



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: 105427/2006-3

Antonio Marcos Martins Silveira - Bolsista INPE – CNPq/MCT
Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre
LSIANT/CRS/CIE/INPE – MCT
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais
CRS/CIE/INPE – MCT
E-mail: antoniomarcos@lacesm.ufsm.br

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

Santa Maria, Junho de 2008



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

PROJETO

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

PROCESSO 105427/2006-3

Relatório elaborado em conjunto por partes, I e II, relativas aos respectivos períodos de execução das atividades por:

Antonio Marcos Martins Silveira - Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT
Parte II - E-mail: antoniomarcos@lacesm.ufsm.br

Juliano Moro - Bolsista substituído no Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT,
atualmente Bolsista PCI/DTI-7H do CRS/CIE/INPE.
Parte I - E-mail: juliano@lacesm.ufsm.br

Dr. Nelson Jorge Schuch – Co-Orientador
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/CIE/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:

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

Processo CNPq Nº: 105427/2006-3

Bolsista no período de agosto/07 a março/08, substituído

Juliano Moro

Curso de Física – Licenciatura Plena Diurno
Centro de Ciências Naturais e Exatas – CCNE/UFSM
Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

Bolsista no período de abril/08 a julho/08:

Antonio Marcos Martins Silveira

Curso de Física – Licenciatura Plena Diurno
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
Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas – CEA/INPE - MCT
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT

Co-Orientadores:

Dr. Nelson Jorge Schuch

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

Dr. Clezio Marcos Denardin

Divisão de Aeronomia – DAE/CEA/INPE – MCT

Colaboradores:

Dr. Jean Pierre Raulin
Centro de Rádio Astronomia e Astrofísica Mackenzie – CRAAM, São Paulo-Brasil

Dr. Alberto J. Foppiano Bachmann
Universidad de Concepción, Concepción-Chile

Dr. Kazuo Makita
University of Takushoku, Tokyo-Japão

Dr. Ricardo Monreal MacMahon
Universidad de Magallanes, Punta Arenas-Chile

Julio César Gianibelli
Universidad Nacional de La Plata, La Plata-Argentina

Lílian Piecha Moor
Acadêmica do Curso de Física – Licenciatura Plena da UFSM.

César Augusto Daroit
Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica da UFSM.

Local de Trabalho/Execução do projeto:

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

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



Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



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

IdentificaçãoRecursos HumanosLinhas de PesquisaIndicadores do Grupo**Identificação****Dados básicos****Nome do grupo:** Clima Espacial, Magnetosferas: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br**Status do grupo:** **certificado pela instituição****Ano de formação:** 1996**Data da última atualização:** 18/06/2008 16:08**Líder(es) do grupo:** Nelson Jorge Schuch - nelson.schuch@pq.cnpq.brAdemar Michels - michels@ct.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@lancesm.ufsm.br**Home page:** <http://>**Repercussões dos trabalhos do grupo**

O Grupo de Pesquisa - CLIMA ESPACIAL, MAGNETOSFERAS: INTERAÇÃO TERRA-SOL do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/CIE/INPE-MCT, em Santa Maria, e Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE - MCT, Lat. 29°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 (CEA, ETE, CPA), 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, os mecanismos de geração de energia no Sol, o 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. Pesquisas teóricas e observacionais utilizando-se de larga base de dados de sondas no Espaço Interplanetário e dentro de magnetosferas planetárias, bem como de modelos computacionais físicos e estatísticos. Vice-Líderes: Alisson Dal Lago, Nalin Babulau Trivedi, Marcelo Barcellos da Rosa, Ademar Michels.





Recursos humanos	
Pesquisadores	Total: 32
Ademar Michels	Jean Carlo Santos
Alan Prestes	Jean Pierre Raulin
Alicia Luisa Clúa de Gonzalez	Joao Paulo Minussi
Alisson Dal Lago	Jose Humberto Andrade Sobral
Antonio Claret Palerosi	Mangalathayil Ali Abdu
Barclay Robert Clemesha	Marcelo Barcellos da Rosa
Clezio Marcos De Nardin	Nalin Babulal Trivedi
Cristiano Max Wrasse	Natanael Rodrigues Gomes
Delano Gobbi	Nelson Jorge Schuch
Eurico Rodrigues de Paula	Odim Mendes Junior
Ezequiel Echer	Osmar Pinto Junior
Fabiano Luis de Sousa	Otavio Santos Cupertino Durão
Fábio Augusto Vargas dos Santos	Petrônio Noronha de Souza
Fernando Luís Guarnieri	Polinaya Muralikrishna
Hisao Takahashi	Severino Luiz Guimaraes Dutra
Ijar Milagre da Fonseca	Walter Demetrio Gonzalez Alarcon
Estudantes	Total: 29
Alan Carlos Klein	Juliano Moro
Antonio Marcos Martins Silveira	Lilian Piecha Moor
Bernardo Henz	Lorenzo Marzari Félix
Carlos Roberto Braga	Lucas Lopes Costa
Cassio Espindola Antunes	Marcos Vinicius Dias Silveira
César Augusto Daroit	Mateus Sabadi Schuh
Cristiano Sarzi Machado	Nikolas Kemmerich
Eduardo Ceretta Dalla Favera	Rafael Lopes Costa
Fabrício Deives Kummer	Samuel Martins da Silva
Fernando de Souza Savian	Silvano Lucas Prochnow
Guilherme Simon da Rosa	Tardelli Ronan Coelho Stekel
Igor Freitas Fagundes	Tiago Domingos dos Santos
Jean Carlos Daroit	Tiago Jaskulski
Jose Fernando Thuorst	Willian Rigon Silva
Josemar de Siqueira	
Técnicos	Total: 5
Anderson Pereira Colvero - Ensino Profissional de nível técnico - Técnico em Eletrônica	
Eduardo Ceretta Dalla Favera - Ensino Profissional de nível técnico - Técnico em Computação	
Koiti Ozaki - Especialização - Analista de Sistemas	
Roben Castagna Lunardi - Graduação - Técnico em Computação	
Vinicius Ceregati Costa - Graduação - \Outra Função	



Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



Linha de Pesquisa

AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA

Linha de pesquisa

AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA

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

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

Pesquisadores:

[Barclay Robert Clemesha](#)
[Clezio Marcos De Nardin](#)
[Cristiano Max Wrasse](#)
[Delano Gobbi](#)
[Eurico Rodrigues de Paula](#)
[Fábio Augusto Vargas dos Santos](#)
[Hisao Takahashi](#)
[Jean Pierre Raulin](#)
[Mangalathayil Ali Abdu](#)
[Marcelo Barcellos da Rosa](#)
[Nelson Jorge Schuch](#)
[Polinaya Muralikrishna](#)

Estudantes:

[Antonio Marcos Martins Silveira](#)
[César Augusto Daroit](#)
[Cristiano Sarzi Machado](#)
[Eduardo Ceretta Dalla Favera](#)
[Juliano Moro](#)
[Lilian Piecha Moor](#)
[Mateus Sabadi Schuh](#)
[Tiago Domingos dos Santos](#)

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 e dinâmica da Atmosfera observando com radares, imageadores, fotômetros e aeroluminescência (perfis de ventos) das ondas atmosféricas: planetárias, de gravidade e marés atmosféricas; Pesquisas com radares e digissonda 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

Inicio estes agradecimentos ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica – PIBIC e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, assim como ao Coordenador do Programa PIBIC/INPE – CNPQ/MCT, pela oportunidade de desenvolver meu potencial acadêmico através deste projeto de Iniciação Científica.

Agradeço ao Orientador do Projeto, Dr. Polinaya Muralikrishna, Pesquisador AIII do DAE/CEA/INPE-MCT, pela sua atenção e ajuda prestada com suas sugestões e correções aos trabalhos desenvolvidos. Da mesma forma ao Dr. Clezio Marcos De Nardin, Pesquisador Adjunto do DAE/CEA/INPE-MCT e Co-Orientador do projeto. De forma especial, fica o agradecimento ao Dr. Nelson Jorge Schuch, Pesquisador AIII do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CIE/INPE-MCT e Co-Orientador do Projeto, que através do seu exemplo e com sua orientação pessoal mostrou aquilo que é o mais importante na vida, de forma que sempre procuro estar em busca desses objetivos.

Aos colegas de Laboratório, Lílian Piecha Moor, César Augusto Daroit e Antonio Marcos Martins Silveira, pela ajuda com sugestões, explicações e descontração durante o trabalho. Ao Prof. Dr. Kazuo Makita, que mesmo com as dificuldades idiomáticas entre ambos, contribuiu muito através de explicações sobre o equipamento e a redução dos dados.

Por fim, o bolsista agradece a seus pais Alcides Stradiotto Moro e Sili Maria Petine Moro pelo apoio e carinho e de forma especial e carinhosa a minha namorada Ana Lúcia Anversa Segatto, que com sua compreensão e companheirismo sempre me apoiou em todos os momentos, inclusive os piores.

RESUMO

Apresentamos neste relatório final de atividades 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 2007 a Julho de 2008. No período de Agosto de 2007 a Março de 2008 as atividades foram realizadas pelo aluno Juliano Moro, aluno do curso de Física – Licenciatura Plena Diurno da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, bolsista substituído no Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT, e atualmente Bolsista PCI/DTI-7H do CRS/CIE/INPE.

Este projeto tem dois objetivos específicos. O primeiro objetivo deste 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/CIE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS. O segundo objetivo deste projeto de pesquisa é o monitoramento da atividade solar a longo prazo e 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 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, é realizada no Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre – LSIANT do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CIE/INPE - MCT, em Santa Maria, RS.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	15
PARTE I.....	17
CAPITULO I	18
CONCEITOS GEOFÍSICOS	18
I.1 Introdução.....	18
I.2 Ionosfera Terrestre.....	18
I.2.1 Camadas Ionosféricas	19
I.2.2 Camada D da Ionosfera	20
I.2.3 Camada E da Ionosfera	20
I.2.4 Camada F da Ionosfera	21
I.3 Campo Magnético Terrestre	21
I.4 Anomalia Magnética do Atlântico Sul -AMAS	22
I.5 Cinturões de Radiação de Van Allen	23
I.6 Tempestades e Sub-Tempestades Geomagnéticas	24
CAPÍTULO II.....	26
SISTEMA SARINET	26
II. 1 Riômetro.....	26
II.2 Rede SARINET – SOUTH AMERICA RIOMETER NETWORK.....	27
II.2.1 Objetivo do Projeto SARINET	29
II.2.2 Resultados Esperados.....	29
CAPÍTULO III.....	30
SISTEMA SAVNET.....	30
III.1 Rede SAVNET – SOUTH AMERICA VLF NETWORK	30
III.1.1 – Instrumentação Necessária Para Uma Estação Receptoras de Sinais de VLF	30
III.2 Resultados Esperados	34
III.2.1 Produção Científica	35
III.2.2 Formação de Recursos Humanos	35
CAPÍTULO IV	36
ATIVIDADES DESENVOLVIDAS	36
IV.1 – Projeto SARINET	36
IV.1.1 Participação do Aluno na Instalação da Estação SARINET em Trelew – Argentina.....	36



IV.1.2 Conclusões Referentes ao Projeto SARINET	40
Projeto SAVNET	45
IV.2 Projeto SAVNET	45
IV.2.1 Conclusões Referentes ao Projeto SAVNET	45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
ANEXO	58
PARTE II	62
ATIVIDADES TÉCNICAS & CIENTÍFICAS DESENVOLVIDAS	62
PELO ALUNO SUBSTITUTO - ATUAL	62
ANTONIO MARCOS MARTINS SILVEIRA	62
V.1 Atmosfera Terrestre	63
V.2 Ionosfera Terrestre	64
V.2.1 Produção Iônica	65
V.2.1.1 Foto Ionização	65
V.2.1.2 Ionização por Impacto	65
V.2.2 Perdas de Ionização	65
V.2.3 Recombinação Química	66
V.2.4 Transporte na Ionosfera	66
V.2.5 Camadas Ionosféricas	67
V.2.5.1 Camada D	68
V.2.5.2 Camada E	68
V.2.5.3 Camada F	69
V.2.6 Condutividade Ionosférica e o Dínamo Atmosférico	69
V.3 Anomalia Magnética do Atlântico Sul	70
V.4 Cinturão de Van Allen	71
V.5 Riômetros	72
V.6 Revisão Bibliográfica	75

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1: CAMADAS DA IONOSFERA E SUAS RESPECTIVAS DENSIDADES ELETRÔNICAS.....	19
FONTE: MODIFICADA DE RISHBETH (1969).....	19
FIGURA 1.2: CAMPO GEOMAGNÉTICO OBTIDO PELO MODELO IGRF PARA A ÉPOCA 2000, BASEADO EM OBSERVAÇÕES DE SOLO.....	23
FONTE: HTTP://SWDCDB.KUGI.KYOTO-U.AC.JP/IGRF/MAP/T-M.GIF	23
FIGURA 1.3: – CINTURÃO DE RADIAÇÃO DE VANALLEN.....	24
FONTE: HTTP://BR.GEOCITIES.COM/SALADEFISICA	24
FIGURA 2.1: REPRESENTAÇÃO ARTÍSTICA DAS LOCALIZAÇÕES DOS SÍTIOS DE COLETA DE DADOS DE RIÔMETROS IMAGEADORES NA REDE SARINET.....	28
FONTE: LABORATÓRIO DE SONDAÇÃO IONOSFÉRICA E ATMOSFERA NEUTRA TERRESTRE - CRS/CIE/INPE - MCT	28
FIGURA 3. 1: LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES RECEPTORAS DA REDE SAVNET NA AMÉRICA DO SUL. .	31
FONTE: PROJETO FAPESP-SAVNET.....	31
FIGURA 3.2: DIAGRAMAÇÃO DOS TRAJETOS DE RÁDIO PROPAGAÇÃO DAS ESTAÇÕES TRANSMISSORAS NAA, NLK E NPM LOCALIZADAS NO HEMISFÉRIO NORTE ATÉ AS ESTAÇÕES RECEPTORAS VLF DA REDE SAVNET LOCALIZADOS NA AMÉRICA DO SUL E EM RELAÇÃO À ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL - AMAS.....	33
FONTE: PROJETO FAPESP-SAVNET	33
FIGURA 3. 3: ESQUEMA SIMPLIFICADO DOS COMPONENTES DE UMA ESTAÇÃO RECEPTORA DE VLF DA REDE SAVNET. SÃO MOSTRADAS AS TRÊS ANTENAS, A ANTENA DO SISTEMA DE GPS E A PLACA DIGITALIZADORA, ASSIM COMO O COMPUTADOR PARA O PROCESSAMENTO DOS DADOS.....	33
FONTE: MODIFICADA DO PROJETO FAPESP-SAVNET	33
FIGURA 4.1: VISTA PARCIAL DO OBSERVATÓRIO GEOFÍSICO DE TRELEW, EM TRELEW, PATAGÔNIA ARGENTINA.....	37
FONTE: LABORATÓRIO DE SONDAÇÃO IONOSFÉRICA E ATMOSFERA NEUTRA TERRESTRE - CRS/CIE/INPE - MCT	37
FIGURA 4.2: DIAGRAMA DE BLOCO SIMPLIFICADO DE UMA ESTAÇÃO RECEPTORA DE RAIOS CÔSMICOS OPERANDO EM 38.2 MHZ NO OBSERVATÓRIO GEOFÍSICO DE TRELEW, EM TRELEW, ARGENTINA.....	38
FONTE: LABORATÓRIO DE SONDAÇÃO IONOSFÉRICA E ATMOSFERA NEUTRA TERRESTRE - CRS/CIE/INPE - MCT	38
FIGURA 4.3: VISTA SUPERIOR DA ESTAÇÃO DE RIÔMETROS CONVENCIONAIS INSTALADOS NO OBSERVATÓRIO GEOFÍSICO DE TRELEW, EM TRELEW, NA PATAGÔNIA ARGENTINA.....	38
FONTE: LABORATÓRIO DE SONDAÇÃO IONOSFÉRICA E ATMOSFERA NEUTRA TERRESTRE - CRS/CIE/INPE - MCT	38
FIGURA 4.4: VISTA DA ESTAÇÃO DE RIÔMETROS CONVENCIONAIS INSTALADOS NO OBSERVATÓRIO GEOFÍSICO DE TRELEW, EM TRELEW, NA PATAGÔNIA ARGENTINA.....	39
FONTE: LABORATÓRIO DE SONDAÇÃO IONOSFÉRICA E ATMOSFERA NEUTRA TERRESTRE - CRS/CIE/INPE - MCT	39
FIGURA 4.5: VISTA SUPERIOR DA ESTAÇÃO DE RIÔMETROS IMAGEADORES QUE SERÁ INSTALADO NO OBSERVATÓRIO GEOFÍSICO DE TRELEW, EM TRELEW, NA PATAGÔNIA ARGENTINA.....	40
FONTE: LABORATÓRIO DE SONDAÇÃO IONOSFÉRICA E ATMOSFERA NEUTRA TERRESTRE - CRS/CIE/INPE - MCT	40
FIGURA 4.6: EXEMPLO DE UMA CURVA DO DIA QUIETO, EM VERMELHO E A COMPARAÇÃO COM UM SINAL ATENUADO PELA IONOSFERA, EM PRETO.....	41
FONTE: HTTP://AURORA.PHYS.UCALGARY.CA/NORSTAR/RIO	41
FIGURA 4.7: SISTEMA RIÔMETRO CONVENCIONAL INSTALADO E EM OPERAÇÃO NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL - OES/CRS/CIE/INPE – MCT, EM SÃO MARTINHO DA SERRA, RS.....	42
FONTE: LABORATÓRIO DE SONDAÇÃO IONOSFÉRICA E ATMOSFERA NEUTRA TERRESTRE - CRS/CIE/INPE - MCT	42
FIGURA 4.8: ANTENAS DIPOLOS 4 X 4 INSTALADOS E EM OPERAÇÃO NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL	

DO SUL – OES/CRS/CIE/INPE – MCT EM SÃO MARTINHO DA SERRA, RS.	43
FONTE: LABORATÓRIO DE SONDAÇÃO IONOSFÉRICA E ATMOSFERA NEUTRA TERRESTRE - CRS/CIE/INPE - MCT	43
FIGURA 4.9: IMAGENS OBTIDAS PELO SISTEMA RIÔMETRO IMAGEADOR OPERACIONAL NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL - OES/CRS/CIE/INPE - MCT EM SÃO MARTINHO DA SERRA, RS.	44
FONTE: LABORATÓRIO DE SONDAÇÃO IONOSFÉRICA E ATMOSFERA NEUTRA TERRESTRE - CRS/CIE/INPE - MCT	44
FIGURA 4.10: RÁDIO OBSERVATÓRIO DE ITAPETINGA – ROI/CEA/INPE – MCT EM ATIBAIA, SP.....	46
FONTE: LABORATÓRIO DE SONDAÇÃO IONOSFÉRICA E ATMOSFERA NEUTRA TERRESTRE - CRS/CIE/INPE - MCT	46
FIGURA 4.11: VISTAS PANORÂMICAS DAS INSTALAÇÕES DO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL - OES/CRS/CIE/INPE – MCT EM SÃO MARTINHO DA SERRA, RS.	47
FONTE: LABORATÓRIO DE SONDAÇÃO IONOSFÉRICA E ATMOSFERA NEUTRA TERRESTRE - CRS/CIE/INPE - MCT	47
FIGURA 4.12: VISTA PANORÂMICA DE PARTE DO PRÉDIO 6 DO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL – OES/CRS/CIE/INPE - MCT E DE UMA DAS ANTENAS DO TIPO LOOP, EM SÃO MARTINHO DA SERRA, RS.	49
FONTE: LABORATÓRIO DE SONDAÇÃO IONOSFÉRICA E ATMOSFERA NEUTRA TERRESTRE - CRS/CIE/INPE - MCT	49
FIGURA 4.13: VISTA PANORÂMICA DAS ANTENAS DO TIPO RETANGULAR I E II E DA ANTENA VERTICAL DO SISTEMA REDE SAVNET INSTALADAS E EM OPERAÇÃO NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL, EM SÃO MARTINHO DA SERRA, RS.	49
FONTE: LABORATÓRIO DE SONDAÇÃO IONOSFÉRICA E ATMOSFERA NEUTRA TERRESTRE - CRS/CIE/INPE - MCT	49
FIGURA 4.14: PARTE DO SISTEMA DE CABOS, PRÉ-AMPLIFICADORES, FONTE, COMPUTADOR E DA PLACA DE SOM DELTA44 DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS DA ESTAÇÃO DE RECEPÇÃO SAVNET DO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL, EM SÃO MARTINHO DA SERRA, RS.	50
FONTE: LABORATÓRIO DE SONDAÇÃO IONOSFÉRICA E ATMOSFERA NEUTRA TERRESTRE - CRS/CIE/INPE - MCT	50
FIGURA 4.15: INTERFACE DO PROGRAMA SOFTPAL MOSTRANDO A RECEPÇÃO DOS SINAIS DIGITALIZADOS DE ESTAÇÕES TRANSMISSORAS UTILIZADAS E DETECTADAS PELA ESTAÇÃO DE RECEPÇÃO SAVNET NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL, EM SÃO MARTINHO DA SERRA, RS.	51
FONTE: LABORATÓRIO DE SONDAÇÃO IONOSFÉRICA E ATMOSFERA NEUTRA TERRESTRE - CRS/CIE/INPE - MCT	51
FIGURA 4.16: VARIAÇÃO NOITE-DIA DE APROXIMADAMENTE 24 HORAS OBTIDA RASTREANDO A TRANSMISSORA NAA EM 24 KHZ PELA ESTAÇÃO DE RECEPÇÃO DA REDE SAVNET INSTALADA E EM OPERAÇÃO NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL.	52
FONTE: LABORATÓRIO DE SONDAÇÃO IONOSFÉRICA E ATMOSFERA NEUTRA TERRESTRE - CRS/CIE/INPE - MCT	52
FIGURA 4.17: EXPLOÇÃO SOLAR OCORRIDA NO DIA 06/06/2007, ENTRE 17-19 UT, DETECTADA PELA ESTAÇÃO DE RECEPÇÃO DA REDE SAVNET INSTALADA E EM OPERAÇÃO NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL.....	52
FONTE: LABORATÓRIO DE SONDAÇÃO IONOSFÉRICA E ATMOSFERA NEUTRA TERRESTRE - CRS/CIE/INPE - MCT	52
FIGURA 4.18: UM EXEMPLO DE RÁDIO ESPECTRO DEMONSTRANDO ALTOS ÍNDICES DE RÁDIO INTERFERÊNCIA OBTIDO PELA ESTAÇÃO DE RECEPÇÃO DA REDE SAVNET NO OES.....	53
FONTE: LABORATÓRIO DE SONDAÇÃO IONOSFÉRICA E ATMOSFERA NEUTRA TERRESTRE - CRS/CIE/INPE - MCT	53
FIGURA 4.19: UM EXEMPLO DE RÁDIO ESPECTRO COM BAIXO NÍVEL DE RÁDIO INTERFERÊNCIA NO OBTIDO PELA REDE SAVNET NO OES/CRS/CIE/INPE - MCT.	54
FONTE: LABORATÓRIO DE SONDAÇÃO IONOSFÉRICA E ATMOSFERA NEUTRA TERRESTRE - CRS/CIE/INPE - MCT	54
FIGURA 5.1: CLASSIFICAÇÃO DA ATMOSFERA NEUTRA E DA ATMOSFERA IONIZADA TERRESTRE.....	63
FONTE: HARGREAVES (1992, P. 99).....	63

FIGURA 5.2: CLASSIFICAÇÃO DA ATMOSFERA NEUTRA E DA ATMOSFERA IONIZADA DEVIDO À DENSIDADE ELETRÔNICA E SUA TEMPERATURA.....	64
FONTE: HTTP://BR.GEOCITIES.COM/ATMOSFERA_IONOSFERA/ATHMOSPHEREPHISICS_PY5AAL_ANGEL_OLEITHOLD.JPG	64
FIGURA 5.3: CAMADAS DA IONOSFERA E SUAS RESPECTIVAS DENSIDADES ELETRÔNICAS.....	67
FONTE: MODIFICADA DE RISHBETH (1969).....	67
FIGURA 5.4: MAPA MAGNÉTICO DO PLANETA TERRA. A AMAS A ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL É REPRESENTADA PELA COR AZUL ONDE O TRIÂNGULO VERMELHO MOSTRA A LOCALIZAÇÃO DE SEU CENTRO NO ANO 2000.....	71
FONTE: NASA.....	71
FIGURA 5.5: CINTURÕES DE RADIAÇÃO DE VAN ALLEN.....	72
FONTE: HTTP://WWW.AEB.GOV.BR/MULTIMIDIA/SATELITES/VANALLENGUERTEL.GIF	72

INTRODUÇÃO

Apresentamos neste relatório final de atividades 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 2007 a Julho de 2008. No período de Agosto de 2007 a Março de 2008 as atividades foram realizadas pelo aluno Juliano Moro, aluno do curso de Física – Licenciatura Plena Diurno da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Bolsista de Iniciação Científica do Programa PIBIC/INPE do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq/MCT. Em Março de 2008 houve a troca de bolsistas, sendo que Antonio Marcos Martins Silveira, aluno do Curso de Física – Licenciatura Plena Diurno da UFSM assumiu a titularidade da Bolsa no período de Março de 2008 a Julho de 2008. A primeira parte deste relatório é de autoria de Juliano Moro referente ao período em que foi bolsista, e a segunda parte é de autoria de Antonio Marcos Martins Silveira.

Este projeto tem dois objetivos específicos. O primeiro objetivo deste 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/CIE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS. O segundo objetivo deste projeto de pesquisa é o monitoramento da atividade solar a longo prazo e 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 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, é realizada no Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre – LSIANT do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CIE/INPE - MCT, em Santa Maria, RS.

No Capítulo 1 iniciamos com uma revisão bibliográfica e a discussão da teoria básica para o entendimento da Ionosfera Terrestre e dos eventos físicos e químicos que podem ocorrer nesta parte da atmosfera. Também neste capítulo se faz um breve estudo sobre o Campo Magnético Terrestre e a Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS, tratando a respeito da sua origem, manutenção e influência sobre a Ionosfera.

No Capítulo 2 está descrito as características da Rede SARINET. Inicialmente se fez uma descrição do equipamento Riômetro instalado no Observatório Espacial do Sul –

OES/CRS/CIE/INPE – MCT, que é o equipamento utilizado pela Rede SARINET. Em seguida uma descrição dos sítios e a razão por serem escolhidos para ter um conjunto de receptores que compõem a Rede SARINET.

O Capítulo 3 é dedicado a Rede SAVNET, instalada no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE – MCT desde maio de 2007. Neste capítulo está apresentado a localização das estações receptoras da Rede SAVNET na América do Sul assim como o esquema simplificado dos componentes de uma estação receptora de VLF da Rede SAVNET.

No quarto Capítulo são apresentadas as atividades desenvolvidas pelo bolsista durante o período de Agosto de 2007 a Março de 2008 referentes às duas redes, a Rede SARINET e a Rede SAVNET e as conclusões obtidas a partir das atividades realizadas. Também neste capítulo está descrita a revisão bibliográfica realizada pelo bolsista durante o período de vigência da bolsa.

No Capítulo 5 apresentamos a revisão bibliográfica realizada pelo atual bolsista Antonio Marcos Martins Silveira, aluno titular do projeto de Iniciação Científica & Tecnológica.



PARTE I

DO
RELATÓRIO FINAL

DO PROJETO DE PESQUISA

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

PROCESSO 105427/2006-3

ATIVIDADES TÉCNICAS & CIENTÍFICAS DESENVOLVIDAS
PELO ALUNO SUBSTITUIDO

JULIANO MORO

CAPITULO I

CONCEITOS GEOFÍSICOS

I.1 Introdução

De acordo com as diferentes peculiaridades observadas com relação à temperatura, composição atmosférica e ao escape de gases atmosféricos, a Atmosfera Terrestre apresenta distintas regiões. A atmosfera é uma mistura de gases onde o nitrogênio é o componente mais abundante. Essa mistura é praticamente constante na homosfera (região abaixo do limite denominado de turbopausa, a qual se encontra a aproximadamente 100 - 110 km de altitude). Nesta região a proporção de mistura de certo constituinte em relação ao todo se mantém quase inalterada, mantendo uma proporcionalidade em torno de 78% de nitrogênio molecular (N₂), 21% de oxigênio molecular (O₂), seguidos pelo argônio (Ar), dióxido de carbono (CO₂), gases nobres e outros em proporções ainda menores. Em contraste com a camada inferior, a heterosfera apresenta o peso molecular médio do ar variando com a altitude e os gases separam-se sob o efeito da gravidade com suas próprias escalas de altura.

A atmosfera neutra, como o próprio nome diz, é formada por moléculas de gases em estado neutro. Já a atmosfera ionizada, melhor conhecida como Ionosfera, é constituída por íons moleculares e elétrons livres.

I.2 Ionosfera Terrestre

A Ionosfera pode ser definida como a porção da atmosfera terrestre situada entre aproximadamente 60 km e 1000 km de altitude (não bem definidos, variando do dia para a noite), onde a quantidade de elétrons livres em um gás neutro é suficiente para influenciar a propagação de ondas de rádio (Ratcliffe, 1972). Numa visão de larga escala, o meio ionosférico é eletricamente neutro, requisito básico para que um gás ionizado possa ser chamado de plasma. Na porção inferior

da Ionosfera (entre 60 e 90 km, aproximadamente) existe também uma concentração significativa de íons negativos.

Na Ionosfera a densidade eletrônica varia em função dos constituintes da atmosfera neutra e de sua razão de ionização, sofrendo aumento considerável durante o dia e decaimento à noite. O perfil da taxa de produção de pares de elétrons-íons varia em altitude, dependente da queda exponencial com a altura da concentração dos gases atmosféricos e com a intensidade de radiação, esta última, devido à redução da sua absorção pela atmosfera e em uma determinada altura descendente a radiação ionizante será quase que totalmente absorvida. Daí pode-se concluir que a produção de pares de elétrons-íons deve passar por um máximo, em alguma altura da atmosfera, veja Figura 1.1.

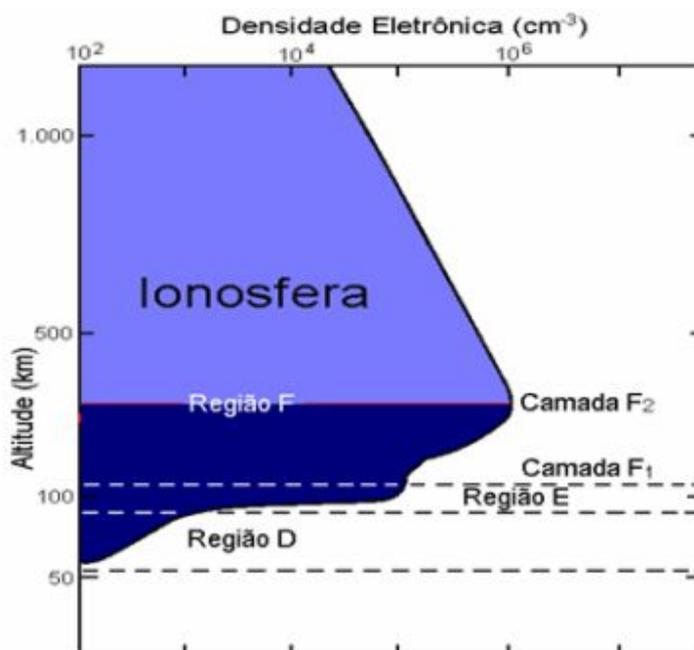


Figura 1.1: Camadas da Ionosfera e suas respectivas densidades eletrônicas.
Fonte: Modificada de Rishbeth (1969).

I.2.1 Camadas Ionosféricas

A Ionosfera terrestre apresenta três máximos de densidade eletrônica formando três camadas distintas e bem conhecidas. Os três máximos de produção apresentam-se respectivamente nas

altitudes aproximadas de 80 km (pico da Camada D), 105 km (pico da Camada E) e 300 km (pico da Camada F). Tal divisão deve-se, principalmente, aos diferentes constituintes da atmosfera neutra, os processos de ionização dominantes nas diferentes alturas, os processos de difusão, bem como às condições ambientais envolvidas no processo de recombinação.

I.2.2 Camada D da Ionosfera

A Camada D tem sua localização na faixa situada aproximadamente entre 60 e 95 km de altitude, e pode ser considerada a parte mais complexa da Ionosfera do ponto de vista foto-químico. Isto se deve a dois fatores principais: a região está sob uma alta pressão da coluna de ar e sofre ionização de fontes variadas, tanto de origem solar como de raios cósmicos galácticos. Assim sendo, esta região sustenta um grande número de espécies iônicas, tanto positivas quanto negativas. A região apresenta uma grande quantidade de íons negativos e positivos, especialmente à noite, abaixo de 100 km (nas regiões D e E).

A região D caracteriza-se por sua pequena extensão, apresentando o ponto de densidade eletrônica máxima da ordem de 10^3 cm^{-3} elétrons (em condições normais), a uma altura aproximada de 85 km, valor este, que equivale a apenas 1% da densidade eletrônica no pico da região E e cerca de 0,2% à 0,1% da densidade eletrônica do pico da região F. Embora apresentando uma baixa concentração de elétrons, quando comparada as demais regiões ionosféricas, esta é suficiente para refletir as ondas de rádio utilizadas em radiocomunicação, em frequências muito baixas (VLF).

I.2.3 Camada E da Ionosfera

De acordo com a Figura 1.1, a camada E da Ionosfera é caracterizada por uma densidade eletrônica crescente, iniciando em aproximadamente 90-100 km até atingir o seu máximo valor entre 105 e 110 km de altitude. A partir desta altitude, a densidade eletrônica decresce até o limite de 130 km, onde começa a se destacar a camada superior da Ionosfera. A região E possui uma estrutura iônica mais simplificada quando comparada à da Região D. Os principais íons primários desta camada são: N^{+2} , O^{+2} , O^{+} e NO^{+} . Ainda podem estar presentes uma grande quantidade de íons

metálicos de origem meteórica, tais como o Fe^+ , Mg^+ , Ca^+ e Si^+ , os quais podem contribuir para a formação das camadas E esporádicas.

I.2.4 Camada F da Ionosfera

Entre aproximadamente 140 e 1000 km de altitude se encontra a camada F. Esta camada se subdivide em F1 e F2. A camada F1 está entre 140 e 200 km de altitude e é formada principalmente a partir da ionização solar com radiação na faixa do extremo ultra-violeta (EUV). Esta região ocorre somente de dia, pois depende do ângulo zenital solar. A camada F2 situa-se entre 200 e 1000 km de altitude e 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.

I.3 Campo Magnético Terrestre

A Terra está submersa em um grande campo magnético com importantes características. São diversos os fenômenos gerados devido a este campo, entre eles pode-se citar a orientação de uma bússola ao longo da superfície terrestre. Além disso, o Campo Magnético da Terra controla o movimento de íons presentes no ambiente espacial em que o Planeta encontra-se, impedindo a incidência direta de partículas vindas com o Vento Solar. Outra característica importante é a forma com o Campo Magnético afeta a propagação de ondas eletromagnéticas na Ionosfera, que torna o meio anisotrópico (condutividade ionosférica tensorial).

Acredita-se que os primeiros a fazerem uso prático de materiais como a magnetita foram os Chineses, utilizando-se de suas propriedades para construção de bússolas para orientação em suas viagens desde 215 a.C.. Mas o início do interesse do homem pelo Geomagnetismo é provavelmente muito mais antigo que isso, possivelmente surgidas já no Século XII a.C. por notícias na Mitologia dos próprios Chineses sobre o comportamento e propriedades do Campo Magnético Terrestre.

Um modelo estático do Campo Geomagnético não poderia explicar as variações de longo período que ocorrem no Campo e nem a reversão da polaridade magnética, que ocorre em intervalos

de milhares de anos. Também fica excluída a hipótese do Campo Geomagnético ser originado por materiais magnéticos presentes no interior da Terra, visto que a altas temperaturas (acima da Temperatura de Curie) os materiais perdem suas características magnéticas. A explicação aceita para 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 da Terra. 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.

O sistema de correntes no núcleo não parece ser estável e homogêneo. Comparado com o modelo dipolar este modelo mostra a presença de grandes anomalias ao longo da superfície Terrestre. Uma média aproximada pode ser dada por um campo de cerca de 30000 nT na Linha do Equador e 60000 nT nos pólos da Terra. Mas as anomalias apresentam milhares de quilômetros e podem apresentar dezenas de milhares de nanoteslas de variação. Além disso, a distribuição não uniforme de materiais magnéticos próximos a Crosta Terrestre também pode gerar anomalias em escalas bem menores, mas que podem alcançar dezenas de nano teslas.

I.4 Anomalia Magnética do Atlântico Sul -AMAS

Descoberta na década de 1950, a Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS) localizava-se sobre o Atlântico, por este motivo recebeu este nome. Esta região apresenta atualmente a área de menor intensidade do Campo Geomagnético ao longo da superfície terrestre. A atual localização do menor valor do Campo Magnético está hoje situada no sudeste brasileiro, cerca de 700 km da costa do Atlântico. O campo geomagnético obtido pelo modelo IGRF para a época 2000, baseado em observações de solo, é mostrado na Figura 1.2.

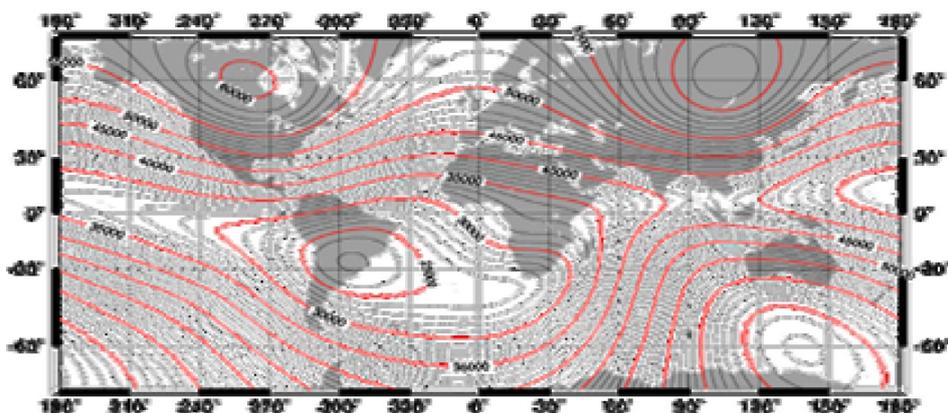


Figura 1.2: Campo geomagnético obtido pelo modelo IGRF para a época 2000, baseado em observações de solo.

Fonte: <http://swdcdb.kugi.kyoto-u.ac.jp/igrf/map/t-m.gif>

Acredita-se que essa anomalia é causada pelo fato de seu centro magnético não se localizar no núcleo da Terra, gerando assim um campo mais fraco no local da anomalia. Da mesma maneira como nos pólos terrestres, na região da AMAS a precipitação de partículas eletricamente carregadas acontece com maior facilidade. As partículas podem atingir as camadas menos elevadas da atmosfera terrestre, fazendo dessa região, umas das mais vulneráveis ao efeito de precipitação de partículas energéticas e radiações.

I.5 Cinturões de Radiação de Van Allen

O chamado Cinturão de Van Allen consiste em uma região onde ocorrem diversos fenômenos atmosféricos devido à concentração de partículas. O Cinturão foi descoberto em 1958 por James Van Allen. Esta região consiste em dois cinturões em forma de anéis com centro no equador. O primeiro situa-se entre 1000 e 5000 km de altitude e apresenta sua intensidade máxima a cerca de 3000 km da superfície da Terra. O segundo Cinturão situa-se entre 15000 e 25000 km de altitude. Os dois Cinturões podem ser vistos na Figura 1.3.

O primeiro Cinturão consiste praticamente de prótons altamente energéticos que tem origem do decaimento de nêutrons produzidos quando raios cósmicos vindos do espaço exterior se chocam contra átomos presentes na atmosfera terrestre. 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 contém partículas eletricamente carregadas tanto de origem atmosférica quanto solar; são principalmente íons hélio trazido no Vento Solar. Durante períodos de atividade solar mais intensa, grande parte das partículas eletricamente carregadas trazidas pelo Vento Solar conseguem romper a barreira formada pelos Cinturões de Radiação de Van Allen, que ao atingirem a alta atmosfera produzem fenômenos como as auroras polares e as tempestades magnéticas.

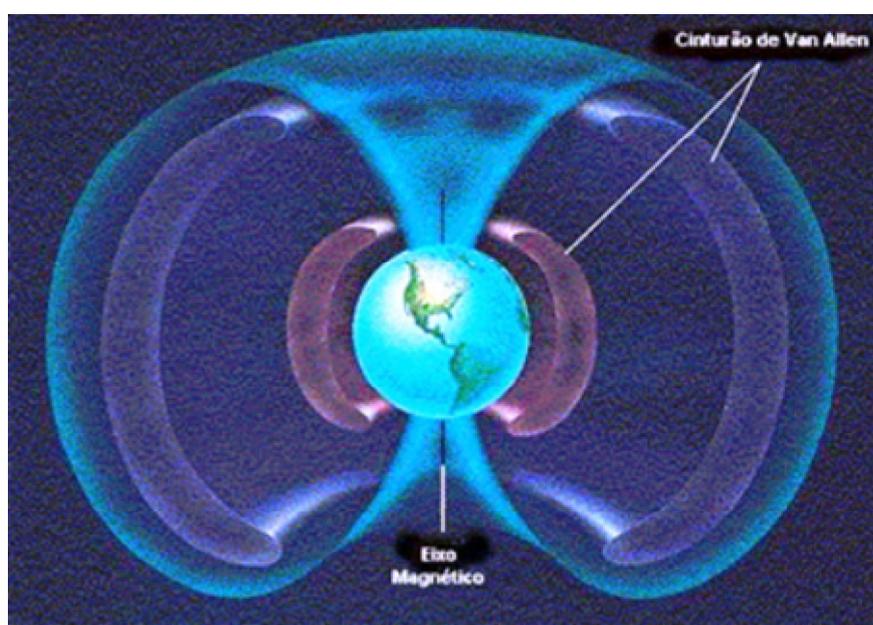


Figura 1.3: – Cinturão de Radiação de VanAllen.

Fonte: <http://br.geocities.com/saladefisica>

I.6 Tempestades e Sub-Tempestades Geomagnéticas

O vento solar flui constantemente no sentido Sol-Terra trazendo um fluxo de prótons e elétrons que esbarra no Campo Geomagnético, criando uma cavidade conhecida como magnetosfera. Dentro da magnetosfera o campo magnético e o campo elétrico controlam o movimento de íons na Ionosfera. Estas correntes existentes na magnetosfera e na Ionosfera são responsáveis pelas variações transientes temporárias existentes nos estudos feitos na magnetosfera em pontos da superfície terrestre ou em sua vizinhança.

Os efeitos mais severos estão associados com atividades solares irregulares, que emite raios-X, radiação ultravioleta e partículas de alta energia. Com a alteração do plasma solar, aumentam-se a densidade de partículas e com a configuração adequada do campo magnético interplanetário, o vento solar comprime o campo magnético da vizinhança da Terra e transfere grande parte de sua energia para a magnetosfera. Partículas carregadas acabam penetrando a magnetosfera e sendo empurradas e armazenadas na Ionosfera equatorial, distribuindo-se a cerca de 2,5 a 5 raios terrestres do centro do planeta, chamada de corrente de anel, “*ring current*”. Quando estes eventos ocorrem na devida seqüência, têm-se origem as chamadas tempestades magnéticas, sendo percebidas subitamente nos registros magnéticos obtidos diariamente, quando o índice Sq (variação *Solar Quiet*) é completamente perturbado. As tempestades magnéticas podem durar até 5 dias e alcanças variações, embora raramente, na ordem de milhares de nanoteslas.

Quando ocorrem tempestades magnéticas, uma serie de distúrbios na Ionosfera se iniciam. Acredita-se que esses distúrbios tenham origem apenas na intensificação do vento colar, causador das tempestades magnéticas, embora os detalhes dos mecanismos não sejam totalmente conhecidos.

Sub-tempestades magnéticas são associadas às correntes do campo alinhadas, fluindo dentro e fora da região auroral. Essas correntes são menos intensas que as tempestades, mas ocorrem com maior frequência e duram apenas algumas horas. As sub-tempestades são desencadeadas quando o balanço dinâmico da energia destas correntes se torna instável. Tanto a frequência das tempestades quanto das sub-tempestades magnéticas está associado ao ciclo solar de 11 anos.

CAPÍTULO II

SISTEMA SARINET

II. 1 Riômetro

Desde a década de 50 se utiliza Riômetros (do inglês *Riometer: Relative Ionospheric Opacity Meter*, ou seja, medida da opacidade relativa da Ionosfera) como uma importante ferramenta para sondagens ionosféricas. Os riômetros normalmente captam os sinais em frequências que variam de 20 MHz a 50 MHz e investigam as interações Sol-Terra, principalmente a absorção na baixa Ionosfera, camada D (ou camada E noturna) situada na faixa dos 80 km a 130 km. Um Riômetro trata-se de um rádio receptor muito sensível que mede o nível de ruído cósmico incidente sobre a superfície terrestre. Entende-se por ruído cósmico todas as ondas de rádio emitidas por corpos celestes, de maneira contínua, com um espectro de frequência que corresponde ao espectro de emissão de um corpo negro. Ao chegarem à Ionosfera, estas ondas de rádio são absorvidas numa proporção que é função da densidade de elétrons livres. Neste contexto, a análise da intensidade de ruído cósmico (de uma dada frequência) na superfície da Terra, permite estimar a densidade eletrônica na altura da absorção.

Para um dado ponto do espaço, fora da interferência da atmosfera terrestre, podemos considerar o sinal do ruído cósmico como tendo uma intensidade constante. Quando o ruído cósmico atravessa a atmosfera, parte da energia da onda é dissipada na Ionosfera sob a forma de energia cinética transferida aos elétrons livres. Portanto, quanto maior for densidade eletrônica na Ionosfera maior será a absorção do sinal de ruído cósmico. Mas não é possível ter o nível do ruído cósmico sobre a superfície terrestre sem a absorção ionosférica, pois esta absorção está sempre presente. Então se determina através de métodos estatísticos uma curva com o nível de intensidade do ruído cósmico mais alto captado pelo Riômetro ao longo de vários dias de dados, que se refere a um período magneticamente calmo, com pouca absorção. Esta curva é tomada como padrão para comparação com os dados daqueles dias magneticamente perturbados, em que há maior atenuação do ruído cósmico que chega ao Riômetro. Tal curva é chamada Curva do Dia Quietou ou QDC (do inglês *Quiet Day Curve*).

II.2 Rede SARINET – *SOUTH AMERICA RIOMETER NETWORK*

O Projeto SARINET (do inglês: SOUTH AMERICA RIOMETER NETWORK) consiste em montar uma rede de Riômetros na região da AMAS para estudar e pesquisar o fluxo da precipitação de partículas energéticas observadas na região de Anomalia Geomagnética do Atlântico Sul. A AMAS está situada na região do Atlântico Sul e sobre o sul da América do Sul. Enquanto que na parte central da AMAS a intensidade está atualmente em torno de 23000 nT, em outras regiões do planeta, a intensidade do campo geomagnético é maior. Por isso, a região da AMAS pode ser considerada como sendo o mínimo global para a intensidade do campo geomagnético. Com o estudo da dinâmica da AMAS, notou-se que esta não é estática e atualmente está em lento movimento para o oeste, em direção a Argentina e Chile.

Em virtude do Campo Magnético na região da AMAS ser o mínimo global, 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 desta região facilita a entrada de partículas energéticas provenientes do Sol e 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, enquanto que no local que é o conjugado magnético no Hemisfério Norte, esta altitude é em torno de 600 km. Esta é a região onde o Cinturão Interno de Radiação está mais próximo da superfície terrestre, e as partículas energéticas (prótons e elétrons) precipitam e ionizam os constituintes atmosféricos. Em períodos de máximo solar do ciclo solar, como resposta direta há o aumento das ejeções de massa coronal e do vento solar, que ocasionam as chamadas Tempestades e Sub-Tempestades Magnéticas. A precipitação de partículas é bastante intensificada nesses períodos.

O recente Projeto da Rede SARINET, então, se firma como uma importante rede que possibilita o estudo e pesquisa do fluxo de precipitação de partículas energéticas observadas na região de Anomalia Geomagnética do Atlântico Sul. O Brasil participa desta rede no âmbito da cooperação internacional entre Japão, Chile e Argentina.

No Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, está instalado e em operação o Riômetro Imageador e o Riômetro Convencional. A diferença entre os

dois Riômetros é que o do tipo Imageador possui o diferencial de produzir imagens em duas dimensões da absorção e que é capaz de captar o movimento espacial das irregularidades inosféricas através do seu conjunto de 16 antenas que formam uma matriz 4 X 4 varrendo o campo de visão do céu, obtendo informações simultâneas de diferentes pontos da Ionosfera.

O Projeto SARINET conta ainda com dois Riômetros Imageadores no Chile: um foi instalado e esta operacional junto a Universidade de Concepcion, em Concepcion (37.5°S, 72.7°W) que fica situada a oeste de Santa Maria e do Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE – MCT. O outro Riômetro Imageador está instalado e operacional junto a Universidade de Magallanes, em Punta Arenas, (53.1°S, 71.0°W), ao sul de Santa Maria e de São Martinho da Serra, RS, Brasil, conforme mostra a Figura 2.1.

A Argentina passou a fazer parte do Projeto SARINET em março de 2008, com a instalação de um Riômetro de um canal no Observatório Geofísico de Trelew, na província de El Chubut, na Patagônia Argentina. Ainda neste ano, através da cooperação Japão-Brasil-Chile, o Observatório Geofísico de Trelew irá contar com um sistema de câmeras CCD e para o ano de 2009 com Riômetros Imageadores, operando na frequência de 38.2 MHz.



Figura 2.1: Representação artística das localizações dos sítios de coleta de dados de Riômetros Imageadores na rede SARINET.

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

II.2.1 Objetivo do Projeto SARINET

O objetivo do Projeto SARINET é 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. Também 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 AMAS. Com a completa instalação da rede SARINET será possível observar a variação da absorção ionosférica de ondas de rádio de origem cósmica a partir dos Riômetros Imageadores instalados no Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS. E também comparar os resultados obtidos com os resultados de outros Riômetros Imageadores instalados no Chile e com os dados obtidos com novos Riômetros (idênticos e de um canal), que estão operacionais no Chile (em Punta Arenas e em Concepcion), no Brasil (em São Martinho da Serra, RS) e na Argentina (em Trelew, na região do Golfo de S. Matias).

II.2.2 Resultados Esperados

A implementação do Projeto SARINET propiciará ao INPE/MCT e aos Grupos de Pesquisas do INPE/MCT do Sul, uma melhoria fundamental para a continuidade e o aprofundamento da pesquisa em Ciências da Terra, do Sistema Solar e do Espaço Exterior no CRS/CIE/INPE – MCT. Também irá propiciar a seus Grupos de Pesquisas do CNPq uma melhoria da compreensão da dinâmica das Ciências da Terra, do Sistema Solar e do Espaço Exterior, em especial das Interações Terra-Sol, do Clima Espacial, com o aprimoramento da funcionalidade das ferramentas de previsão. Com isso, propiciará a expansão dos grupos de pesquisa do Centro Espacial em áreas afins na Região Sul do Brasil e intercâmbios entre e com professores pesquisadores e alunos das Universidades da Argentina, do Brasil e Chile.

CAPÍTULO III

SISTEMA SAVNET

III.1 Rede SAVNET – *SOUTH AMERICA VLF NETWORK*

O Projeto da rede SAVNET – *South America VLF Network* consiste em um Projeto de um conjunto de sistemas de estações de radio recepção, em baixas frequências, utilizado para o monitoramento da atividade solar em longo prazo e para o estudo dos seus efeitos na grande região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS). A rede SAVNET usa as propriedades de propagação de ondas do VLF (*Very Low Frequency*: 3 - 30 kHz). Em distâncias longas entre um transmissor e um receptor, a base da Ionosfera atua como a parede superior de um imenso guia de onda esférico, sendo que a parte inferior é constituída pela superfície terrestre. A propagação de ondas de baixa frequência (VLF) é uma ferramenta potente para o estudo da região-D ionosférica (e região E noturna), devido ao fato que esta propagação pode ser efetuada através de distâncias de até milhares de quilômetros com grande estabilidade. Quando acontece uma perturbação que resulta em um aumento ou uma diminuição da ionização na região D diurna (ou E noturna), efeitos físicos nítidos são observados nas características das ondas de VLF, como na sua fase e amplitude, fenômeno que é atribuído à mudança das propriedades elétricas da baixa Ionosfera.

III.1.1 – Instrumentação Necessária Para Uma Estação Receptoras de Sinais de VLF

Os Sistemas eletrônicos da SAVNET, tais como: antenas, amplificadores e receptores de VLF são capazes de medir perturbações na amplitude dos rádios sinais da ordem de 1 dB relativamente ao nível do sinal quieto e podem medir avanços de fase ≤ 0.5 graus/Mm, o que corresponde a variações de fase observadas durante explosões solares de pequenas intensidades. Por conseqüência, para o estudo de fenômenos rápidos faz-se necessária alta resolução temporal (~ 50 ms), característica técnica que foi devidamente incorporada ao Sistema SAVNET. Devido à alta sensibilidade dos sistemas eletrônicos SAVNET, a localizações das estações que compõem a rede

em VLF devem ficar longe de possíveis interferências radioelétricas, tanto naturais quanto de origem antropogênica.

Para atender os pré-requisitos técnicos e científicos do Projeto SAVNET, foram planejados e escolhidos sítios de observações na América do Sul, para a instalação das diferentes estações receptoras em VLF, em função de suas coordenadas geográficas e principalmente em relação à posição da Anomalia Magnética do Atlântico Sul, assim como em função da infra-estrutura já existente, conforme distribuição apresentada na Figura 3.1.



Figura 3. 1: Localização das estações receptoras da Rede SAVNET na América do Sul.
Fonte: Projeto FAPESP-SAVNET.

A distribuição das estações receptoras SAVNET na América do Sul é:

- Piura ao norte do Peru ($05^{\circ}12' S$; $80^{\circ}38' W$)
- Punta Lobos na região de Lima, no Peru ($12^{\circ}30' S$; $76^{\circ}48' W$)
- Palmas, TO, no Brasil ($10^{\circ}10' S$; $49^{\circ}20' W$)
- No Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS no Brasil ($29^{\circ}43' S$; $53^{\circ}43' W$)

- Complexo Astronômico São Leoncito - CASLEO, San Juan, na Argentina ($31^{\circ}32' S$; $68^{\circ}31' W$)
- Radio Observatório de Itapetinga – ROI/CEA/INPE – MCT, em Atibaia, SP, no Brasil ($23^{\circ}11' S$; $46^{\circ}36' W$), em Convênio com a Universidade Presbiteriana Mackenzie –Centro de Radio Astronomia e Astrofísica Mackenzie - CRAAM.
- Estação Antártica Comandante Ferraz na Península Antártica, ($62^{\circ}05' S$; $58^{\circ}24' W$)

A diagramação da radio propagação no Continente Americano da rádio transmissão em VLF e a possibilidade de seu estudo nas características de propagação de ondas VLF a partir de trajetos que atravessam totalmente, parcialmente ou que não atravessam a região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul, é apresentada na Figura 4.2. Algumas das transmissoras utilizadas no Projeto SAVNET são apresentadas na Figura 1.2, tais como: a NLK, EUA ($48^{\circ}12' N$; $121^{\circ}55' W$), NPM, Hawaii ($38^{\circ}59' N$; $76^{\circ}27' W$) – 21.4 kHz, Hawaii, permitirão fazer medidas simultâneas que podem fornecerão informações sobre a estrutura espacial da Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS. Notamos também que as transmissões efetuadas pela estação transmissora NAA ($44^{\circ}39' N$; $67^{\circ}17' W$) – 24 kHz, EUA e recebidas pela rede SAVNET poderão ser comparadas com observações ópticas de fenômenos atmosféricos, como “Sprites” efetuadas no Radio Observatório de Arecibo, em Porto Rico ($18^{\circ}30' N$; $68^{\circ}31' W$).

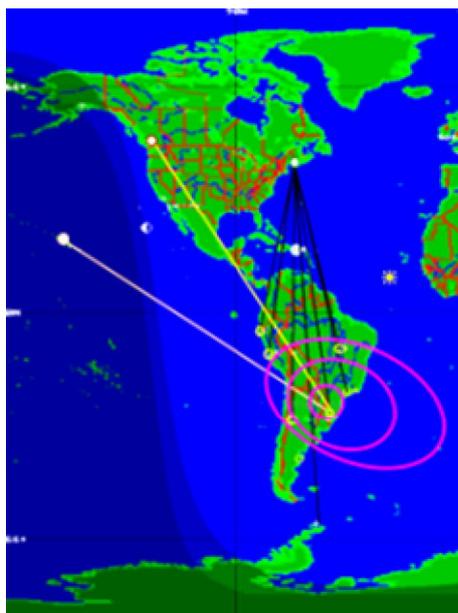


Figura 3.2: Diagramação dos trajetos de rádio propagação das estações transmissoras NAA, NLK e NPM localizadas no Hemisfério Norte até as estações receptoras VLF da Rede SAVNET localizados na América do Sul e em relação à Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS.

Fonte: Projeto FAPESP-SAVNET

Basicamente um sistema estação receptora em VLF da Rede SAVNET é composto de um conjunto de antenas, de pré-amplificador, de sistema GPS e de computador. O diagrama de bloco simplificado de uma estação receptora da Rede SAVNET é apresentado na Figura 3.3:

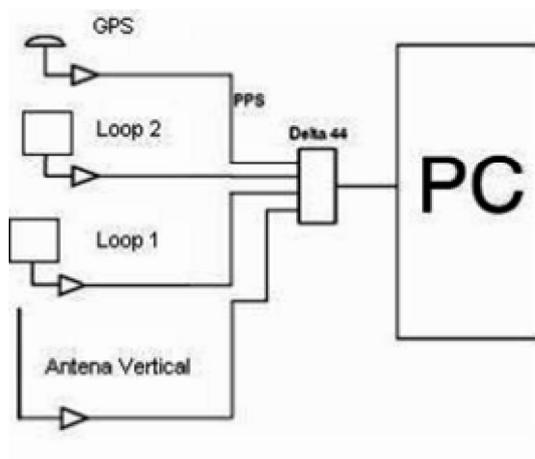


Figura 3. 3: Esquema simplificado dos componentes de uma estação receptora de VLF da Rede SAVNET. São mostradas as três antenas, a antena do sistema de GPS e a placa digitalizadora, assim como o computador para o processamento dos dados.

Fonte: Modificada do projeto FAPESP-SAVNET

As três antenas, que compõem cada uma das estações da rede SAVNET em VLF proposta no Projeto, são do tipo “Loops” (duas antenas) e uma do tipo vertical. Nas antenas tipo Loop a corrente elétrica é induzida nos terminais da antena pela variação do campo da onda eletromagnética de VLF através do quadro do “Loop”. Utilizando duas antenas posicionadas perpendicularmente uma em relação a outra é possível medir-se a contribuição de cada componente da variação do fluxo do campo magnético. Na antena vertical a corrente é criada pela componente vertical (EZ) do campo elétrico da onda de VLF. Sendo o tamanho da área coletora (metros), muito pequeno em relação ao comprimento de onda das ondas eletromagnéticas detectadas (10 - 30 km). A energia eletromagnética transportada pela onda é muito pequena e a corrente gerada e que circula pelas antenas é, portanto, muito pequena. Portanto, o processo, delicado, de sintonia das antenas que

consiste em maximizar a sua resposta entorno da frequência de interesse (frequência do transmissor) é fundamental para a obtenção de um bom fator sinal/ruído na estação de recepção SAVNET.

As observações consistem com 4 sinais detectados, das 3 antenas e da antena GPS, que são digitalizados através de uma placa de som (Delta 44), e tratados no computador por um programa específico. Este programa é o coração de cada Sistema SAVNET e é chamado de SoftPAL, programa que foi desenvolvido especialmente para atender os objetivos técnicos e científicos estudados no Projeto que são calcular a fase e amplitude das ondas de VLF detectadas pela estação de recepção SAVNET. Estas ondas, antigamente, eram emitidas de forma contínua pelos extintos transmissores da rede de navegação Omega, e são emitidas hoje em dia de forma modulada pelos transmissores MSK (Minimum Shift Keying). A grande vantagem permitindo o uso das ondas de VLF para posicionamento é o grande comprimento de onda, a grande estabilidade dos sinais enviados e o sincronismo entre os diferentes transmissores. A grande estabilidade é obtida pelo uso de padrões de frequência (ou relógios atômicos) extremamente precisos e estáveis (1 parte em 10^{11} ou 10^{12}) em cada transmissor. No Sistema SAVNET o receptor de VLF compara a fase da onda detectada com a fase de um oscilador local, que pode ser um cristal ou outro relógio atômico. A estimativa correta da fase relativa, $\Delta\Phi$, necessita do uso localmente de um oscilador estável. O uso de um cristal com estabilidade de 1 parte em 10^8 para comparação com a fase de uma onda de VLF de 12.5 kHz implicará uma deriva de $\Delta\Phi$ de 1.4 graus a cada 30 segundos. Este valor de deriva é aceitável no estudo de fenômenos rápidos com os TRIMPIS, mas não é aceitável para estudos de variações de fase diurnas, já que ele é da ordem do avanço de fase detectado durante uma pequena

explosão solar e medido em um trajeto de 2880 km. O receptor de VLF proposto no Projeto SAVNET utiliza o oscilador interno do próprio computador, mas a deriva na estimativa de $\Delta\Phi$ é corrigida a cada 1 segundo utilizando o sinal de 1 PPS do receptor do Sistema GPS, que é controlado a bordo dos satélites de GPS por relógios atômicos. Isto permite o cálculo de $\Delta\Phi$ com precisão e com uma grande estabilidade temporal.

III.2 Resultados Esperados

Através do SAVNET a região da América Latina se dotará de um instrumento genuíno capaz de providenciar observações importantes podendo levar a um melhor conhecimento da física da

baixa Ionosfera assim como da física das relações solar-terrestres.

III.2.1 Produção Científica

Como mencionado anteriormente, as instituições envolvidas tem uma grande experiência em problemas científicos relacionados a baixa ionosfera assim como na área de Clima Geoespacial, com produção científica expressiva e comprovada através da publicação de artigos em revistas internacionais arbitradas, e participações em congressos nacionais e internacionais. Portanto espera se que os resultados obtidos pelo SAVNET sejam de grande interesse para a comunidade e levem a importante produção científica.

III.2.2 Formação de Recursos Humanos

Os grupos de pesquisa envolvidos estão em estreita ligação com instituições acadêmicas como universidades, participando de programas de pós-graduação e atividades de graduação. Portanto é esperado um importante retorno acadêmico para os estudantes das áreas de física e de engenharia elétrica, em particular nos conhecimentos fundamentais de eletromagnetismo, física solar básica e atividade solar, física da Ionosfera assim como em áreas mais aplicadas como construção e teste de antenas de VLF, construção e testes de receptores de VLF e aquisição e análise de dados.

CAPÍTULO IV

ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

Projeto SARINET

IV.1 – Projeto SARINET

Nos itens abaixo serão descritas as atividades realizadas pelo bolsista de Iniciação Científica & Tecnológica durante o período de agosto de 2007 a março de 2008 referentes ao período do Projeto de Iniciação Científica, no Projeto SARINET.

IV.1.1 Participação do Aluno na Instalação da Estação SARINET em Trelew – Argentina

No período de 12 a 18 de março, o bolsista teve a oportunidade de viajar para a cidade de Trelew, na Patagônia Argentina, juntamente com o Pesquisador Dr. Kazuo Makita e Dr. Nelson Jorge Schuch. O Dr. Kazuo Makita da Universidade de Takushoku é um dos principais investigadores das pesquisas com Riômetros, VLF e VHF na AMAS, junto ao Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE – MCT e no Cone Sul da América do Sul, em Conception e Punta Arenas.

Com a instalação do equipamento Riômetro Convencional junto ao Observatório Geofísico de Trelew (43,2° S ; 65,2° W) em Trelew, situada na província de El Chubut, a Argentina se insere na Rede SARINET no âmbito da cooperação técnica e científica juntamente com Brasil, Japão e Chile. Parte do Observatório Geofísico de Trelew é mostrada na Figura 4.1 abaixo. Ao fundo se encontra algumas instalações com o equipamento magnetometro instalado e operacional.



Figura 4.1: Vista parcial do Observatório Geofísico de Trelew, em Trelew, patagônia Argentina.
Fonte: Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre - CRS/CIE/INPE - MCT

Uma das tarefas a ser realizada foi à instalação das antenas que compõe a estação receptora de raios cósmicos. Esta estação é composta de 6 Riômetros Convencionais. O diagrama de bloco simplificado de uma estação receptora de raios cósmicos operando em 38.2 MHz é mostrado na Figura 4.2.

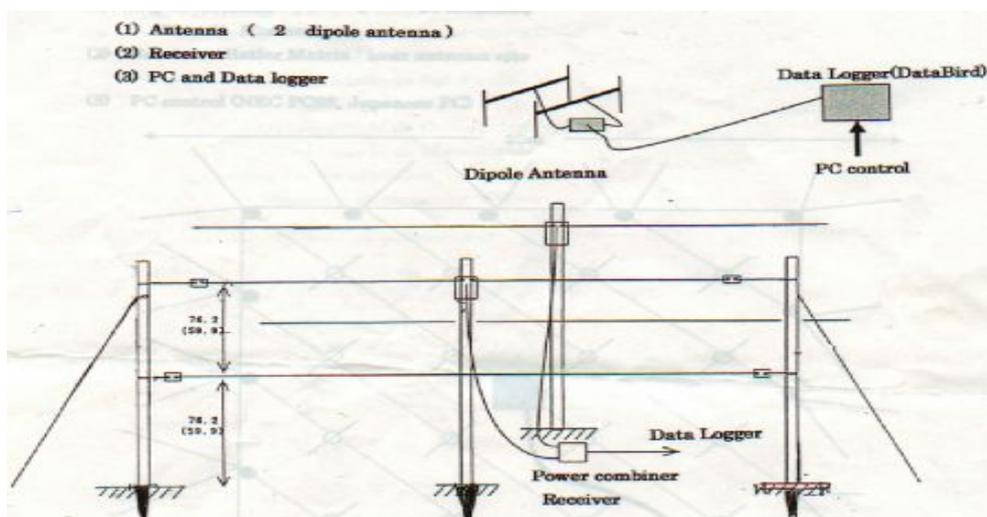


Figura 4.2: Diagrama de bloco simplificado de uma estação receptora de raios cósmicos operando em 38.2 MHz no Observatório Geofísico de Trelew, em Trelew, Argentina.

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

A vista superior da estação de Riômetros Convencionais instalados e operacionais no Observatório Geofísico de Trelew está mostrada na Figura 4.3

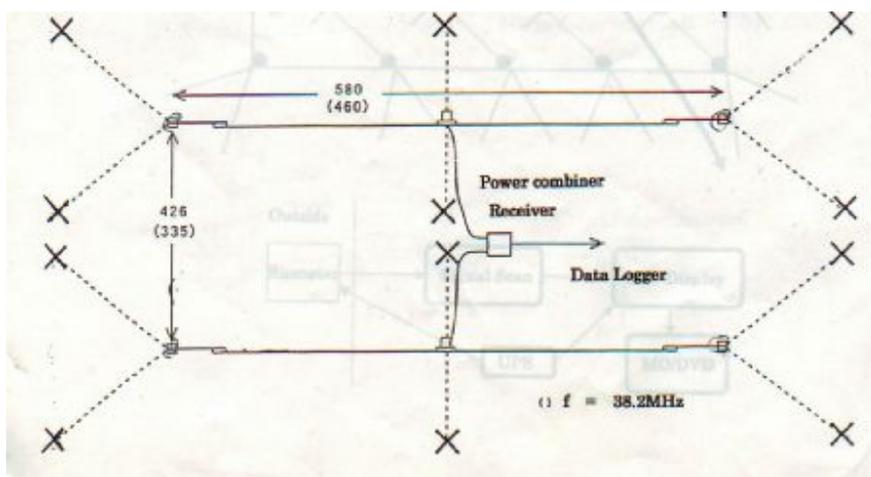


Figura 4.3: Vista superior da estação de Riômetros Convencionais instalados no Observatório Geofísico de Trelew, em Trelew, na Patagônia Argentina.

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

Durante a montagem do equipamento, o aluno interagiu com um dos principais pesquisadores do mundo que utilizam Riômetros e com isso pode compreender melhor o processo de fabricação de cada antena e os cuidados necessários que se deve ter na instalação. A estação de Riômetros Convencionais instalados no Observatório Geofísico de Trelew está mostrada na Figura 4.4.



Figura 4.4: Vista da estação de Riômetros Convencionais instalados no Observatório Geofísico de Trelew, em Trelew, na Patagônia Argentina.

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

Também durante a semana de instalação do Riômetro Convencional no Observatório Geofísico de Trelew, discutiu-se a área onde será instalado o Riômetro Imageador, em março de 2009. O pesquisador japonês irá instalar junto ao Observatório o sistema Riômetro Imageador, cujo diagrama do projeto de instalação está mostrado na Figura 4.5.

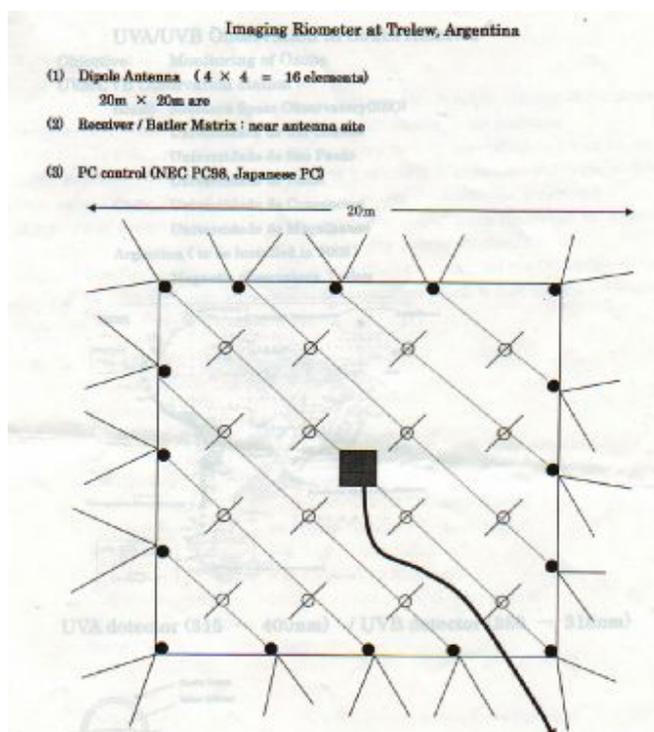


Figura 4.5: Vista superior da estação de Riômetros Imageadores que será instalado no Observatório Geofísico de Trelew, em Trelew, na Patagônia Argentina.

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

Os Riômetros Imageadores necessitam de uma área aproximada de 20 m². Cada antena está a uma distância da outra de 1/2 comprimento de onda (~3.93m) e com uma altura a partir do solo de 1/4 de comprimento de onda (~1.96m), e capta sinais em 38,2 MHz.

IV.1.2 Conclusões Referentes ao Projeto SARINET

As frequências utilizadas pelos Riômetros instalados no Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra para o registro do ruído cósmico é a de 38.2 MHz. A faixa em torno de 30 MHz é também a mais utilizada pela comunidade científica pelo fato de que na faixa entre 20 e 200 MHz a intensidade do ruído cósmico apresenta-se maior quando comparada à contribuição do ruído

atmosférico. Em frequências maiores que 200 MHz, os fatores limitantes consistem do ruído produzido por instrumentos eletro-eletrônicos e pelo ruído do corpo negro equivalente da Terra. A

faixa de frequência escolhida deve ser então maior que as frequências críticas das camadas ionosféricas superiores (região F da Ionosfera).

Como foi afirmado no capítulo 3, não é possível ter o nível do ruído cósmico sobre a superfície terrestre sem a absorção ionosférica. Ela está sempre presente. Através de métodos estatísticos, é determinada 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, sendo tomada como padrão para comparação com os dados daqueles dias em que o ruído cósmico é atenuado ao chegar ao Riômetro. Tal curva é chamada Curva do Dia Quietou ou QDC (do inglês: *Quiet Day Curve* ou curva do dia quieto). O nível de absorção é dado pela razão entre o sinal recebido sem absorção (QDC) e o atual sinal recebido. Normalmente a intensidade do ruído cósmico é dada em decibéis e é calculado através da seguinte equação:

$$A(dB) = 20 \log_{10} \frac{A_{QDC}}{A_{DIA}}$$

Abaixo vemos um exemplo de uma curva do dia quieto na figura 4.6.

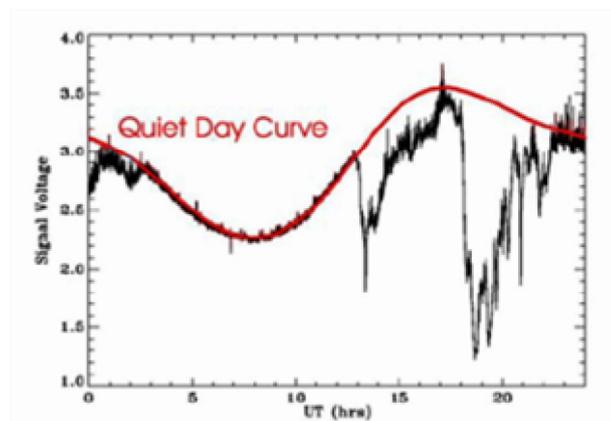


Figura 4.6: Exemplo de uma curva do dia quieto, em vermelho e a comparação com um sinal atenuado pela Ionosfera, em preto.

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

Assim, a variação da absorção ionosférica de ondas de rádio de origem cósmica vem sendo observada a partir do equipamento Riômetro Convencional, mostrado na Figura 4.7, instalado no

Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS.



Figura 4.7: Sistema Riômetro Convencional instalado e em operação no Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS.

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

No Observatório Espacial do Sul há instalado também um Riômetro do tipo Imageador. Este equipamento é capaz de captar o movimento espacial das irregularidades ionosféricas através do seu conjunto de antenas varrendo o campo de visão do céu, produzindo 16 feixes que varrem a Ionosfera local com um campo de visão de aproximadamente 330x330 km tanto na direção norte-sul quanto na direção leste-oeste. O Riômetro do tipo Imageador instalado no Observatório está mostrado na Figura 4.8.



Figura 4.8: Antenas dipolos 4 x 4 instalados e em operação no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE – MCT em São Martinho da Serra, RS.

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

O bolsista encontra algumas dificuldades com relação ao idioma Inglês que ainda não é totalmente dominado. E este idioma é o que está escrito a maior parte da bibliografia referente aos equipamentos e principalmente, é o idioma na qual o aluno consegue se comunicar com o pesquisador japonês.

Atualmente o Bolsista é responsável pela pesquisa, análise, redução e coleta de dados do Riômetro Imageador instalado e em operação no Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra, RS e pela disponibilização dos dados na rede Internet através do programa CORE FTP. O Bolsista está iniciando o estudo aprofundado destes dados, pois adquiriu na última visita do Dr. Kazuo Makita, um programa que utiliza uma rotina em MatLab para a leitura dos dados e geração de gráficos. Este programa irá possibilitar um maior entendimento do projeto, já que estava surgindo

várias dificuldades com os programas de processamento que foram compilados para serem utilizados em computadores japoneses, necessitando de adaptações e/ou inclusive a elaboração de

novos programas. Uma seqüência de imagens obtidas pelo Riômetro Imageador é mostrada na Figura 4.9, abaixo.

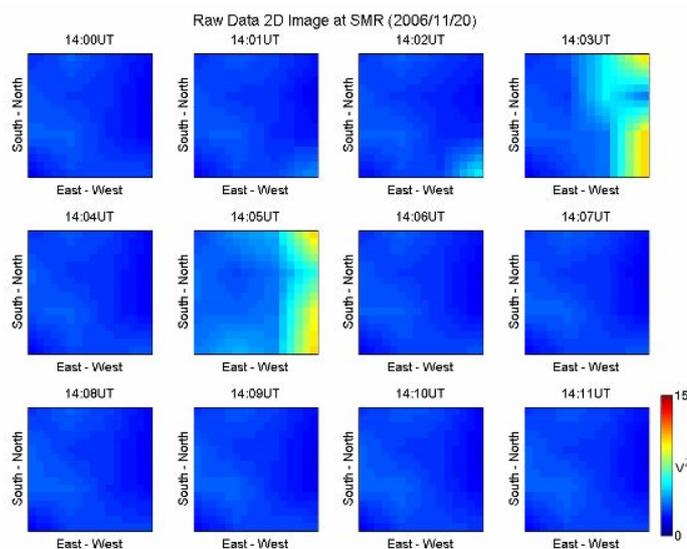


Figura 4.9: Imagens obtidas pelo sistema Riômetro Imageador operacional no Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE - MCT em São Martinho da Serra, RS.

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

A partir da redução dos dados, o bolsista está desenvolvendo estudos iniciais da evolução temporal da absorção ionosférica na região da AMAS.

Projeto SAVNET

IV.2 Projeto SAVNET

A seguir serão apresentadas as atividades realizadas pelo aluno de Iniciação Científica & Tecnológica durante o período de agosto de 2007 a março de 2008, pertinente ao Projeto SAVNET.

IV.2.1 Conclusões Referentes ao Projeto SAVNET

Inicialmente o aluno de Iniciação Científica no CRS/CIE/INPE – MCT, Juliano Moro, do Curso de Física da UFSM e os alunos de pesquisa do Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre - LSIANT/CRS/CIE/INPE – MCT realizaram uma viagem para o Rádio Observatório de Itapetinga, no município de Atibaia, SP, em Abril de 2007. Essa viagem teve a finalidade de propiciar aos alunos de Santa Maria treinamento junto com Professores Pesquisadores e Técnicos do próprio Rádio Observatório de Itapetinga – ROI/CEA/INPE - MCT e do Centro de Rádio Astronomia e Astrofísica da Universidade Presbiteriana Mackenzie – CRAAM, em São Paulo, SP. Os alunos puderam interagir com o Coordenador Geral do Projeto SAVNET durante uma semana, tempo de duração do treinamento. O Rádio Observatório de Itapetinga, onde foi realizada a parte técnica e observacional do treinamento dos alunos é mostrado na Figura 4.10.



Figura 4.10: Rádio Observatório de Itapetinga – ROI/CEA/INPE – MCT em Atibaia, SP.

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

Ao voltar a Santa Maria, a equipe de estudantes trouxe parte dos equipamentos que foram utilizados na instalação da Estação de Recepção da Rede SAVNET no Observatório Espacial do Sul, sendo eles: um microcomputador com seus acessórios: mouse, teclado; oito mãos-francesas; canaletas; peças centrais; placa de som Delta 44; antena do Sistema GPS e diversos cabos.

Para a efetiva instalação da Estação de Recepção da Rede SAVNET no Observatório Espacial do Sul, fez-se necessário a aquisição de parte do material que foi comprado no comércio de Santa Maria. Após uma pesquisa de preços no mercado local foram comprados oito tubos galvanizados, que formam o quadro das antenas tipo Loop. Cada tubo galvanizado possui 3 m de comprimento, e as dimensões são de 2,5 cm de diâmetro interno e 2,7 cm de diâmetro externo.

Foi necessário comprar um tubo de PVC com tampa para a antena vertical, visto que a antena consiste em um fio de cobre esticado dentro deste tubo e ligado ao sistema. O monitor necessário para as observações, foi obtido no Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais.

No mês de maio de 2007, o Coordenador Geral do Projeto Rede SAVNET, Prof. Dr. Jean Pierre Raulin, juntamente com o Engenheiro Eletricista Rubens Hadano, do Rádio Observatório de

Itapetininga, estiveram em Santa Maria e em São Martinho da Serra, RS. O objetivo da visita foi a instalação dos receptores da Estação de Recepção da Rede SAVNET no Observatório Espacial do Sul, ver Figura 4.11, quando verificaram a consistência da construção das bases das antenas, trabalho previamente executado pelos alunos de pesquisa de Santa Maria. Foi verificada a profundidade das bases das antenas tipo Loop, pois no local da instalação no Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra, são muito freqüentes fortes rajadas de vento.



Figura 4.11: Vistas panorâmicas das instalações do Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE – MCT em São Martinho da Serra, RS.

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

A montagem das antenas retangulares (Loops) n° I e n° II foram inicialmente efetuada com a passagem de 100 m de fio de cobre flexível de 2,5 mm² de secção transversal, dando oito voltas completas por dentro dos tubos galvanizados para cada antena. Concluída a montagem das antenas tipo Loop, foram realizados testes e verificou-se a presença de rádio interferência em baixas freqüências, de 10 a 40 KHz, que comprometia a qualidade do sinal recebido pela estação receptora SAVNET local. Esta rádio interferência foi detectada como sendo gerada pelos sistemas estabilizador-gerador de energia elétrica do Observatório (no-breaks), no prédio n°3. Uma primeira tentativa de solução para este problema foi realizar a reinstalação das antenas SAVNET em outro

local no sítio do Observatório, longe do prédio n° 3, agora próximo do prédio n° 6, aproximadamente 200m de distância. Parte do prédio 6 do Observatório Espacial do Sul, onde se encontra reinstalados e em operação os equipamentos eletrônicos da Rede SAVNET é mostrada na Figura 4.12. Após a reinstalação das antenas retangulares I e II e da antena vertical na outra área adjacente ao prédio n° 6 do Observatório Espacial do Sul, foi realizada a calibração e reinstalação dos pré-amplificadores e cubos-eletrônicos de controle que compõem o sistema para a aquisição de dados da Rede SAVNET. A continuidade das atividades técnicas e científicas e de observações do Projeto SAVNET no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais esta sendo executada com a participação e apoio dos alunos de pesquisa, onde o Acadêmico do curso de Física da UFSM é responsável em nível discente pela Rede SAVNET na estação São Martinho da Serra. A atividade realizada pelo bolsista é visitar semanalmente o Observatório Espacial do Sul para a avaliação e determinação da intensidade do nível de rádio interferência artificial e natural, em eventos que podem ocorrer durante testes e da coleta de dados na recepção de sinais de VLF. Nessas visitas o aluno de pesquisa faz a avaliação com teste de apontamento das antenas para determinar a melhor direção sem comprometer o sinal da estação de recepção de VLF e minimizar as interferências. As antenas do tipo retangular I e II e a antena vertical, instaladas e em operação no Observatório Espacial do Sul são apresentadas na Figura 4.13.



Figura 4.12: Vista panorâmica de parte do prédio 6 do Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE - MCT e de uma das antenas do tipo Loop, em São Martinho da Serra, RS.

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



Figura 4.13: Vista panorâmica das antenas do tipo retangular I e II e da antena vertical do Sistema Rede SAVNET instaladas e em operação no Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra, RS.

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

Parte do sistema de aquisição de dados da estação de recepção da Rede SAVNET instalada e em operação no Observatório Espacial do Sul e apresentada na Figura 4.14.



Figura 4.14: Parte do sistema de cabos, pré-amplificadores, fonte, computador e da placa de som Delta44 do sistema de aquisição de dados da estação de recepção SAVNET do Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra, RS.

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

As observações que são constituídas pelos 4 sinais, das 3 antenas e do sistema antena GPS, são digitalizados através de uma placa de som (Delta 44), e tratados pelo computador com o programa SoftPAL. Este programa tem objetivo de calcular a fase e amplitude das ondas de VLF detectadas. Um exemplo de tela de apresentação dos resultados das observações pelo programa SoftPAL da recepção no Observatório Espacial do Sul dos sinais SAVNET das cinco estações transmissoras no Hemisfério Norte e na Nova Zelândia é apresentado na Figura 4.15.

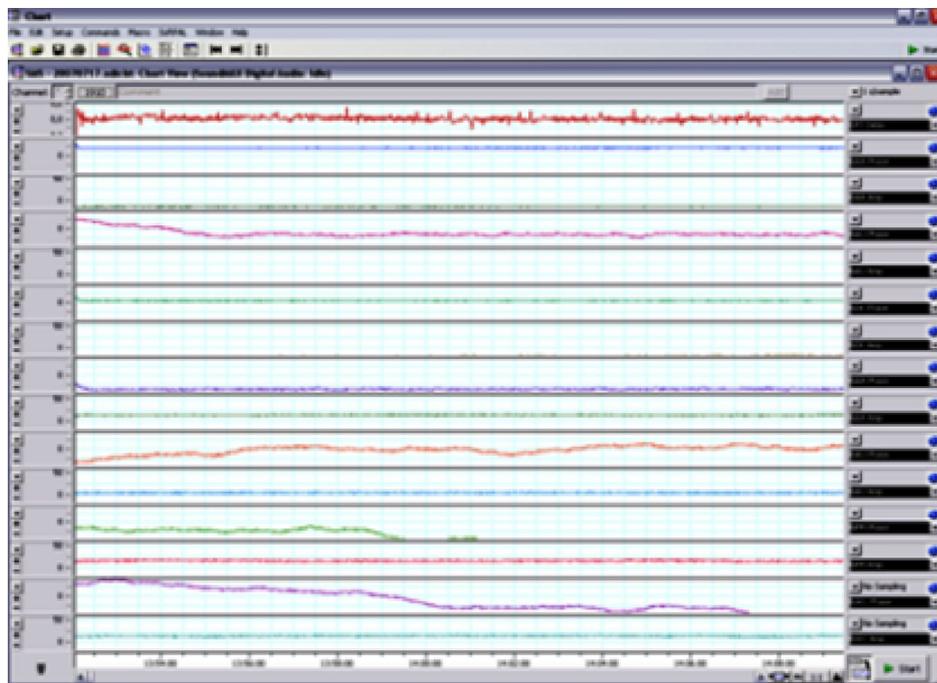


Figura 4.15: Interface do programa SoftPAL mostrando a recepção dos sinais digitalizados de estações transmissoras utilizadas e detectadas pela estação de recepção SAVNET no Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra, RS.

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

A variação noite-dia de aproximadamente 24 horas obtida pela estação de recepção da Rede SAVNET instalada e em operação no Observatório Espacial do Sul, rastreando a transmissora NAA em 24 KHz e apresentada na Figura 4.16. Um exemplo da variação de fase de onda VLF detectada pela estação de recepção da Rede SAVNET instalada e em operação no Observatório Espacial do Sul durante uma explosão solar é mostrado na Figura 4.17.

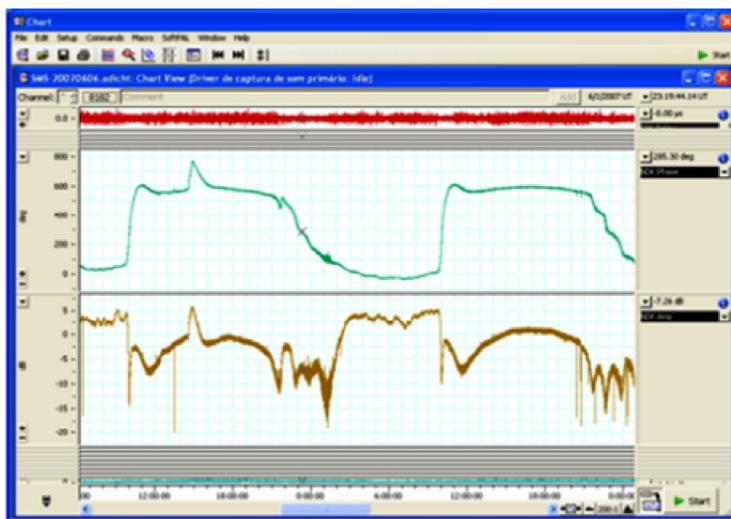


Figura 4.16: Variação noite-dia de aproximadamente 24 horas obtida rastreando a transmissora NAA em 24 kHz pela estação de recepção da Rede SAVNET instalada e em operação no Observatório Espacial do Sul. Fonte: Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre - CRS/CIE/INPE - MCT

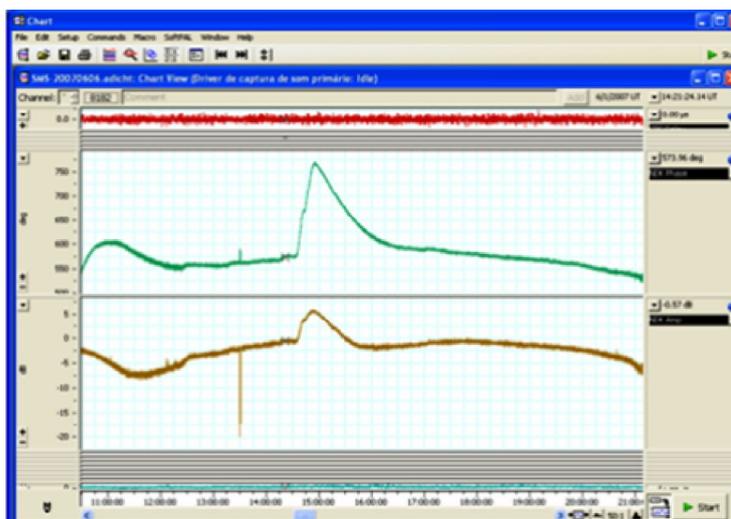


Figura 4.17: Explosão solar ocorrida no dia 06/06/2007, entre 17-19 UT, detectada pela estação de recepção da Rede SAVNET instalada e em operação no Observatório Espacial do Sul. Fonte: Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre - CRS/CIE/INPE - MCT

Vários testes para identificar e medir a intensidade da rádio interferência no Observatório foi realizado pelo aluno de pesquisa associados ao Projeto SAVNET. Para a identificação e determinação intensidade da interferência, faz-se necessária a realização de rádio espectros. Grande quantidade e de uma forma sistemática, rádio espectros foram efetuados no Observatório. Um exemplo de rádio espectro demonstrando altos índices de rádio interferência é apresentado na Figura 4.18. Um exemplo de rádio espectro com baixo nível de rádio interferência no Observatório obtido pela Rede SAVNET é apresentado na Figura 4.19.

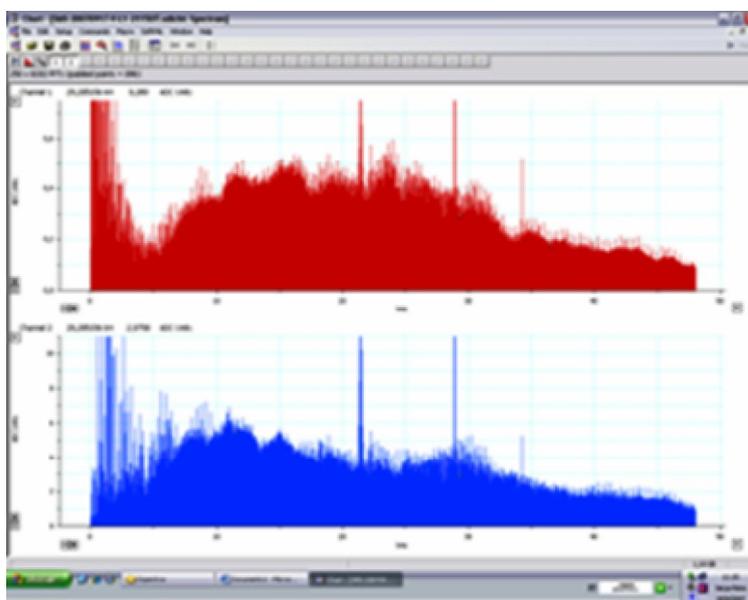


Figura 4.18: Um exemplo de rádio espectro demonstrando altos índices de rádio interferência obtido pela estação de recepção da Rede SAVNET no OES.

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

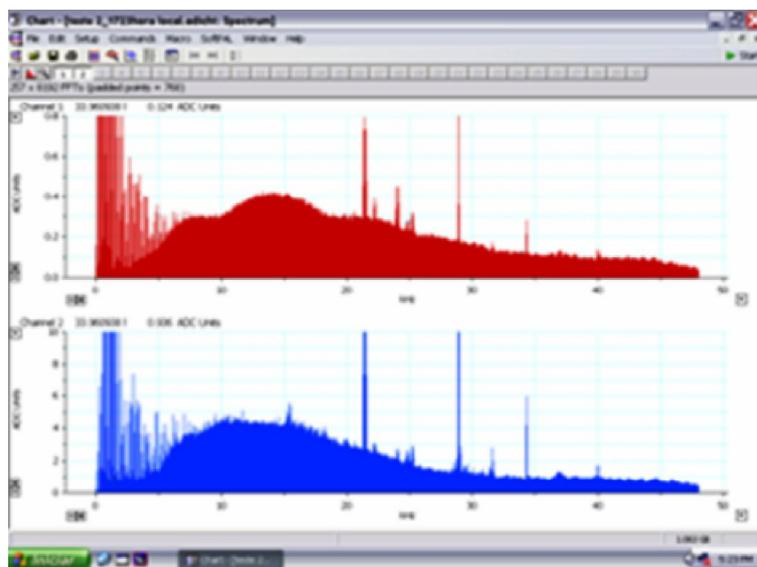


Figura 4.19: Um exemplo de rádio espectro com baixo nível de rádio interferência no obtido pela Rede SAVNET no OES/CRS/CIE/INPE - MCT.

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

Inicialmente o Projeto SAVNET contava com o programa SoftPal em que era necessário realizar viagens até o Observatório Espacial do Sul com uma frequência de duas vezes por semana. Ao chegar ao Observatório, os seguintes procedimentos eram realizados:

- Parar o programa e salvar os dados coletados até o dia em questão. Salvar o arquivo com o seguinte nome: SMS-YYYYMMDD onde YYYY representa o ano, MM representa o mês e DD é o dia em que estes dados foram salvos.
- Reiniciar o computador para evitar que o Windows “trave” durante a coleta de dados.
- Realizar dois espectros. O primeiro é com a antena vertical e o Loop 1, onde este arquivo possui o seguinte nome: SMS-YYYYMMDD-V-L1-hhmmUT onde V é para designar a antena vertical e L1 para designar o Loop 1. Também utilizam-se o universal time (UT) com hh sendo as horas e mm os minutos.

- Repetir o procedimento para a antena vertical e o Loop 2, nomeando este arquivo como SMS-YYYYMMDD-V-L2-hhmmUT.
- Configurar o programa SoftPal para receber dados das estações NAA, NAU NDK, NPM e NWC. Fazer um Print Screen do Setup SoftPal e salvar o arquivo com nome adequado, ou seja, Setup-SMS-YYYYMMDD.
- Permitir que o programa iniciasse a coleta de dados.
- Copiar os arquivos para um pen drive e trazer para Santa Maria para ser disponibilizado na rede pelo programa SSH - *Secure File Transfer Client*.

O sistema de programação foi otimizado e melhorado quando foi efetuada uma atualização do programa SoftPal onde tornou-se possível se ter um arquivo contendo os dados de um só dia, ou seja, o programa salva automaticamente um arquivo a cada 00:00:00 UT. Sendo assim, o nome dos dados de cada dia é dado pelo próprio programa da seguinte forma: SMS-YYYY-MM-DDUT.

O sistema permitiu a instalação no computador da Rede SAVNET do Observatório Espacial do Sul o programa Ultra VNC, para que o aluno de pesquisa em Santa Maria pudesse monitorar o sistema a distância. Com isso, na ocorrência de quedas de energia ou o computador por algum motivo se desligasse, o novo programa permite a observação do problema e possibilitando a tomada de decisão com antecedência para a ida ou não ao Observatório para reiniciar a coleta de dados, visto que o programa SoftPal não reinicia automaticamente quando o Windows é iniciado. Devido a este fato, todos os procedimentos descritos acima devem ser efetuados.

Uma terceira atualização do programa SoftPal, permite fazer espectros em 4 canais. Isso significa que não é mais necessário fazer um rádio espectro com a antena vertical e a antena retangular n° I e gerar outro espectro com a antena vertical e antena retangular n° II. Desta forma o arquivo salvo é nomeado por SMS-YYYYMMDD-V-L1-L2-hhmmUT.

Atualmente, as atividades desempenhadas pela equipe do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais em Santa Maria, RS, e em especial pelo bolsista Juliano Moro, responsável pelo Sistema SAVNET instalada e operacional no Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra, RS, consiste em realizar viagens ao Observatório para salvar dados observacionais, fazer rádio espectros, transferir os dados para Santa Maria, para posterior análise e disponibilizá-los em banco de dados e na rede internet através do programa SSH.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdu, M.A., Batista, I.S., Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, Vol. 39, nº 6, p.723, 1977

Abdu, M.A., Batista, I.S., Piazza, L.R., Massambani, O., Journal of Geophysical Research, Vol 86 nº 7533, 1981

Abdu, M.A., Batista, I.S., Carrasco, A.J., Brum, C.G.M., Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, Vol 67, nº 1463, 2005

Carpenter, G.B., Kupferman, R.A., Coroniti, S.C., Gassmann, G.J., Journal of Geophysical Research, Vol. 73, nº 393, 1968

Chilton, C.J., Steele, F.K. & Norton, R.B., Journal of Geophysical Research, Vol 68, nº 5421, 1963

Correia, E. 2005, Private Communication

Edwards, P.J., Proc. of the Astronomic Society of Australia, Vol.7, nº 205, 1969

Edwards, P.J., Proc. of the Astronomic Society of Australia, Vol. 1, nº 290, 1987

Fernandez, J.H., Piazza, L.R., Kaufmann, P. 2003, Journal of Geophysical Research, **108**, issue A1

Haldoupis, C., Mika, A., et al., Abs. IAGA2005-A-00619, IAGA 2005 Toulouse, France
Helliwell, R.A., Katsufakis, J.P., Trimpi, M.L., Journal of Geophysical Research, Vol. 78, nº 4679, 1973

Hurley, K., Boggs, S. E., Smith, D. M., et al., Nature, Vol. 434, nº1098, 2005

Inan, U., Cohen, M., et al., Abs. IAGA2005-A-00844, IAGA 2005a Toulouse, France

Inan, U., Lehtinen, N., et al., Abs. IAGA2005-A-01265, IAGA 2005b Toulouse, France

Jean, A.G. & Wait, J.R., Journal of Geophysical Research, Vol. 70, n° 1258, 1965

Kaufmann, P. & Paes de Barros, M.H., Sol. Phys., Vol. 9, n° 478, 1969

Kaufmann, P., Piazza, L.R. & Ananthakrishnan, S., Ap&SS, Vol. 22, n° 67, 1973

Kaufmann, P., Kuntz, V.L.R., Paes Leme N.M., Piazza, L.R., Vilas Boas, J.W.S.,

Kikuchi, T. & Evans, D.S., Journal of Geophysical Research, Vol. 88, n° 871, 1983

Nishini, N., Mikita, K., Yamuto, K., Rodrigues, F.S., Schuch, N.J., Abdu, M.A.,
Earth Planets Space, Vol. 54, n° 907, 2002

McRae, W.M. & Thomson, N.R., Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, Vol. 62, n°
609, 2000

McRae, W.M. & Thomson, N.R., Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, Vol. 66, n°
77, 2004

Raulin, J.-P., Pacini, A.A., Kaufmann, P., et al., Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial
Physics, 2006



ANEXO

PARTE I

**RESUMOS PUBLICADOS E ACEITOS
DE
JULIANO MORO
COMO
AUTOR E CO-AUTOR DE
TRABALHOS CIENTÍFICOS**

- **MORO, J.**, SCHUCH, N., MURALIKRISHNA, P. ABDU, A. A., DENARDINI, C.M., MAKITA, K., MOOR, L., JASKULSKI, T. DAROIT, C.A.; DALLA FAVERA, E.C.; RAULIN, J.P.; CORREIA, E.; SOBRAL, J.A.H.; FOPPIANO, B. MACMAHON, R.M., GIANIBELLI, J.G. **STUDY OF THE SOUTH AMERICA LOWER IONOSPHERE USING THE SARINET NETWORK** In 37th COSPAR Scientific Assembly 2008, Canadá
- **MORO, J.**; RAULIN, J. P. ; MURALIKRISHNA, P. ; SCHUCH, N. J. ; MOOR, L. P. ; JASKULKI, T. ; DAROIT, C. A. **INSTALAÇÃO DA REDE SAVNET – SOUTH AMERICA VLF NETWORK NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL - OES/CRS/CIE/INPE–MCT, EM SÃO MARTINHO DA SERRA – RS, PARA O ESTUDO DA IONOSFERA TERRESTRE** In: Latin America IHY School – IHY, 2008, São Paulo – São Paulo.
- **MORO, J.**; MURALIKRISHNA, P. ; SCHUCH, N. J. ; MOOR, L. P. ; JASKULKI, T. ; DAROIT, C. A. **THE USE OF RIOMETERS FOR THE STUDY OF SOUTH ATLANTIC MAGNETIC ANOMALY** In: VI LATIN AMERICAN SCHOOL OF GEOMAGNETISM 'LUIZ MUNIZ BARRETO' - VI ELAG, 2007, Vassouras - Rio de Janeiro.
- **MORO, J.**; RAULIN, J. P. ; SCHUCH, N. J. ; MURALIKRISHNA, P. ; MOOR, L. P. ; JASKULKI, T. ; DAROIT, C. A. . **INSTALAÇÃO DE RECEPTORES VLF NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL, PARA O ESTUDO DA IONOSFERA TERRESTRE** In: Congresso de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia - CRICTE, 2007, Passo Fundo.
- MOOR, L. P. ; SCHUCH, N. J. ; PAULA, E. R. ; JASKULKI, T. ; **MORO, J.** ; DAROIT, C. A. **COMPARAÇÃO DA VELOCIDADE DE DERIVA ZONAL DAS IRREGULARIDADES IONOSFÉRICAS UTILIZANDO RECEPTORES ESPAÇADOS DE GPS E RECEPTORES VHF.** In: IHY Latin American School - Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2008, São Paulo. **COMPARAÇÃO DA VELOCIDADE DE DERIVA ZONAL DAS IRREGULARIDADES IONOSFÉRICAS UTILIZANDO RECEPTORES ESPAÇADOS DE GPS E RECEPTORES VHF**, 2008.
- MOOR, L. P. ; SCHUCH, N. J. ; JASKULKI, T. ; **MORO, J.** ; DAROIT, C. A. ; DALLA FAVERA, E. C. ; Cunha, A. ; PAULA, E. R. . **Uso de Receptores Espaçados GPS e Receptores VHF para o Estudo da Velocidade Zonal das Irregularidades Ionosféricas.** In: Sociedade Brasileira de Geofísica, 2007, Rio de Janeiro. **Uso de Receptores Espaçados GPS e Receptores VHF para o Estudo da Velocidade Zonal das Irregularidades Ionosféricas**, 2007.
- MOOR, L. P.; PAULA, E. R.; SCHUCH, N. J.; JASKULKI, T.; **MORO, J.**; DAROIT, C. A. **SINAIS DE SATÉLITES GPS UTILIZADOS PARA O CÁLCULO DA VELOCIDADE ZONAL DAS IRREGULARIDADES IONOSFÉRICAS NO**

OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL. In: Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia - CRICTE, 2007, Passo Fundo

- DAROIT, C. A. ; SCHUCH, N. J. ; DENARDINI, C. M. ; ABDU, M. A. ; AVEIRO, H. C. ; MOOR, L. P. ; JASKULKI, T. ; **MORO, J.** . IDENTIFICAÇÃO DE ASSINATURAS DE TEMPESTADES MAGNÉTICAS DURANTE UM CICLO SOLAR COMPLETO UTILIZANDO ÍNDICES MAGNÉTICOS. In: IHY Latin American School - Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2008, São Paulo. IDENTIFICAÇÃO DE ASSINATURAS DE TEMPESTADES MAGNÉTICAS DURANTE UM CICLO SOLAR COMPLETO UTILIZANDO ÍNDICES MAGNÉTICOS, 2008.
- DAROIT, C. A. ; ABDU, M. A. ; SCHUCH, N. J. ; DENARDINI, C. M. ; AVEIRO, H. C. ; MOOR, L. P. ; JASKULKI, T. ; **MORO, J.** ; SIQUEIRA, J. ; ANTUNES, C.E. ; ROTHER, F. C. ; TRIVEDI, N. B. . **COMPARATIVE STUDY OF THE H-COMPONENT VARIATIONS OF THE EARTH MAGNETIC FIELD DURING QUIET DAYS AT THREE MAGNETIC STATIONS IN THE SOUTH AMERICAN SECTOR.** In: VI Latin America School of Geomagnetism 'Luiz Muniz Barreto' - VI ELAG, 2007, Vassouras - Rio de Janeiro.
- DAROIT, C. A. ; ABDU, M. A. ; SCHUCH, N. J. ; DENARDINI, C. M. ; AVEIRO, H. C. ; MOOR, L. P. ; JASKULKI, T. ; **MORO, J.** . **COMPARAÇÃO ENTRE MAPAS IONOSFÉRICOS TIPO RTI OBTIDOS POR ANÁLISE ESPECTRAL E POR AUTOCORRELAÇÃO.** In: Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia - CRICTE, 2007, Passo Fundo.
- DALLA FAVERA, E. C. ; SCHUCH, N. J. ; JASKULKI, T. ; MOOR, L. P. ; MORO, J. ; DAROIT, C. A. . DETERMINAÇÃO DA CURVA DO DIA QUIETO PARA UM RIÔMETRO IMAGEADOR. In: IHY Latin American School - Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2008, São Paulo. DETERMINAÇÃO DA CURVA DO DIA QUIETO PARA UM RIÔMETRO IMAGEADOR, 2008.
- DALLA FAVERA, E. C. ; SCHUCH, N. J. ; JASKULKI, T. ; **MORO, J.** ; MOOR, L. P. ; DAROIT, C. A. . **MÉTODO COMPUTACIONAL PARA DETERMINAÇÃO PARA A CURVA DO DIA QUIETO PARA UM RIÔMETRO IMAGEADOR.** In: Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia - CRICTE, 2007, Passo Fundo.
- JASKULKI, T. ; SCHUCH, N. J. ; DENARDINI, C. M. ; MURALIKRISHNA, P. ; DALLA FAVERA, E. C. ; MOOR, L. P. ; **MORO, J.** ; DAROIT, C. A. . REDE DE RIÔMETROS PARA INVESTIGAÇÃO IONOSFÉRICA NA REGIÃO DA ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL: ESTUDOS DE UM PERÍODO MAGNETICAMENTE PERTURBADO. In: IHY Latin American School - universidade Presbiteriana Mackenzie, 2008, São Paulo. REDE DE RIÔMETROS PARA INVESTIGAÇÃO IONOSFÉRICA NA REGIÃO DA ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL: ESTUDOS DE UM PERÍODO MAGNETICAMENTE PERTURBADO, 2008.



- JASKULKI, T. ; SCHUCH, N. J. ; DENARDINI, C. M. ; MURALIKRISHNA, P. ; DALLA FAVERA, E. C. ; MOOR, L. P. ; **MORO, J.** . ESTUDO DOS EFEITOS DE UMA TEMPESTADE GEOMAGNÉTICA NA ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL A PARTIR DE UM RIÔMETRO. In: VI LATIN AMERICAN SCHOOL OF GEOMAGNETISM 'LUIZ MUNIZ BARRETO' - VI ELAG, 2007, Vassouras - Rio de Janeiro.



PARTE II

**DO
RELATÓRIO FINAL**

DO PROJETO DE PESQUISA

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

PROCESSO 105427/2006-3

**ATIVIDADES TÉCNICAS & CIENTÍFICAS DESENVOLVIDAS
PELO ALUNO SUBSTITUTO - ATUAL**

ANTONIO MARCOS MARTINS SILVEIRA

CAPÍTULO V

Neste Capítulo serão abordadas algumas das atividades específicas realizadas pelo bolsista Antonio Marcos Martins Silveira, desde o período que assumiu o Projeto. Será feita uma breve releitura, baseada nos estudos realizada pelo bolsista dos princípios de funcionamento do Riômetro.

V.1 Atmosfera Terrestre

A atmosfera terrestre é uma mistura de gases no qual o nitrogênio é o elemento químico mais abundante. A atmosfera neutra é analisada como sendo um sistema estático que pode ser entendida e classificada conforme quatro propriedades: composição, pressão, temperatura e densidade. A classificação mais usada é a da variação de temperatura com a altura. Os termos usados para estas regiões, podem ser vistas nas Figuras 5.1 e a Figura 5.2, onde é possível visualizar a classificação da atmosfera de acordo com a variação da temperatura, a variação da composição, o escape gasoso e a densidade eletrônica.

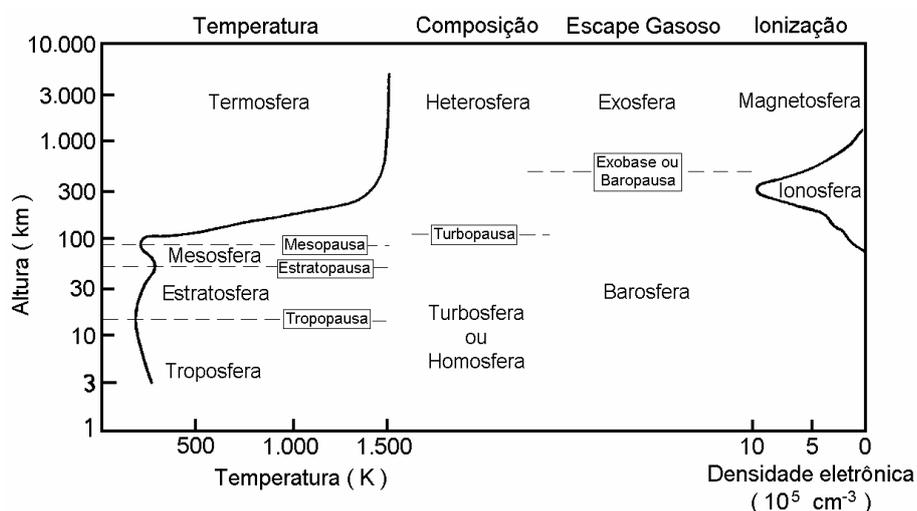


Figura 5.1: Classificação da atmosfera neutra e da atmosfera ionizada terrestre.
 Fonte: Hargreaves (1992, p. 99).

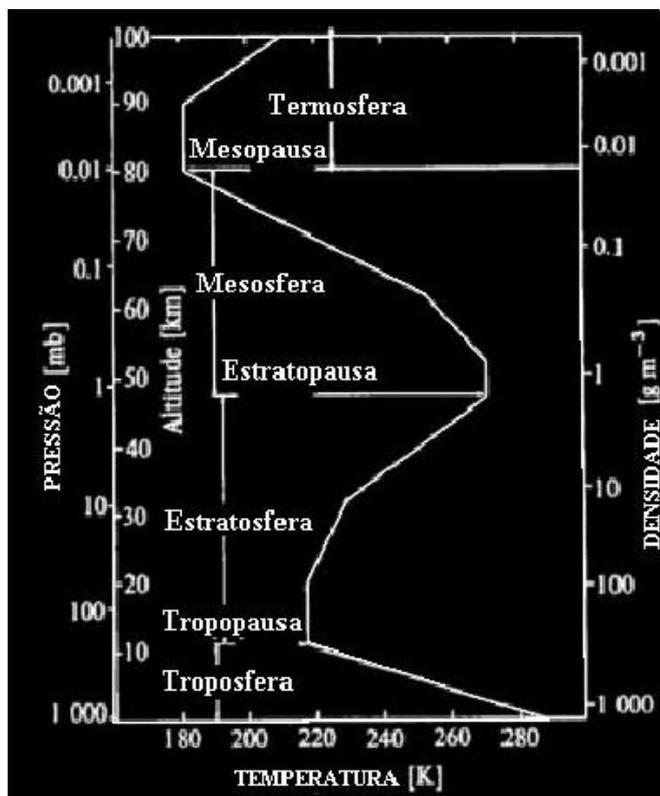


Figura 5.2: Classificação da atmosfera neutra e da atmosfera ionizada devido à densidade eletrônica e sua temperatura.

Fonte: http://br.geocities.com/atmosfera_ionosfera/AthmospherePhysics_PY5AAL_Angeloleithold.jpg

V.2 Ionosfera Terrestre

A Ionosfera Terrestre está situada entre aproximadamente 60 km e 1000 km de altitude, sendo a parte ionizada da atmosfera terrestre, isto é, uma região onde a densidade de cargas livres é muito maior que em qualquer outra região da atmosfera terrestre. A atmosfera ionizada é gerada pela interação das radiações ionizantes solares e cósmicas com os elementos constituintes da atmosfera neutra, formando assim camadas condutoras de plasma. Com a formação da Ionosfera, os íons e elétrons livres tendem a se recombinar e reagir entre si ou com outras espécies para a produção de outros íons ou para a neutralização destes.

Encontra-se na Ionosfera uma imensa variedade de íons, mas apenas alguns merecem destaque especial. A camada F da Ionosfera é predominantemente formada pelo íon oxigênio atômico (O^+), e pelo óxido nítrico (NO^+), na região E e a predominância é do oxigênio molecular

(O_2) na região F_1 . Outro íon importante é o íon nitrogênio molecular (N_2^+), ele apresenta diversas reações de perda. Na porção mais baixa da Ionosfera, ou seja, região D, encontram-se íons super-hidratados e íons negativos. É nesta região e na região E que utilizamos o Riômetro para sondagens ionosféricas.

V.2.1 Produção Iônica

As principais fontes de ionização da atmosfera neutra são: a radiação solar e as partículas de alta energia vindas do cinturão de radiação de Van Allen e raios cósmicos. Para haver a 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.

V.2.1.1 Foto Ionização

A foto ionização é o processo cuja atmosfera terrestre absorve radiação, entre elas a principal de origem solar. Apesar de inúmeros comprimentos de onda da radiação do espectro eletromagnético interagir com a atmosfera neutra terrestre, a faixa espectral do extremo ultravioleta e os raios-X são os que mais contribuem para a ionização da atmosfera neutra. Além disso, uma contribuição significativa é dada pela radiação conhecida como Lyman- α .

V.2.1.2 Ionização por Impacto

Esse processo ocorre devido à alta energia cinética que partículas, provenientes do espaço ou mesmo íons e elétrons livres locais acelerados, desprendem após colisões com os componentes da atmosfera neutra. Mesmo tido como secundário, este processo ganha importância em altitudes elevadas devido à baixa incidência de radiação solar devido ao ângulo de inclinação da Terra na eclíptica.

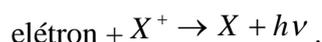
V.2.2 Perdas de Ionização

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.

V.2.3 Recombinação Química

A recombinação é o conjunto de todos os processos de neutralização e/ou troca de cargas da Ionosfera. Inúmeras reações químicas contribuem para a recombinação, destacando-se entre elas duas formas: a recombinação radioativa e a recombinação dissociativa.

A recombinação radioativa é o processo no qual um íon positivo recombina-se com um elétron, liberando energia na forma de fótons ($h\nu$), representado pela equação:



A recombinação dissociativa é o processo onde ocorre uma reação entre uma molécula positiva (XY^+), com um elétron, resultando na dissociação da molécula em dois elementos, sendo esta reação representada pela seguinte equação:



Em alguns casos esta reação também pode envolver emissão de fótons, dependendo do nível de excitação da molécula.

V.2.4 Transporte na Ionosfera

Os processos de transporte na Ionosfera são transportes capazes de movimentar grandes massas gasosas em larga escala. Campos elétricos, ventos neutros, e difusão são agentes que possuem a capacidade de transportar essas massas contendo íons e elétrons livres. Esse movimento quando é homogêneo, isto é, quando íons e elétrons possuem velocidades iguais, geram uma corrente elétrica na baixa Ionosfera. Esta corrente também está ligada aos campos elétricos. Os ventos neutros na baixa Ionosfera, que são do tipo marés atmosféricas criam correntes elétricas da

região E através do efeito do dínamo atmosférico. Na alta Ionosfera os ventos termosféricos são os responsáveis por movimentar os íons e elétrons.

V.2.5 Camadas Ionosféricas

A divisão da Ionosfera em camadas ocorre devido as diferentes composições, processos de ionização, densidade eletrônica e altura. A Ionosfera é dividida basicamente em três camadas: camada D, camada E e a camada F na qual é subdividida em camadas F₁ e F₂, no qual é possível visualizar na Figura 5.3

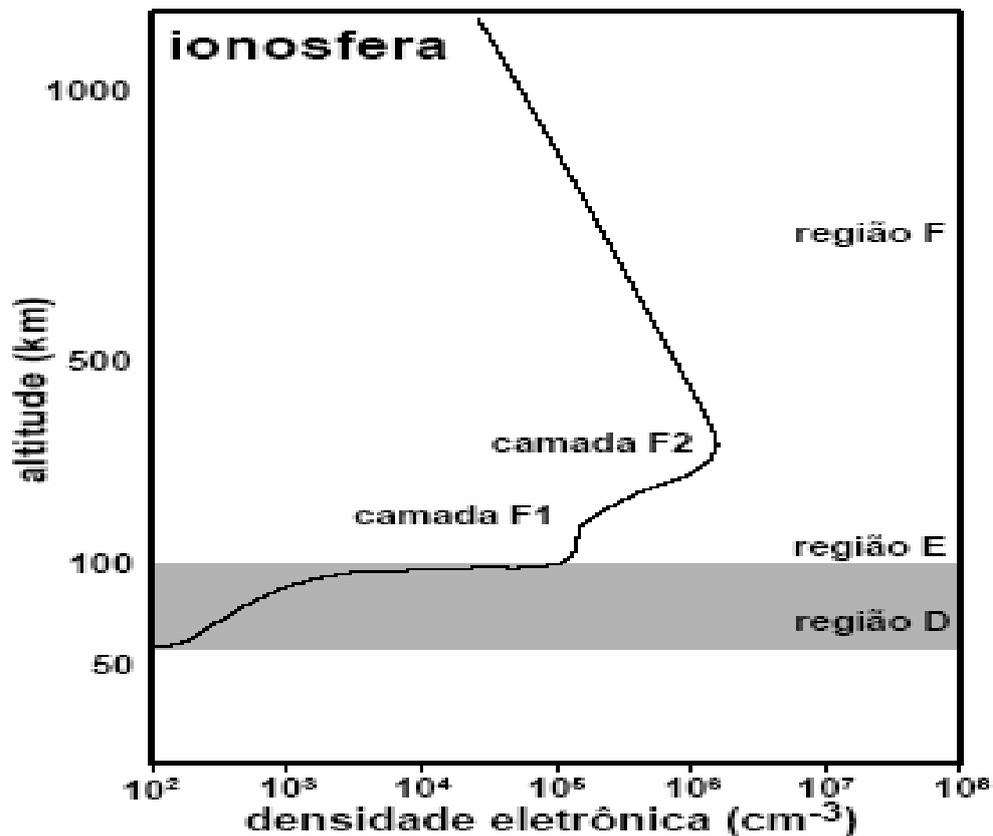


Figura 5.3: Camadas da Ionosfera e suas respectivas densidades eletrônicas.
Fonte: Modificada de Rishbeth (1969).

V.2.5.1 Camada D

Esta camada é a região mais baixa da Ionosfera Terrestre. Tem início em torno de 60 km e se estende até aproximadamente 90 km. Esta camada é muito importante para a radiopropagação, pois apresenta uma densidade eletrônica maior se comparada às outras camadas tornando mais tênue a reflexão ou absorção de sinais de rádio. Entretanto a noite a densidade da camada D é reduzida consideravelmente, chegando até ocorrer o desaparecimento desta camada devido à baixa incidência de radiação solar. Isto implica a possibilidade do surgimento de um processo particular desta camada, chamada de junção eletrônica (attachment), onde elétrons livres podem combinar-se com moléculas para formar íons negativos.

Mesmo a ionização desta camada sendo altamente dependente da radiação solar, a ionização através das colisões entre íons, elétrons e partículas da atmosfera neutra, ganham uma importância considerável devido à densidade atmosférica ser maior nesta camada que nas outras. As principais fontes de ionização desta camada são as seguintes:

- a radiação na faixa do Extremo Ultravioleta (com λ entre 1027 e 1118 Å)
- a radiação na faixa dos Raios-X (com λ entre 2 e 8 Å)
- a radiação na linha Lyman- α (1216 Å)
- os raios cósmicos galácticos;
- as partículas de origem solar ou auroral.

V.2.5.2 Camada E

Esta camada está situada entre 90 km e 140 km de altitude. A importância dessa camada está intimamente relacionada à formação do fenômeno conhecido como Eletrojato Equatorial, que é uma corrente eletrônica limitada à região ao longo do equador magnético. A principal fonte de ionização dessa camada é a radiação solar na faixa do extremo ultravioleta (EUV) e os raios-X moles. A partir de 100 km de altura esta camada apresenta uma densa espessura ionizada de 20 km, com uma extensão relativamente grande. Esta região densa recebe o nome de camada E esporádico.

V.2.5.3 Camada F

Para melhor ser estudada, a camada F pode ser dividida em duas subcamadas distintas: F_1 e F_2 . A subcamada F_1 é definida pelo surgimento esporádico de um pequeno pico secundário na concentração eletrônica ou uma simples inflexão na curva em torno de 180 km. Sua altura está aproximadamente entre 140 e 200 km de altura e tem como principal fator ionizante a radiação solar na faixa EUV. Esta subcamada tem significativa importância pelo fato da ocorrência da transição entre as leis quadrática e linear para a perda eletrônica. Outro fato curioso é que devido à concentração eletrônica depender do ângulo zenital solar essa subcamada só pode ser observada no período diurno.

A camada F_2 prolonga-se de 200 até 1000 km de altitude incorporando toda a região superior da Ionosfera incluindo a região do pico. Nesta subcamada ocorrem, interações entre Ionosfera e os ventos termosféricos, assim como com o campo magnético terrestre tendo grande influência na distribuição de ionização desta região. Diferentemente da camada F_1 a camada F_2 persiste a noite mesmo tendo sua densidade diminuída.

V.2.6 Condutividade Ionosférica e o Dínamo Atmosférico

A condutividade Ionosférica é máxima na camada E em torno de 110 km de altitude. Esta camada depende diretamente da concentração eletrônica e das magnitudes relativas entre frequência de colisão e de giro das partículas em torno do campo magnético terrestre. O aquecimento da atmosfera neutra causada pela alta incidência de radiação solar acaba causando uma expansão nos gases neutros da Atmosfera, ou seja, gerando o movimento destes gases. Esse movimento recebe o nome de ventos neutros. Estes ventos causam o choque de partículas neutras com os íons e elétrons, arrastando-os consigo.

Outros agentes causadores desse movimento são as variações oscilatórias de pressão causadas pela indução de forças oscilatórias na atmosfera. Esta indução é proporcionada pela atração gravitacional exercida tanto pelo Sol quanto pela Lua na Terra. Este fenômeno é conhecido como marés atmosféricas, uma analogia com as marés marítimas. Durante o dia estes ventos movimentam-se ao longo das linhas do campo geomagnético acarretando na formação de campos

elétricos em alturas elevadas, como resultado dos choques das partículas neutras com os íons e elétrons ao longo das linhas do campo magnético há o surgimento de correntes elétricas este

processo é idêntico ao dínamo. Estas correntes criadas pelo campo elétrico terão diferentes direções, e devido a esse fato são classificadas conforme sua ortogonalidade em relação ao campo elétrico: a corrente na direção paralela ao campo elétrico é chamada de corrente de Pederson enquanto que a corrente na direção perpendicular ao campo elétrico recebe o nome de corrente de Hall.

V.3 Anomalia Magnética do Atlântico Sul

No final da década de 1950 foi encontrada uma anomalia no campo magnético terrestre próximo ao Atlântico Sul, devido a esse fato essa anomalia foi nomeada como Anomalia Magnética do Atlântico Sul, sabe-se atualmente que esta não é estática e que segue movimentando-se rumo a oeste. Nesta região ocorre uma redução da intensidade do campo geomagnético onde encontramos um valor de 23000 nT na parte central da anomalia que hoje situa-se próximo a costa sudeste brasileira. Esta anomalia tem sua origem associada à distribuição assimétrica das correntes elétricas no magma fluido encontrado no interior da Terra causando um desvio no centro magnético em relação ao centro do planeta, que por sua vez gera um campo magnético local oposto ao campo magnético principal. Este campo local interfere no campo geomagnético de tal forma que o enfraquece. Este enfraquecimento beneficia o fluxo de partículas energéticas, advindas do Sol e do Cinturão de Van Allen, contribuindo para uma maior ionização de camadas mais internas da Ionosfera o que também torna essa região mais vulnerável as conseqüências da entrada partículas e radiações. O mapa magnético do planeta Terra, dando ênfase para a Anomalia Magnética do Atlântico Sul é representada na Figura 5.4.

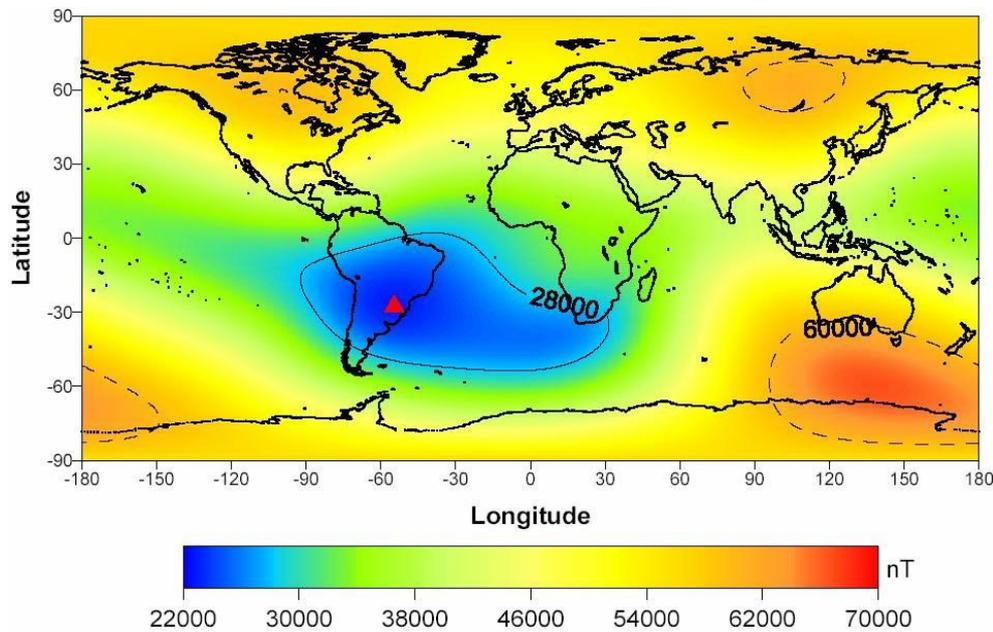


Figura 5.4: Mapa magnético do planeta Terra. A AMAS a Anomalia Magnética do Atlântico Sul é representada pela cor azul onde o triângulo vermelho mostra a localização de seu centro no ano 2000. Fonte: NASA

V.4 Cinturão de Van Allen

Descoberta por James Van Allen em 1958, é uma região formada por dois cinturões localizados no espaço próximo a Terra em que ocorre o aprisionamento e a concentração de partículas nas linhas do campo magnético terrestre. Entre 1000 e 5000 km de altura está localizado o cinturão interno onde se encontram prótons e elétrons com elevados graus de energia. No cinturão externo que fica situado entre 15000 e 30000 km de altitude partículas eletricamente carregadas de origem tanto atmosférica quanto solar ficam aprisionadas. Fenômenos como auroras polares e tempestades magnéticas ocorrem quando partículas carregadas eletricamente conseguem ultrapassar a barreira formada pelos Cinturões de Van Allen, essas partículas são geralmente de origem solar trazidas pelo Vento Solar que é o fluxo de partículas eletricamente carregadas liberado pelo Sol em

períodos de atividades muito intenso, os cinturões estão representados na Figura 5.5 abaixo.

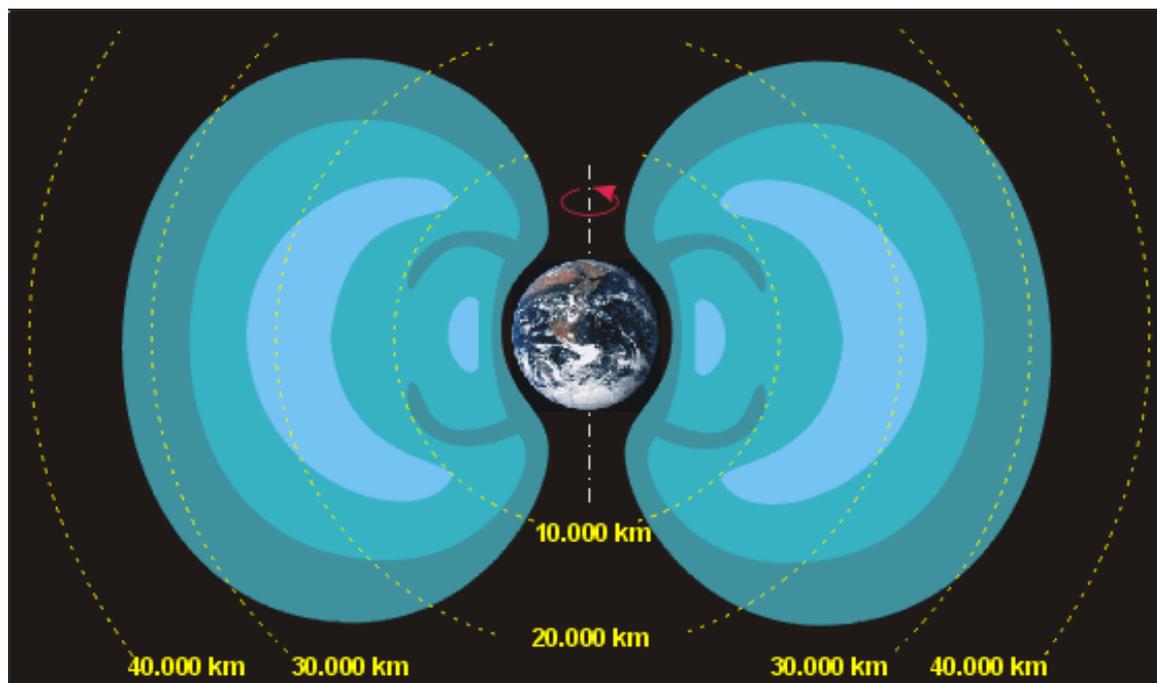


Figura 5.5: Cinturões de Radiação de Van Allen.

Fonte: <http://www.aeb.gov.br/multimedia/satelites/vanallenguertel.gif>

V.5 Riômetros

O Riômetro (do inglês Riometer: *Radio Ionosphere Opacity Meter*) é um dos equipamentos de sondagem utilizados para o estudo do comportamento da Ionosfera. Este equipamento é empregado desde a década de 50, e é essencialmente um rádio receptor muito sensível ligado a uma antena. O rádio receptor detecta o ruído de rádio natural emitido por corpos celestes também chamado de ruído cósmico em frequências que variam de 20MHz a 50MHz. Fora da interferência da atmosfera terrestre em certo ponto do espaço podemos considerar a intensidade do sinal do ruído cósmico constante, assim ao interagir com a atmosfera terrestre o ruído cósmico transfere parte de sua energia de onda aos elétrons livres e íons da Ionosfera na forma de energia cinética. Isso implica em uma maior absorção do sinal do ruído cósmico pelo Riômetro indicando uma maior densidade

eletrônica na Ionosfera.

Dependente apenas da sua direção no espaço, o ruído cósmico incidente na superfície terrestre depende apenas que superfície terrestre cubra a mesma área do céu a cada dia, assim a variação do ruído cósmico repete-se a cada dia sideral. Por ela estar sempre presente, o fator

determinante para se ter o nível do ruído cósmico é a absorção ionosférica. É então determinada através de métodos estatísticos uma curva com o nível de intensidade do ruído cósmico mais alto captado pelo Riômetro ao longo de vários dias dados, que se refere a um período magneticamente com pouca absorção. A curva é geralmente usada como padrão para comparações com dados de dias magneticamente perturbados, em que há uma diminuição da intensidade do ruído cósmico que chega ao Riômetro. Esta curva é chamada Curva do Dia Quietos ou QDC (*Quiet Day Curve*). O nível de absorção é dado pela razão entre o sinal recebido sem absorção (QDC) e o atual sinal recebido. Geralmente a intensidade do ruído cósmico é dada em decibéis e é calculado através da seguinte equação:

$$A(dB) = 20 \log_{10} \frac{A_{QDC}}{A_{DIA}}$$

A variação da absorção do sinal do ruído cósmico vem sendo estudada a partir do equipamento Riômetro Convencional e também por outro Riômetro do tipo Imageador, ambos instalados no Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE-MCT, em São Martinho da Serra, RS. A diferença entre eles é que o Riômetro Imageador além de produzir imagens em duas dimensões da absorção também é capaz de capturar o movimento das irregularidades ionosféricas. Isso é realizado através da varredura do campo atmosférico, que queira se analisar, por um conjunto de antenas formado por uma matriz 4x4 num total de 16 antenas, com 1/2 comprimento de onda (~3.93m) e com uma altura a partir do solo de 1/4 de comprimento de onda, que capta sinais de 38,2 MHz de frequência produzindo 16 feixes que varrem a Ionosfera local com um campo de visão de aproximadamente 330x330 km em uma altitude de 100 km, nas quatro direções. Com a instalação de mais dois Riômetros Imageadores, recentemente instalados em Concepción no Chile (37,5°S, 72,7°W), e outro em Punta Arenas, também no Chile (53,1°S, 71,0°W), estes equipamentos permitirão um melhor acompanhamento e estudo a respeito da variação de absorção do ruído



cósmico, o que poderá resultar em uma escala espacial para o referido, e o movimento do plasma ionosférico ao longo da Anomalia Magnética do Atlântico Sul.

V.6 Revisão Bibliográfica

Durante o período de trabalho desenvolvido no Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre e no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE – MCT, foi realizado um estudo e discussões sobre os princípios de funcionamento do Riômetro. Este estudo teve como referência bibliográfica o seguinte texto:

- Kirchoff, V.W.J.H. - Introdução à Geofísica Espacial
- Nishino, M.; Makita, K. ; Yumoto, K. ; Miyoshi, Y. Schuch, N. J. ; Abdu, M. A. – Energetic Particle Precipitation in the Brazilian Geomagnetic Anomaly during the “ Bastille Day Storm” of July 2000.