



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

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

PROCESSO N° 114397/2011-2

**Lucas Camponogara Viera – (UFSM – Bolsista PIBIC/INPE –
CNPq/MCTI, Março a Julho de 2011)
E-mail: lucas.camponogara@lacesm.ufsm.br**

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

Santa Maria, Julho de 2012



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

PROJETO

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

PROCESSO: 114397/2011-2

**Relatório elaborado por LUCAS CAMPONOGARA VIERA relativo ao período de
Julho de 2011 A Julho de 2012 de execução das atividades por:**

Lucas Camponogara Viera - Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCTI

E-mail: lucascamponogaraviera@gmail.com

**Dr. Polinaya Muralikrishna – Orientador
Divisão de Aeronomia – DAE/CEA/INPE – MCTI**

E-mail: murali@dae.inpe.br

**Dr. Nelson Jorge Schuch – Co-Orientador
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/CCR/INPE – MCTI
E-mail: njschuch@gmail.com**



DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

Título:

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

Processo CNPq N°:114397/2011-2

Bolsista no período de Julho/11 a Julho/12

Lucas Camponogara Viera

Acadêmico do Curso de Física – Bacharelado

Centro de Ciências Naturais e Exatas – CCNE/UFSM

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

Orientador:

Dr. Polinaya Muralikrishna

Divisão de Aeronomia - DAE/CEA/INPE - MCTI

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE – MCTI

Co-Orientador:

Dr. Nelson Jorge Schuch

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

Colaboradores:

Dr. Jean Pierre Raulin

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

Dr. Kazuo Makita

University of Takushoku, Tokyo - Japão

Cláudio Machado Paulo

Acadêmico do Curso de Física – Licenciatura Plena da UFSM

Centro de Ciências Naturais e Exatas – CCNE/UFSM

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM



Juliano Moro

Doutorando em Geofísica Espacial
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE/MCTI
São José dos Campos, SP.

Pietro Fernando Moro

Aluno do Ensino médio
Escola Estadual Prof. Margarida Lopes.
Santa Maria, RS.

Locais de Trabalho/Execução do Projeto:

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

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



**CONTINUIDADE DAS ATIVIDADES TÉCNICAS CIENTÍFICAS
DESENVOLVIDAS NO PROJETO PELO BOSISTA
Lucas Camponogara Viera**



Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



Estudante
Lucas Camponogara Viera



[Link para Currículo Lattes](#)

Dados gerais

Indicadores de produção C, T & A

Dados gerais

Identificação do estudante

Nome: Lucas Camponogara Viera

Nível de treinamento: Graduação

Currículo Lattes: 16/11/2011 12:11

E-mail:

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

Grupos de pesquisa que atua

[Clima Espacial, Interações Sol -Terra, Magnetosferas, Geoespaço, Geomagnetismo: Nanosatélites](#) - INPE (estudante)

Linhas de pesquisa que atua

[AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA](#)

[MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO](#)

[MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL](#)

Orientadores participantes de grupos de pesquisa na instituição

[Polinaya Muralikrishna](#)

Indicadores de produção C, T & A dos anos de 2009 a 2012

Tipo de produção	2009	2010	2011	2012
Produção bibliográfica	0	0	2	0
Produção técnica	0	0	3	0
Orientação concluída	0	0	0	0
Produção artística/cultural e demais trabalhos	0	0	0	0



Linha de Pesquisa
MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO

Linha de pesquisa

MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO

Nome do grupo: [Clima Espacial](#), [Interações Sol -Terra](#), [Magnetosferas](#), [Geespaço](#), [Geomagnetismo](#), [Nanosatélites](#)

Palavras-chave: Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS; Desenvolvimento de Instrumentação Espacial; Eletricidade Atmosférica - Descargas Elétricas; Física Magnetosferas, Física Solar e Heliosférica; Geomagnetismo; Magnetômetros;

Pesquisadores:

[Alexandre Alvares Pimenta](#)
[Alisson Dal Lago](#)
[Cassio Espindola Antunes](#)
[Clezio Marcos De Nardin](#)
[Eduardo Escobar Bürger](#)
[Gelson Lauro Dal' Forno](#)
[Lilian Piecha Moor](#)
[Lucas Lopes Costa](#)
[Mangalathayil Ali Abdu](#)
[Nalin Babulal Trivedi](#)
[Nivaor Rodolfo Rigozo](#)
[Pawel Rozenfeld](#)
[Severino Luiz Guimaraes Dutra](#)
[Tardelli Ronan Coelho Stekel](#)

Estudantes:

[Claudio Machado Paulo](#)
[Dimas Irion Alves](#)
[Edson Rodrigo Thomas](#)
[José Paulo Marchezi](#)
[Juliano Rafael Andrade](#)
[Leonardo Zavareze da Costa](#)
[Lucas Camponogara Viera](#)
[Lucas Lourencena Caldas Franke](#)
[Pietro Fernando Moro](#)
[Roger Hatwig de Lima](#)
[Rubens Zolar Gehlen Bohrer](#)
[Tális Piovesan](#)

Árvore do conhecimento:

Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Geofísica; Geofísica Aplicada;
Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Geofísica Espacial;
Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Instrumentação Científica;

Setores de aplicação:

Produtos e Serviços Voltados Para A Defesa e Proteção do Meio Ambiente, Incluindo O Desenvolvimento Sustentado

Objetivo:

Pesquisas: acoplamento da Heliosfera, Meio Interplanetário e Magnetosferas Planetárias, com dados de sondas espaciais e nas magnetosferas; modelos físicos/estatísticos; variação secular do Campo Total-F, 22883 nT no OES, na razão -28 nT/ano; deslocamento para oeste da AMAS observado desde 1985, via Cooperação: UFSM-ON-INPE com o SERC/KU-Japão; pulsações contínuas e/ou impulsivas observadas na componente H amplificadas pela precipitação na região da AMAS. Vice-Líder: Nalin Babulau Trivedi.

Linha de Pesquisa

AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA

Linha de pesquisa

AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA

Nome do grupo: [Clima Espacial](#), [Interações Sol -Terra](#), [Magnetosferas](#), [Geespaço](#), [Geomagnetismo](#), [Nanosatélites](#)

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

Pesquisadores:

[Alexandre Alvares Pimenta](#)
[Andrei Piccinini Legg](#)
[Barclay Robert Clemesha](#)
[Clezio Marcos De Nardin](#)
[Cristiano Sarzi Machado](#)
[Delano Gobbi](#)
[Eurico Rodrigues de Paula](#)
[Fernanda de São Sabbas Tavares](#)
[Gelson Lauro Dal' Forno](#)
[Hisao Takahashi](#)
[Jean Pierre Raulin](#)
[Lilian Piecha Moor](#)
[Mangalathayil Ali Abdu](#)
[Marco Ivan Rodrigues Sampaio](#)
[Nelson Jorge Schuch](#)
[Nivaor Rodolfo Rigozo](#)
[Polinaya Muralikrishna](#)
[Renato Machado](#)

Estudantes:

[Cássio Rodinei dos Santos](#)
[Claudio Machado Paulo](#)
[Dimas Irion Alves](#)
[Edson Rodrigo Thomas](#)
[Eduardo Weide Luiz](#)
[Felipe Cipriani Luzzi](#)
[Leonardo Zavareze da Costa](#)
[Lucas Camponogara Viera](#)
[Magdiel Schmitz](#)
[Michel Baptistella Stefanello](#)
[Pietro Fernando Moro](#)
[William Ismael Schmitz](#)

Árvore do conhecimento:

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

Setores de aplicação:

Aeronáutica e Espaço

Objetivo:

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



Linha de Pesquisa
MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL

Linha de pesquisa

MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL

Nome do grupo: [Clima Espacial](#), [Interações Sol -Terra](#), [Magnetosferas](#), [Geoespaço](#), [Geomagnetismo](#), [Nanosatélites](#)

Palavras-chave: Campo Magnético Interplanetário; Muons; Raios Cósmicos; Tempestade Geomagnética;

Pesquisadores:

[Adriano Petry](#)
[Alexandre Alvares Pimenta](#)
[Alicia Luisa Clúa de Gonzalez](#)
[Alisson Dal Lago](#)
[Andrei Piccinini Legg](#)
[Carlos Roberto Braga](#)
[Cassio Espindola Antunes](#)
[Eduardo Escobar Bürger](#)
[Ezequiel Echer](#)
[Jean Pierre Raulin](#)
[Juliano Moro](#)
[Lilian Piecha Moor](#)
[Lucas Lopes Costa](#)
[Lucas Ramos Vieira](#)
[Nelson Jorge Schuch](#)
[Nivaor Rodolfo Rigozo](#)
[Rajaram Purushottam Kane](#)
[Renato Machado](#)
[Severino Luiz Guimaraes Dutra](#)
[Tardelli Ronan Coelho Stekel](#)
[Walter Demetrio Gonzalez Alarcon](#)

Estudantes:

[Bruno Knevitiz Hammerschmitt](#)
[Claudio Machado Paulo](#)
[Dimas Irion Alves](#)
[José Paulo Marchezi](#)
[Juliano Rafael Andrade](#)
[Leonardo Zavareze da Costa](#)
[Lucas Camponogara Viera](#)
[Magdiel Schmitz](#)
[Mauricio Rosa de Souza](#)
[Michel Baptistella Stefanello](#)
[Pietro Fernando Moro](#)
[Roger Hatwig de Lima](#)
[Tális Piovesan](#)
[William Ismael Schmitz](#)

Árvore do conhecimento:

Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Geofísica Espacial;
Ciências Exatas e da Terra; Astronomia; Astrofísica do Sistema Solar;
Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Instrumentação Científica;

Setores de aplicação:

Aeronáutica e Espaço

Objetivo:

Pesquisar e prover em tempo real com o Telescópio Multidirecional de Raios Cósmicos-Muons, 2x(4mx7m), >50GeV, no Observatório Espacial do Sul, o monitoramento de muons e fenômenos das interações Sol-Terra, a previsão no Geoespaço de eventos solares e distúrbios geofísicos, graves efeitos das tempestades e subtempestades geomagnéticas sobre dispositivos e sistemas tecnológicos afetando equipes de trabalho e equipamentos na superfície da Terra e no Espaço. Vice-Líder: Alisson Dal Lago.



AGRADECIMENTOS

O bolsista agradece a todos os funcionários do CRS/CCR/INPE – MCTI pela gentileza e pela infra-estrutura disponibilizada.

Ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica – PIBIC/INPE-CNPq/MCTI e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, assim como ao Coordenador do Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCTI, pela oportunidade na continuação do projeto científico ao longo deste ano.

Ao Orientador do Projeto, Dr. Polinaya Muralikrishna, Pesquisador do DAE/CEA/INPE-MCTI e ao seu Co-Orientador Dr. Nelson Jorge Schuch, Pesquisador do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE – MCTI, pela confiança depositada, orientação pessoal, acadêmica e profissional que o ajudaram de forma significativa para a evolução no ambiente de pesquisa e no meio social.

Aos colegas de Laboratório, Cláudio Machado Paulo e Pietro Fernando Moro e ao doutorando em Geofísica Espacial no INPE/MCTI, Juliano Moro, que contribuíram em projetos de pesquisa apresentados em congressos nacionais.

Ao *World Data Center (WDC) for Geomagnetism de Kyoto, Space Weather Prediction Center (SWPC), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Space Physics Interactive Data Resource (SPIDR), National Geophysical Data Center (NGDC), Marshall Space Flight Center's (MSFC) e National Aeronautics and Space Administration (NASA)* pela disponibilização dos dados geomagnéticos e solares.

RESUMO

O presente relatório apresenta as atividades realizadas pelo aluno Lucas Camponogara Viera referente ao Projeto “**ESTUDOS DO PLASMA IONOSFÉRICO NA REGIÃO DA ANOMALIA GEOMAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL**” (Processo nº **114397/2011-2**) com vigência de Julho de 2011 a Julho de 2012. O projeto tem dois objetivos específicos. O primeiro objetivo é estudar as interações Sol-Terra, a precipitação de partículas na Anomalia Magnética da América do Sul (AMAS) e sua dinâmica em função da atividade geomagnética através de dados coletados por riômetros da rede SARINET (*South American Riometer Network*). O segundo objetivo é realizar o monitoramento da atividade solar utilizando dados da rede de receptores SAVNET (*South American VLF Network*), que utiliza as propriedades de rádio propagação de ondas eletromagnéticas na faixa VLF (*Very Low Frequency*: 3 - 30 kHz). O estudo, desenvolvimento da pesquisa, redução, análise e interpretação de dados foram realizadas no Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre – LSIANT do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE – MCTI, em Santa Maria, RS.



SUMÁRIO

CONTINUIDADE DAS ATIVIDADES TÉCNICAS CIENTÍFICAS DESENVOLVIDAS NO PROJETO PELO BOSISTA LUCAS CAMPOGARA VIERA	05
INTRODUÇÃO	14
CAPÍTULO 1.....	16
ATIVIDADE SOLAR	16
1.1 - <i>Ciclo Solar</i>	16
1.2 - <i>Explosões Solares</i>	17
1.3 - <i>Ejeções Coronal de Massa</i>	18
CAPÍTULO 2.....	20
ÍNDICES GEOMAGNÉTICOS.....	20
2.1 - <i>Índice DST</i>	20
2.2 - <i>Índice KP</i>	21
2.3 - <i>Índice AP</i>	22
CAPÍTULO 3.....	24
REDE SAVNET.....	24
3.1 - <i>Rede SAVNET</i>	24
3.2 - <i>Estação Receptora de VLF</i>	25
CAPÍTULO 4.....	28
REDE SARINET.....	28
4.1 - <i>Rede SARINET</i>	28
4.2 - <i>Riômetros</i>	29
4.3 - <i>Riômetro Imageador</i>	32
4.4 - <i>Resultados</i>	33
CAPÍTULO 5.....	35
ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE A VIGÊNCIA DA BOLSA	35
CAPÍTULO 6.....	37
CONCLUSÃO.....	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38



LISTA DE FIGURAS E TABELAS

FIGURA 1.1 – NÚMERO DE MANCHAS SOLARES DO CICLO SOLAR 23 E PREVISÃO DO NÚMERO DE MANCHAS SOLARES PARA O CICLO SOLAR 24	15
FIGURA 1.2 – VISÃO DETALHADA DE UM GRUPO DE MANCHAS SOLARES	16
FIGURA 1.3 – IMAGEM DE RAIOS-X DA CORONA SOLAR PELO SATÉLITE YOHKOH	18
FIGURA 1.4 – EJEÇÃO DE MASSA CORONAL VISTA PELO CORONÓGRAFO LASCO ABORDO DA NAVE ESPACIAL SOHO.....	19
FIGURA 2.1 – ÍNDICE DST PARA O MÊS DE ABRIL, 2006	20
TABELA 2.1 – CLASSIFICAÇÃO DAS TEMPESTADES MAGNÉTICAS.....	21
FIGURA 2.2 – ÍNDICE KP, PERÍODO DE DISTÚRBO MAGNÉTICO DURANTE 14 A 15 DE ABRIL	21
TABELA 2.2 – RELAÇÃO DA ATIVIDADE MAGNÉTICA COM O ÍNDICE KP.....	22
FIGURA 2.3 – ÍNDICE AP PARA O PERÍODO DE 14 A 15 DE ABRIL, 2006.....	22
TABELA 2.3 – NÍVEIS KP PARA O ÍNDICE AP.....	23
FIGURA 3.1 - LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES RECEPTORAS (VERMELHO) E TRANSMISSORAS (AMARELO) DA REDE SAVNET	25
FIGURA 3.2 – ESQUEMA SIMPLIFICADO DOS COMPONENTES DE UMA ESTAÇÃO RECEPTORA DE VLF DA REDE SAVNET.....	25
FIGURA 3.3 – ANTENAS “LOOP” E ANTENA VERTICAL INSTALADAS NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL, OES/CRS/CCR/INPE – MCTL.....	26
FIGURA 3.4 – INTERFACE DO PROGRAMA <i>SOFTPAL</i> UTILIZADO NA ESTAÇÃO RECEPTORA INSTALADA NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL, OES/ CRS/CCR/INPE – MCTL.....	27
FIGURA 4.1 – REDE SARINET, EM DESTAQUE OS SÍTIOS DE COLETAS DE DADOS	29
FIGURA 4.2 – DIAGRAMA DE BLOCOS SIMPLIFICADO DE UM RIÔMETRO	30
FIGURA 4.3 – QDC EM VERMELHO E INTENSIDADE DO RUÍDO CÓSMICO EM AZUL, COM DADOS DO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DE CONCEPCIÓN - CHILE, PARA O DIA 14 DE ABRIL DE 2006	31
FIGURA 4.4 – FOTOGRAFIA DAS ANTENAS DO RIÔMETRO IMAGEADOR NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL, SÃO MARTINHO DA SERRA, RS.....	32
FIGURA 4.5 – IMAGENS DO CNA, 330X330KM EM 100 KM DE ALTITUDE, RESOLUÇÃO ESPACIAL DE 10 KM ² OBTIDAS ATRAVÉS DE DADOS DO RIÔMETRO IMAGEADOR OPERACIONAL NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DE CONCEPCIÓN - CHILE, PARA O DIA 14 DE ABRIL DE 2006	33



INTRODUÇÃO

O objetivo científico geral do projeto de pesquisa é estudar a variação da absorção ionosférica de ondas de rádio de origem cósmica na faixa de 38,2 MHz com o equipamento riômetro imageador instalado nos sítios de coleta da rede SARINET, com base nisto, o aluno desenvolveu uma análise com os dados de riômetro do Observatório Espacial de Concepción, Chile, para o mês de abril de 2006 e obteve resultados de absorção ionosférica e intensidade de ruído cósmico galáctico.

Com base nos objetivos científicos apresentados, e nos tópicos apresentados no relatório anterior, em continuidade o presente Relatório foi estruturado da seguinte forma:

- O Capítulo 1 apresenta uma revisão teórica sobre a atividade solar, ciclo solar, explosões solares e Ejeções Coronal de Massa.
- O Capítulo 2 refere-se aos índices geomagnéticos.
- O Capítulo 3 refere-se à rede SAVNET, apresentando o projeto, os equipamentos envolvidos no sistema.
- O Capítulo 4 refere-se à rede SARINET, apresentando o projeto, os equipamentos envolvidos no sistema e métodos de análise de dados.
- No Capítulo 5 é realizado um resumo das atividades desenvolvidas pelo bolsista durante o período de vigência da bolsa.
- Por fim, no Capítulo 6 é apresentada a conclusão do relatório referente às atividades desenvolvidas.

CAPÍTULO 1

ATIVIDADE SOLAR

1.1 –Ciclo Solar

O ciclo solar é o ciclo que mostra a atividade do Sol em intervalos de aproximadamente 11 anos, sendo caracterizado por variações no número de manchas solares. As manchas solares são regiões do Sol com temperatura e pressão reduzidas e com elevado campo magnético. No período de máximo solar a atividade solar é alta e há ocorrências de maior número de manchas solares. No período de mínimo solar, caracterizado por menor número de manchas solares, a atividade solar é mais baixa. Após o período de mínimo solar, um novo ciclo se inicia. A Figura 1.1 mostra o ciclo de manchas solares de 1995 até 2011 e uma extrapolação do número de manchas solares até o ano de 2020.

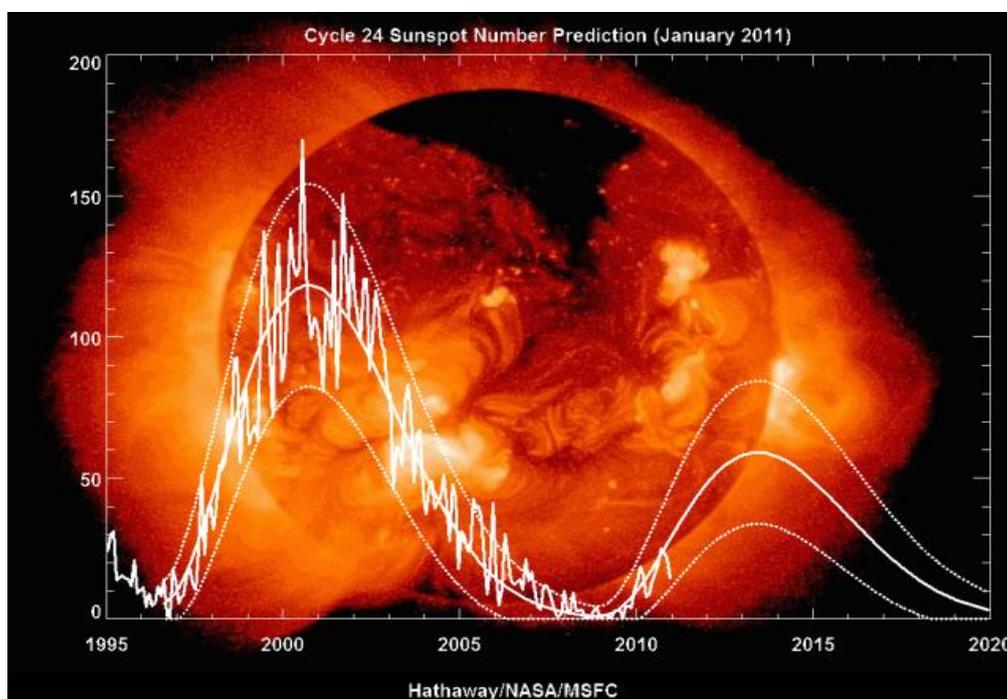


Figura 1.1– Número de manchas solares do ciclo solar 23 e previsão do número de manchas solares para o Ciclo Solar 24.

Fonte: The Solar Physics Branch of Marshall Space Flight Center (2012).

As manchas solares foram descritas pela primeira vez por Teofrasto, por volta do ano 325 a.C. (SCHAER, 1999). Elas são regiões com temperatura mais baixa e por isso apresentam-se mais escuras do que o restante da superfície do Sol. As manchas solares são constituídas de duas partes: a umbra, que é a parte central mais escura, com temperatura em torno de 3800K, e a penumbra que é a região mais clara e com estrutura radial em torno da umbra. As manchas solares tendem a se formar em grupos, e estão associadas a intensos campos magnéticos no Sol (OLIVEIRA FILHO ESARAIVA, 2000). Uma mancha solar grande pode cobrir uma área de cerca de 700 vezes a área superficial do planeta Terra, tendo $\sim 20 \times 10^{16}$ m de diâmetro (ECHER et al., 2003). A Figura 1.2 mostra uma imagem da superfície do Sol onde se pode notar um grupo de manchas que aparecem como regiões mais escuras.

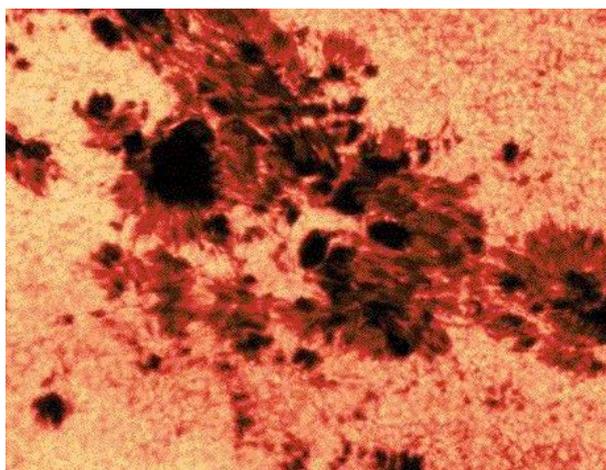


Figura 1.2 – Visão detalhada de um grupo de manchas solares.

Fonte: Oliveira Filho e Saraiva (2000).

O número de manchas solares (R) pode ser calculado a partir do índice de Wolf, que é dado pela Equação 1.1 (DAVIES, 1990):

$$R = k(10g + s)(1.1)$$

Na Equação 1.1 “ g ” é o número de grupos de manchas e “ s ” é o número de manchas observadas individualmente. O fator “ k ” é um fator de correção que é usado para possibilitar a comparação de resultados obtidos por diferentes observadores em locais



distintos e com diferentes equipamentos. No entanto, a divisão do número de grupos de manchas (g) e manchas isoladas(s) pode ser arbitrária. Às vezes também é difícil afirmar se um grande complexo de manchas deve ser contado como um ou dois grupos (DAVIES, 1990). Assim, o número de manchas (R) definido pela Equação 1.1 pode não ser coerente com a realidade, devido ao grau de arbitrariedade, pois o mesmo depende do observador e das características do equipamento utilizado. O número de manchas solares pode ser avaliado diariamente e como média mensal e anual. O índice mais utilizado que representa o número de manchas solares é o calculado a partir de uma suavização de um mês específico e conhecido por R12. Detalhes sobre esse índice podem ser encontrados em Davies (1990). Vale salientar que, de 1700 até 1750 as médias dos números de manchas são anuais, ao passo que de 1750 até os dias atuais a contagem do número de manchas é dada pela média mensal. Normalmente, também existe uma periodicidade de aproximadamente 27 dias associadas com a rotação solar (DAVIES, 1990). Os ciclos solares são normalmente assimétricos (LEICK, 1995). A duração da transição do período mínimo para o máximo é menor do que a duração do máximo para o mínimo. Normalmente, a duração do período mínimo para o máximo é de 3 a 4 anos, e do período de declínio é de 7 a 8 anos (KOMJATHY, 1997).

1.2 – Explosões Solares

As explosões solares ocorrem em regiões ativas do Sol, como mostra a Figura 1.3, onde se encontram manchas solares (McNAMARA, 1991). Vale salientar que a predição de qual região ativa gerará intensas explosões solares que afetarão a ionosfera ainda não é exato (McNAMARA, 1991). A duração de uma explosão solar pode durar de 3 minutos até várias horas, sendo o tempo médio de aproximadamente 30 minutos (DAVIES, 1990). Durante as explosões solares um primeiro fenômeno que ocorre é o aumento da radiação solar eletromagnética na faixa do comprimento de onda dos raios-X (McNAMARA, 1991).

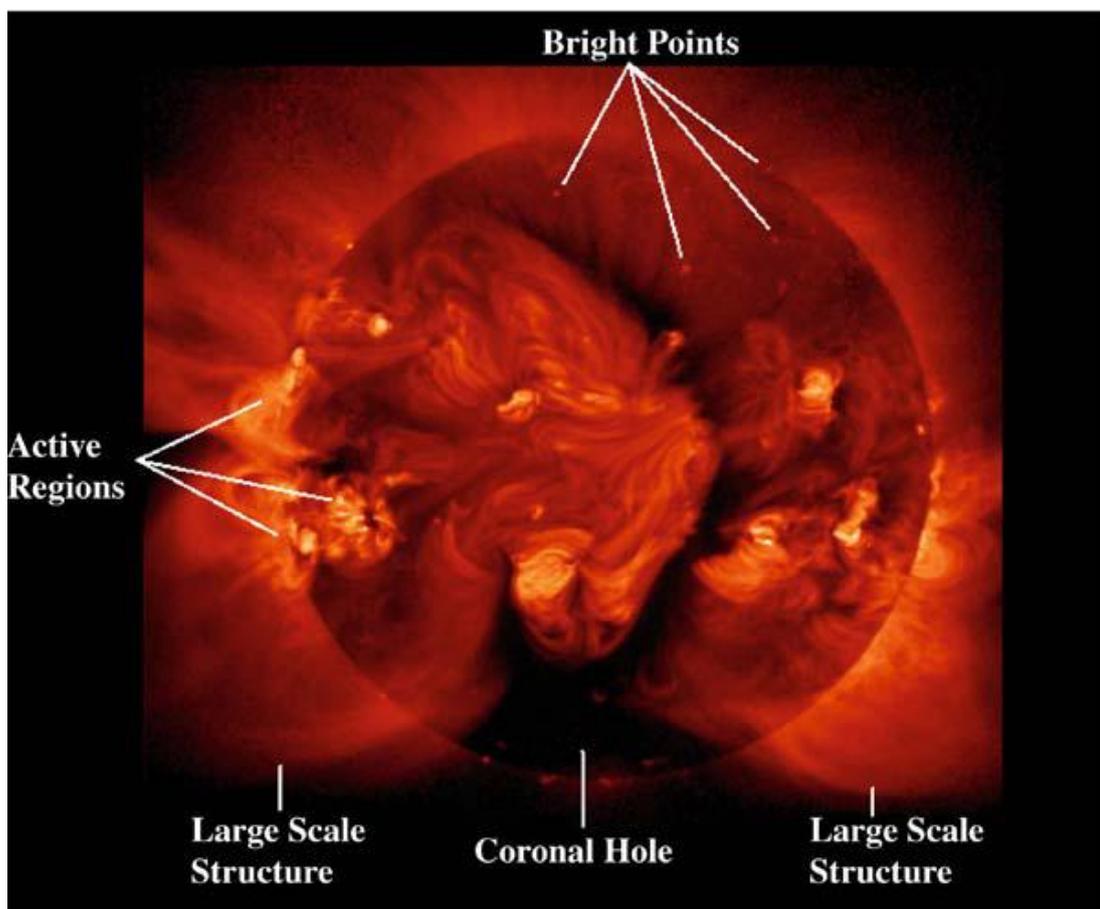


Figura 1.3– Imagem de Raios-x da Corona Solar pelo satélite Yohkoh.

Fonte: Handbook of the Solar-Terrestrial Environment (Yohsuke Kamide Abraham C.L.Chian) (Eds.)

1.3 – Ejeções Coronais de Massa

O Sol está continuamente emitindo radiação e partículas carregadas. A emissão dessas partículas é denominada vento solar. Devido a instabilidades solares, frequentemente, ocorrem explosões solares (“*Solar Flares*”) que consistem na emissão de uma grande quantidade de radiação em todo espectro de onda eletromagnética, em um curto intervalo de tempo. A expulsão do plasma solar aprisionado nas linhas de campo de uma mancha solar, e ocorrida junto com *Flare*, denomina-se Ejeção Coronal de Massa (CME – *Coronal Mass Ejection*), como evidenciado pela Figura 1.4. Caso a intensidade do *Flare* seja elevada e ocorra uma CME, podem ser originados distúrbios ionosféricos súbitos (“DIS”), tempestades e sub-tempestades geomagnéticas.

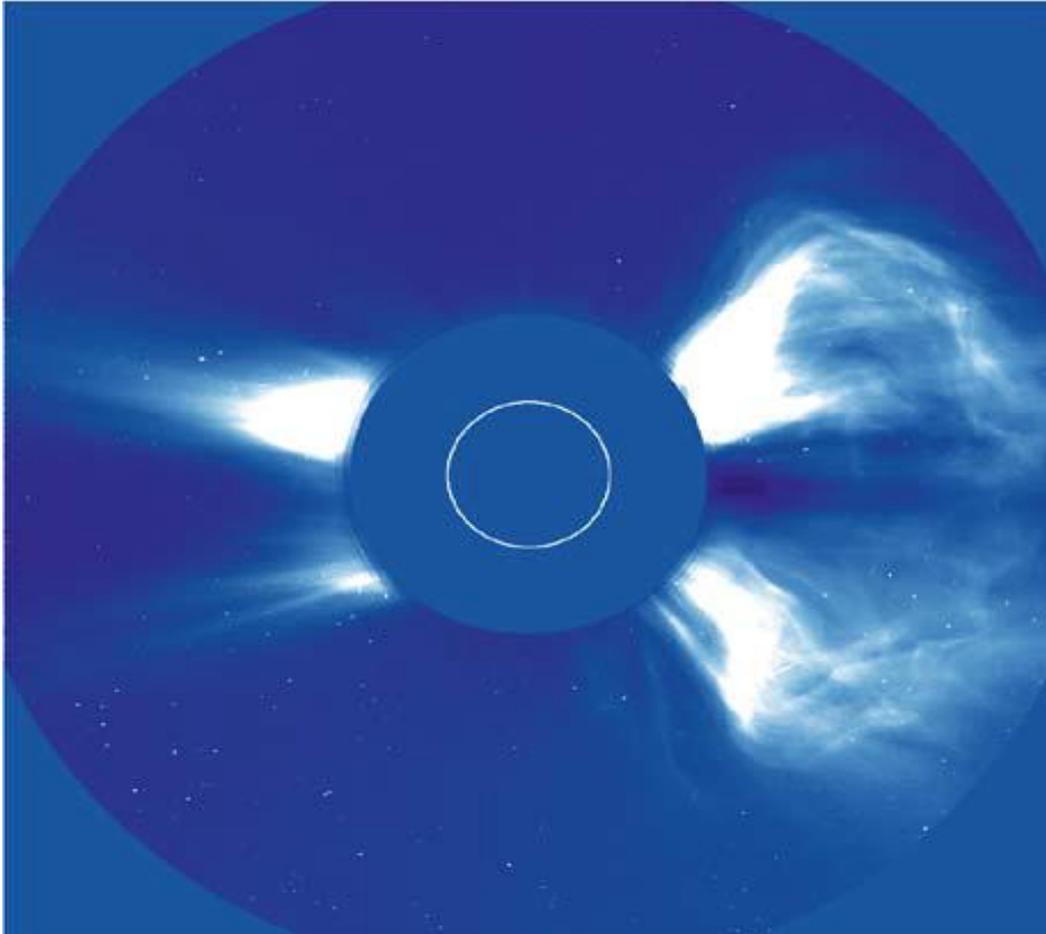


Figura 1.4– Ejeção de Massa Coronal vista pelo coronógrafo LASCO a bordo da nave espacial SOHO.

Fonte: Handbook of the Solar-Terrestrial Environment (Yohsuke Kamide Abraham C.-L. Chian) (Eds.)

CAPÍTULO 2

ÍNDICES GEOMAGNÉTICOS

2.1– Índice Dst

O índice Dst (*Disturbance Storm-Time*) é uma medida da atividade geomagnética utilizada para avaliar a intensidade de tempestades geomagnéticas. Ele também pode ser definido como uma medida simétrica da corrente de anel, e é obtido em unidades de nano Tesla (nT), como mostra a Figura 2.1 para o mês de Abril de 2006.

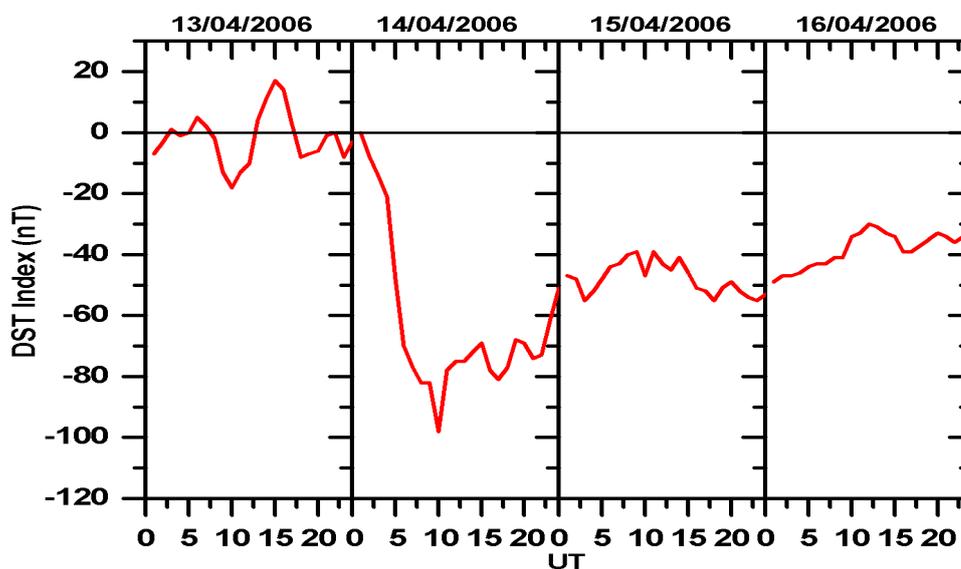


Figura 2.1– Índice Dst para o mês de Abril, 2006.

O índice Dst mede o desenvolvimento temporal, com resolução de uma hora, e a intensidade de tempestades geomagnéticas e da corrente de anel. Este índice é baseado no valor médio da componente horizontal do campo magnético terrestre medido por magnetômetros instalados em observatórios geomagnéticos localizados em latitudes próximas ao equador.

As tempestades magnéticas podem ser classificadas de acordo com sua intensidade, pelo valor fornecido pelo índice Dst, como mostra a Tabela 2.1.

TABELA 2.1 – Classificação das Tempestades Magnéticas.

Intensidade da Tempestade	Dst (nT)
Muito Intensa	$Dst \leq -250$
Intensa	$-100 \leq Dst \leq -250$
Moderada	$-50 \leq Dst \leq -100$
Fraca	$-30 \leq Dst \leq -50$

Fonte: Gonzales et al. ,1994.

2.2– Índice Kp

O índice Kp medido em nano Tesla (nT) é a média padronizada do índice K para 13 observatórios, onde K é um índice quase logarítmico de uma série de três horas de atividade geomagnética, variando de 0 a 9 e mede o desvio da componente horizontal mais perturbada do campo geomagnético. Um exemplo da variação do índice Kp durante os dias 13 e 16 de abril de 2006 é mostrado na Figura 2.2.

O índice Kp possui uma escala de 28 níveis, com um subintervalo de três partes, variando de zero a nove (veja a Tabela 2.2).

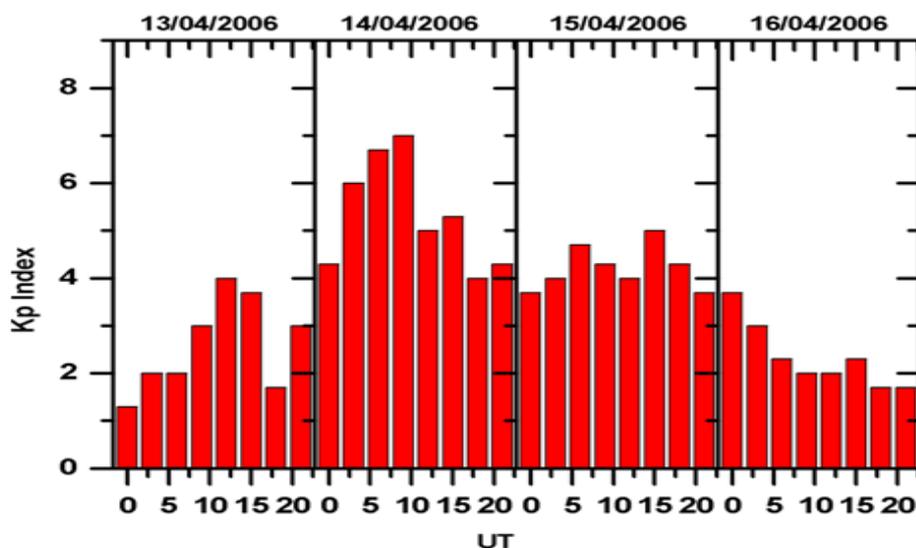


Figura 2.2 – Índice Kp, período de distúrbio magnético durante 14 a 15 de Abril de 2006.



TABELA 2.2 – Relação da atividade magnética com o índice Kp.

Comportamento	Kp
Muito calmo	$0 \leq Kp \leq 1$
Calmo	$1 \leq Kp \leq 2 -$
Normal	$2 - \leq Kp \leq 3 +$
Perturbado	$3 + \leq Kp \leq 4 +$
Muito perturbado	$4 + \leq Kp \leq 9$

Fonte: Wrenn et al., 1987.

2.3– Índice Ap

O índice planetário Ap mede a intensidade geomagnética em uma escala linear. Ele é derivado do índice Kp (Tabela 2.3). Assim como o índice Kp ele possui um período de atualização de 3 horas. Um exemplo da variação do índice Ap durante os dias 14 e 15 de abril de 2006 é mostrado na Figura 2.3.

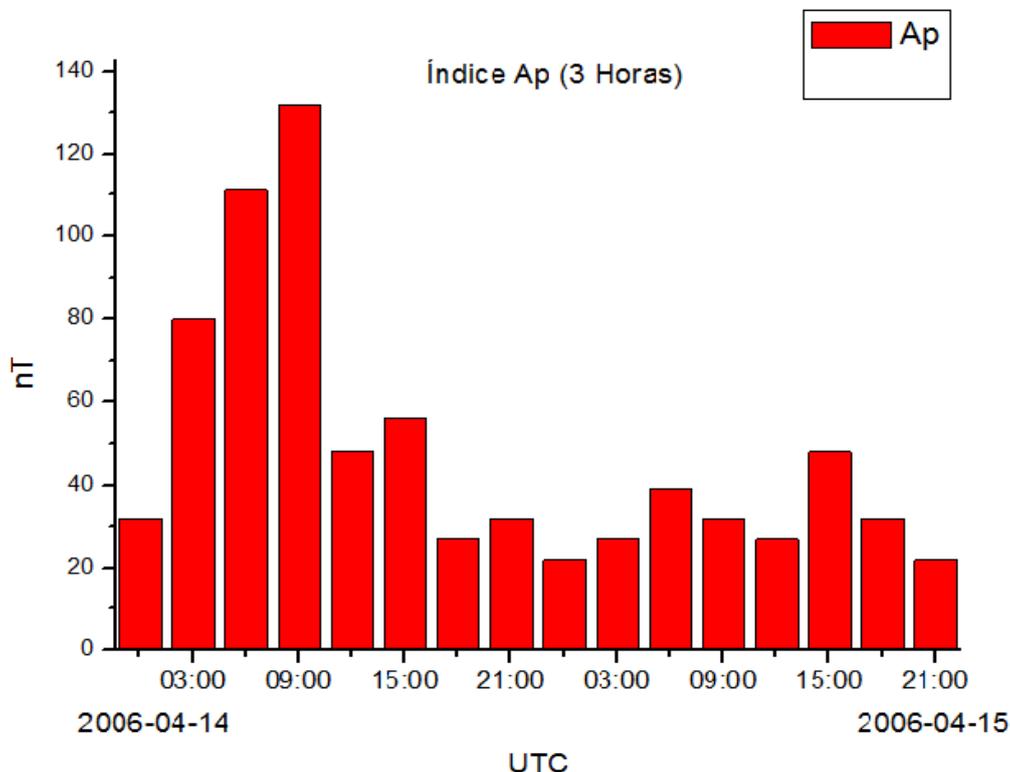


Figura 2.3– Índice Ap para o período de 14 a 15 de Abril, 2006.



TABELA 2.3 – Níveis Kp para o índice Ap.

Kp	0o	0+	1-	1o	1+	2-	2o	2+	3-	3o	3+	4-	4o	4+
ap	0	2	3	4	5	6	7	9	12	15	18	22	27	32
Kp	5-	5o	5+	6-	6o	6+	7-	7o	7+	8-	8°	8+	9-	9o
ap	39	48	56	67	80	94	111	132	154	179	207	236	300	400

Fonte: Prestes, 2002.



CAPÍTULO 3

REDE SAVNET

3.1–Rede SAVNET

O Projeto SAVNET (*South America VLF Network*) consiste em uma rede de estações de radio receptoras e transmissoras de ondas eletromagnéticas na faixa de VLF (*Very Low Frequency*: 3 - 30 kHz). A propagação das ondas de VLF é utilizada para o monitoramento da atividade solar em longo prazo e para o estudo dos seus efeitos na grande região da Anomalia Magnética da América do Sul (AMAS). Estas ondas são emitidas de forma modulada pelos transmissores MSK (*Minimum Shift Keying*).

Estudos científicos utilizando a propagação de ondas de baixa frequência mostraram que essa técnica é uma ferramenta potente para o estudo da região D diurna e região E noturna da ionosfera, pois para distâncias longas entre um transmissor e um receptor, a base da ionosfera juntamente com a superfície terrestre atua como a parede superior e inferior de um guia de onda esférico. Devido a isso, quando acontece uma perturbação que resulta em um aumento ou uma diminuição da ionização na região D, diurna, ou região E, noturna, acontecem alterações nítidas que são observadas nas características das ondas de VLF, como na alteração da variação da velocidade de fase e amplitude (Moro, 2008).

Atualmente a rede SAVNET é composta por sete estações receptoras e quatro transmissoras, como mostra a Figura 3.1.

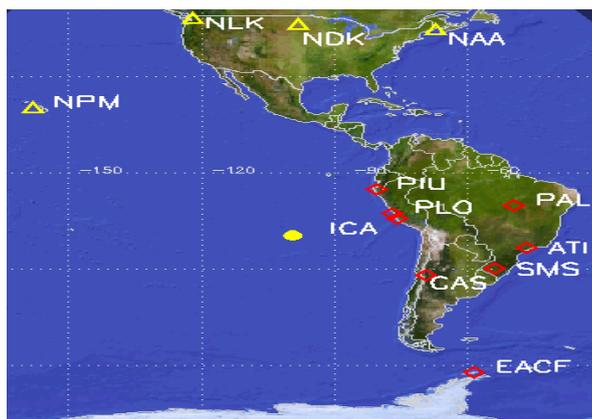


Figura 3.1 – Localização das estações receptoras (vermelho) e transmissoras (amarelo) da rede SAVNET.

Fonte: Dr. Jean-Pierre Raulin, comunicação pessoal.

3.2– Estação Receptora de VLF

O sistema estação receptora em VLF da Rede SAVNET é composto basicamente de um conjunto de antenas, um pré-amplificador, uma antena GPS e um computador, como mostra a Figura 3.2.

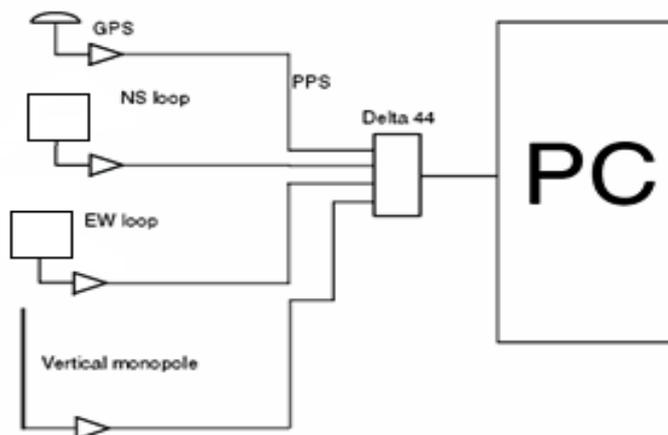


Figura 3.2 – Esquema simplificado dos componentes de uma estação receptora de VLF da Rede SAVNET.

Fonte: Dr. Jean-Pierre Raulin, comunicação pessoal.



O sistema de antenas que compõem a estação receptora da rede SAVNET é formado por duas antenas “Loop” uma posicionada perpendicularmente a outra, e uma antena vertical, veja a Figura 3.3.



Figura 3.3 – Antenas “Loop” e antena vertical instaladas no Observatório Espacial do Sul, OES/CRS/CCR/INPE – MCTI.

As observações consistem em quatro sinais detectados, das três antenas e da antena GPS, que são digitalizados através de uma placa de som (Delta 44) e tratados no computador por um programa *SoftPal* (veja a interface do programa *SoftPal* na Figura 3.4). Este programa foi ajustado para atender os objetivos técnicos e científicos estudados no projeto que são monitorar a variação da velocidade de fase e amplitude das ondas de VLF detectadas pela estação de receptora.

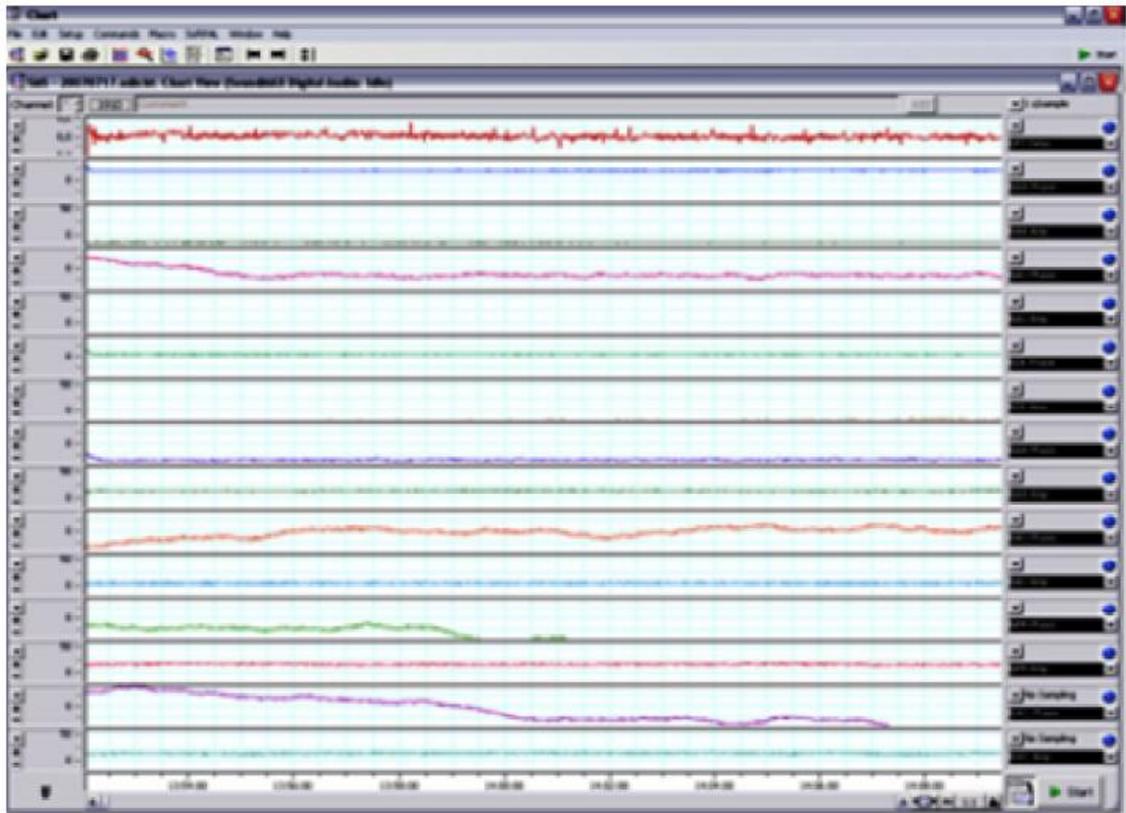


Figura 3.4 – Interface do programa *SoftPal* utilizado na estação receptora instalada no Observatório Espacial do Sul, OES/CRS/CCR/INPE – MCTI.



CAPÍTULO 4

REDE SARINET

4. 1– Rede SARINET

O Projeto SARINET (*South American Riometer Network*) tem como objetivo científico estudar as interações Sol-Terra, fazer a pesquisada precipitação de partículas na região da AMAS em função de sua atividade geomagnética e determinar a estrutura espacial e dinâmica da região, monitorando a variação de absorção e o movimento do plasma ionosférico nesta região.

Devido a AMAS apresentar a menor intensidade do campo magnético terrestre, pode ocorrer durante tempestades geomagnéticas um aumento da precipitação de partículas energéticas que contribuem na ionização da ionosfera localizada na AMAS. Durante o período de máximo solar, no qual ocorre um aumento de Ejeções Coronais de Massa, há maiores ocorrências de tempestades e sub-tempestades magnéticas levando a uma maior precipitação das partículas energéticas (Moro, 2008). A completa instalação da rede de riômetros imageadores e de 1 canal permitirá o estudo destes fenômenos com maior resolução e detalhamento.

O Brasil participa da rede SARINET (veja Figura 4.1) no âmbito da cooperação internacional entre Japão, Chile e Argentina, tendo como Principal Investigador e Coordenador Internacional o Prof. Dr. Kazuo Makita, da *University of Takushoku*, Tokyo – Japão.

O Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CCR/INPE – MCTI, em São Martinho da Serra, RS, conta atualmente com três riômetros, um do tipo imageador e dois do tipo convencional.

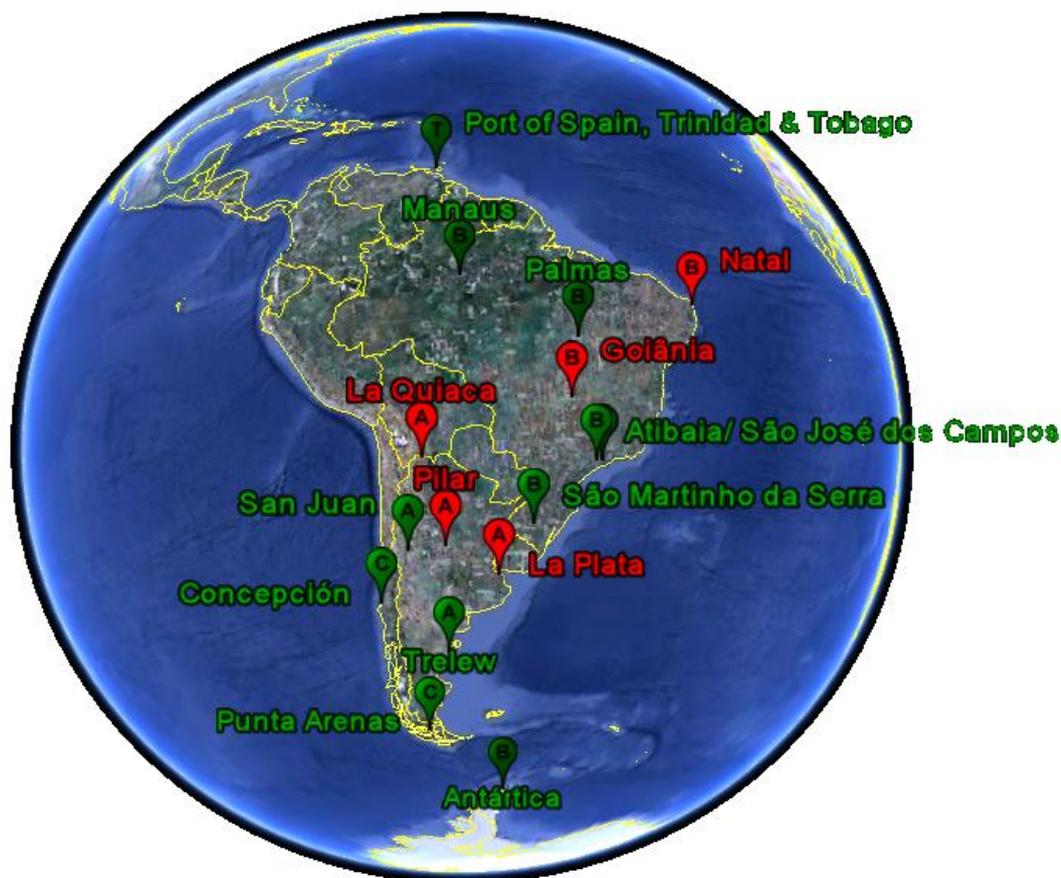


Figura 4.1 - Rede SARINET, em destaque os sítios de coletas de dados.

Fonte: Moro (2011).

4.2– Riômetros

O riômetro (do inglês *Riometer: Radio Ionosphere Opacity Meter*, ou seja, medida da opacidade relativa da ionosfera), trata-se de um rádio receptor muito sensível que registra a intensidade do ruído cósmico incidente sobre a superfície terrestre através de uma antena direcional na faixa de frequências de 20 a 50 MHz e investigam principalmente a absorção na baixa ionosfera (regiões D e E) situada na faixa dos 80 km a 130 km. A Figura 4.2 mostra o diagrama de blocos de um riômetro imageador.

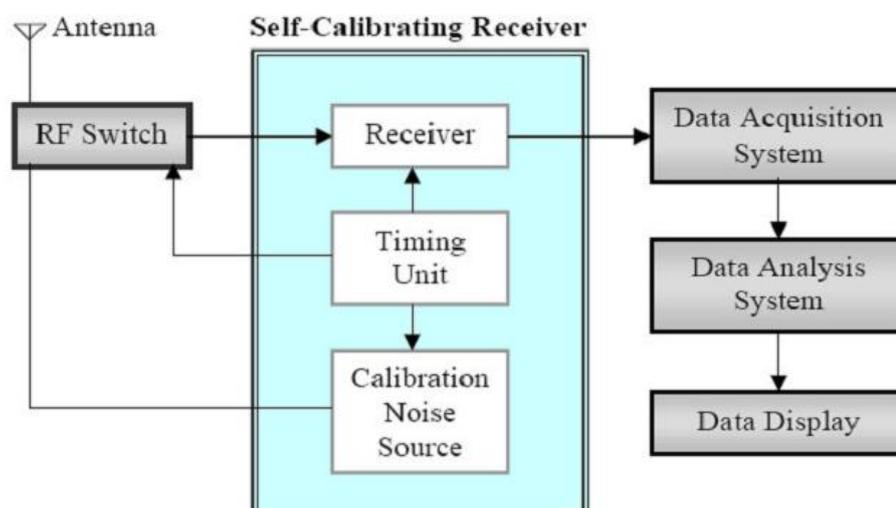


Figura 4.2– Diagrama de blocos simplificado de um riômetro.

Fonte: (VIERA, L. C.; ALVES, D. I., 2011).

O ruído cósmico é a radiação eletromagnética proveniente das mais diversas fontes no espaço. Quando o ruído cósmico atravessa a atmosfera, parte da energia da onda é dissipada na ionosfera sob a forma de energia cinética aos elétrons livres. Para um dado ponto no espaço, fora da interferência da atmosfera terrestre, pode-se considerar o sinal de ruído cósmico emitido constante, porém ao atravessar a ionosfera, parte da energia da onda é dissipada em forma de energia cinética devido a colisões com partículas livres. Logo, quanto menor a intensidade do sinal recebido pelas antenas maior terá sido a absorção do sinal do ruído cósmico.

O ruído cósmico incidente sobre a superfície terrestre depende apenas da direção que ela aponta no espaço. Com a finalidade de obter dados relacionados sempre a mesma faixa do céu, direciona-se a antena numa determinada direção fixa, pois a terra ao girar em torno de seu eixo fará com que a antena receba fluxo de ruído cósmico da mesma região no céu.

Não é possível determinar a absorção do ruído cósmico (CNA – *Cosmic Noise Absorption*) incidente sobre a superfície terrestre desconsiderando a absorção ionosférica. Logo, para analisar a intensidade do sinal recebido no riômetro determina-se, através de métodos estatísticos, uma curva com o nível de intensidade do ruído cósmico durante um período de dias geomagneticamente calmos. Tal curva é chamada Curva do Dia Quiet (QDC – “*Quiet Day Curve*”) que está em vermelho nos gráficos da

Figura 4.3. Esta curva é tomada como padrão para comparação com os dados de dias geomagneticamente perturbados nas quais há atenuação da intensidade do ruído cósmico captado pelo riômetro, representada em azul nos gráficos da Figura 4.3.

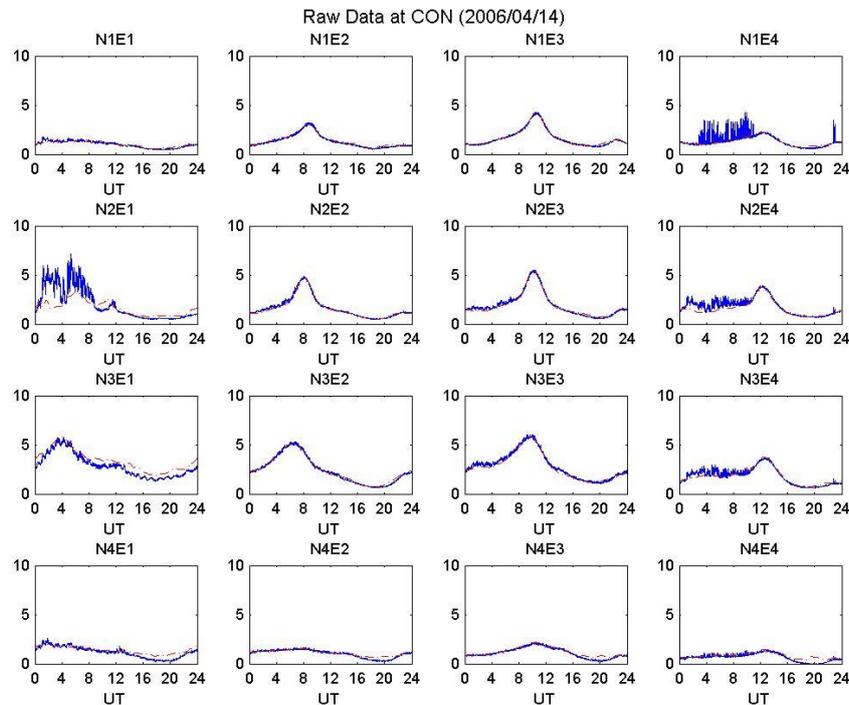


Figura 4.3 – QDC em vermelho e intensidade do ruído cósmico em azul, com dados do Observatório Espacial de Concepción - Chile, para o dia 14 de Abril de 2006.

O CNA é dado pela razão entre o sinal recebido sem absorção (I_r) e o atual sinal recebido (I_q) para a mesma hora sideral. Normalmente a intensidade do ruído cósmico é dada em decibéis e calculada através da Equação 4.1:

$$A(db) = 10 \log \left(\frac{I_r}{I_q} \right) \quad (4.1)$$

4.3– Riômetro Imageador

O riômetro imageador, instalado no Observatório Espacial Sul (OES/CRS/CCR/INPE – MCTI, 29,4°S, 53,8°O, 480 m de altitude, em São Martinho da Serra, RS), é um equipamento capaz de captar o movimento espacial da absorção ionosférica do ruído cósmico, através do conjunto de 16 antenas do tipo dipolo, distribuídas na forma de uma matriz 4x4, como mostra a Figura 4.4. As antenas se distanciam em meio comprimento de onda ($\sim 3,93$ m) e com altura de um quarto do comprimento de onda ($\sim 1,96$ m). O equipamento produz 16 feixes que varrem a ionosfera local com um campo de visão de aproximadamente 330 km^2 , com uma altitude de 100 km, captando sinais na faixa de 38,2 MHz, tanto na direção norte-sul, quanto na direção leste-oeste. Com os dados coletados com o riômetro imageador é possível gerar imagens da absorção do ruído cósmico, como mostra a Figura 4.5.



Figura 4.4– Fotografia das antenas do riômetro imageador no Observatório Espacial do Sul, São Martinho da Serra, RS.

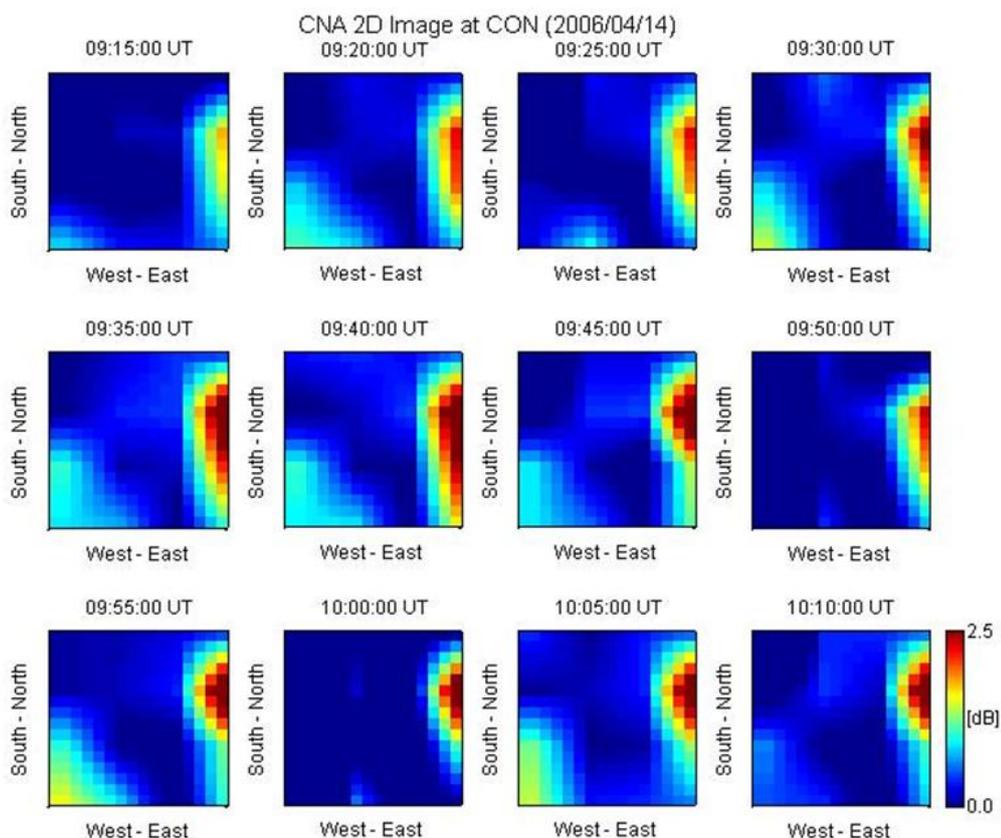


Figura 4.5—Imagens do CNA, 330x330km em 100 km de altitude, resolução espacial de 10 km² obtidas através de dados do riômetro imageador operacional no Observatório Espacial de Concepción - Chile, para o dia 14 de Abril de 2006.

4.4 – Resultados

A causa da maior absorção ionosférica e menor intensidade do sinal do ruído cósmico, recebido pelas antenas, pode ser detectada fazendo-se uma análise nos índices geomagnéticos e no fluxo de Raios-X na possível detecção de tempestades geomagnéticas e explosões solares.

Como exemplo de análise é apresentado a tempestade geomagnética do dia 14 de Abril de 2006.

Tempestades geomagnéticas como a do dia 14 de Abril de 2006 podem ser observadas, realizando uma análise dos índices geomagnéticos Dst, Kp e Ap. Elas apresentam o índice Dst < -100nT atingindo um valor máximo de -111 nT às 10:00 UT como mostra a Figura 2.1. O índice Kp atingiu valor máximo de 7,0 às 10:00 UT, como evidenciado na Figura 2.2. A Figura 1.2 mostra uma imagem da superfície do Sol onde



se pode notar um grupo de manchas que aparecem como regiões mais escuras. Por fim, o índice Ap foi > 30 às 10:00 UT, como mostra a Figura 2.3. A partir de comparações entre a curva em vermelho, QDC, com a curva em azul, intensidade do ruído cósmico registrada como mostra a Figura 4.3, é notável uma menor intensidade do sinal do ruído cósmico registrado, no período das 10:00 UT, o que caracteriza uma maior densidade ionosférica local e conseqüentemente uma maior absorção do ruído cósmico como mostra a Figura 4.5, causada pela tempestade geomagnética, o que confirma os eventos espaciais identificados pelos índices geomagnéticos.

Os eventos originados pela injeção de partículas energéticas de origem solar ou pelo aumento do fluxo de raios X possuem uma assinatura caracterizada como, uma súbita queda na amplitude do sinal registrado no riômetro e no índice geomagnético Dst.



CAPÍTULO 5

ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE A VIGÊNCIA DA BOLSA

A vigência da bolsa de Iniciação Científica – PIBIC/CNPq – INPE iniciou em Julho/2011. Inicialmente o bolsista realizou uma revisão bibliográfica a partir de artigos, dissertações e teses sobre a ionosfera, o campo magnético terrestre, a AMAS e assuntos relacionados à instrumentação utilizada no projeto.

Atualmente o Bolsista é um dos responsáveis pela pesquisa, análise, redução e coleta de dados do riômetro imageador, além da manutenção periódica do equipamento no Observatório Espacial do Sul (OES), bem como pela disponibilização dos dados na internet. O bolsista teve contato com o pesquisador Dr. Kazuo Makita que é um dos principais investigadores das pesquisas com riômetros, junto ao Observatório Espacial do Sul – OES e no Cone Sul da América do Sul, no Chile, em Concepción e Punta Arenas. Este contato foi de grande importância para o bolsista que ampliou seus conhecimentos sobre o funcionamento da instrumentação e das rotinas de pesquisa através do software MatLab. A partir da redução dos dados, o bolsista está desenvolvendo estudos da evolução temporal da absorção ionosférica na região da AMAS. Durante a vigência da bolsa, o bolsista publicou um resumo expandido com apresentação de pôster, 2 resumos para seminário com apresentação de trabalho e participou de um congresso internacional, sendo eles:

VIERA, L. C. ; SCHUCH, N. J. ; MURALIKRISHNA, P. ; PAULO, C. M. ; ALVES, D. I. ; MORO, P. F. . ANALISE DE DADOS DE RIÔMETRO SOBRE A REGIÃO DA ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL AMAS, DURANTE ABRIL DE 2006, PERÍODO MAGNETICAMENTE PERTURBADO. In: 26ª Jornada Acadêmica Integrada, 2011, Santa Maria, 2011, Santa Maria. ANALISE DE DADOS DE RIÔMETRO SOBRE A REGIÃO DA ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL AMAS, DURANTE ABRIL DE 2006, PERÍODO MAGNETICAMENTE PERTURBADO, 2011.



VIERA, L. C. ; SCHUCH, N. J. ; MURALIKRISHNA, P. ; PAULO, C. M. ; ALVES, D. I. ; MORO, P. F. . ANALISE DE DADOS DE RIÔMETRO SOBRE A REGIÃO DA ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL AMAS, DURANTE ABRIL DE 2006, PERÍODO MAGNETICAMENTE PERTURBADO..2011. (Apresentação de Trabalho/Seminário).

SECOND LOW-LATITUDE IONOSPHERIC SENSOR NETWORK WORKSHOP. 2011. (CONGRESSO).

APRESENTAÇÃO DE POSTER / PAINEL NO (A) 2º MOSTRA INTEGRADA DE PROFISSÕES, TECNOLOGIAS, CULTURA E SERVIÇOS UFSM, 2012. (OUTRA). LABORATÓRIO DE SONDAÇÃO IONOSFÉRICA E ATMOSFERA NEUTRA TERRESTRE.

VIERA, L. C., MURALIKRISHNA, P., SCHUCH, N. J. ESTUDOS DO PLASMA IONOSFÉRICO NA REGIÃO DA ANOMALIA GEOMAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL – AMAS In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO INPE - SICINPE, 2012, Santa Maria. SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO INPE - SICINPE. , 2012. *Áreas do conhecimento: Geofísica, Geofísica Aplicada Referências adicionais: Brasil/Português. Meio de divulgação: Meio digital*



CAPÍTULO 6

CONCLUSÃO

Durante o período de Julho de 2011 até Julho 2012 o aluno desenvolveu muitas habilidades, principalmente aquelas voltadas para a pesquisa, para trabalhos em grupo e individuais. Muitos conhecimentos de grande valia foram adquiridos na revisão bibliográfica, principalmente porque estas atividades não são ministradas nas disciplinas do Curso de Física Bacharelado do Centro de Ciências Naturais e Exatas - UFSM.

De forma geral, o projeto de pesquisa permitiu um acesso direto do aluno com as áreas das ciências e tecnologias relacionadas ao projeto. A participação em eventos científicos propiciou um contato com muitos profissionais, pesquisadores e acadêmicos de outras áreas e instituições, permitindo uma grande troca de experiências e de ideias, proporcionando um aprendizado de alto nível em cada situação, fator muito positivo no sentido amplo tanto pelas novas amizades construídas, como pelo crescimento profissional e pessoal do aluno. Além disso, o aluno apresentou resultados do projeto nestes eventos, fato que proporcionou excelentes experiências.



REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- DAVIES, K.. **Ionospheric Radio**. London: Peter Peregrinus Ltd., 580p, 1990.
- ECHER, E.; RIGOZO, N.R.; NORDEMANN, D.J.R.; VIEIRA, L.E.A.; PRESTES, A.; FARIA, H.H.. **O número de manchas solares, índice de atividade do Sol**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v.25, n.2, p.157-163, 2003.
- W. D. Gonzalez, J. A. Joselyn, Y. Kamide, H. W. Kroehl, G. Rostoker, B. T. Tsurutani, V. M. Vasyliunas. “**What is a geomagnetic storm?**” *Journal of Geophysical Research*, vol. A4, pp. 5771–5792, 1994.
- Handbook of the Solar-Terrestrial Environment (Yohsuke Kamide Abraham C.-L. Chian) (Eds.)
- KOMJATHY, A. **Global ionospheric total electron content mapping using the Global Positioning System**. 248p. Ph.D. dissertation – Department of Geodesy and Geomatics Engineering Technical Report n° 188, University of New Brunswick, New Brunswick, Canada, 1997.
- LEICK, A.. **GPS satellite surveying**. 2.ed. New York: John Wiley & Sons, 1995. 560p.
- McNAMARA, L.F.. **The ionosphere: communications, surveillance, and direction finding**. Florida: Krieger Publishing Company, 1991. 237p.
- MORO, J. **Absorção ionosférica do ruído cósmico utilizando dados de riômetros da rede SARINET**. 163 p. Tese (Mestrado) | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011.
- Disponível em:
<<http://mtcm19.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtcm19/2011/01.27.18.33/doc/publicacao.pdf>>
Acesso em Julho de 2012.
- Moro, J.; SILVEIRA, A. M. M. **ESTUDOS DO PLASMA IONOSFÉRICO NA REGIÃO DA ANOMALIA GEOMAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL**. Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica. Processo CNPq: 105427/2006-3. Santa Maria: 2008.
- OLIVEIRA FILHO, K.S.O; SARAIVA, M.F.O. **Astronomia e Astrofísica**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Astronomia – Instituto de Física, 708 p, 2000.
- Prestes, A. **Estudo estatístico da variabilidade dos índices geomagnéticos e sua relação com o ciclo solar**. São José dos Campos. 121 p. (INPE-15716-TDI/1473). Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2002.



SCHAER, S. **Mapping and predicting the Earth's ionosphere using the Global Positioning System.** 205p. Ph.D Dissertation, University of Bern, Bern, Switzerland, 1999.

The Solar Physics Branch of Marshall Space Flight Center. **Marshall Space Flight Center.**

Disponível em:

<<http://solarscience.msfc.nasa.gov/predict.shtml>>. Acesso em Julho de 2011.

VIERA, L. C.; ALVES, D. I. **ESTUDOS DO PLASMA IONOSFÉRICO NA REGIÃO DA ANOMALIA GEOMAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL.** Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica. Processo CNPq: 104748/2010-9. Santa Maria: 2011.

WRENN, G. L.; RODGER, A. S.; RISHBETH, H. Geomagnetic storms in the Antarctic F-Region. I. Diurnal and seasonal patterns for main phase effects. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, v. 49, n. 9, p. 901-913, 1987.