



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. 151268/2010-0

José Paulo Marchezi - Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT
Laboratório de Física Solar do Meio Interplanetário e Magnetosferas
LFSMIM/CRS/CCR/INPE – MCT
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais
E-mail: jmarchezi@lacesm.ufsm.br

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

Santa Maria, Julho de 2011



**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: 151268/2010-0

Relatório elaborado por **José Paulo Marchezi** relatando as atividades
executadas por:

José Paulo Marchezi - Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT
E-mail: jmarchezi@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/CCR/INPE – MCT
E-mail: njschuch@lacesm.ufsm.br



DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

Processo CNPq/MCT: N° 151268/2010-0

Bolsista:

José Paulo Marchezi

Curso de Física – Licenciatura Plena

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-Orientador:

Dr. Nelson Jorge Schuch

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

Colaboradores:

Andirlei Claudir da Silva

Acadêmico do Curso de Engenharia de Produção – UFSM

Tális Piovesan

Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica – UFSM

Tiago Bremm

Acadêmico do Curso de Física – UFSM

Local de Trabalho/Execução do projeto:

Laboratório de Física Solar do Meio Interplanetário e Magnetosferas - LFSMIM/CRS/CCR/INPE – MCT.

Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CCR/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, Geomagnetismo:
Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br



<u>Identificação</u>	<u>Recursos Humanos</u>	<u>Linhas de Pesquisa</u>	<u>Indicadores do Grupo</u>
----------------------	-------------------------	---------------------------	-----------------------------

Identificação

Dados básicos

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

Status do grupo: **certificado pela instituição**

Ano de formação: 1996

Data da última atualização: 20/07/2011 15:29

Líder(es) do grupo: Nelson Jorge Schuch
 Natanael Rodrigues Gomes

Área predominante: Ciências Exatas e da Terra; Geociências

Instituição: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Órgão: Coordenação de Gestão Científica - CIE

Unidade: Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS

Endereço

Logradouro: Caixa Postal 5021

Bairro: Camobi

CEP: 97110970

Cidade: Santa Maria

UF: RS

Telefone: 33012026

Fax: 33012030

Home page: <http://>

Repercussões dos trabalhos do grupo

O Grupo - CLIMA ESPACIAL, MAGNETOSFERAS, GEOMAGNETISMO:INTERAÇÃO TERRA-SOL do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/INPE-MCT, em Santa Maria, e Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/INPE - MCT, Lat. 29°26'24"S, Long. 53°48'38"W, Alt. 488m, em São Martinho da Serra, RS, criado por Nelson Jorge Schuch em 1996, colabora com pesquisadores da: UFSM (CT-LACESM), INPE, CRAAM-Universidade P. Mackenzie, IAG/USP, OV/ON, DPD/UNIVAP e SEFET/GO, no Brasil e internacionais do: Japão (Universidades: Shinshu, Nagoya, Kyushu, Takushoku e National Institute of Polar Research), EUA ((Bartol Research Institute/University of Delaware e NASA (Jet Propulsion Laboratory e Goddard Space Flight Center)), Alemanha (University of Greifswald e Max Planck Institute for Solar System Research), Austrália (Australian Government Antarctic Division e University of Tasmania), Armênia (Alikhanyan Physics Institute) e Kuwait (Kuwait University). Linhas de Pesquisas: MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL, MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO, AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA, NANOSATC-BR. Áreas de interesse: Heliosfera, Física Solar, Meio Interplanetário, Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo, Aeronomia, Ionosferas, Aeroluminescência, Raios Cósmicos, Muons, Pequenos Satélites Científicos. Objetivos: Pesquisar o acoplamento energético na Heliosfera, mecanismos de geração de energia no Sol, Vento Solar, sua propagação no Meio Interplanetário, acoplamento com as magnetosferas planetárias, no Geoespaço com a Ionosfera e a Atmosfera Superior, previsão de ocorrência de tempestades magnéticas e das intensas correntes induzidas na superfície da Terra, Eletricidade Atmosférica e seus Eventos Luminosos Transientes



(TLEs). As Pesquisas base de dados de sondas no Espaço Interplanetário e dentro de magnetosferas planetárias, e de modelos computacionais físicos e estatísticos. Vice-Líderes: Alisson Dal Lago, Nalin Babulau Trivedi, Otávio Santos Cupertino Durão, Natanael Rodrigues Gomes.

Recursos humanos	
Pesquisadores	Total: 43
Adriano Petry	Jean Pierre Raulin
Alexandre Alvares Pimenta	Jose Humberto Andrade Sobral
Alicia Luisa Clúa de Gonzalez	Juliano Moro
Alisson Dal Lago	Lucas Lopes Costa
Antonio Claret Palerosi	Lucas Ramos Vieira
Barclay Robert Clemesha	Mangalathayil Ali Abdu
Carlos Roberto Braga	Marco Ivan Rodrigues Sampaio
Cassio Espindola Antunes	Nalin Babulau Trivedi
Clezio Marcos De Nardin	Natanael Rodrigues Gomes
Cristiano Sarzi Machado	Nelson Jorge Schuch
Delano Gobbi	Nivaor Rodolfo Rigozo
Eduardo Escobar Bürger	Odim Mendes Junior
Eurico Rodrigues de Paula	Otavio Santos Cupertino Durão
Ezequiel Echer	Pawel Rozenfeld
Fabiano Luis de Sousa	Petrônio Noronha de Souza
Fernanda de São Sabbas Tavares	Polinaya Muralikrishna
Geilson Loureiro	Rajaram Purushottam Kane
Gelson Lauro Dal' Forno	Severino Luiz Guimaraes Dutra
Guilherme Simon da Rosa	Tardelli Ronan Coelho Stekel
Hisao Takahashi	Walter Demetrio Gonzalez Alarcon
Igor Freitas Fagundes	William do Nascimento Guareschi
Ijar Milagre da Fonseca	
Estudantes	Total: 22
Ândrei Camponogara	Juliano Rafael Andrade
Bruno Knevitz Hammerschmitt	Leonardo Zavareze da Costa
Cássio Rodinei dos Santos	Lucas Camponogara Viera
Claudio Machado Paulo	Lucas Lourencena Caldas Franke
Dimas Irion Alves	Maurício Ricardo Balestrin
Edson Rodrigo Thomas	Maurício Rosa de Souza
Eduardo Weide Luiz	Michel Baptistella Stefanello
Felipe Cipriani Luzzi	Pietro Fernando Moro
Fernando Landerdahl Alves	Roger Hatwig de Lima
Guilherme Paul Jaenisch	Rubens Zolar Gehlen Bohrer
José Paulo Marchezi	Tális Piovesan
Técnicos	Total: 2
Fernando Sobroza Pedroso - Graduação - \Outra Função	
Henrique Sobroza Pedroso - Graduação - Analista de Sistemas	
Linhas de pesquisa	Total: 4



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

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

Indicadores de recursos humanos do grupo	
Integrantes do grupo	Total
Pesquisador(es)	43
Estudante(s)	22
Técnico(s)	2



Linha de Pesquisa

MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO

Linha de pesquisa

MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO

Nome do grupo: [Clima Espacial](#), [Magnetosferas](#), [Geomagnetismo: 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:

[Alexandre Alvares Pimenta](#)
[Alisson Dal Lago](#)
[Cassio Espindola Antunes](#)
[Clezio Marcos De Nardin](#)
[Eduardo Escobar Bürger](#)
[Gelson Lauro Dal' Forno](#)
[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.



Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



Linha de pesquisa

Desenvolvimento de CubeSats - NANOSATC-BR

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

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

Pesquisadores:

[Adriano Petry](#)
[Alexandre Alvares Pimenta](#)
[Alicia Luisa Clúa de Gonzalez](#)
[Alisson Dal Lago](#)
[Antonio Claret Palerosi](#)
[Cassio Espindola Antunes](#)
[Clezio Marcos De Nardin](#)
[Cristiano Sarzi Machado](#)
[Eduardo Escobar Bürger](#)
[Ezequiel Echer](#)
[Fabiano Luis de Sousa](#)
[Geilson Loureiro](#)
[Gelson Lauro Dal' Forno](#)
[Guilherme Simon da Rosa](#)
[Igor Freitas Fagundes](#)
[Ijar Milagre da Fonseca](#)
[Jean Pierre Raulin](#)
[Jose Humberto Andrade Sobral](#)
[Lucas Lopes Costa](#)
[Lucas Ramos Vieira](#)
[Nalin Babulal Trivedi](#)
[Natanael Rodrigues Gomes](#)
[Nelson Jorge Schuch](#)
[Nivaor Rodolfo Rigozo](#)
[Odim Mendes Junior](#)
[Otavio Santos Cupertino Durão](#)
[Pawel Rozenfeld](#)
[Petrônio Noronha de Souza](#)
[Severino Luiz Guimaraes Dutra](#)
[Tardelli Ronan Coelho Stekel](#)
[Walter Demetrio Gonzalez Alarcon](#)
[William do Nascimento Guareschi](#)

Estudantes:

[Ândrei Camponogara](#)
[Dimas Irion Alves](#)
[Fernando Landerdahl Alves](#)
[Guilherme Paul Jaenisch](#)
[José Paulo Marchezi](#)
[Juliano Rafael Andrade](#)
[Leonardo Zavareze da Costa](#)
[Lucas Lourencena Caldas Franke](#)
[Maurício Ricardo Balestrin](#)
[Mauricio Rosa de Souza](#)



[Pietro Fernando Moro](#)
[Roger Hatwig de Lima](#)
[Rubens Zolar Gehlen Bohrer](#)
[Tális Piovesan](#)

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, 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-Líder: Otávio Santos Cupertino Durão



Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



Linha de Pesquisa

MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL

Linha de pesquisa

MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL

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

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

Pesquisadores:

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

Estudantes:

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

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

Agradeço ao Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT, pela oportunidade de desenvolvimento científico e apoio financeiro, ao meu Co-orientador, ao Dr. Nelson Jorge Schuch, pela oportunidade em poder interagir com o Centro – CRS/CCR/INPE-MCT, pelos conselhos que ajudaram na minha formação pessoal e profissional e pela confiança em mim depositada, ao Dr. Severino Luiz Guimarães Dutra pela paciência e dedicação com que respondeu minhas dúvidas. Aos meus colegas de Laboratório, Andirlei Claudir da Silva, Tiago Bremm e Tális Piovesan pelo companheirismo e auxílio no desenvolvimento do Projeto e atividades no Laboratório de Física Solar, Meio Interplanetário e Magnetosfera do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/CCR/INPE MCT.

Agradeço todos os Servidores, Professores e Pesquisadores do CRS/CCR/INPE-MCT e do LACEM/CT – UFSM e da UFSM que de várias maneiras contribuíram para oferecer ótimas condições de trabalho e de formação acadêmica.



RESUMO

A Terra possui um intenso campo magnético de origem interna. A interação do vento solar com o Campo Geomagnético forma a Magnetosfera terrestre. Esta região atua como uma barreira, protegendo o planeta contra partículas de alta energia do vento solar e dos raios cósmicos. O Campo Magnético da Terra apresenta escalas de variação temporal de curto e longo períodos. As variações menores do que cinco anos, são classificadas como variações de curto período e têm origem externa relacionada com a interação do vento solar com a Magnetosfera. As Pulsações Geomagnéticas se originam na modulação de pressão dinâmica do vento solar e nas correntes elétricas geradas na Magnetosfera. São flutuações do Campo Magnético Terrestre com pequenas amplitudes e com períodos de décimos a centenas de segundos (baixas frequências). As variações de períodos longos têm origem interna. Como o Campo Geomagnético não está exatamente no centro geográfico da Terra e possui uma inclinação do dipolo magnético equivalente em relação ao eixo de rotação terrestre por volta de 10° (atualmente), é produzido um campo com intensidade irregularmente distribuída na superfície. A Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS) é a região onde o Campo Geomagnético tem sua menor intensidade. Como consequência direta deste fenômeno, o cinturão de radiação que circunda o planeta (cinturão de Van Allen), encontra-se ali rebaixado, recebendo a Atmosfera local um maior bombardeamento de partículas. O objetivo do Projeto de Pesquisa é o estudo das pulsações de períodos longos (1.0 – 10 mHz) relacionadas com a fase do Ciclo Solar na região da AMAS. As observações foram realizadas com um magnetômetro do tipo *fluxgate* (núcleo saturado) de baixo ruído, instalado na estação geomagnética do Observatório Espacial do Sul, do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE – MCT, em São Martinho da Serra ($29,43^\circ$ S; $53,82^\circ$ W, altitude 488m), SMS, RS. Os dados são coletados a cada 2 segundos, o que permite estudar Pulsações Geomagnéticas Pc3, Pc4 e Pc5. A partir deles foi feita uma análise do Campo Geomagnético (componentes *H*, *D* e *Z*) na banda espectral 1.0 – 10 mHz, mediante uma filtragem digital das pulsações com períodos entre 150 – 600 segundos (Pc5). na região espectral de 1.0 – 10mHz



Sumário

RESUMO.....	XI
CAPÍTULO 1	1
1.1. INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2	4
2.1. CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE	4
2.1.1 Componentes do Campo Magnético Terrestre	5
2.1.2 Origem do Campo Geomagnético	6
2.1.1 Fontes de energia para o movimento de fluídos no núcleo.	7
2.2. VARIAÇÕES DO CAMPO GEOMAGNÉTICO	8
2.2.1 Variação secular	9
2.2.2. Variações Diurnas.....	12
2.2.3. Reversões do Campo Geomagnético	13
2.2.4. Pulsações Geomagnéticas.....	13
CAPÍTULO 3	14
3.1. MAGNETOSFERA TERRESTRE	14
3.2. CINTURÃO DE RADIAÇÃO DE VAN ALLEN.....	15
3.3. CICLO SOLAR	16
3.3.1. Ejeções de Massa Coronal (CME's)	17
3.3.2. Manchas Solares (Sunpots).....	19
3.4. INTERAÇÃO TERRA-SOL.....	20
3.5. ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL (AMAS)	21
CAPÍTULO 4	24
4.1. AQUISIÇÃO DOS DADOS E INSTRUMENTAÇÃO	24
4.1.1. MAGNETÔMETRO <i>FLUXGATE</i> (NÚCLEO SATURADO)	24
4.1.2. Filtragem digital	26
CAPÍTULO 5	27
5.1. RESULTADOS	27
5.1.1 Dados para a Variação Diária do Campo Geomagnético	27
5.2. ATIVIDADES FUTURAS	30
CAPÍTULO 6	31
6.1. CONCLUSÕES	31
REFERÊNCIAS.....	32
ATIVIDADES COMPLEMENTARES – PARTICIPAÇÃO E APRESENTAÇÃO DE TRABALHOS	33

Lista de figuras

FIGURA 1: CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS – CRS/CCR/INPE-MCT.	2
FONTE: HTTP://WWW.INPE.BR/CRS/	2
FIGURA 2: LINHAS DO CAMPO MAGNÉTICO DA TERRA. SÃO ORIENTADAS PARA FORA DO HEMISFÉRIO SUL E PARA DENTRO DO HEMISFÉRIO NORTE. FONTE: HTTP://PORTALE.INGV.IT/TEMI-RICERCA/LA-TERRA/CARATTERISTICHE-DEL-CAMPO-GEOMAGNETICO	5
FIGURA 3: ELEMENTOS VETORIAIS DO CAMPO GEOMAGNÉTICO. FONTE: HTTP://WDC.KUGI.KYOTO-U.AC.JP/ELEMENT/ELEFIG.GIF	6
FIGURA 4: ORIGEM DO CAMPO GEOMAGNÉTICO	7
FIGURA 5: VARIAÇÃO GEOMAGNÉTICA, COORDENADAS GEOGRÁFICAS EM 1600.	9
FIGURA 6: VARIAÇÃO GEOMAGNÉTICA, COORDENADAS GEOGRÁFICAS EM 1700.	10
FIGURA 7: VARIAÇÃO GEOMAGNÉTICA, COORDENADAS GEOGRÁFICAS EM 1800.	10
FIGURA 8: VARIAÇÃO GEOMAGNÉTICA, COORDENADAS GEOGRÁFICAS EM 1900.	11
FIGURA 9: VARIAÇÃO GEOMAGNÉTICA, COORDENADAS GEOGRÁFICAS EM 2000.	11
FIGURA 10: DIVISÃO DA ATMOSFERA E IONOSFERA.	12
FONTE: HTTP://WWW.DAVIDDARLING.INFO/ENCYCLOPEDIA/I/IONOSPHERE.HTML	12
FIGURA 11: ESTRUTURAS DA MAGNETOSFERA TERRESTRE. FONTE: HTTP://WWW.APOLO11.COM/SPACENEWS.PHP?POSIC=DAT_20081218-101028.INC	14
FIGURA 12: CINTURÕES DE VAN ALLEN AO REDOR DA TERRA. FONTE: HTTP://GEOCITIES.WS/SALADEFISICA5/LEITURAS/VANALLEN.HTML	15
FIGURA 13: ATIVIDADE SOLAR RELACIONADA COM O CICLO SOLAR. FONTE: HTTP://SOLARSCIENCE.MSFC.NASA.GOV/IMAGES/SSN_PREDICT_L.GIF	16
FIGURA 14: EJEÇÃO DE MASSA CORONAL EM 2 DE DEZEMBRO DE 2003 OBSERVADA POR LASCO C2, SATÉLITE SOHO. FONTE: HTTP://SOHO.NASCOM.NASA.GOV/GALLERY/IMAGES/LARGE/20031202C2EIT304.JPG	17
FIGURA 15: MANCHA SOLAR OBTIDA NO DIA 23 DE SETEMBRO DE 2000. A FOTO COMPARA O TAMANHO DA TERRA COM UMA MANCHA SOLAR. FONTE: HTTP://SOHOWWW.NASCOM.NASA.GOV/GALLERY/IMAGES/LARGE/SUNSPOT00.JPG	20
FIGURA 16: MAPA MAGNÉTICO DA TERRA. FONTE: NASA	21
FIGURA 17: 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/	22
FIGURA 18: A POSIÇÃO DE SATÉLITES ONDE SOFRERAM DANOS NA MEMÓRIA DO COMPUTADOR. MAIOR CONCENTRAÇÃO SOBRE A REGIÃO DA AMAS. FONTE: NASA.	23
FIGURA 19: MAGNETÔMETRO <i>FLUXGATE</i> INSTALADO NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL -CRS/CIE/INPE - MCT. FONTE: CRS/CIE/INPE – MCT.	25
FIGURA 20: COMPONENTES <i>H</i> , <i>D</i> E <i>Z</i> PARA A ESTAÇÃO MAGNÉTICA SMS, DO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL DO DIA 6 DE NOVEMBRO DE 2004, MAGNETICAMENTE CALMO, COM UM ÍNDICE $\sum Kp = 1+$	28
FIGURA 21: PULSAÇÕES GEOMAGNÉTICAS NAS COMPONENTES <i>H</i> E <i>D</i> PARA A ESTAÇÃO MAGNÉTICA SMS, DO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL DO DIA 6 DE NOVEMBRO DE 2004.	28
FIGURA 22: COMPONENTES <i>H</i> , <i>D</i> E <i>Z</i> PARA A ESTAÇÃO MAGNÉTICA SMS, DO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL DO DIA 10 DE NOVEMBRO DE 2004, MAGNETICAMENTE PERTURBADO, COM UM ÍNDICE $\sum Kp = 56+$	29
FIGURA 23: PULSAÇÕES GEOMAGNÉTICAS NAS COMPONENTES <i>H</i> E <i>D</i> PARA A ESTAÇÃO MAGNÉTICA SMS, DO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL DO DIA 10 DE NOVEMBRO DE 2004.	29

CAPÍTULO 1

1.1. Introdução

Através do Programa de Iniciação Científica, PIBIC/INPE – CNPq/MCT, ao qual está vinculado o Projeto de Pesquisa: “*Variação com Ciclo Solar das Pulsações Geomagnéticas de Períodos Longos (1,0 – 10 mHz) na Região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS*”, foram planejadas e realizadas atividades de pesquisa. 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 .

O estudo dessas pulsações fornece informações importantes de como o Campo Geomagnético atua e de como ocorre a interação do vento solar com a Magnetosfera terrestre. A Terra não possui um campo magnético de intensidade homogênea, sendo a região da AMAS a única com menor intensidade, tornando assim o estudo feito nessa região de características únicas no mundo.

Os movimentos 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 Geomagnético sofre variações de grande escala temporal, desde frações de segundo até milhões de anos, podemos separá-las em: variações de longo período, como a variação secular; e variações de curto período, como tempestades geomagnéticas, variações diurnas Sq e micro pulsações geomagnéticas. Sendo que, as variações seculares são originadas internamente, enquanto as variações de curto período são de origem externas a Terra e estão diretamente associadas às atividades solares.

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.

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/CCR/INPE-MCT (Figura 1), instalados no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CCR/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.



Figura 1: Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE-MCT.

Fonte: <http://www.inpe.br/crs/>



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

A existência do Campo Magnético da Terra (CMT) é conhecida desde Gilbert, que em 1600 propôs no seu livro *De Magnete Magneticisque Corporibus, et de Magno Magnete Tellure (Sobre os ímãs, os corpos magnéticos e o grande ímã terrestre)* que a Terra fosse considerada equivalente a um ímã permanente. Contudo, o Campo Magnético da Terra foi utilizado para orientação desde o tempo dos chineses e foi utilizado na época dos descobrimentos.

A teoria física matemática capaz de descrevê-lo e justificar o Campo Magnético Terrestre só foi alcançada com Maxwell, no fim do século XIX, e os primeiros modelos “realistas” do mecanismo gerador do campo só atualmente começam a ser construídos. A prova matemática de que o campo magnético observado à superfície tem como origem fundamental a Terra (e não fenômenos externos) foi obtida por Gauss em 1838. Nessa altura se tinha concluído que o Campo Geomagnético manifestava certa variação secular, e de que as variações rápidas tinham correlação com fenômenos atmosféricos como as auroras boreais.

A utilização da bússola como instrumento de localização sobre a Terra, parte do princípio de que o Campo Magnético Terrestre se aproxima do campo magnético gerado por um ímã permanente alinhado com o eixo de rotação, onde é possível distinguir um “Polo magnético norte”, um “Polo magnético Sul ” e um “Equador magnético”, à semelhança do que ocorre com as referências geográficas.

Neste sentido, podemos falar de meridiano magnético como a projeção, na superfície da Terra, das linhas de força do Campo Magnético. A declinação pode ser definida como o ângulo que em cada ponto o meridiano geográfico faz e o meridiano magnético. A inclinação será o ângulo dessas linhas de força com o plano que é tangente à Terra no ponto de observação.

Uma inclinação de 90° corresponde ao polo magnético norte, da mesma maneira que uma inclinação de -90° corresponde ao polo magnético Sul . O equador magnético é constituído pelo conjunto de pontos de inclinação nula.

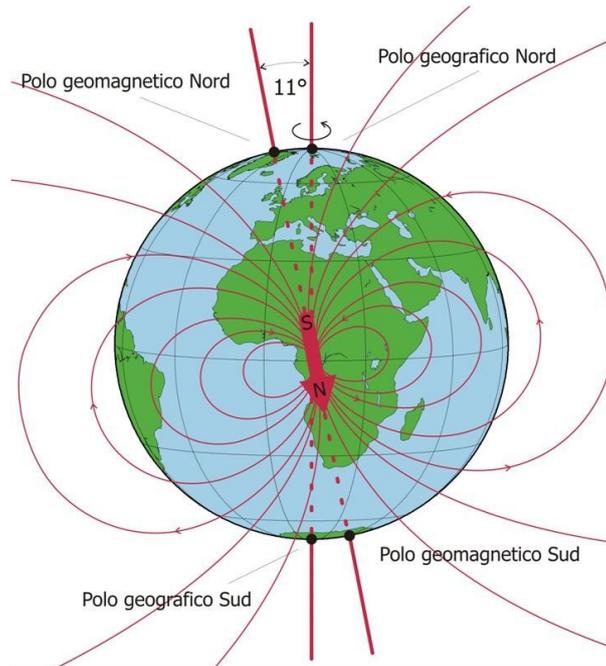


Figura 2: Linhas do Campo Magnético da Terra. São orientadas para fora do Hemisfério Sul e para dentro do Hemisfério Norte. Fonte: <http://portale.ingv.it/temi-ricerca/la-terra/caratteristiche-del-campo-geomagnetico>

Note-se, pela Figura 2, que o Campo Magnético Terrestre pode ser considerado como aproximadamente dipolar, o eixo magnético não coincide em regra com o eixo geográfico, os polos magnéticos afastam-se sensivelmente dos polos geográficos.

2.1.1 Componentes do 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.

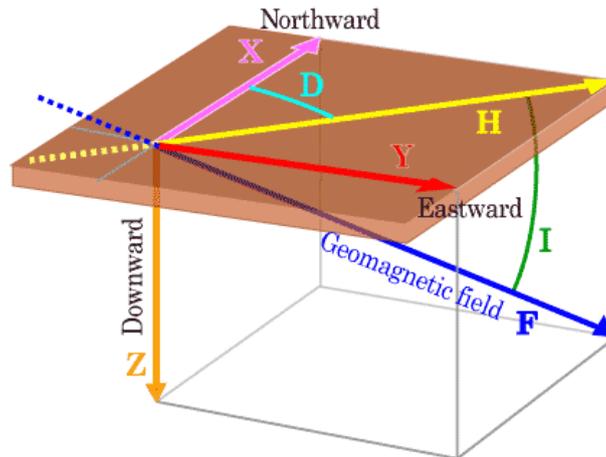


Figura 3: Elementos vetoriais do campo geomagnético. Fonte: <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/element/elefig.gif>

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.

2.1.2 Origem do Campo Geomagnético

Se por um lado, o Campo Geomagnético e suas variações fornecem importantes informações sobre o interior da Terra, é verdade que a composição e propriedades físicas, especialmente do manto inferior, núcleo externo e núcleo interno, condicionam os processos de geração possíveis.

De acordo com a geralmente aceita teoria do Dínamo, as interações entre os turbilhantes fluxos de materiais em fusão no núcleo exterior e o campo magnético geram correntes elétricas que, por sua vez, criam novas energias magnéticas que permitem sustentar o campo. "O tempo de vida típico de um campo magnético como o da Terra", diz *Glatzmaier*, "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".

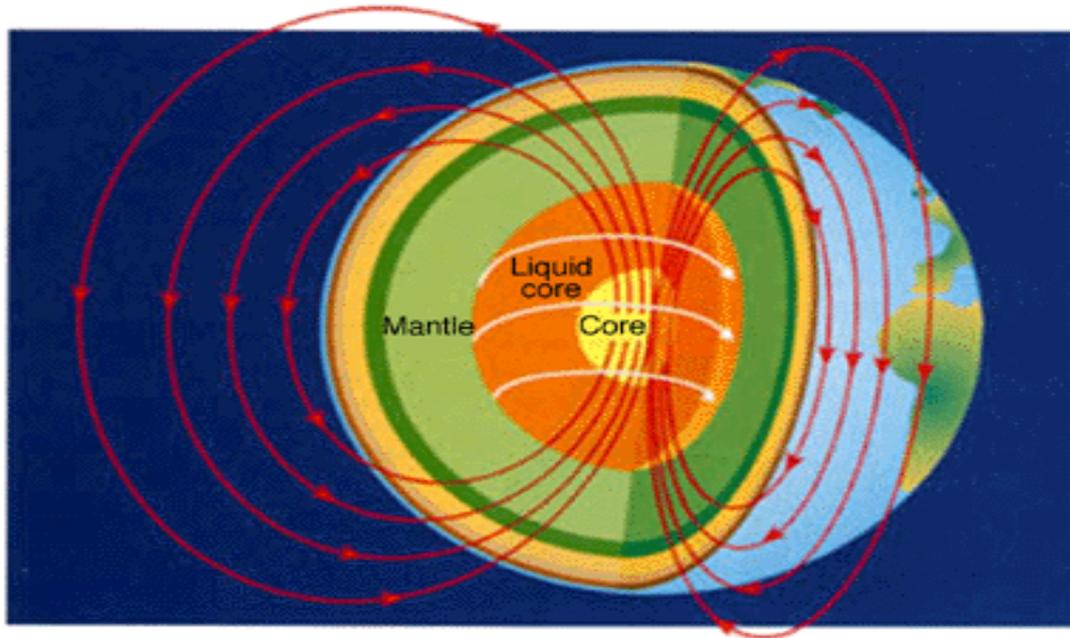


Figura 4: Origem do campo geomagnético.

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

2.1.1 Fontes de energia para o movimento de fluídos no núcleo.

a) Fontes Extra Terrestres

1 - Marés. A amplitude de oscilações 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 devida ao atrito das marés. *Bullard* (1949) mostrou que o núcleo está acoplado eletromagneticamente ao manto e, portanto segue sua desaceleração.

3 - Precessão. O eixo de rotação da Terra precessiona em torno da normal à eclíptica com período de 26000 anos. Há pesquisadores que sustentam que o núcleo não precessiona com o manto, dando origem a movimentos de fluido..

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 1021 ergs/seg., portanto suficiente. Há, entretanto opiniões 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 1011 watts seriam liberados com a solidificação, com calor latente = 4. 105 J/kg, portanto 25 m³ de material solidificado por segundo.

3- Movimentos de convecção causados por instabilidade térmica causada 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

O Campo Geomagnético tem um amplo espectro de variações, com constantes de tempo que vão desde frações de segundo até milhões de anos. De modo geral, pode-se dizer que 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 de um ano;
- Diurnas, para período de 24 horas;
- Distúrbios, quando associados a tempestades magnéticas e com períodos bastante variáveis;
- Pulsações, para períodos entre 0,2 e 1000s;

- Atmosféricas, quando períodos inferiores a 1 s;

Sendo que as variações seculares são as únicas com origem interna ao Planeta Terra.

2.2.1 Variação secular

A variação secular é uma lenta e continua mudança no campo principal observada no campo principal. Ela está associada com as correntes elétricas que fluem no núcleo externo da Terra e fornece informações importantes para a investigação dessa camada do planeta. Ela tem uma escala temporal que chega a mil anos e é dada pela mudança anual no valor do campo. Sua quantificação é obtida mediante a variação dos elementos magnéticos X, Y e Z.

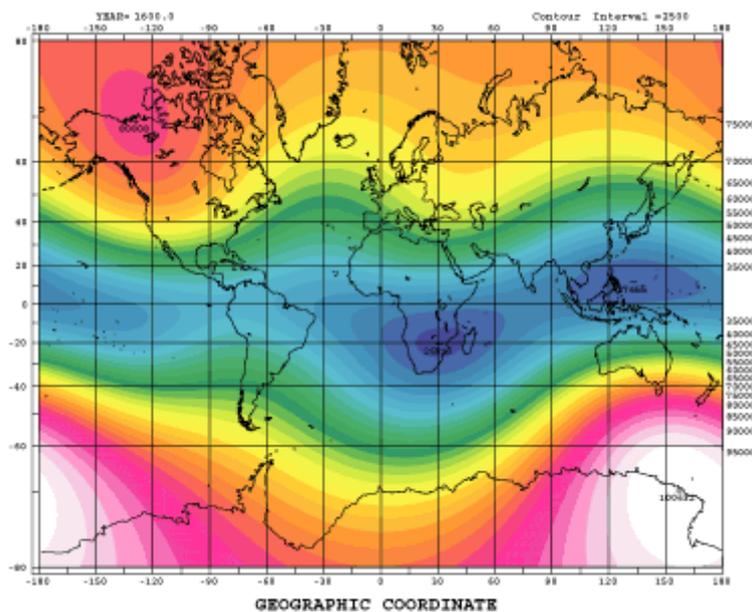


Figura 5: Variação Geomagnética, Coordenadas geográficas em 1600.

Fonte: <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/igrf/anime/1600.gif>

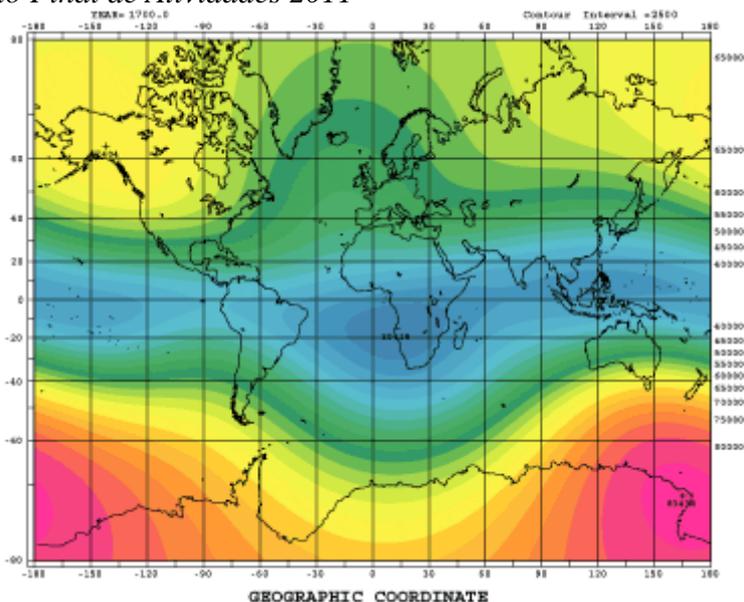


Figura 6: Variação Geomagnética, Coordenadas geográficas em 1700.

Fonte: <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/igrf/anime/1700.gif>

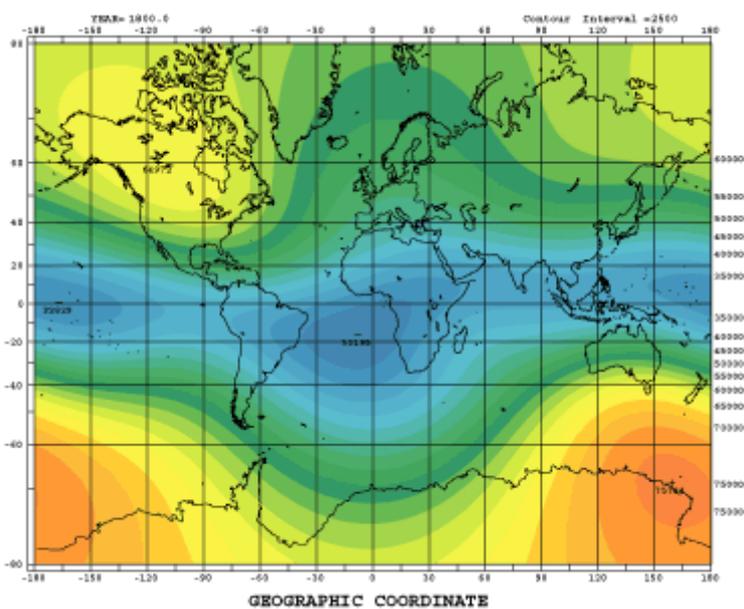


Figura 7: Variação Geomagnética, Coordenadas geográficas em 1800.

Fonte: <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/igrf/anime/1800.gif>

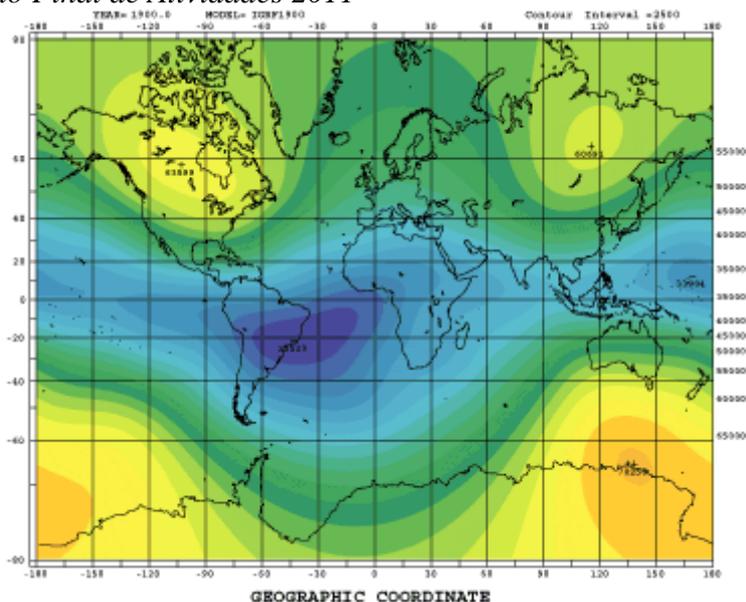


Figura 8: Variação Geomagnética, Coordenadas geográficas em 1900.

Fonte: <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/igrf/anime/1900.gif>

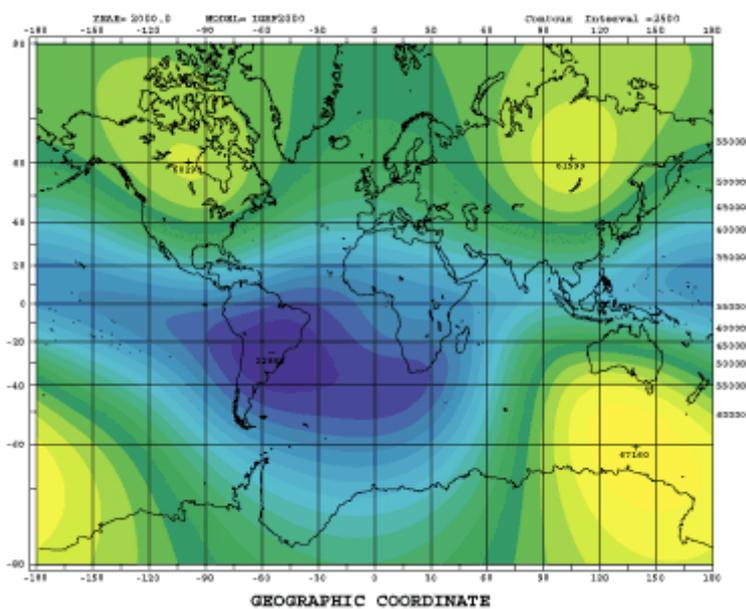


Figura 9: Variação Geomagnética, Coordenadas geográficas em 2000.

Fonte: <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/igrf/anime/2000.gif>

2.2.2. Variações Diurnas

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.

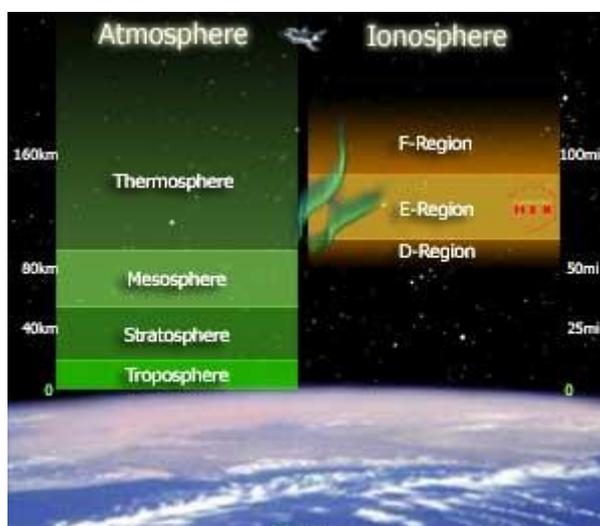


Figura 10: Divisão da Atmosfera e Ionosfera.

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.

2.2.3. Reversões do Campo Geomagnético

Há evidências de que o Campo Geomagnético sofreu várias reversões durante o seu tempo de vida. As evidências foram conseguidas com análises magnéticas, realizadas por navios, no meio dos oceanos e provam haver reversões do Campo Geomagnético ao longo da história. Durante a reversão o momento de dipolo decresce para zero, enquanto mantém sua orientação. No intervalo em que não há a componente dipolar, a parte não-dipolar parece persistir (Dutra, 2004).

2.2.4. Pulsações Geomagnéticas

As Pulsações Geomagnéticas são variações magnéticas de 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.

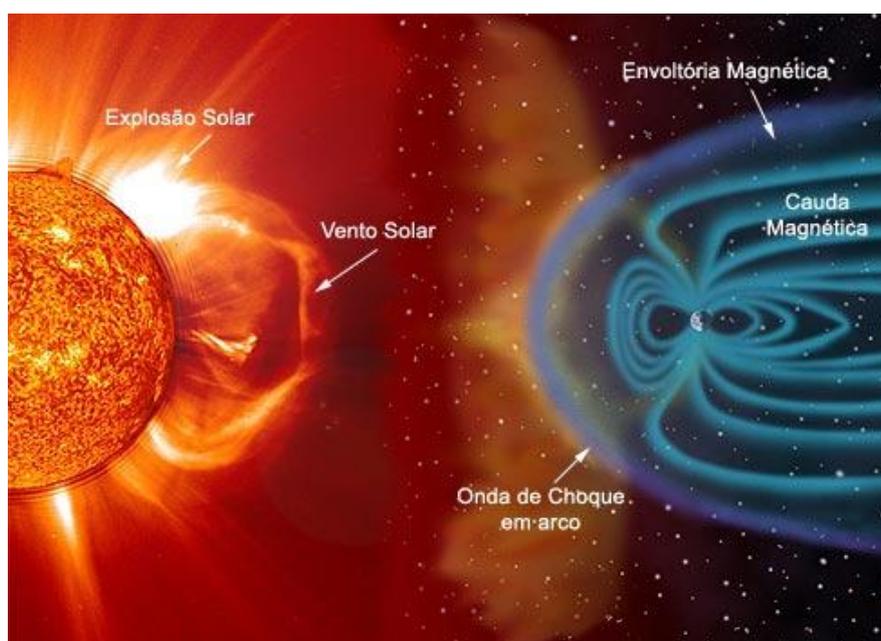


Figura 11: Estruturas da Magnetosfera terrestre. Fonte:
http://www.apolo11.com/spacenews.php?posic=dat_20081218-101028.inc

A existência do campo magnético (e a região originada, a Magnetosfera) é de extrema importância para a existência de vida na Terra, uma vez que ele protege a superfície terrestre de partículas de altas energias oriundas do vento solar e de raios cósmicos. O vento solar se choca com o Campo Geomagnético em velocidades supersônicas.

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.

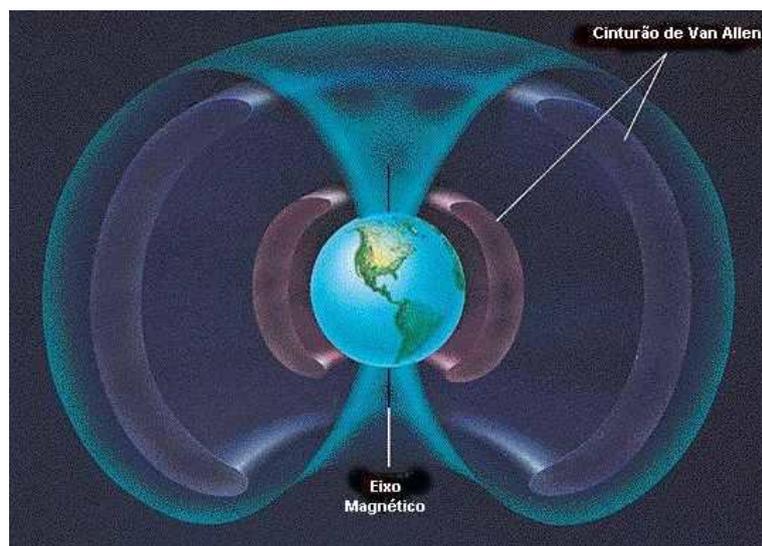


Figura 12: Cinturões de Van Allen ao redor da Terra. Fonte:
<http://geocities.ws/saladefisica5/leituras/vanallen.html>

3.3. 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 13).

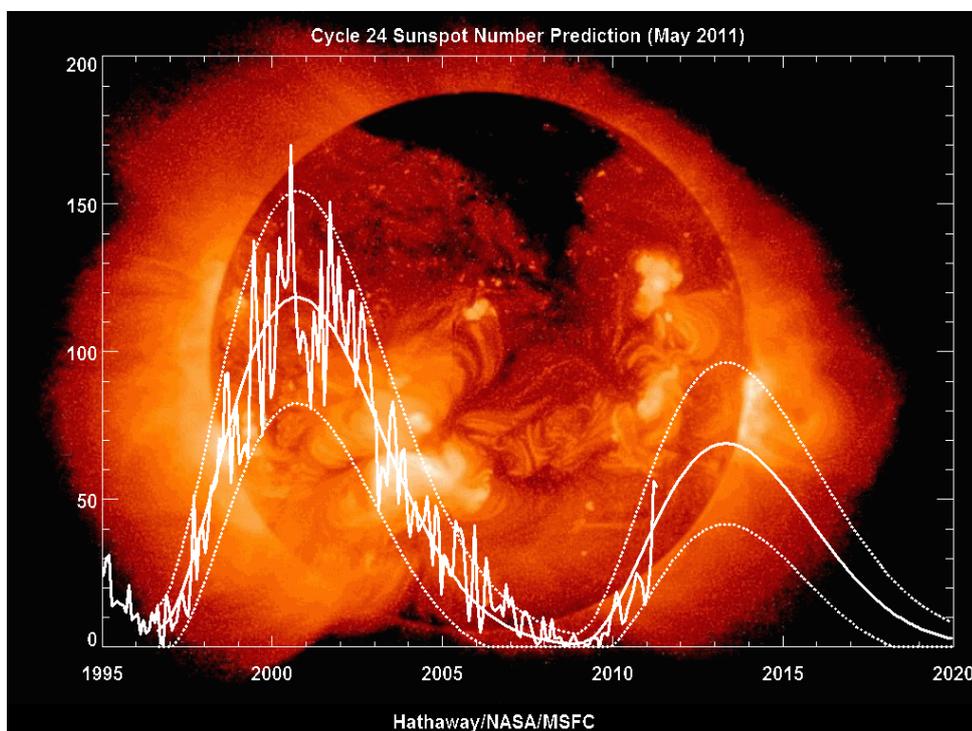


Figura 13: Atividade solar relacionada com o Ciclo Solar. Fonte:
http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/ssn_predict_1.gif

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 em uma fase ascendente da atividade solar, iniciando o ciclo número 24.

3.3.1. Ejeções de Massa Coronal (CME's)

A primeira Ejeção de Massa Coronal (*CME – Coronal Mass Ejection*) foi observada pela *Orbiting Solar Observatory, OSO-7* (Howard et al., 1997) em 14 de dezembro de 1971. O termo “Ejeções de Massa Coronais” foi primeiramente usada por Gosling et al. (1975). Estudos mostraram que as *CME's* muitas vezes estavam associadas a explosões solares (*flares*) e proeminências. A primeira idéia era de que as *CME's* eram causadas pelas Explosões Solares (Dryer, 1982; Dryer e Wu, 1985). Uma *CME* libera uma energia de 10³¹-10³² ergs (Illing e Hundhausen, 1986) sendo juntamente com as *flares* os dois fenômenos mais energéticos da coroa solar. *CME's* liberam energia em forma de trabalho (Low, 1996) e, em comparação com *flares*, são fenômenos de grande escala. São grandes bolhas de gás magnetizado que podem levar diversas horas para serem expelidas ao espaço. A Figura 2.7 mostra uma *CM* observada em 27 de fevereiro de 2000. (adaptado do R.F. de Kemmerich, N., 2010).

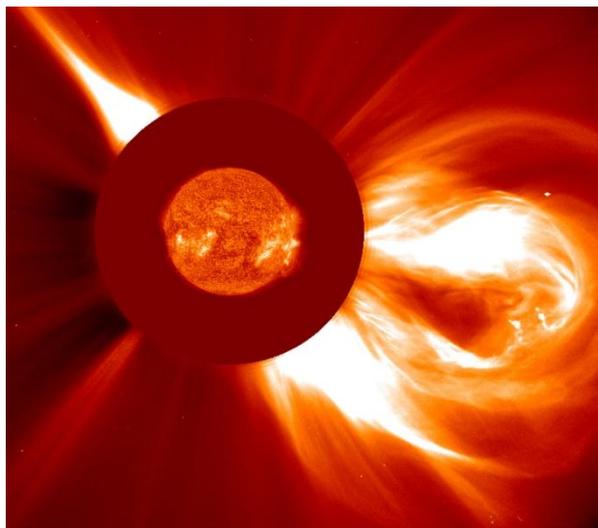


Figura 14: Ejeção de Massa Coronal em 2 de dezembro de 2003 observada por LASCO C2, satélite SOHO. Fonte: <http://soho.nascom.nasa.gov/gallery/images/large/20031202c2eit304.jpg>

CME's estão diretamente relacionadas com o Ciclo Solar. Elas tem frequência de um evento por semana no mínimo e de 2 a 3 eventos por dia nos períodos de máximo solar. A grande quantidade de material que carrega as linhas de campo magnético do Sol que é ejetada para o meio interplanetário com uma *CME* é chamada de Ejeção de Massa Coronal Interplanetária (*ICME – Interplanetary Coronal Mass Ejection*). A interação da *ICME* com a Magnetosfera terrestre causa distúrbios geomagnéticos devido à velocidade das partículas ejetadas do Sol ter várias centenas de km/s. As *ICME's* geralmente estão acompanhadas de ondas de choque. Ejeções de Massa Coronais podem alterar o fluxo do “vento solar” e produzir alterações que atingem a Terra e algumas vezes com resultados nocivos e perigosos às atividades humanas. A identificação no “vento solar” do material ejetado em uma *CME* é ainda um desafio. Não há uma característica única exibida por todas as nuvens de Plasma resultantes de *CME's*. Segundo Neugebauer e Goldstein (1997), varias características podem aparecer juntas ou isoladas. São elas:

1. Temperatura cinética de íons ou elétrons baixa para uma dada velocidade do “vento solar”. Esta característica baseia-se na expansão da estrutura;
2. Anisotropia não usual da distribuição de prótons com temperatura paralela superior a temperatura perpendicular ao Campo Magnético Interplanetário, causado pela conservação do momento magnético dos íons à medida que o Plasma se expande;
3. Abundância de Helio não usual;
4. Abundância de outras espécies iônicas;
5. Feixes bidirecionais de elétrons supra-termais e íons energéticos. Ao caracterizar uma configuração de Campo Magnético Interplanetário, é possível que seja o campo magnético interno de uma ejeção, fechado e com extremidades presas no Sol;
6. Suave e intenso Campo Magnético interfere nos valores de parâmetro β de Plasma, que quando combinado com baixas temperaturas levam o parâmetro β a baixos valores. Este parâmetro é geralmente menor que 0,1;
7. Presença de rotação do Campo Magnético, algumas destas configurações são chamadas de Nuvens Magnéticas quando possuem: aumento de seu campo

magnético por um fator maior que 2; suave rotação por um amplo intervalo de ângulo; e baixa temperatura iônica;

8. Decréscimo do fluxo de Raios Cósmicos; (adaptado do R.F. de Kemmerich, N., 2010).

3.3.2. Manchas Solares (*Sunpots*)

A existência de manchas solares, com até alguns milhares de Km de diâmetro, é conhecida a centenas de anos (Figura 2.8). Elas são constituídas de uma região central escura com temperatura de 4100 K e campo magnético de 0,3 T (tesla) envolto pela penumbra, região um pouco mais clara que a escura.

O campo é quase vertical na sombra e quase horizontal na penumbra. Existe saída radial de gás através da superfície fotosférica da penumbra do contorno interno da sombra de 6 km/s, chamado efeito Evershed. Algumas manchas são unipolares, outras bipolares e outras mais complexas. Podem durar até 100 dias e elas ocorrem em um ou outro lado do equador solar. Pode-se verificar a atividade solar observando o número de manchas na sua superfície, é observado que existe uma regularidade de número manchas solares, isto caracteriza o Ciclo Solar (Figura 2.6). Elas aparecem em médias latitudes e migram para o equador solar, baixas latitudes. Este processo leva em média 11 anos.

Após 11 anos o campo magnético inverte a polaridade e conseqüentemente a polaridade dos pares de manchas também se inverte para o dos hemisférios. As regiões de acumulo de linhas de campo se aproximam gradativamente ao equador ao longo de 11 anos, assim à medida que se observa as manchas, elas migram para o equador solar. (adaptado do R.F. de Kemmerich, N., 2010).

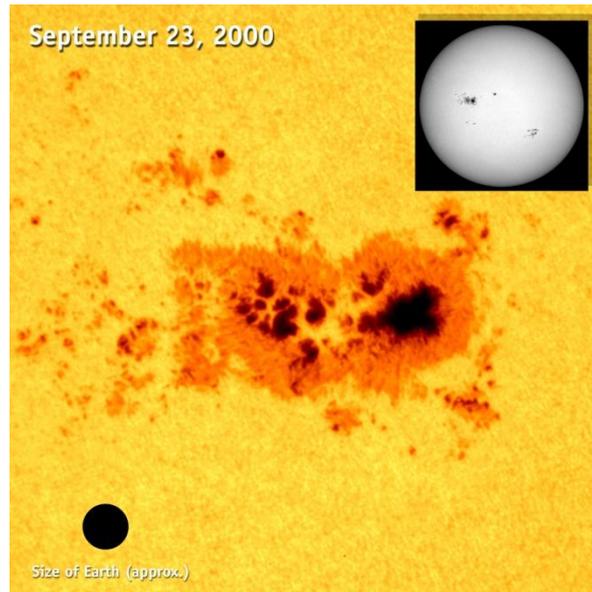


Figura 15: Mancha solar obtida no dia 23 de setembro de 2000. A foto compara o tamanho da Terra com uma mancha solar. Fonte:
<http://sohowww.nascom.nasa.gov/gallery/images/large/sunspot00.jpg>

3.4. 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 consequências 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.

3.5. Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS)

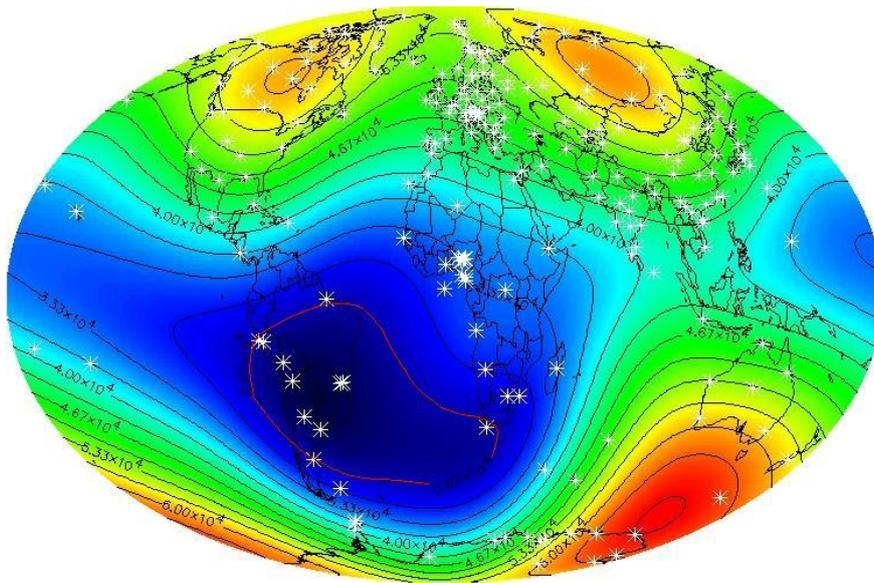


Figura 16: Mapa magnético da Terra. Fonte: NASA

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 .

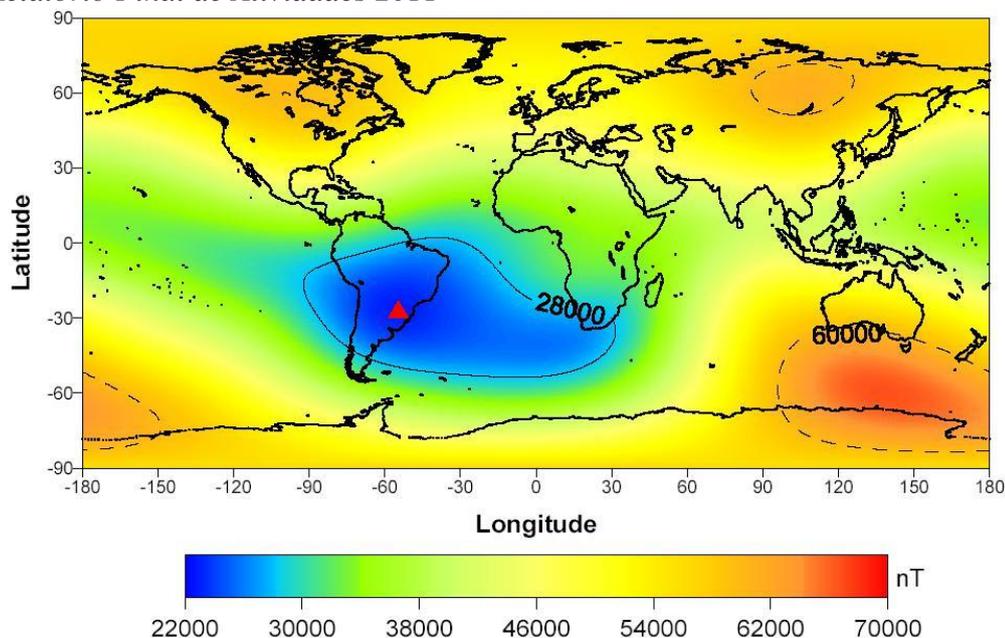


Figura 17: Mapa magnético da Terra. A Anomalia Magnética do Atlântico Sul em azul. O triângulo vermelho mostra a localização de seu centro no ano 2000. Fonte: <http://anomalia.magnetica.atlantico.Sul.googlepages.com/>

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 consequência, 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 atual 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 frequentemente sofreram reversões durante a história do planeta. Quando os pólos magnéticos da Terra revertem, a intensidade do campo magnética torna-se muita 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 consequências 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 consequência de efeitos secundários do buraco de ozônio antártico.

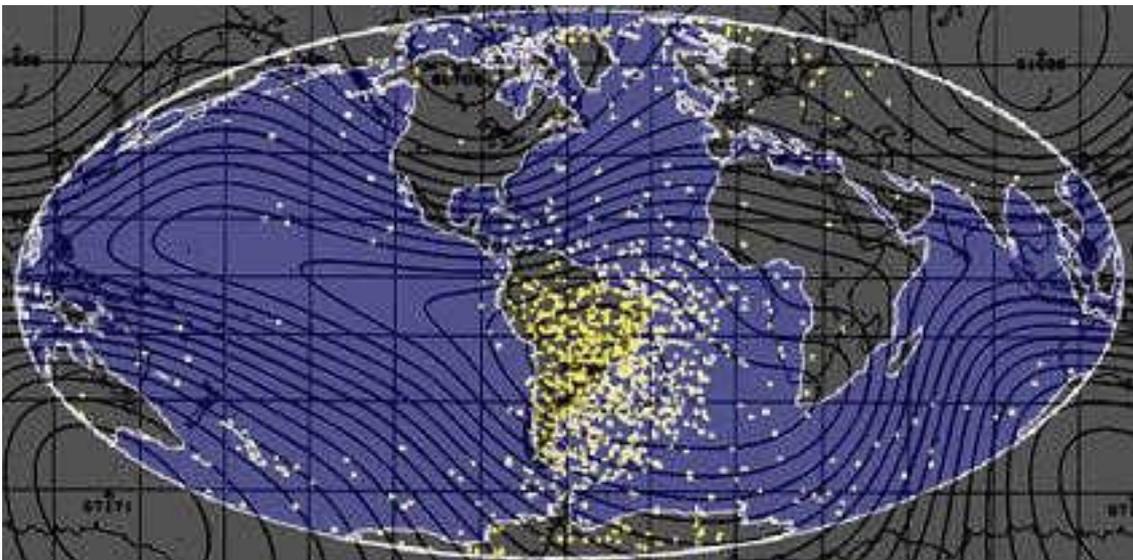


Figura 18: A posição de satélites onde sofreram danos na memória do computador. Maior concentração sobre a região da AMAS. Fonte: NASA.

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 mHz) 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 19: 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.

Os dados coletados no magnetômetro *fluxgate* usado no Observatório Espacial do Sul saem em formato binário. O primeiro processamento destes dados ocorre com o auxílio de um programa que transforma estes dados binários em um arquivo em formato ASCII. O arquivo em formato ASCII, contendo a informação da variação diária para as 3 componentes do campo geomagnético, é utilizado nos demais processamentos feitos em programas com linguagem Matlab, obtendo-se além das pulsações Pc5 outras informações sobre esta variação diária. O programa de filtragem digital foi testado com dados sintéticos para comprovar sua funcionalidade.

CAPÍTULO 5

5.1. Resultados

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 do desenvolvimento 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 ao Observatório Espacial do Sul – CRS/CCR/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 convênio com a Universidade de Kyushu, Japão.

5.1.1 Dados para a Variação Diária do Campo Geomagnético

Os gráficos abaixo mostram a variação diária em função do tempo das componentes H, D e Z do campo geomagnético, para um dia magneticamente calmo e para um dia magneticamente perturbado.

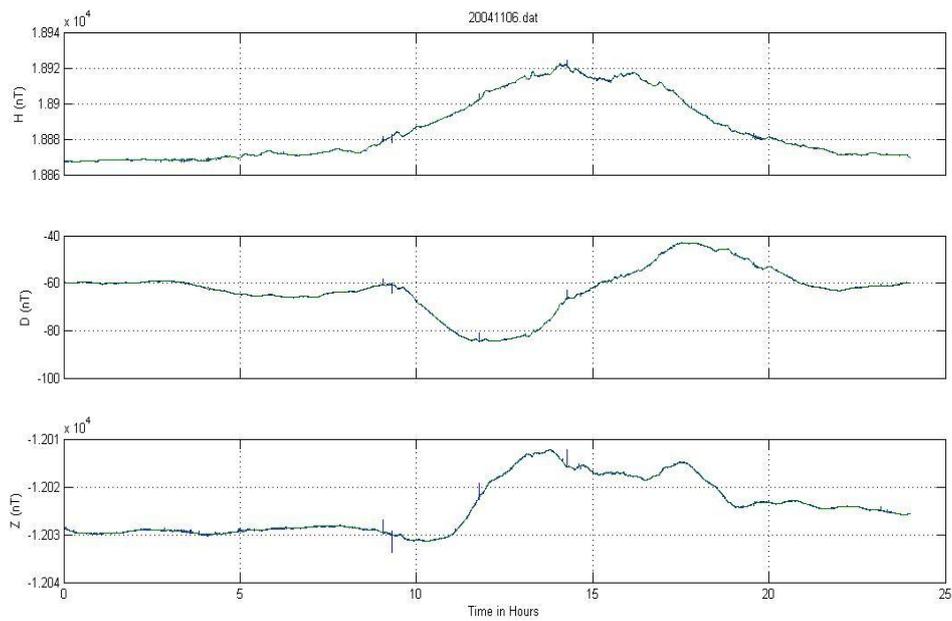


Figura 20: Componentes H , D e Z para a Estação Magnética SMS, do Observatório Espacial do Sul do dia 6 de novembro de 2004, magneticamente calmo, com um índice $\Sigma Kp = 1+$.

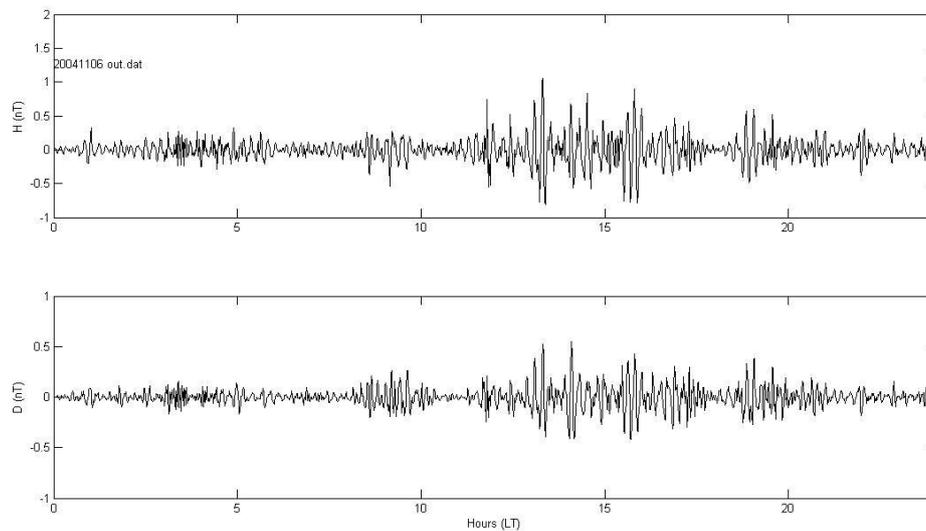


Figura 21: Pulsações geomagnéticas nas componentes H e D para a Estação Magnética SMS, do Observatório Espacial do Sul do dia 6 de novembro de 2004.

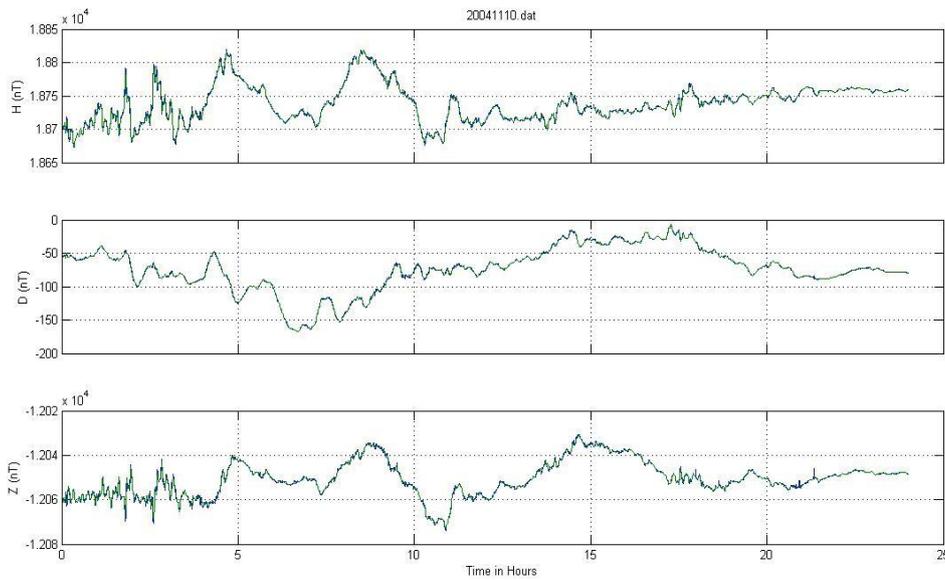


Figura 22: Componentes H , D e Z para a Estação Magnética SMS, do Observatório Espacial do Sul do dia 10 de novembro de 2004, magneticamente perturbado, com um índice $\Sigma Kp = 56+$.

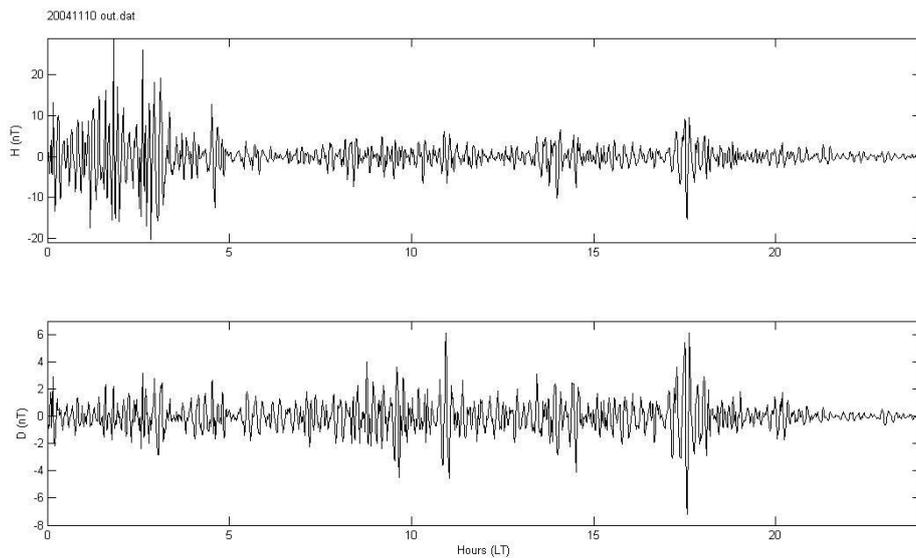


Figura 23: Pulsações geomagnéticas nas componentes H e D para a Estação Magnética SMS, do Observatório Espacial do Sul do dia 10 de novembro de 2004.

Através da análise dos gráficos, é possível perceber no dia 10 de novembro um comportamento irregular nas componentes geomagnéticas provocado por uma tempestade magnética, nota-se também um comportamento diferente nas pulsações geomagnéticas para esse dia.



5.2. Atividades Futuras

Para o próximo período o bolsista pretende dar continuidade ao projeto da bolsa PIBIC realizando atividades básicas na operação da Estação Geomagnética do Observatório Espacial do Sul do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, bem como detectar as pulsações geomagnéticas e comparar suas características com outras regiões fora da Anomalia Magnética do Atlântico Sul.

CAPÍTULO 6

6.1. Conclusões

Através das atividades realizadas até o momento, 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 épocas de maior atividade solar, caracterizado pelo máximo solar, período em que ocorrem tempestades solares de maior intensidade, tem-se perturbações maiores na intensidade do campo geomagnético.

Durante o período o aluno teve oportunidade de conhecer e participar de atividades interdisciplinares complementando a sua formação acadêmica junto ao curso de Física Licenciatura Pena na Universidade Federa de Santa Maria.

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 Micro-Pulsações Geomagnéticas em Latitudes Muito Baixas, no Brasil. INPE, São José dos Campos, 1998.
- [10] Zanandrea, A. Micro-Pulsações Geomagnéticas em Santa Maria – RS. INPE, São José dos Campos, maio de 1994.

Atividades Complementares – Participação E Apresentação De Trabalhos

1. **MARCHEZI, J. P.** ; DUTRA, S. L. G. ; SCHUCH, N.J . VARIAÇÃO COM O CICLO SOLAR DAS PULSAÇÕES GEOMAGNÉTICAS DE PERÍODOS LONGOS (1.0 10 mHz) NA REGIÃO DA ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL AMAS. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO CRS, 2011, Santa Maria, RS, Brasil. SICCRS – 2011, 2011.
2. PIOVESAN, T. ; SCHUCH, N.J ; DURAO, O. S. C. ; DUTRA, S. L. G. ; TRIVEDI, N. B. ; MENDES JUNIOR, O. ; ANTUNES, C. E. ; STEKEL, T. R. C. ; SILVA, A. C. ; **MARCHEZI, J. P.** ; BREMM, T. . THE NANOSATC-BR1 MAGNETOMETER SYSTEMS. In: I Magnet Brazil, 2011, Búzios, RJ, Brasil. I Magnet Brazil: State of the art and future challenges, 2011.
3. SILVA, A. C. ; SCHUCH, N.J ; DUTRA, S. L. G. ; TRIVEDI, N. B. ; PINHEIRO, K. ; FONTES, S. L. ; FRIGO, E. ; ANTUNES, C. E. ; STEKEL, T. R. C. ; **MARCHEZI, J. P.** ; BREMM, T. ; PIOVESAN, T. . EARTH'S MAGNETIC FIELD MONITORING IN SOUTH OF BRAZIL. In: I Magnet Brazil, 2011, Búzios, RJ, Brasil. I Magnet Brazil: State of the art and future challenges, 2011.
4. BREMM, T. ; SCHUCH, N.J ; TRIVEDI, N. B. ; DUTRA, S. L. G. ; PINHEIRO, K. ; FONTES, S. L. ; STEKEL, T. R. C. ; SILVA, A. C. ; **MARCHEZI, J. P.** ; PIOVESAN, T. . SEARCH FOR GEOMAGNETIC FIELD IRREGULAR PULSATIONS IN THE SOUTH ATLANTIC MAGNETIC ANOMALY REGION. In: I Magnet Brazil, 2011, Búzios, RJ, Brasil. I Magnet Brazil: State of the art and future challenges, 2011.
5. **MARCHEZI, J. P.** ; DUTRA, S. L. G. ; SCHUCH, N.J ; TRIVEDI, N. B. ; PINHEIRO, K. ; FONTES, S. L. ; STEKEL, T. R. C. ; SILVA, A. C. ; PIOVESAN, T. ; BREMM, T. . VARIATIONS WITH THE SOLAR CYCLE OF LONG PERIODS (1.0 10mHz) GEOMAGNETIC PULSATIONS IN THE REGION OS THE SOUTH MAGNETIC ANOMALY SAMA. In: I Magnet Brazil, 2011, Búzios, RJ, Brasil. I Magnet Brazil: State of the art and future challenges, 2011.
6. SCHUCH, N.J ; TRIVEDI, N. B. ; DUTRA, S. L. G. ; FONTES, S. L. ; YUMOTO, K ; MAKITA, K. ; SILVA, A. C. ; STEKEL, T. R. C. ; ANTUNES, C. E. ; **MARCHEZI, J. P.** . THE GEOMAGNETIC MONITORING AT THE BRAZILIAN SOUTHERN SPACE OBSERVATORY. In: XXV IUGG, 2011, Melbourne, Austrália. XXV INTERNATIONAL UNION OF GEODESY AND GEOPHYSICS GENERAL ASSEMBLY - EARTH ON THE EDGE: SCIENCE FOR A SUSTAINABLE PLANET, 2011.
7. **MARCHEZI, J. P.** ; DUTRA, S. L. G. ; SCHUCH, N.J ; TRIVEDI, N. B. ; SILVA, A. C. ; STEKEL, T. R. C. ; ANTUNES, C. E. . LONG PERIODS (1.0 10mHz) GEOMAGNETIC PUSSATIONS WITH SOLAR CYCLE IN THE SOUTH ATLANTIC MAGNETIC ANOMALY REGION. In: XXV IUGG, 2011, Melbourne, Austrália. XXV INTERNATIONAL UNION OF GEODESY AND GEOPHYSICS



GENERAL ASSEMBLY - EARTH ON THE EDGE: SCIENCE FOR A SUSTAINABLE PLANET, 2011.

8. **MARCHEZI, J. P.** ; DUTRA, S. L. G. ; SCHUCH, N.J . VARIACÃO COM O CICLO SOLAR DAS PULSAÇÕES GEOMAGNÉTICAS DE PERÍODOS LONGOS (1.0 10 mHz) NA REGIÃO DA ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL AMAS. In: SCINPE - 2011, 2011, São José dos Campos. SICINPE, 2011.
9. SCHUCH, N.J ; YUMOTO, K ; MAKITA, K. ; TRIVEDI, N. B. ; DUTRA, S. L. G. ; FONTES, S. L. ; SILVA, A. C. ; STEKEL, T. R. C. ; ANTUNES, C. E. ; **MARCHEZI, J. P.** ; PEDROZO, C. R. C. . GEOMAGNETISM SCIENCE AND MAGDAS STATION IN SOUTHERN BRAZIL. In: International Space Weather Initiative - UN/NASA/JAXA Workshop, 2010, Helwan. Proceedings of the International Space Weather Initiative, 2010.
10. SILVA, A. C. ; SCHUCH, N.J ; TRIVEDI, N. B. ; PEDROZO, C. R. C. ; **MARCHEZI, J. P.** . GEOMAGNETISMO MONITORAMENTO DO CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL. In: 25ª Jornada Acadêmica Integrada, 2010, Santa Maria. Anais da 25ª Jornada Acadêmica Integrada, 2010.