



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**VARIAÇÃO COM O CICLO SOLAR DAS
PULSAÇÕES GEOMAGNÉTICAS DE PERÍODOS LONGOS
(1,0 – 10 mHZ) NA REGIÃO DA
ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL – AMAS**

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

(PIBIC/INPE - CNPq/MCT)

PROCESSO Nº. 119952/2007-6

Willian Rigon Silva - Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT
Laboratório de Física Solar do Meio Interplanetário e Magnetosferas
LFSMIM/CRS/CIE/INPE – MCT
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais
CRS/CIE/INPE – MCT
E-mail: willianr@lacesm.ufsm.br

Dr. Severino Luiz Guimarães Dutra - Orientador
Divisão de Geofísica Espacial
DGE/CEA/INPE – MCT
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INPE - MCT
E-mail: dutra@dge.inpe.br

Santa Maria, Junho de 2008



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

PROJETO

**VARIAÇÃO COM O CICLO SOLAR DAS PULSAÇÕES
GEOMAGNÉTICAS DE PERÍODOS LONGOS (1,0 – 10 mHZ) NA
REGIÃO DA ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL –
AMAS**

PROCESSO: 119952/2007-6

Relatório elaborado por **Willian Rigon Silva** relatando as atividades executadas, no período Abril/2008 a Junho/2008, por:

Willian Rigon Silva - Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT
E-mail: willianr@lacesm.ufsm.br

Lucas Silveira dos Santos - UFSM, Bolsista Substituído
E-mail: lucasgeo@lacesm.ufsm.br

Dr. Severino Luiz Guimarães Dutra - Orientador
Divisão de Geofísica Espacial – DGE/CEA/INPE – MCT
E-mail: dutra@dge.inpe.br

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

Dr. Nalin Babulal Trivedi – Co-Orientador
Observatório Magnético de Vassouras – OMV/ON – MCT
E-mail: ntrivedi@on.br



DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

Processo CNPq/MCT: Nº 119952/2007-6

Bolsista:

Willian Rigon Silva
Curso de Física – Bacharelado
Centro de Ciências Naturais e Exatas
Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

Orientador:

Dr. Severino Luiz Guimarães Dutra
Divisão de Geofísica Espacial – DGE/CEA/INPE – MCT

Co-Orientadores:

Dr. Nelson Jorge Schuch
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CIE/INPE – MCT
Dr. Nalin B. Trivedi
Observatório Magnético de Vassouras – OMV/ON – MCT

Colaboradores:

Cassio E. Antunes
Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica – UFSM
Fernando de Souza Savian
Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica – UFSM
Josemar de Siqueira
Acadêmico do Curso de Física – UFSM

Local de Trabalho/Execução do projeto:

Laboratório de Física Solar do Meio Interplanetário e Magnetosferas -
LFSMIM/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**



Identificação

Recursos Humanos

Linhas de Pesquisa

Indicadores do Grupo

Identificação

Dados básicos

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

Status do grupo: certificado pela instituição

Ano de formação: 1996

Data da última atualização: 18/06/2008 15:04

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

Ademar 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

Cidade: Santa Maria

Telefone: 33012026

E-mail: njschuch@lacesm.ufsm.br

CEP: 97110970

UF: RS

Fax: 33012030

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 Babulau 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 Luis Guarnieri

Polinaya Muralikrishna

Hisao Takahashi

Severino Luiz Guimaraes Dutra

Ijar Milagre da Fonseca

Walter Demetrio Gonzalez Alarcon

Estudantes

Total: 28

Alan Carlos Klein

Juliano Moro

Antonio Marcos Martins Silveira

Lilian Piecha Moor

Bernardo Henz

Lorenzo Marzari Félix

Carlos Roberto Braga

Luças 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

Fabício Deives Kummer

Samuel Martins da Silva

Fernando de Souza Savian

Silvano Lucas Prochnow

Igor Freitas Fagundes

Tardelli Ronan Coelho Stekel

Jean Carlos Daroit

Tiago Domingos dos Santos

Jose Fernando Thuorst

Tiago Jaskulski

Josemar de Siqueira

Willian Rigon Silva

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

Linhas de pesquisa

Total: 4

- AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA
- MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO
- MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL



- NANOSATC-BR

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

Indicadores de recursos humanos do grupo	
Integrantes do grupo	Total
Pesquisador(es)	32
Estudante(s)	28
Técnico(s)	5



Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



Linha de Pesquisa
MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO

Linha de pesquisa

MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO

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

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:

Alisson Dal Lago
Clezio Marcos De Nardin
Jean Carlo Santos
Joao Paulo Minussi
Mangalathayil Ali Abdu
Nalin Babulal Trivedi
Osmar Pinto Junior
Severino Luiz Guimaraes Dutra

Estudantes:

Cassio Espindola Antunes
Fernando de Souza Savian
Josemar de Siqueira
Lorenzo Marzari Félix
Willian Rigon Silva

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.



Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



**Linha de Pesquisa
NANOSATC-BR**

Linha de pesquisa

NANOSATC-BR

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

Palavras-chave: CubeSats; Desenvolvimento de Engenharias - Tecnologias; Miniaturização; Nanosatélites; Nanotecnologia; Pesquisa do Geoespaço;

Pesquisadores:

Ademar Michels
Alicia Luisa Clúa de Gonzalez
Alisson Dal Lago
Antonio Claret Palerosi
Clezio Marcos De Nardin
Ezequiel Echer
Fabiano Luis de Sousa
Fernando Luis Guarnieri
Ijar Milagre da Fonseca
Jean Pierre Raulin
Jose Humberto Andrade Sobral
Nalin Babulau Trivedi
Natanael Rodrigues Gomes
Nelson Jorge Schuch
Odim Mendes Junior
Otávio Santos Cupertino Durão
Petrônio Noronha de Souza
Severino Luiz Guimaraes Dutra
Walter Demetrio Gonzalez Alarcon

Estudantes:

Alan Carlos Klein
Bernardo Henz
Carlos Roberto Braga
Cassio Espindola Antunes
Fernando de Souza Savian
Igor Freitas Fagundes
Jean Carlos Daroit



Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CIE/INPE–MCT v
Relatório Final de Atividades 2008

Josemar de Siqueira
Lorenzo Marzari Félix
Lucas Lopes Costa
Marcos Vinicius Dias Silveira
Nikolas Kemmerich
Rafael Lopes Costa
Samuel Martins da Silva
Silvano Lucas Prochnow
Tardelli Ronan Coelho Stekel
Tiago Jaskulski
William Rigon Silva

Árvore do conhecimento:

Ciências Exatas e da Terra; Astronomia; Astrofísica do Sistema Solar;
Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Instrumentação Científica;
Engenharias; Engenharia Aeroespacial; Engenharia Aeroespacial - Pequenos Satélites;

Setores de aplicação:

Aeronáutica e espaço

Objetivo:

Pesquisas: Geoespaço e em Engenharias/Tecnologias: eletrônica, comunicações, mecânica e aeroespacial, lançamento de pequenos satélites científico universitário - iniciação científica: CubeSat (100g-1Kg, 10x10x10cm), Nanosatélite (1Kg-10Kg); Carga útil: magnetômetro e detector de partículas;
Desenvolvimentos: estrutura mecânica, computador-bordo, programas, estação terrena, testes/integração, sub-sistemas: potencia, propulsão, telemetria, controle: atitude, térmico, Vice-Lider: Ademar Michels



Agradecimentos

Agradeço, ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica do PIBIC/INPE-CNPq/MCT, coordenado pelo Dr. José Carlos Becceneri, pela oportunidade de aperfeiçoar e ampliar meus conhecimentos e pelo apoio financeiro. Ao Dr. Nelson Jorge Schuch – CRS/CIE/INPE-MCT, meu co-orientador, pela oportunidade de poder interagir com este Centro de pesquisas e pela confiança em mim depositada, a qual dou muito valor. Ao Dr. Severino Luiz Guimarães Dutra – DGE/CEA/INPE-MCT, meu orientador de Projeto de Pesquisa, e ao Dr. Nalin Babulal Trivedi – OMV/ON-MCT, meu co-orientador, pela atenção, sugestões e apoio tecno-científico. Agradeço em especial, aos meus colegas de laboratório Cássio E. Antunes, Fernando de Souza Savian e Josemar de Siqueira pela amizade, companheirismo e excepcional espírito de corpo, sempre estiveram prontos para ajudar a qualquer momento, não medindo esforços para tornar o trabalho e as atividades no laboratório o mais ideal e excelente possível. Agradeço a todos os servidores do CRS/CIE/INPE-MCT que de várias maneiras contribuíram para oferecer ótimas condições de trabalho, em especial à Sra. Angelita Tavares.



RESUMO

Este projeto tem como objetivo o estudo das pulsações de baixas frequências do campo magnético da Terra, relacionando sua variação com o ciclo solar. O nosso planeta possui um intenso campo magnético de origem interna. A interação desse campo com o vento solar forma a magnetosfera terrestre. Essa região tem grande importância, uma vez que protege a superfície do planeta contra partículas de altas energias oriundas do vento solar e de raios cósmicos. O Sol possui um ciclo de 11 anos. Atualmente estamos iniciando o ciclo solar nº 24. Durante parte desse ciclo ele permanece na sua atividade mais intensa de explosões e manchas solares, o máximo solar. Nessa fase o vento solar fica mais intenso e devido a sua interação com o campo geomagnético induz perturbações de maior intensidade em fenômenos que ocorrem na magnetosfera, alterando o próprio campo terrestre. É importante e interessante o estudo das pulsações com a fase do ciclo solar, para melhor compreendermos como o campo geomagnético atua e também prevermos com antecedência possíveis tempestades geomagnéticas, que podem afetar equipamentos sensíveis tanto no solo como no geoespaço. As pulsações estudadas são as de períodos longos, de 100 a 1000 segundos. O estudo foi concentrado sobre a região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS), onde o campo geomagnético possui uma característica única, apresentando a menor intensidade sobre a superfície terrestre. Como consequência, na região da AMAS existe uma maior facilidade de precipitação de partículas eletricamente carregadas que estão na vizinhança do planeta. As medições são realizadas utilizando magnetômetros do tipo *fluxgate* (núcleo saturado), instalado no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, SMS, (29,43° S, 53,82° W), RS, Brasil. A partir dos dados coletados é feita uma análise da intensidade do campo geomagnético nas componentes **H**, **D** e **Z**. Esta análise é realizada utilizando filtragem digital para realçar as pulsações de períodos entre 150 – 600 segundos (banda Pc5) na região espectral de 1.0 – 10mHz. O projeto prevê uma análise da ocorrência de tempestades geomagnéticas intensas no ciclo solar nº 23.



SÚMARIO

RESUMO.....	VII
CAPÍTULO 1	1
1.1. INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2.....	4
2.1. CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE	4
2.1.1. <i>Origem do Campo Geomagnético.....</i>	<i>6</i>
2.1.2. <i>Fontes de energia para o movimento de fluidos no núcleo.....</i>	<i>7</i>
2.2. VARIACÕES DO CAMPO GEOMAGNÉTICO	8
2.2.1. <i>Varição Secular.....</i>	<i>9</i>
2.2.2. <i>Variações Diurna.....</i>	<i>11</i>
2.3. PULSAÇÕES GEOMAGNÉTICAS	12
CAPÍTULO 3.....	13
3.1. MAGNETOSFERA TERRESTRE.....	13
3.2. CINTURÃO DE RADIAÇÃO DE VAN ALLEN	14
3.3. INTERAÇÃO TERRA-SOL	15
3.4. CICLO SOLAR.....	16
3.5. ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL - AMAS.....	17
CAPÍTULO 4.....	20
4.1. AQUISIÇÃO DOS DADOS E INSTRUMENTAÇÃO	20
4.1.1. <i>Magnetômetro fluxgate (núcleo saturado).....</i>	<i>20</i>
4.1.2. <i>Filtragem digital</i>	<i>21</i>
CAPÍTULO 5.....	23
5.1. RESULTADOS E TRABALHOS FUTUROS.....	23
CAPÍTULO 6.....	24
6.1. CONCLUSÕES	24
REFERÊNCIAS.....	25



Lista de figuras

FIGURA 1: O CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS – CRS/CIE/INPE-MCT.	2
FIGURA 2: ELEMENTOS DO VETOR MAGNÉTICO.	4
FIGURA 3: CAMPO GEOMAGNÉTICO, MODELO DIPOLAR.	5
FIGURA 4: LINHAS DO CAMPO GEOMAGNÉTICO (MODELO IDEALIZADO).....	6
FIGURA 5: ORIGEM DO CAMPO GEOMAGNÉTICO.	7
FIGURA 6: VARIAÇÃO GEOMAGNÉTICA, COORDENADAS GEOGRÁFICAS EM 1600.	9
FIGURA 7: VARIAÇÃO GEOMAGNÉTICA, COORDENADAS GEOGRÁFICAS EM 1700.	9
FIGURA 8: VARIAÇÃO GEOMAGNÉTICA, COORDENADAS GEOGRÁFICAS EM 1900.	10
FIGURA 9: VARIAÇÃO GEOMAGNÉTICA, COORDENADAS GEOGRÁFICAS EM 2000.	10
FIGURA 10: DIVISÃO DA ATMOSFERA E IONOSFERA.	11
FIGURA 11: ESTRUTURAS DA MAGNETOSFERA TERRESTRE.....	14
FIGURA 12: CINTURÃO DE RADIAÇÃO DE VAN ALLEN AO REDO DA TERRA.	15
FIGURA 13: INTERAÇÃO TERRA- SOL, MOSTRANDO A FORMA DA MAGNETOSFERA TERRESTRE.	16
FIGURA 14: ATIVIDADE SOLAR RELACIONADA COM O CICLO SOLAR.	17
FIGURA 15: MAPA MAGNÉTICO DA TERRA. A ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL EM AZUL..	18
FIGURA 16: A POSIÇÃO DE SATÉLITES ONDE SOFRERAM DANOS NA MEMÓRIA DO COMPUTADOR. .	19
FIGURA 17: MAGNETÔMETRO FLUXGATE INSTALADO NO OES/CRS/CIE/INPE - MCT	21



CAPÍTULO 1

1.1. Introdução

Através do Programa de Iniciação Científica, PIBIC/INPE-CNPq/MCT, ao qual está vinculado este projeto, foram planejadas e realizadas atividades de pesquisa no projeto “*Variação com Ciclo Solar das Pulsações Geomagnéticas de Períodos Longos (1,0 – 10 milihertz) na Região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS*”. O objetivo do projeto foi dar continuidade ao estudo das características das pulsações geomagnéticas de períodos longos, entre 100 e 1000 segundos, da faixa espectral de 1,0 – 10 milihertz (banda Pc5) na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul. As atividades relatadas foram desenvolvidas a partir de abril do corrente ano.

O estudo das variações geomagnéticas pode revelar importantes informações sobre os processos físicos que ocorrem na magnetosfera através da interação do vento solar com o campo magnético da Terra. Este estudo se faz importante para aprendermos a prever a ocorrência de tempestades geomagnéticas. As tempestades são capazes de afetar satélites, redes de comunicação em geral, redes de fornecimento de energia e, em alguns casos extremos, aumentar a radiação UV sobre a superfície do nosso planeta, atingindo os seres vivos.

O movimento de fluídos ionizados pelas altas temperaturas no núcleo externo da Terra, provocam correntes elétricas (de grande escala espacial) que produzem um campo magnético. Sendo assim o campo geomagnético tem origem basicamente interna. Se não fosse a influência de fatores externos da Terra e correntes de pequena escala no núcleo, que distorcem e causam perturbações no campo, ele poderia ser visto como um campo dipolar.

O campo magnético terrestre tem uma grande faixa de variação temporal, desde frações de segundos até milhões de anos. Podemos separá-las em: variações de longo período, como a variação secular e variações de curto período como as tempestades geomagnéticas, variações diurnas Sq e pulsções geomagnéticas. As variações seculares





são originadas internamente, enquanto as variações de curto período são de origem externas a Terra e estão associadas à atividade solar.

O campo magnético da Terra é assimétrico. Sua mais baixa intensidade total sobre a superfície terrestre se encontra no sul da América do Sul. Este fenômeno é denominado *Anomalia Magnética do Atlântico Sul* (AMAS) e abrange os estados brasileiros de São Paulo até o sul do Rio Grande do Sul. Como consequência o cinturão de radiação que circunda o planeta, conhecido como cinturão de Van Allen, fica a uma menor altitude sobre a atmosfera local, fazendo com que ela receba um maior bombardeamento de partículas oriundas do espaço exterior. Nesta área há uma penetração maior de raios cósmicos (em relação à região circunvizinha) e precipitação de partículas do geoespaço ocasionando perturbações na ionosfera e no campo geomagnético.

A região da AMAS, descoberta no início da era dos satélites nos anos 50, é um laboratório natural e singular de pesquisa sobre Física de Plasmas e da Radiação, Geofísica Espacial, Geomagnetismo, Aeronomia e Clima Espacial.

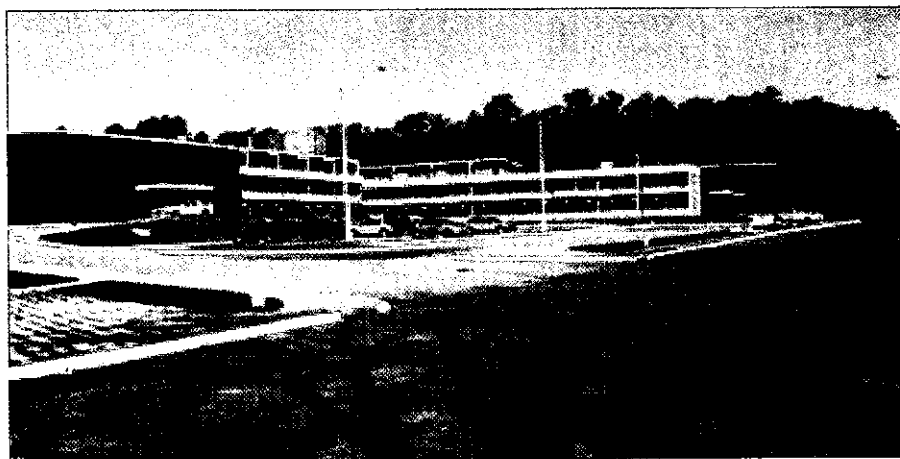


Figura1: O Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CIE/INPE-MCT.
Fonte: <http://www.inpe.br/crs/>

A coleta de dados, para posterior análise, é feita com magnetômetros instalados em estações no solo. As atividades compreendem várias fases, iniciando com a operação dos equipamentos (magnetômetros) do Laboratório de Física Solar, do Meio Interplanetário e Magnetosferas do CRS/CIE/INPE-MCT, instalados no Observatório



Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE – MCT, no município de São Martinho da Serra, RS, Brasil. Esta estação geomagnética é identificada como SMS e tem coordenadas 29,43° S, 53,82° W.

Através da coleta de dados, continuamente em SMS, é possível fazer uma análise da característica do campo geomagnético nesta região do nosso planeta e relacioná-la com o ciclo solar. Está sendo realizada paralelamente uma revisão teórica sobre a ciência do Geomagnetismo.

CAPÍTULO 2

2.1. Campo Magnético Terrestre

O campo geomagnético é um campo vetorial, com origem interna na Terra, tendo componentes distintas em três eixos coordenados ortogonais X, Y e Z. A intensidade total é chamada de F (ou B) e é independente do sistema de coordenadas.

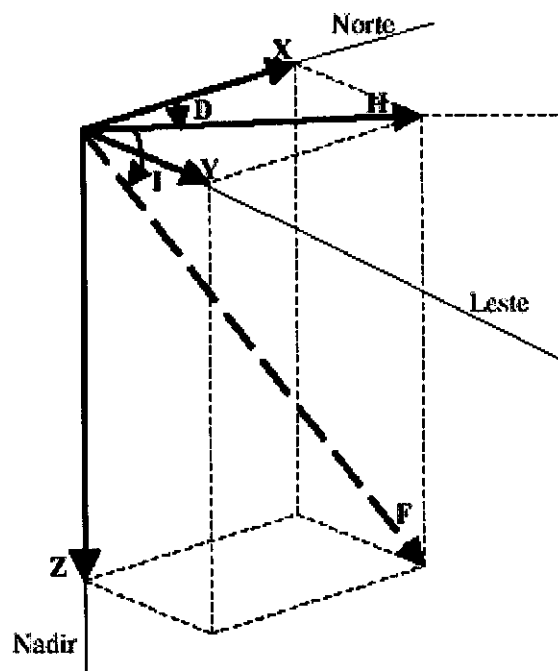


Figura 2: Elementos do vetor magnético.

Elementos lineares:

X – componente geográfica norte (positiva no sentido do norte geográfico);

Y – componente geográfica leste (positiva para leste);

Z – componente magnética vertical (positiva quando aponta para baixo);

H – componente magnética horizontal (define o norte magnético local);

F – (ou B) intensidade total do campo magnético em um determinado ponto.

Elementos angulares:

D – declinação magnética. É o ângulo entre o norte geográfico (X) e a componente horizontal do campo magnético (H), positivo quando medido do norte para o leste;

I – inclinação magnética. É o ângulo entre a componente magnética horizontal (H) e o vetor intensidade total do campo magnético (F), positivo quando medido do plano horizontal para baixo.

Há evidências de que o campo geomagnético foi utilizado pelos chineses para orientação desde 215 a.C. A utilização da bússola como instrumento de orientação sobre a Terra, usa o princípio de que o campo geomagnético se aproxima daquele gerado por um ímã permanente, aproximadamente alinhado com o eixo de rotação do planeta, onde é possível distinguir um “pólo magnético norte”, um “pólo magnético sul” e um “equador magnético”, semelhantemente ao que ocorre com as referências geográficas. Neste sentido, podemos falar de *meridiano magnético* como a projeção, na superfície da Terra, das linhas de campo definidas pela componente H .

A *inclinação* é o ângulo das linhas de campo com o plano tangente à Terra no ponto de observação. Uma inclinação de $+90^\circ$ corresponde ao pólo magnético norte (por convenção), da mesma maneira que uma inclinação de -90° corresponde ao pólo magnético sul. O equador magnético é constituído pelo conjunto de pontos na superfície terrestre de inclinação nula.

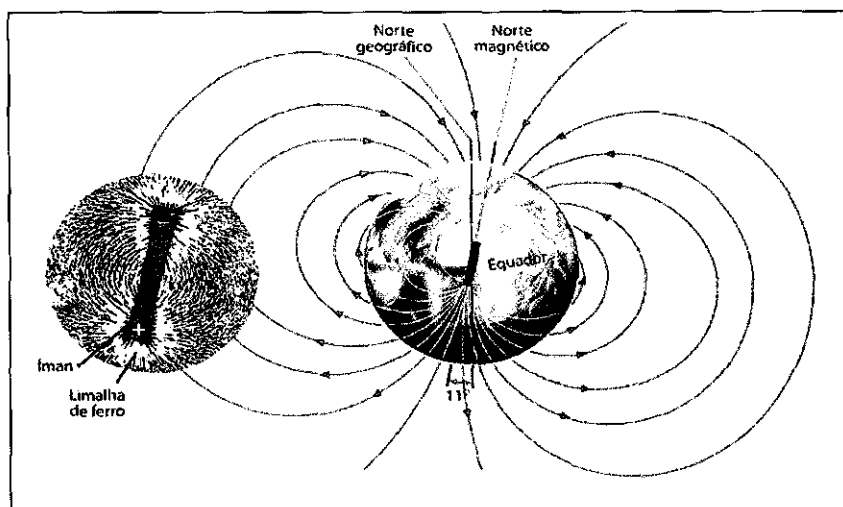


Figura 3: Campo Geomagnético, modelo dipolar.

Fonte: http://formacao.es-loule.edu.pt/biogeo/geo12/temal/imagens/campo_magnetico.

A forma final do campo geomagnético assemelha-se muito a um dipolo magnético, com as linhas de campo alongadas no espaço devido à interação com o vento solar. Os pólos do campo magnético terrestre são ligeiramente afastados dos pólos geográficos formando um ângulo entre os eixos magnético e de rotação de $10,3^\circ$ (em 2005). Gauss (1838) foi quem apresentou a prova matemática de que o campo magnético observado na superfície tem origem basicamente no interior da Terra. Nessa altura já se tinha concluído que o campo magnético terrestre manifestava uma *variação secular* e que as variações com pequenos intervalos de tempo tinham correlação com fenômenos atmosféricos (como as auroras boreais).

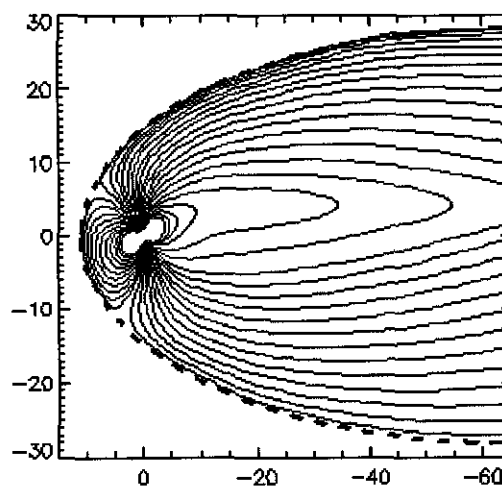


Figura 4: Linhas do campo geomagnético (modelo idealizado).

Fonte: <http://www-istp.gsfc.nasa.gov/Education/Imagnet.html>

2.1.1. Origem do Campo Geomagnético

Um campo magnético tende a sumir ao longo do tempo sem a interferência de agentes externos (na forma de sistemas de correntes elétricas). O motivo pelo qual com o campo geomagnético não acontece isso é devido a movimentos do magma no núcleo externo, produzindo correntes elétricas que dão origem a um campo magnético no próprio (de acordo com a teoria do dínamo), formando assim um “dínamo auto-sustentável”.

Sendo assim, a origem do campo geomagnético é interna. Sabe-se que o tempo de vida típico de um campo magnético de amplitude como o da Terra é de algumas dezenas de milhares de anos. O fato de ele existir há bilhões de anos significa que alguma coisa o tem vindo a regenerar durante este tempo todo.

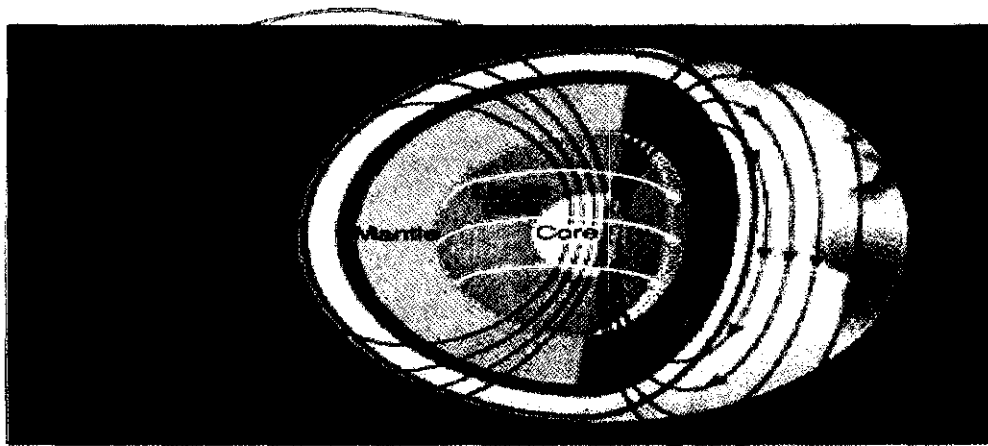


Figura 5: Origem do campo geomagnético.

Fonte: <http://www.glossary.oilfield.slb.com/files/OGL98116.gif>

2.1.2. Fontes de energia para o movimento de fluidos no núcleo.

Várias fontes são consideradas para a energia que mantém o geodínamo. Não há atualmente uma conclusão definitiva sobre sua origem.

a) Fontes externas

1 – As marés: a amplitude de oscilação na interface manto–núcleo é ~ 6 cm. *Elsasser* (1950) mostrou que o efeito sobre movimentos no núcleo seria desprezível;

2 – Desaceleração secular da velocidade de rotação devido ao atrito das marés: *Bullard* (1949) mostrou que o núcleo está acoplado eletromagneticamente ao manto e, portanto segue sua desaceleração; e

3 – Precessão: o eixo de rotação da Terra gira em torno da normal à eclíptica com período da ordem de 26.000 anos. Há pesquisadores que sustentam que o núcleo não gira com o manto, dando origem a movimentos de fluidos.



b) Fontes internas

1 – Aumento do núcleo: se o núcleo formou-se pelo deslocamento de ferro do manto para o centro da Terra e se este processo ainda continua, a energia potencial liberada poderia ser uma fonte de movimentos de fluido. Levando-se em conta a idade da Terra e a massa atual do núcleo, calcula-se que a energia liberada seria da ordem de 10^{14} J/s, portanto suficiente. Há, entretanto hipóteses de que o núcleo estabilizou-se no primeiro bilhão de anos;

2 – Solidificação do núcleo central: a fonte de energia seria calor latente do núcleo interno. *Verhoogen* (1961) calculou que 10^{11} W seriam liberados com a solidificação, com calor latente 4×10^5 J/kg, portanto 25 m^3 de material solidificado por segundo; e

3 – Movimentos de convecção causados por instabilidade térmica originada pela radioatividade de material do núcleo: um argumento contra esta hipótese é que os meteoritos têm muito pouco material radioativo.

2.2. Variações do Campo Geomagnético

No campo geomagnético ocorre variações que vão desde frações de segundo até milhões de anos (dentro de vários espectros delas). De maneira geral, as variações lentas são devidas ao campo interno, enquanto que as variações rápidas estão associadas ao campo externo.

As variações geomagnéticas são classificadas em:

- Seculares, para períodos maiores que um ano;
- Diurnas, para período de 24 horas;
- Distúrbios, quando associados à tempestades geomagnéticas e com períodos bastantes variáveis;
- Pulsações, para períodos entre 0,2 e 1000 segundos; e
- Atmosféricas, quando períodos inferiores a 1 segundo.

As variações seculares são as únicas com origem interna ao nosso planeta.

2.2.1. Variação Secular

É uma variação lenta e contínua observada no campo geomagnético. Ela está relacionada com as correntes elétricas que fluem no núcleo externo da Terra e fornece informações importantes para uma melhor análise dessa camada do planeta. Tem uma escala temporal que chega a mil anos e é dada pela mudança anual no valor do campo.

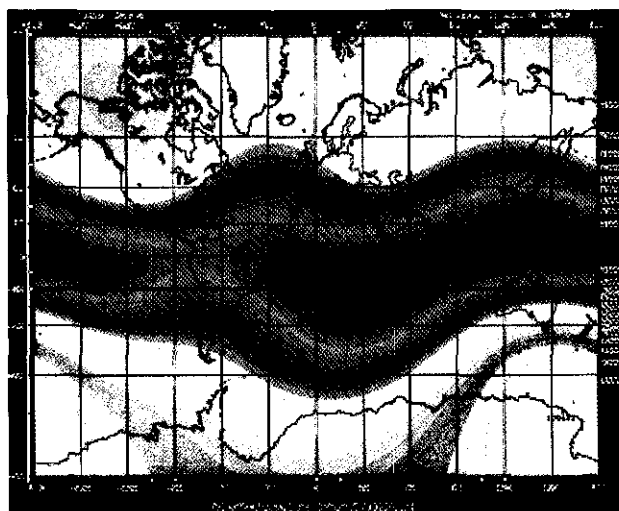


Figura 6: Variação Geomagnética, Coordenadas geográficas em 1600.

Fonte: <http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/igrf/anime/index.html>

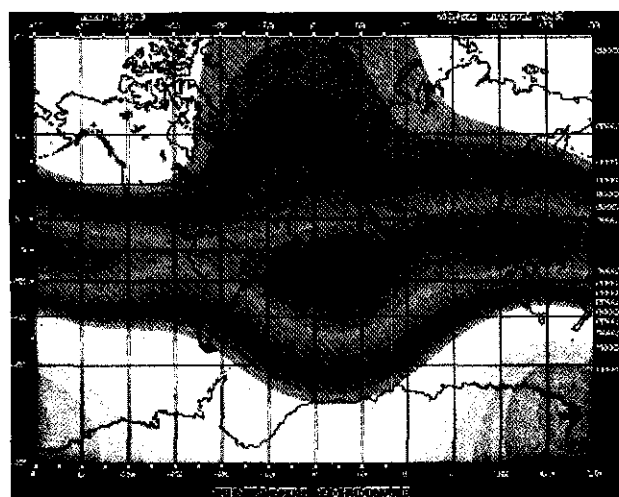


Figura 7: Variação Geomagnética, Coordenadas geográficas em 1700.

Fonte: <http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/igrf/anime/index.html>

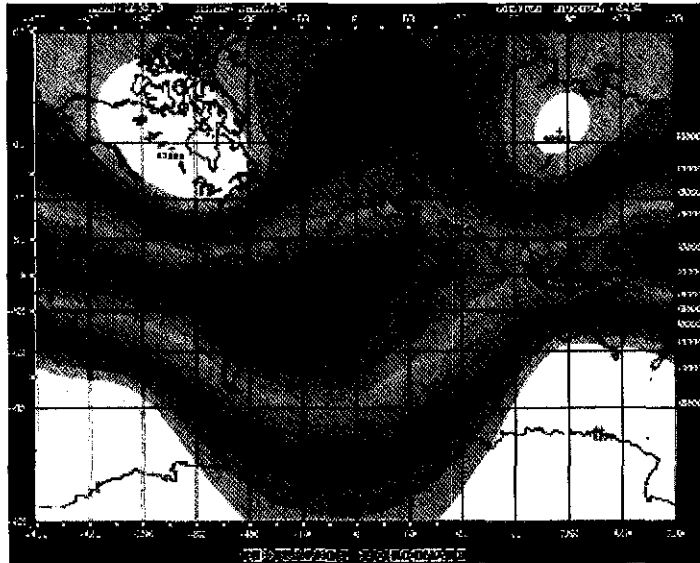


Figura 8: Variação Geomagnética, Coordenadas geográficas em 1900.
Fonte: <http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/igrf/anime/index.html>

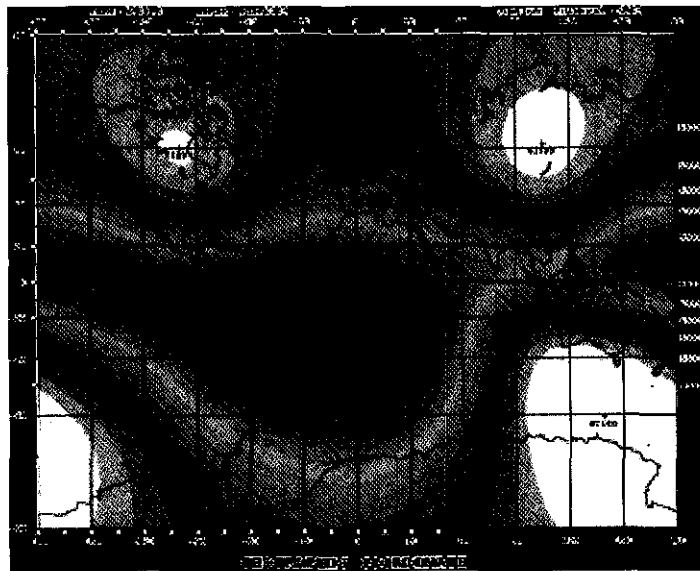


Figura 9: Variação Geomagnética, Coordenadas geográficas em 2000.
Fonte: <http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/igrf/anime/index.html>



2.2.2. Variações Diurna

Devido a sistemas de correntes elétricas, geradas pelo movimento das camadas atmosféricas ionizadas através das linhas do campo geomagnético, são originadas as variações diurnas. Em períodos quietos (sem atividade geomagnética) e eliminando-se as contribuições de menor escala temporal, como as pulsações geomagnéticas e da Lua, tem-se a *variação diurna*. A região da ionosfera na qual circula o sistema de correntes que origina essa variação é a região *E* (entre 80 e 120 km de altitude).

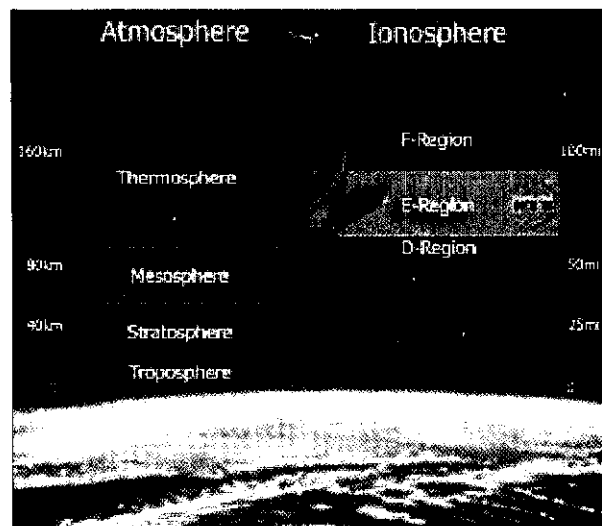


Figura 10: Divisão da atmosfera e ionosfera.

Fonte: <http://www.daviddarling.info/encyclopedia/I/ionosphere.html>

A variação diária é relacionada à época do ano, à atividade solar e à latitude geomagnética. A atividade do campo geomagnético pode ser classificada através de índices, relacionados à:

- Variação Sq (do inglês *Solar quiet*), para dias magneticamente calmos.
- Variação SD (*Solar Disturbed*) para dias de atividade mais intensa.
- Variação Dst (*Storm Time Disturbance*) nos dias de ocorrência de tempestades geomagnéticas.



2.3. Pulsações Geomagnéticas

As pulsações são variações magnéticas em um intervalo de tempo curto (entre 0,2 segundos e 17 minutos) que ocorrem no campo geomagnético, resultantes de interações entre as partículas carregadas eletricamente do vento solar e o plasma da magnetosfera e ionosfera terrestres. Elas são classificadas como regulares (ou contínuas, Pc1 a Pc5) e irregulares (Pi1 e Pi2). Podem ser subdivididas em subgrupos, dependendo de seus períodos, segundo as seguintes faixas (Jacobs *et al.* 1964):

Contínuas	Pc1	Pc2	Pc3	Pc4	Pc5
f	0,2–5 Hz	0,1–0,2 Hz	22–100 mHz	7–22 mHz	2–7 mHz
T (s)	0,2–5	5–10	10–45	45–150	150–600

Irregulares	Pi 1	Pi 2
f	0,025–1 Hz	2–25 mHz
T (s)	1–40	40–150

Considera-se a Pc6, acima de 600 segundos, e a Pi3, com períodos acima de 150 segundos, ambas até 1.000 segundos. Samson (1991), baseado nos processos físicos e nos mecanismos de geração, considera as pulsações divididas em três categorias: baixa frequência (1–10 mHz), média frequência (10 mHz–0,1 Hz) e alta frequência (0,1–10 Hz).

CAPÍTULO 3

3.1. Magnetosfera Terrestre

A magnetosfera é a região do espaço em que o campo geomagnético controla o movimento do plasma, oriundo do vento solar. É uma estrutura dinâmica que tem sua forma alterada devido à pressão exercida pelo vento solar. A forma dipolar do campo magnético se mostra distorcida pela ação do vento, pois na direção voltada para o Sol forma-se uma onda de choque (*bow shock*), e na direção contrária forma-se uma extensa cauda (*magnetotail*). Após a onda de choque forma-se uma região de grande turbulência, servindo como transição entre a onda de choque e a magnetosfera, é a chamada bainha magnética (*magnetosheath*). Em seguida vem a magnetopausa, que separa as regiões do campo magnético interplanetário da região do campo geomagnético, que é o limite da magnetosfera. A distância da magnetopausa a partir da Terra é somente cerca de 10 raios terrestres na face voltada para o sol, e cerca de 10 vezes maior na direção oposta.

A existência do campo geomagnético (e a região originada, a magnetosfera) é essencial para a vida terrestre, uma vez que ele protege a superfície terrestre de partículas de altas energias oriundas do vento solar. O vento solar possui velocidade supersônica.

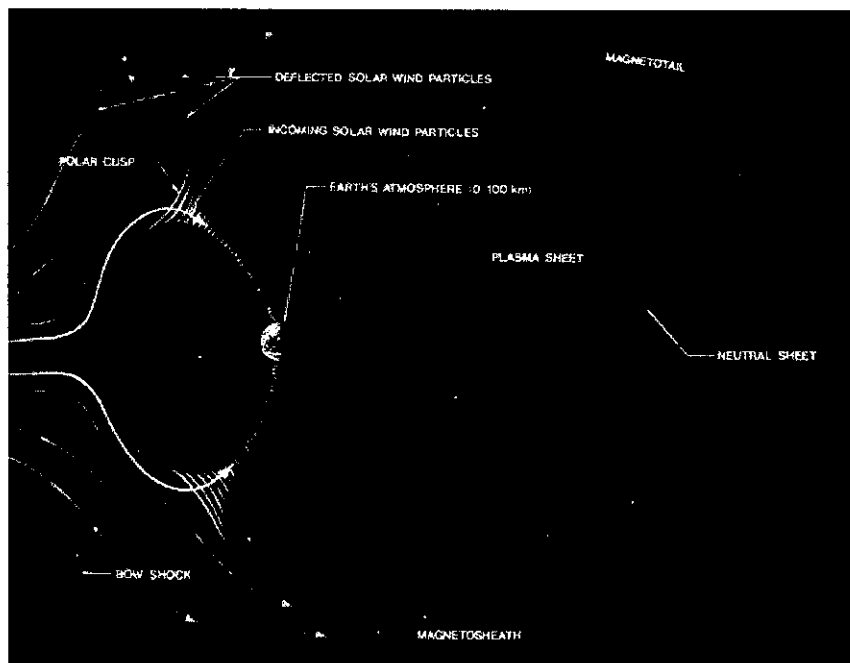


Figura 11: Estruturas da magnetosfera terrestre.
Fonte: <http://www.nasa.gov/>

3.2. Cinturão de Radiação de Van Allen

No final dos anos 50 foram descobertas regiões imensas de radiação dentro da magnetosfera terrestre. Essas regiões foram denominadas de “cinturão de radiação de Van Allen”, em homenagem ao seu descobridor. Esses cinturões contêm prótons e elétrons de alta energia entre 1-100 Mev, oferecendo grande risco aos astronautas, pois facilmente penetram em uma nave espacial que estiver nessa região. O cinturão de Van Allen consiste de um cinturão interno de prótons (entre 2.200 e 5.000 km de distância da superfície) e um cinturão externo de elétrons (entre 13.000 55.000 km de distância da superfície). O cinturão de radiação de Van Allen encontra-se em menor altitude na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul por consequência da menor intensidade do campo geomagnético na superfície terrestre.

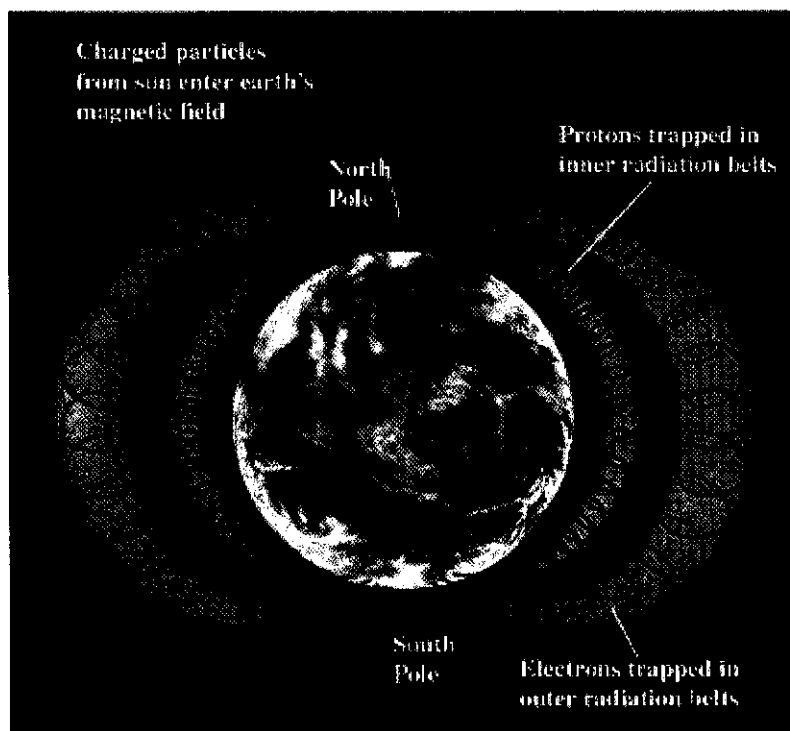


Figura 12: Cinturão de radiação de Van Allen ao redor da Terra.

Fonte: http://www.physics.sjsu.edu/becker/physics51/mag_field.htm

3.3. Interação Terra-Sol

No Sol ocorrem explosões nucleares que liberam luz e energia. Parker (1958) fez um estudo pioneiro mostrando que a temperatura no gás da coroa solar era suficientemente alta para sobrepor a atração gravitacional do Sol, criando assim um transporte supersônico (expansão) de principalmente hélio e hidrogênio ionizados. Essa “brisa” é denominada de “vento solar”.

A velocidade supersônica do vento solar é alcançada a uma distância aproximadamente de 2 a 3 raios solares. O vento solar com seu contínuo fluxo de plasma, arrasta consigo as linhas do seu campo magnético, levando-o à distâncias além de Plutão.

O principal responsável para a ocorrência das tempestades geomagnéticas é o vento solar no seu momento de maior variação e intensidade. As tempestades são conseqüências do aumento de correntes magnetosféricas e ionosféricas devido a interação entre o vento solar e o campo geomagnético, e a incidência de raios X solares e radiação UV solar, aumentando os sistemas de correntes ionosféricas de tal maneira

que o campo geomagnético experimenta fortes perturbações. Uma tempestade típica pode ser dividida da seguinte maneira:

- Fase inicial, com duração de quatro horas em média.
- Fase principal, com várias horas de duração,
- Fase de recuperação, com duração de algumas horas a alguns dias, dependendo da intensidade da tempestade.

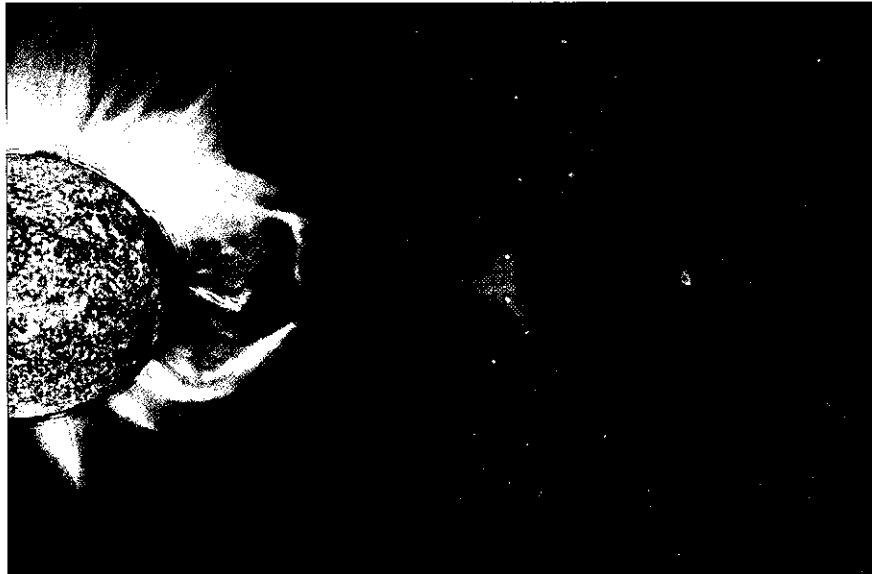


Figura 13: Interação Terra- sol, mostrando a forma da magnetosfera terrestre.
Fonte://usrlazio.artov.rm.cnr.it/eclisse2006/Interventi_file/lezione1_file/slide0017_image096.jpg

3.4. Ciclo Solar

O Sol possui um ciclo de atividade de 11 anos, que é caracterizado por um aumento no número de manchas solares atingindo um período de máxima atividade e reduzindo sua atividade logo em seguida. O campo magnético interplanetário tem uma relação direta com o ciclo solar, durante esse ciclo são identificadas fases distintas: (1) fase de mínimo solar; (2) fase ascendente; (3) fase de máximo solar; e (4) fase descendente.

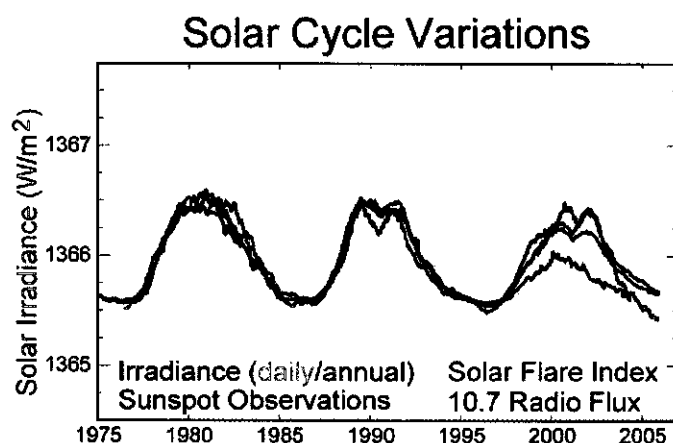


Figura 14: Atividade solar relacionada com o ciclo solar.

Fonte: <http://www.nasa.gov/>

Durante o máximo do ciclo ocorre o aumento de fenômenos energéticos nas regiões ativas associadas às manchas solares. Estes fenômenos são chamados de explosões solares (*solar flares*), podendo estar associados a ejeções coronais de massa e a tempestades geomagnéticas. Efeitos importantes da atividade no Sol, devido ao aumento da intensidade do vento solar, são os prejuízos causados em telecomunicações, sistemas de navegação, órbita de satélites, exploração de recursos minerais, sistemas de fornecimento de energia, oleodutos, sistemas biológicos e os danos das radiações ionizantes de origem solar que podem atingir missões espaciais tripuladas (colocando em risco a saúde dos astronautas pela exposição a grande quantidade de radiação). Atualmente estamos iniciando o ciclo número 24.

3.5. Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS

As linhas de campo geomagnético tem um formato aproximadamente esférico, formando a magnetosfera terrestre, que fornece proteção contra as partículas eletricamente ionizadas provenientes do vento solar. Porém este campo geomagnético não é simétrico, formando algumas anomalias na intensidade total ao redor da superfície da Terra. A única região com menor intensidade em todo o globo fica na América do Sul, denominada Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS), tem seu centro situado nas coordenadas 25° S e 48°O e possui um raio aproximado de 900 km, ficando

sobre o território brasileiro desde o estado de São Paulo até o extremo sul do Rio Grande do Sul.

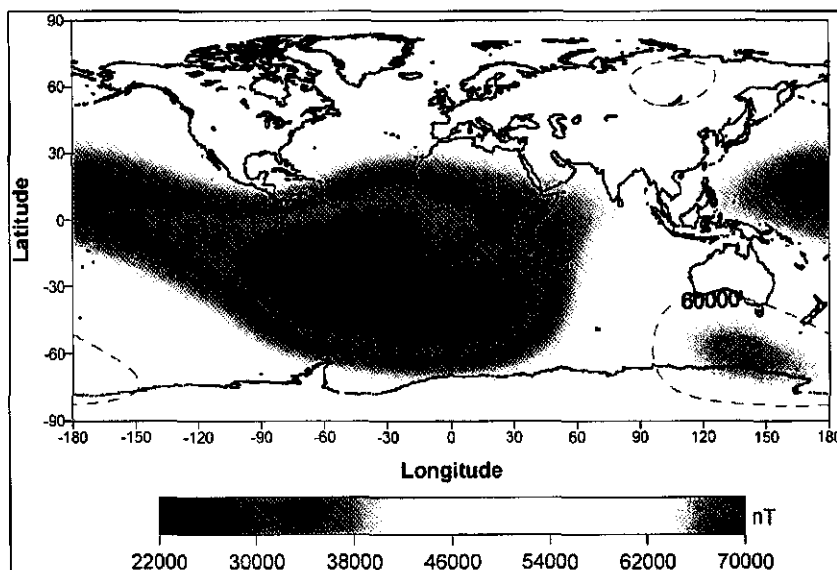


Figura 15: Mapa magnético da Terra. A Anomalia Magnética do Atlântico Sul em azul. O triângulo vermelho mostra a localização de seu centro no ano 2000.

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

A menor intensidade do campo geomagnético na região da AMAS explica-se como sendo resultante, em grande parte, do deslocamento excêntrico do campo geomagnético em relação ao centro da Terra. Por conseqüência, o cinturão de radiação de Van Allen se encontra permanentemente em menor altitude sobre a região da AMAS, aumentando assim o fluxo de partículas ionizadas e oferecendo interferência no funcionamento e na comunicação de satélites (muitos deles ao passarem pela região da AMAS são desligados para evitarem possíveis danos). Esse fluxo mais intenso de partículas ionizadas na região da AMAS também oferece risco a saúde das tripulações de veículos-espaciais que passam por esta região.

Por outro lado, por ter uma maior precipitação de partículas de altas energias do que em outros pontos do globo terrestre, esta região torna-se um excelente laboratório natural para estudos de fenômenos atmosféricos em condições de campo magnético fraco. A intensidade do campo geomagnético do nosso planeta tem decrescido nos últimos mil anos e irá desaparecer dentro dos próximos dois mil anos se a presente taxa de decréscimo persistir. Observou-se também que a taxa de decréscimo é maior próxima da América do Sul. Como na região da AMAS a intensidade total do campo

geomagnético já é baixa, o campo geomagnético da América do Sul poderá desaparecer dentro de algumas centenas de anos. Sabe-se que os pólos magnéticos da Terra freqüentemente sofreram reversões durante a história do planeta. Quando os pólos magnéticos da Terra revertem, a intensidade do campo magnética torna-se muito fraca. Considera-se que os seres humanos terão que viver sobre um campo magnético extremamente fraco no futuro, implicando um maior bombardeamento de partículas de altas energias do vento solar e de raios cósmicos na atmosfera terrestre, gerando conseqüências imprevisíveis sobre a atmosfera e também no nível da superfície, afetando diretamente a vida na Terra. Esta precipitação de partículas energéticas pode agravar os problemas na redução temporária na camada de ozônio observado na região sul do Brasil, como conseqüência de efeitos secundários do buraco de ozônio antártico.

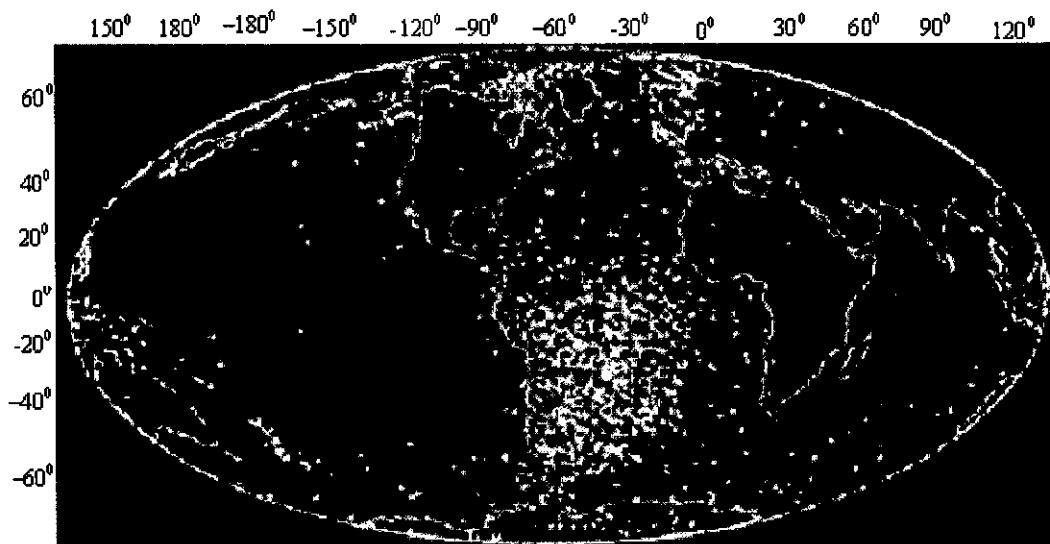


Figura 16: A posição de satélites onde sofreram danos na memória do computador. Maior concentração sobre a região da AMAS.

Fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/esol/esol.htm>



CAPÍTULO 4

4.1. Aquisição dos dados e Instrumentação

Para medir a intensidade das componentes ortogonais do campo geomagnético é necessária a interação do campo com outros processos físicos para produção de efeitos mensuráveis. Devido a grande extensão espacial desse campo em relação à dimensão dos sensores, apenas medidas pontuais são obtidas. O instrumento utilizado para realizar a medição do campo geomagnético são os magnetômetros.

A aquisição de dados no projeto “*Variação com ciclo solar das pulsações geomagnéticas de períodos longos (1,0 – 10 milihertz) na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS*” esta sendo realizada utilizando um magnetômetro tipo *fluxgate* (núcleo saturado) instalado no Observatório Espacial do Sul no município de São Martinho da Serra, RS, Brasil (SMS - 29,43° S, 53,82° W). Após a coleta de dados é necessário uma filtragem digital para o estudo das pulsações desejadas.

4.1.1. Magnetômetro *fluxgate* (núcleo saturado)

Magnetômetros de núcleo saturado (*fluxgate magnetometer*) são equipamentos destinados à obtenção de dados sobre o comportamento de um determinado campo magnético. O seu funcionamento deve-se a propriedades magnéticas de certos materiais ferromagnéticos que apresentam uma histerese com ponto de saturação elevado. A alta permeabilidade dos materiais utilizados na construção dos núcleos é essencial para a detecção do campo magnético que se deseja mensurar. Este tipo de magnetômetro é geralmente usado em observações geomagnéticas no solo e no espaço, na prospecção mineral, análise estrutural de materiais, aplicações na biomedicina e operações militares.

A técnica utilizada no magnetômetro *fluxgate* consiste em expor um núcleo ferromagnético a um campo de excitação H gerado por uma bobina ao redor deste núcleo. Nesta bobina são induzidos pulsos periódicos de corrente que são responsáveis pela variação do fluxo magnético do material até seu ponto de saturação.



Nesse momento o fluxo deixa de se concentrar no núcleo, não importando a intensidade do campo ao qual ele estiver exposto. Quando o material deixa o estado de saturado, a intensidade de fluxo magnético varia, gerando assim uma força eletromotriz induzida numa segunda bobina (enrolamento secundário) existente ao redor do conjunto formado pelo núcleo e o primário. O sinal de tensão gerado no secundário apresenta um conteúdo altamente harmônico que é diretamente influenciado pelo campo magnético. Os harmônicos pares do sinal detectado são os que mais sofrem influência do campo geomagnético. O segundo harmônico do sinal é o que apresenta a maior linearidade com relação à variação do campo magnético terrestre.

O magnetômetro de núcleo saturado utilizado neste projeto de pesquisa é de baixo ruído e com um período de aquisição de dois segundos (taxa de 0,5 Hz). São coletados dados das variações geomagnéticas detectadas na superfície terrestre, para as componentes H (norte-sul), D (leste-oeste) e Z (vertical), sendo que o relógio do equipamento é sincronizado com os sinais do sistema GPS.



Figura 17: Magnetômetro fluxgate instalado no Observatório Espacial do Sul -CRS/CIE/INPE - MCT. Fonte: CRS/CIE/INPE - MCT

4.1.2. Filtragem digital

Ao fazermos o gráfico da intensidade do campo geomagnético *versus* tempo, ele nos mostrará a variação diária (período de 24 horas) do campo geomagnético. Como o objetivo deste trabalho é estudar as pulsações geomagnéticas com períodos entre 100 e 1000 segundos, se torna necessário filtrar o sinal da variação diária, permitindo que passem somente o sinal da pulsação.



O propósito da filtragem digital é obter a informação específica contida no sinal, produzindo assim um realce nas características espectrais na faixa desejada. Para estudar as pulsações geomagnéticas necessita-se de um filtro que deixe passar apenas sinais em uma banda de frequências. Esses filtros são chamados de filtros passa-faixa ou passa-banda. A aplicação de um filtro passa-banda na variação original do campo geomagnético permite obter o sinal de frequência que se deseja estudar. O filtro é aplicado nas direções direta e reversa, para não alterar a fase do sinal original, com ganho unitário dentro da banda de frequência estipulado pela filtragem.



CAPÍTULO 5

5.1. Resultados e Trabalhos Futuros

A partir do período em que assumiu o projeto de pesquisa, o bolsista realizou várias atividades inerentes à aquisição de dados e compreensão de diversos fenômenos no âmbito do Geomagnetismo, Geofísica Espacial e Clima Espacial. Os dados foram pré-processados e foi organizado um banco de dados contendo informações de eventos geomagnéticos em diversas estações magnéticas para serem estudadas ao longo das atividades do projeto, mantendo um bom monitoramento deles e fonte de consulta permanente para os demais integrantes do grupo no Laboratório de Física Solar, do Meio Interplanetário e Magnetosferas. Foram realizadas visitas semanais ao Observatório Espacial do Sul – CRS/CIE/INPE-MCT para aprendizagem e aperfeiçoamento nas medições de declinação e inclinação do campo geomagnético nesta região e para familiarizar-se com o sistema *MAGDAS* da rede mundial de observação geomagnética que está em funcionamento através de um convênio com a Universidade de Kyushu, Japão. Esta sendo programado a análise de tempestades geomagnéticas ocorridas em anos anteriores durante o ciclo solar número 23.



CAPÍTULO 6

6.1. Conclusões

Através das atividades que o bolsista realizou até o presente momento no Laboratório de Física Solar, do Meio Interplanetário e Magnetosferas e no Observatório Espacial do Sul do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/CIE/INPE – MCT, concluiu-se que as variações de períodos entre 100 e 1000 segundos são diretamente relacionadas com a interação do vento solar com o campo magnético terrestre. O estudo dessas pulsações fornece informações importantes de como a interação se desenvolve na região da magnetosfera e como o campo geomagnético atua. As variações do campo magnético da Terra têm origens interna e externa ao planeta. A variação de caráter interno é denominada secular por comportar-se quase que estavelmente. A variação externa depende principalmente da atividade do Sol e pode apresentar escala temporal de dias, horas, minutos e segundos. Em período de maior atividade solar, caracterizado pelo máximo solar, têm-se perturbações maiores na intensidade do campo geomagnético. A Terra não possui em sua superfície um campo magnético de intensidade homogênea, apresentando assim várias regiões extremas (onde a variação espacial é nula), dentre as quais a única com menor intensidade é a Anomalia Magnética do Atlântico Sul. Por consequência dessa menor intensidade o cinturão de radiação de Van Allen encontra-se ali em menores alturas, criando assim uma maior precipitação de partículas eletricamente carregadas provenientes do geoespaço e penetração de raios cósmicos. Assim sendo, esse maior fluxo de partículas eletricamente carregadas sobre a região da AMAS acaba danificando satélites de todos os tipos, causando interferência em comunicações e oferecendo um grande risco a tripulações de veículos-espaciais.

Pretende-se dar continuidade ao estudo e análise dos dados, pois, se faz importante relacionar as pulsações geomagnéticas tanto com a maior precipitação de partículas como com a fase do ciclo solar, na região da AMAS e com dados de magnetômetros instalados fora dela.

Referências

- [1] Amarante, J.A.A. Tópicos gerais sobre geomagnetismo e estudo sobre a ocorrência de micropulsações em São José dos Campos. Conselho Nacional de Pesquisas, São José dos Campos, SP, Brasil. Relatório Interno CNAE-LAFE-048, 1966.
- [2] Campbell, W.H. Introduction to Geomagnetic Fields. Cambridge University Press, 1997.
- [3] Dutra, S.L.G. Noções Básicas de Geomagnetismo. INPE, São José dos Campos, dezembro de 2004 (texto preliminar).
- [4] Jacobs, J.A.; Kato, Y.; Matsushita, S.; Troitskaya, V.A. Classification of Geomagnetic Micropulsations. Journal of Geophysical Research, **69**(1):180–181, Jan. 1964.
- [5] Pinto, O., Jr., Gonzalez, W.D. Anomalia magnética Brasileira. INPE, São José dos Campos, 1989.
- [6] Samson, J.C. Geomagnetic Pulsations and Plasma Waves in the Earth's Magnetosphere. In: Jacobs, J.A. ed., Geomagnetism, London, Academic Press, 4:481–592, 1991.
- [8] Thomson, D. J. Spectrum Estimation and Harmonic Analysis. IEEE Proc., **70**(9):1055–1096, 1982.
- [9] Zanandrea, A. Estudo das Micropulsações Geomagnéticas em Latitudes Muito Baixas, no Brasil. INPE, São José dos Campos, 1998.
- [10] Zanandrea, A. Micropulsações Geomagnéticas em Santa Maria – RS. INPE, São José dos Campos, maio de 1994.