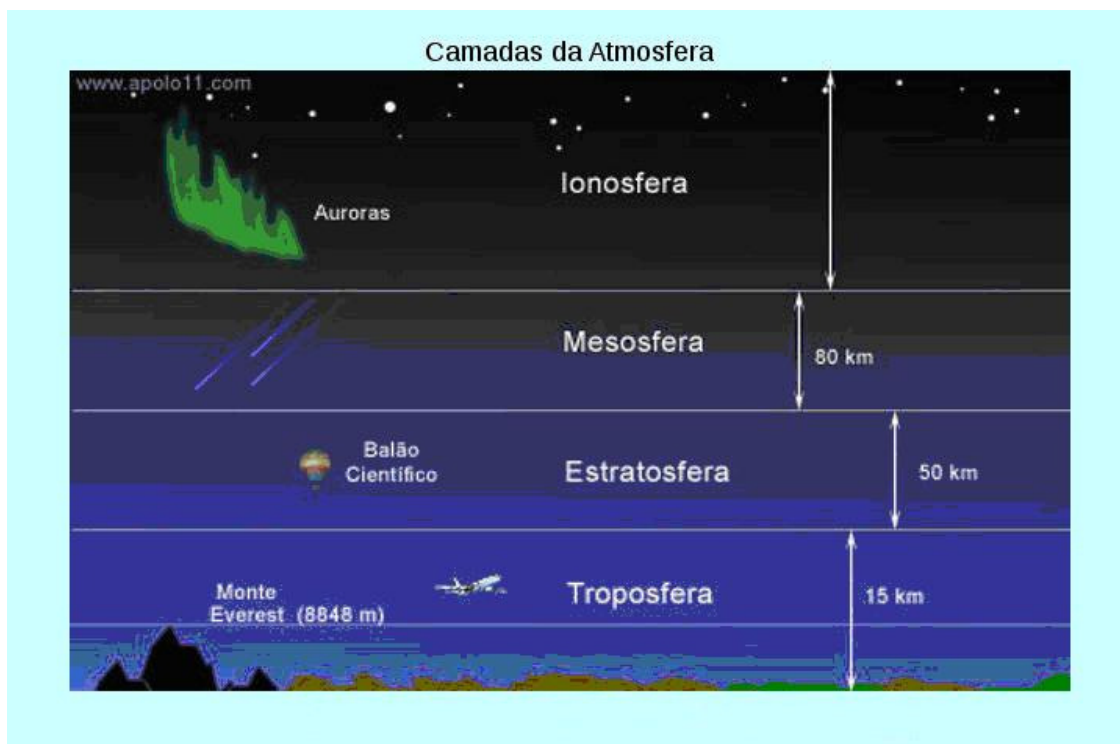


Figura 1.1 – Ilustração da divisão da Atmosfera Terrestre em camadas de acordo com a altitude.

Fonte: http://www.apolo11.com/spacenews.php?posic=dat_20090413-091920.inc

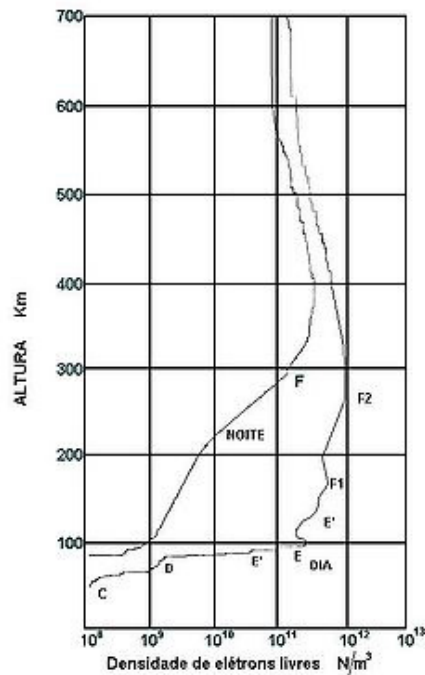


Figura 1.2 – Ilustração da variação da densidade eletrônica e a variação de altitude da base da Ionosfera entre os períodos diurno e noturno.

Fonte: http://sites.google.com/site/ionosferacamadaf3/_/rsrc/1257081183393/py5aal/Ionograma.jpg

1.2 – Produção de íons

A Ionosfera tem origem a partir da ionização dos elementos neutros constituintes da Atmosfera como N_2 , O_2 e O , 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. A ionização ocorre principalmente através da absorção de radiação solar na faixa espectral do extremo ultravioleta (com λ entre 1027 e 1118 Å) e dos raios-X (com λ entre 2 e 8 Å). A radiação *Lyman- α* (1216 Å) também tem uma importante influência na ionização na base da Ionosfera, assim como a precipitação de partículas energéticas. Uma vez formados, os íons e elétrons tendem a recombinar-se ou reagir com outras espécies de gases para produção de outras espécies de íons.

Devido a isso, a dinâmica de equilíbrio da densidade eletrônica da Ionosfera depende das velocidades relativas de produção e perdas de íons e pode ser expressa na seguinte equação da continuidade:

$$\frac{\partial N}{\partial t} = q - L - \text{div}(Nv) \quad (1.2-1)$$

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

$$q = \eta \sigma n I \quad (1.2-2)$$

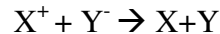
Onde I é a intensidade da radiação ionizante no topo da Atmosfera, η é a eficiência da ionização, σ é a secção transversal de absorção do gás e n a concentração de átomos.

1.3 - Perdas de Íons

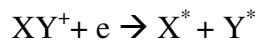
Os processos de recombinação, de íons e elétrons, e o movimento do plasma causam uma perda de ionização, diminuindo a densidade eletrônica da Ionosfera.

Os processos que podem ocorrer são:

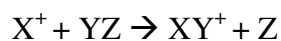
- Recombinação Iônica:



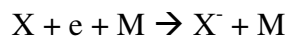
- Recombinação eletrônica:



- Troca de carga (γ):



- Junção eletrônica (*attachment*):



- Transporte vertical: o movimento vertical do plasma, formado por íons e elétrons, que auxilia nos processos de perda da região F da Ionosfera.

1.4 – Regiões da Ionosfera

A Ionosfera é dividida em três regiões distintas: D, E e F (Figuras 1.3 e 1.4). Estas divisões levam em consideração os pontos em que ocorrem os picos na densidade

eletrônica, pois quando 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.

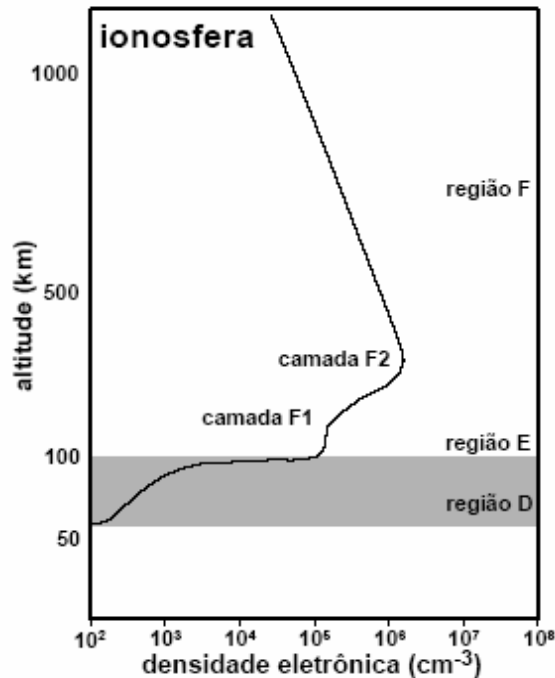


Figura 1.3 – Ilustração das densidades eletrônicas em relação à altitude das três regiões ionosféricas, com sua nomenclatura.

Fonte: modificada de Rishbeth (1969).

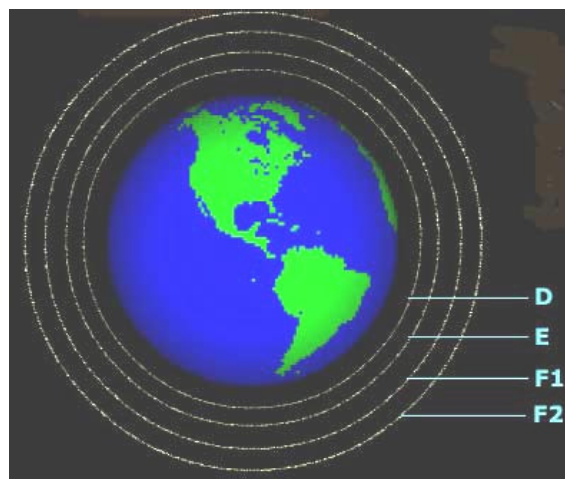


Figura 1.4 – Representação da localização das regiões e camadas ionosféricas.

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

1.4.1 – Região D

É a região inferior da Ionosfera que divide a Atmosfera neutra da Ionosfera e está situada entre 60 e 90 km de altitude, aproximadamente. 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. Esta região possui a menor densidade eletrônica da Ionosfera, desaparecendo durante o período de baixa radiação solar (noite), devido à combinação de elétrons livres presentes nesta região com moléculas neutras formando íons, este processo é denominado *attachment*.

As principais fontes de ionização da região D são a radiação *Lyman- α* , a radiação na faixa dos Raios X, os raios cósmicos e as partículas energéticas de origem solar.

1.4.2 – Região E

É a região situada entre a camada D e a F que ocorre em torno de 80 a 130 km de altitude. Nesta região ocorre o fenômeno do Eletrojato Equatorial, que é uma corrente restrita a região ao longo do equador magnético. Em torno de 110 km a condutividade ionosférica é máxima, região também conhecida como região do dínamo.

As principais fontes de ionização são as radiações na faixa do extremo ultravioleta e os *raios-X moles* (de menor energia e de comprimento de onda maior).

1.4.3 – Região F

Esta região é subdividida nas camadas F1 e F2.

A camada F1, situada entre 140 e 200 km de altitude é formada principalmente a partir da ionização solar com radiação na faixa do extremo ultravioleta. Esta camada ocorre somente de dia, pois depende do ângulo zenital solar. Nesta região ocorre também a transição entre as leis quadráticas de perdas eletrônicas para as leis lineares, (Figura 1.3).



A camada F2, situada entre 200 e 1000 km de altitude é a região que possui a maior densidade eletrônica da Ionosfera, mesmo durante a noite. A densidade eletrônica máxima da camada F2 esta situada entre 250 e 400 km. A radiação na faixa do extremo ultravioleta é a principal radiação ionizante desta região.

Existe um grande interesse no estudo da radio propagação na camada F2, por ela possuir um grande número de irregularidades ionosféricas, como bolhas de plasma, que alteram as características do meio.

CAPÍTULO 2

CAMPO GEOMAGNÉTICO

2.1 – Campo Magnético Terrestre

A Terra possui um Campo Magnético que a envolve e se estende pelo espaço interplanetário, (Figura 2.1). A Terra assemelha-se a um dipolo-magnético, com seus dois pólos, localizados próximos aos pólos geográficos, cujas linhas de força magnéticas estendem-se a grandes distâncias da Terra, cerca de 10 raios Terrestres no lado de frente ao sol.

Acredita-se que a origem, de cerca de 99%, do Campo Geomagnético é a de um processo de indução eletromagnética que ocorre no interior da Terra, devido a fortes correntes elétricas que fluem na parte líquida do núcleo Terrestre. Estes fenômenos são conhecidos como Dínamo Hidromagnético. O restante do Campo é considerado fruto de correntes elétricas presentes nas regiões ionizadas ao redor da Terra.



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/>

As medidas de Campo Magnético são feitas com instrumentos chamados magnetômetros. Devido a sua importância, para o estudo da magnetosfera, existe uma rede mundial de magnetômetros que medem, permanentemente, as componentes do Campo Magnético Terrestre.

O Campo Geomagnético possui uma intensidade na Linha do equador aproximadamente 30000 nT, e nos pólos do planeta de aproximadamente 60000 nT. Porém, as anomalias e a distribuição não uniforme de materiais magnéticos próximos a crosta Terrestre, podem causar grandes variações na intensidade do Campo Magnético, podendo alcançar milhares de quilômetros de extensão.

O Campo Magnético Terrestre controla o movimento das partículas ionizadas, pois ele altera e modula a trajetória das partículas energéticas incidentes, impedindo a incidência direta de tais partículas na Atmosfera Terrestre, logo, qualquer perturbação no Campo Magnético Terrestre ocasiona modificações nas condições de transporte do meio ionizado.

2.2 – Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS)

Descoberta na década de 1950, a Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS) (Figura 2.2) localizava-se sobre o Atlântico, por este motivo recebeu este nome. A AMAS, que esta em continuo movimento para o oeste, é a região que apresenta a menor intensidade do Campo Geomagnético ao longo da superfície Terrestre, localizada atualmente no sudeste brasileiro.

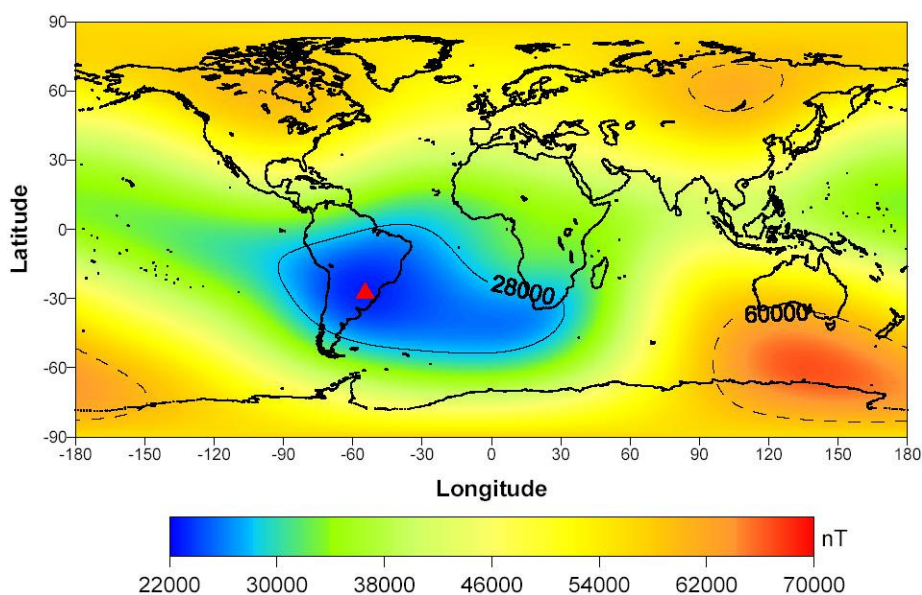


Figura 2.2 – Esquema da intensidade do Campo Magnético obtido pelo modelo IGRF para a época 2000, baseado em observações de solo, localização da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (em azul) e do seu centro (triângulo vermelho).

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

Acredita-se que a AMAS é causada por distribuições assimétricas de correntes elétricas no magma fluído do interior da Terra, gerando um Campo Magnético oposto ao Campo Magnético Principal Terrestre, localmente, enfraquecendo o Campo Magnético nesta região. Em virtude do Campo Magnético nesta região ser mais fraco, há um contínuo fluxo de partículas energéticas precipitando-se, contribuindo para a ionização da Ionosfera Terrestre e produzindo efeitos semelhantes aos que ocorrem nas regiões polares aurorais.

A menor intensidade do Campo Geomagnético, nesta região, facilita a entrada de partículas energéticas aprisionadas nos Cinturões de Radiação de Van Allen. O ponto de reflexão das partículas aprisionadas, que estão espiralando nas linhas do Campo Geomagnético, sobre a AMAS é aproximadamente 100 km de altitude, região onde cinturão interno esta mais próximo da superfície Terrestre, enquanto que no local que é o conjugado magnético no hemisfério norte, esta altitude é em torno de 600 km. Esta precipitação é bastante intensificada em períodos de tempestades magnéticas, principalmente durante períodos de máximo solar.

2.3 – Cinturões de Van Allen

O Cinturão de Van Allen foi descoberto em 1958 por James Van Allen. Ele é formado por em dois cinturões em forma de anéis com centro no Equador. O primeiro situado entre 1000 e 5000 km de altitude e o segundo situado entre 15000 e 25000 km de altitude (Figura 2.3). Ele consiste em uma região, próxima ao planeta, onde ocorre o aprisionamento e a concentração de partículas nas linhas de Campo Geomagnético.

O primeiro Cinturão é constituído basicamente de prótons altamente energéticos que tem origem do decaimento de nêutrons produzidos quando ocorre a colisão de raios cósmicos contra os constituintes da Atmosfera Terrestre (Figura 2.4). Parte dos nêutrons é arremessada para fora da Atmosfera e se desintegra em prótons e elétrons ao cruzar a região do Cinturão. Essas partículas então se movem em trajetórias espirais ao longo das linhas de Campo Magnético da Terra.

O segundo Cinturão é constituído partículas eletricamente carregadas tanto de origem atmosférica quanto solar; são principalmente íons hélio trazidos no Vento Solar.

Durante períodos de atividade solar mais intensa, há um aumento do fluxo de partículas provenientes do vento solar, que podem romper a barreira formada pelo Cinturão de Van Allen e originar fenômenos como tempestades magnéticas e auroras polares.

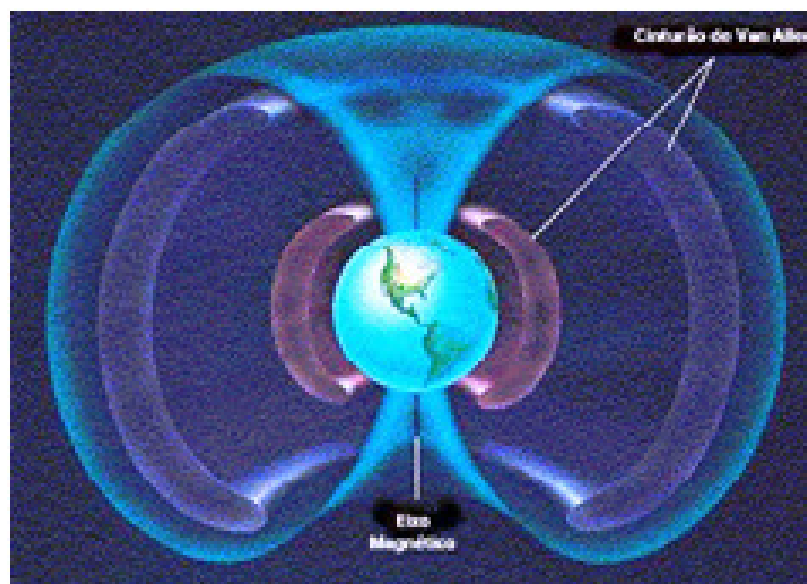


Figura 2.3 – Representação do Cinturão de Radiação de Van Allen.

Fonte: http://www.apolo11.com/imagens/etc/cinturao_van_allen.jpg

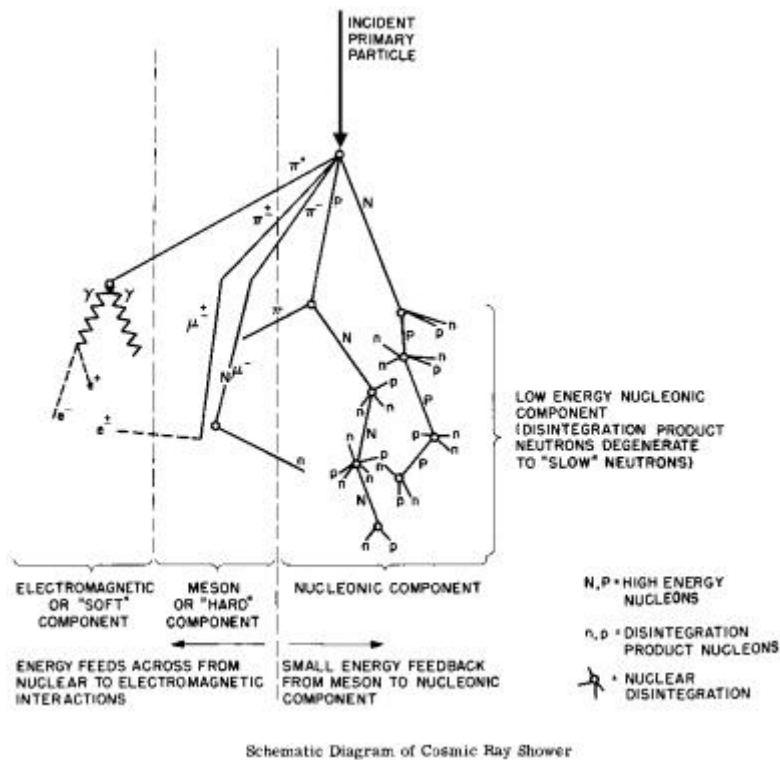


Figura 2.4 – Representação do resultado da colisão de partículas energéticas com constituintes atmosféricas.

Fonte: <http://sites.google.com/site/unibemfisica/Home/campus-de-paula-freitas>

2.4 –Distúrbios Ionosféricos Súbitos (DIS), Tempestades Magnéticas e Sub-Tempestades Magnéticas

O Sol está continuamente emitindo radiação e partículas carregadas. A emissão dessas partículas é denominada vento solar. Devido a instabilidades solares, freqüentemente, ocorrem explosões solares (“*Solar Flares*”), que são erupções de plasma solar para o meio interplanetário. Caso a intensidade do *Solar Flares* seja elevada, ela pode resultar em distúrbios ionosféricos súbitos (“DIS”), tempestades e sub-tempestades geomagnéticas na Terra, que influenciam diretamente no clima espacial do planeta.

Os DIS são originados de *Solar Flares* que causam um aumento na emissão de radiação, na faixa dos raios-X, e conseqüentemente um aumento na ionização em torno 80 km de altura. A principal conseqüência do fenômeno é a atenuação da propagação de

ondas eletromagnéticas. Os DIS ocorrem apenas na face Terrestre iluminada pelo sol e são mais intensos quando o sol esta no zênite.

Tempestades Geomagnéticas são alterações que ocorrem na magnetosfera quando uma seqüência de eventos ocorrem após uma explosão solar. Numa explosão solar há grande emissão de raios-X, radiação ultravioleta e partículas de alta energia. Por causa disso, a densidade de partículas presentes no vento solar pode aumentar de 10^6 até 10^7 partículas/m³ e sua velocidade pode aumentar de 300 até 1000 km/s. Caso o Campo Magnético interplanetário estiver numa configuração adequada, e se o evento for duradouro, o Campo Geomagnético será comprimido, com maior intensidade, pelo vento solar (Figura 2.4) e terá parte de sua energia transferida para a magnetosfera, dando principio a uma tempestade geomagnética. As partículas carregadas então penetram na magnetosfera e são armazenadas Cinturões de Radiação de Van Allen onde se origina a corrente de anel (“*ring current*”). A intensidade da corrente de anel pode alcançar centenas de nT podendo afetar sistemas de distribuição de energia elétrica, sistemas de telecomunicação e danificar satélites.

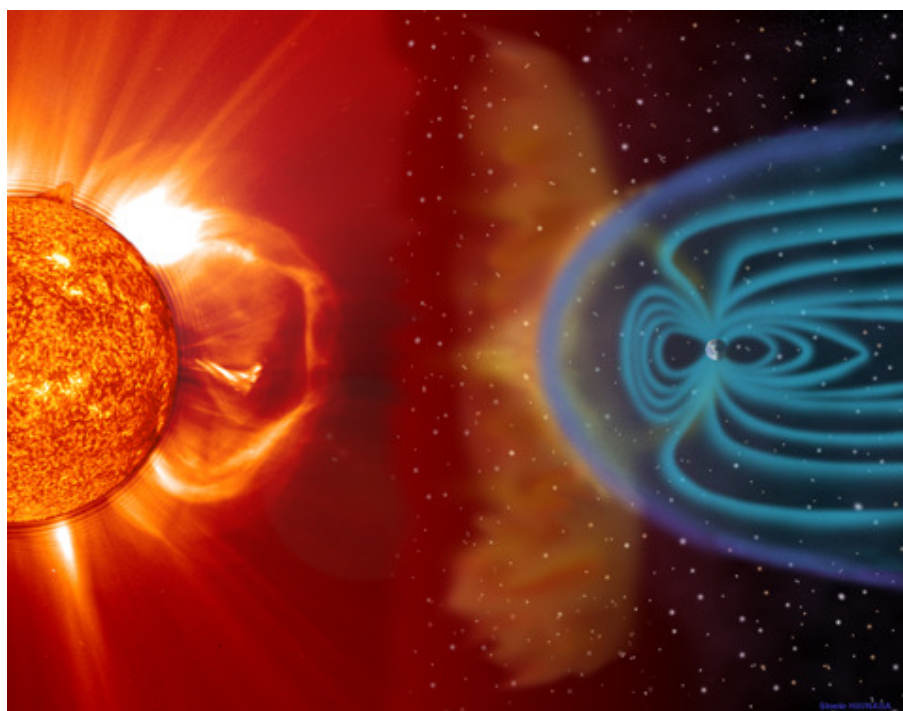


Figura 2.5 – Representação da magnetosfera (azul) e do choque de partículas energéticas com o Campo Geomagnético.

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



As Sub-Tempestades Geomagnéticas, que alcançam variações próximas a 40 nT, ocorrem com maior frequência do que as tempestades magnéticas. Sua origem está relacionada com as correntes de campo aurorais. As sub-tempestades surgem quando ocorre o transporte de energia da interação entre o vento solar e a magnetosfera, ocasionado pelo balanço dinâmico da energia das correntes de campo quando se torna instável.

CAPÍTULO 3

ESTUDO DO PLASMA IONOSFÉRICO COM RIÔMETROS

3.1– Riômetros

O Riômetro (do inglês *Riometer*: Radio Ionosphere Opacity Meter, ou seja, medida da opacidade relativa da Ionosfera) trata-se de um rádio receptor muito sensível que registra a intensidade do ruído cósmico incidente sobre a superfície Terrestre, através de uma antena direcional (Figura 3.1).

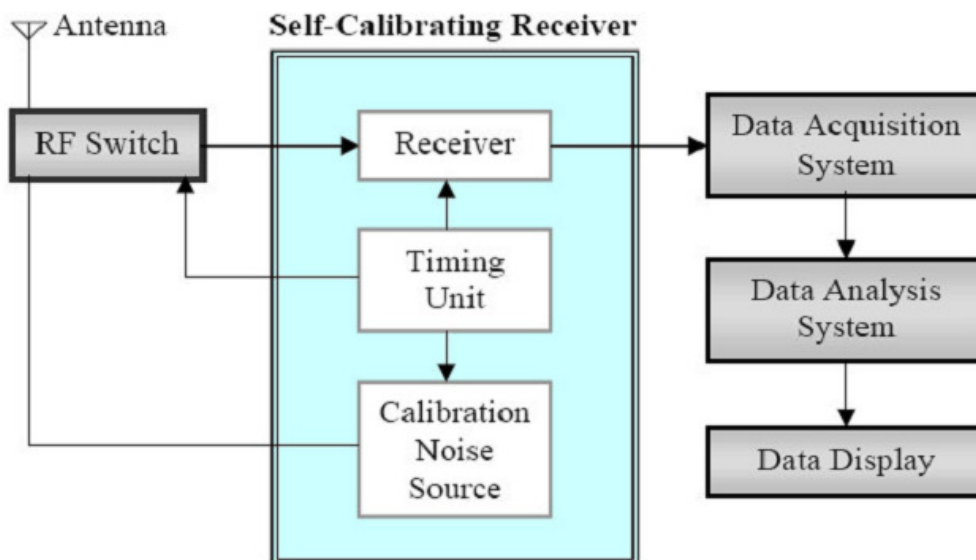


Figura 3.1 – Diagrama de blocos simplificado de um Riômetro.

O ruído cósmico é a radiação eletromagnética proveniente das mais diversas fontes do espaço. Para um dado ponto no espaço, fora da interferência da Atmosfera Terrestre, podemos considerar o sinal de ruído cósmico emitido constante, porém ao atravessar a Atmosfera parte da energia da onda é dissipada em forma de energia cinética, devido a colisões com partículas livres. Logo, quanto menor a intensidade do sinal recebido pelas antenas maior terá sido a absorção do sinal do ruído cósmico.

O ruído cósmico incidente sobre a superfície Terrestre depende apenas da direção que ela aponta no espaço. Com a finalidade de obter dados relacionados sempre a

mesma faixa do céu, direciona-se a antena numa determinada direção fixa, pois a terra ao girar em torno de seu eixo fará com que a antena receba dados sempre da mesma região no céu. Assim a intensidade registrada dependerá apenas da hora local, apresentando um ciclo diário com um máximo e um mínimo.

Os Riômetros captam os sinais em frequências que variam de 20 MHz a 50 MHz e investigam principalmente a absorção na baixa Ionosfera (regiões D e E) situada na faixa de 80 km a 130 km.

3.2– Curva do Dia Quietos (QDC)

Não é possível determinar a intensidade do ruído cósmico incidente sobre a superfície Terrestre desconsiderando a absorção ionosférica. Logo, para analisar a intensidade do sinal recebido, determina-se através de métodos estatísticos uma curva com o nível de intensidade mais alto captado pelo Riômetro durante um período, pré determinado, de dias magneticamente calmos, com baixa absorção ionosférica. Esta curva é denominada de Curva do Dia Quietos (QDC – “*Quiet Day Curve*”) (Figura 3.2).

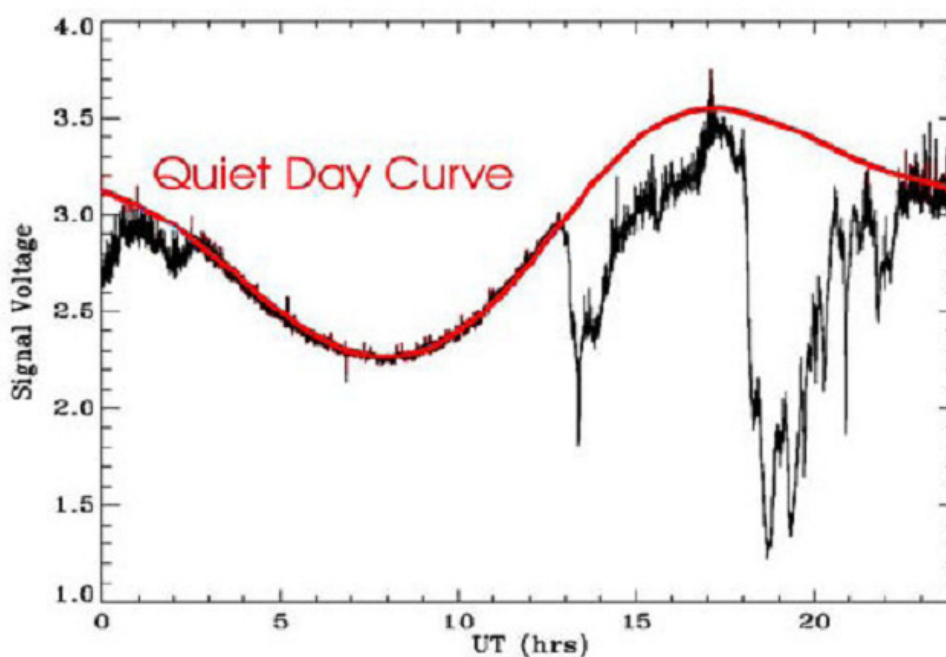


Figura 3.2 – Representação da QDC (vermelho) e do sinal atenuado pela Ionosfera (preto).

Fonte: <http://aurora.phys.ucalgary.ca/norstar/rio/>

O nível de absorção é dado pela razão entre o sinal recebido sem absorção, QDC, (I_r) e o atual sinal recebido (I_s), para a mesma hora sideral. Normalmente a intensidade do ruído cósmico é dada em decibéis e é calculado através da seguinte equação:

$$A(db) = 10 \log\left(\frac{I_r}{I_q}\right) \quad (3.2-1)$$

3.3– Riômetro Imageador

O Riômetro Imageador (Figura 3.3) é capaz de captar o movimento espacial de irregularidades ionosféricas através do seu conjunto de antenas que varrem o campo de visão no céu obtendo informações simultâneas sobre diferentes regiões da Ionosfera, além de gerar imagens (Figura 3.4) e gráficos (Figura 3.6) em duas dimensões, a partir de rotinas em *matlab*, da absorção ionosférica local.

O Riômetro Imageador Utilizado no Observatório Espacial Sul (OES/CRS/INPE – MCT) é formado por um conjunto de antenas dispostos no formato de uma matriz 4x4 (16 antenas do tipo dipolo) (Figura 3.5) que se distanciam em meio comprimento de onda (~3,93) e com altura de um quarto do comprimento de onda (~1,96). O equipamento produz 16 feixes que varrem a Ionosfera local com um campo de visão de aproximadamente 330x330 km um uma altitude de 100 km captando sinais na faixa de 38,2 MHz, tanto na direção norte-sul, quanto na direção leste-oeste.



Figura 3.3 – Fotografia das antenas do Riômetro Imageador no Observatório Espacial do Sul, OES/CRS/CCR/INPE – MCT 29,4°S, 53,8°O 480 m de altitude, em São Martinho da Serra, RS.

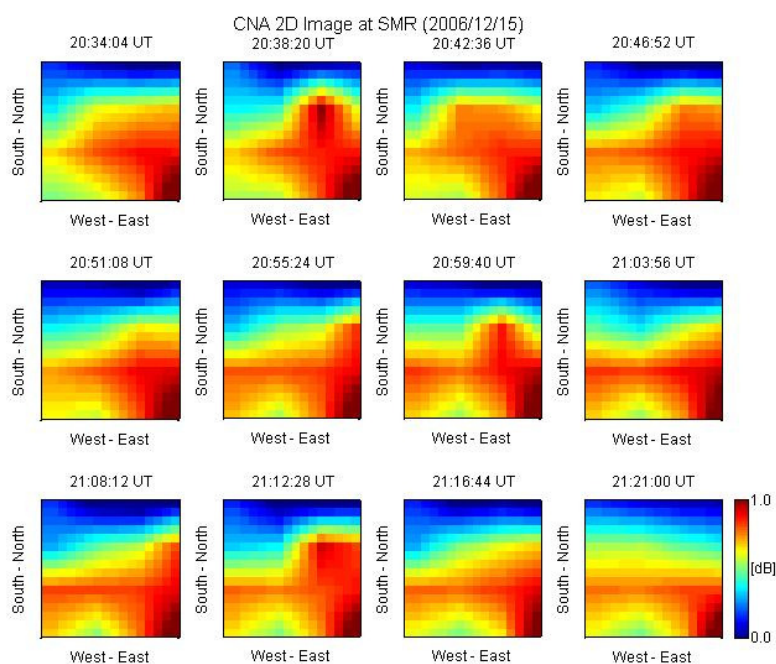


Figura 3.4 – Imagens geradas a partir de uma rotina *matlab*, através de dados obtidos pelo sistema Riômetro Imageador operacional no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CCR/INPE – MCT 29,4°S, 53,8°O 480 m de altitude, em São Martinho da Serra, RS, do dia 15/12/2006.

Fonte: Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre – CRS/INPE – MCT

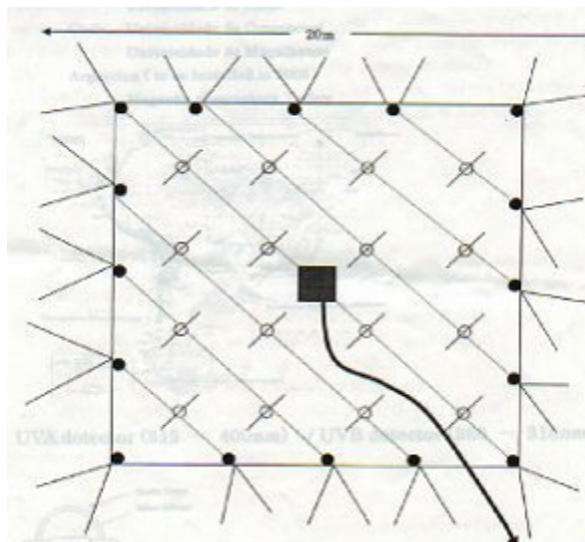


Figura 3.5 – Disposição das Antenas de um Riômetro Imageador (4X4).

Fonte: Material disponibilizado pelo Dr. Kazuo Makita.

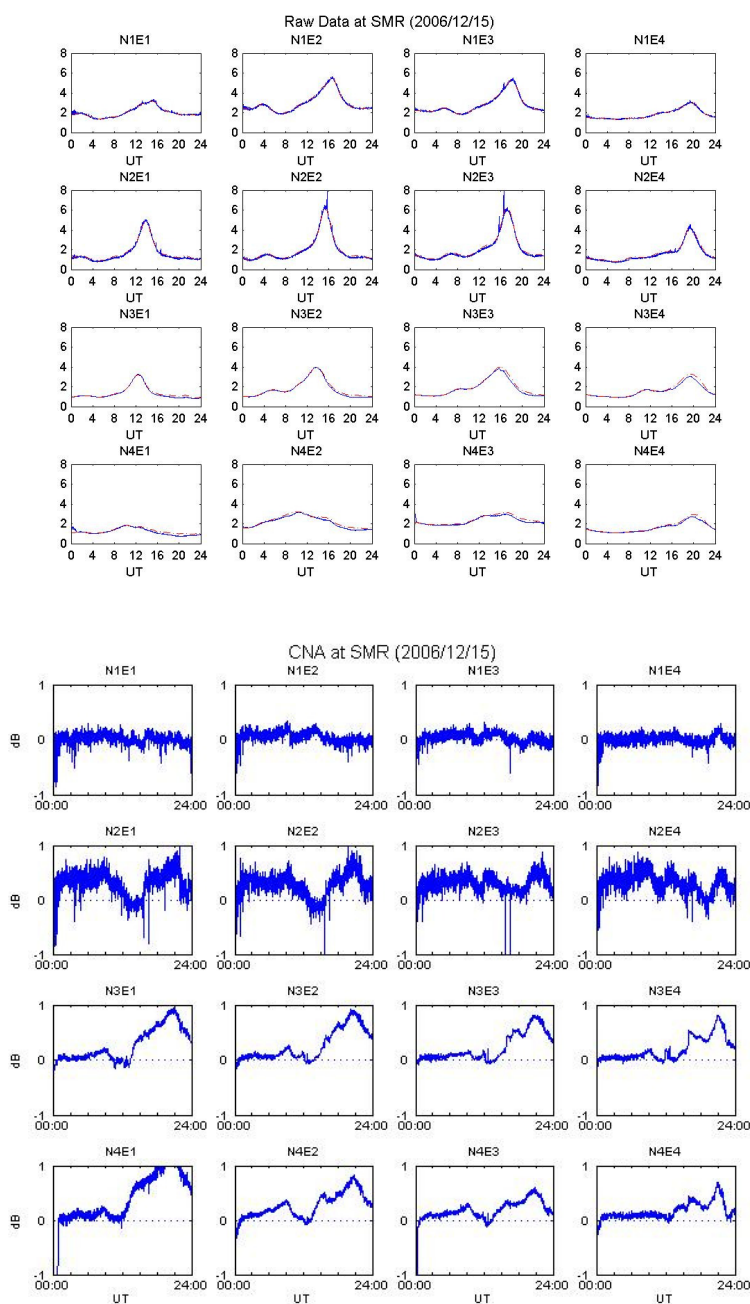


Figura 3.6 – Gráficos gerados a partir de uma rotina *matlab*, através de dados obtidos pelo sistema Riômetro Imageador operacional no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CCR/INPE – MCT 29,4°S, 53,8°O 480 m de altitude, em São Martinho da Serra, RS, do dia 15/12/2006.

Fonte: Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre – CRS/INPE – MCT

3.4– Rede SARINET

O Projeto SARINET (*South American Riometer Network*) (Figura 3.7) tem como objetivo a implantação completa de uma rede de Riômetros Imageadores e de um canal no Cone Sul da América: Brasil, Chile e Argentina. Isto permitirá o estudo das Interações Sol-Terra, pesquisar e estudar a precipitação de partículas na região da AMAS em função de sua atividade geomagnética e determinar a estrutura espacial e dinâmica da região, monitorando a variação de absorção ionosférica e o movimento do plasma ionosférico nesta região. 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.



Figura 3.7 – Representação dos sítios de coletas de dados de Riômetros Imageadores na rede SARINET.

Fonte: Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre – CRS/INPE – MCT



Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CCR/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS, conta atualmente com 3 Riômetros um do tipo Imageador e dois do tipo convencional.



CAPÍTULO 4

ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE A VIGÊNCIA DA BOLSA

A vigência da bolsa de Iniciação Científica – PIBIC/CNPq – INPE iniciou em Abril/2010. Inicialmente o bolsista realizou uma revisão bibliográfica, a partir de artigos em revistas técnicas especializadas, dissertações, teses e em livros como: *Introdução à Geofísica Espacial*, *The Solar-Terrestrial Environment*, sobre a Ionosfera, Campo Magnético Terrestre, Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS) e assuntos relacionados.

Atualmente o Bolsista é um dos responsáveis pela pesquisa, análise, redução e coleta de dados do Riômetro Imageador, além da manutenção periódica do equipamento Instalado no Observatório Espacial do Sul (OES), em São Martinho da Serra, RS, também da disponibilização destes na internet. Para isto foram realizadas visitas periódicas ao OES.



CAPÍTULO 5

CONCLUSÃO

No período de **Abril de 2010 até Julho 2010** as atividades foram realizadas pelo aluno **Dimas Irion Alves** do Curso de Engenharia Elétrica da UFSM. São apresentadas no Relatório a continuidade das atividades do aluno substituído que foram realizadas no Projeto: **ESTUDOS DO PLASMA IONOSFÉRICO NA REGIÃO DA ANOMALIA GEOMAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL** (Processo número **104748/2010-9**) vigência de Agosto de 2009 a Julho de 2010.

O aluno desenvolveu muitas habilidades, principalmente aquelas voltadas para a pesquisa, para trabalhos em grupo e individual. Muitos conhecimentos foram adquiridos na revisão bibliográfica que foram de grande valia, principalmente porque estas atividades não são ministradas nas disciplinas do Curso de Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia da UFSM.

De forma geral, o Projeto de Pesquisa permitiu um contato direto do aluno com as áreas das ciências e tecnologias relacionadas ao Projeto. Entrou em contato com vários profissionais, pesquisadores e acadêmicos de outras áreas e instituições, permitindo uma grande troca de experiências e de idéias, proporcionando um aprendizado de alto nível em cada situação, fator muito positivo no sentido amplo tanto pelas novas amizades construídas como pelo crescimento profissional e pessoal do aluno.



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.

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

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

HARGREAVES, J. K. THE SOLAR-TERRESTRIAL ENVIRONMENT. 1º Edition. Great Britain: Cambridge University Press: Cambridge, 1995. ISBN 0-521-42737-1

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

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

LORENSET, G. A. M. ESTUDOS DO PLASMA IONOSFÉRICO NA REGIÃO DA ANOMALIA GEOMAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL. Santa Maria, 2009.