



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 - ATIVIDADES DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
PIBIC/INPE – CNPq/MCT

PROCESSO Nº 201144/2006-0

Fagner Chagas Rother (UFSM, Bolsista PIBIC/INPE-CNPq/MCT)

E-mail: rother@lacesm.ufsm.br

Dr. Severino Luiz Guimarães Dutra (DGE/INPE-MCT, Orientador)

E-mail: dutra@dge.inpe.br

Dr. Nelson Jorge Schuch (CRS/CIE/INPE-MCT, Co-Orientador)

E-mail: njschuch@lacesm.ufsm.br

Santa Maria, Junho de 2007.



DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

Bolsista:

Fagner Chagas Rother
Acadêmico do Curso de Física Bacharelado
Laboratório de Magnetosferas, Interações Terra-Sol e Geomagnetismo –
LACESM/CT-UFSM
Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

Orientador:

Dr. Severino Luiz Guimarães Dutra
Divisão de Geofísica Espacial – DGE/CEA/INPE - MCT
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT

Co-Orientador:

Dr. Nelson Jorge Schuch
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CIE/INPE-MCT

Título do 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.

Local de execução do projeto:

- Laboratório de Física Solar, do Meio Interplanetário e Magnetosferas - CRS/CIE/INPE-MCT, em Santa Maria, RS.
- Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE-MCT, em São Martinho da Serra, RS.
- Trabalho desenvolvido no âmbito da parceria: INPE/MCT – UFSM através do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT/UFSM, em Santa Maria, RS.

Pesquisadores e Estudantes Colaboradores:

- Acadêmico Cássio Espindola Antunes – Curso de Engenharia Elétrica - UFSM
- Acadêmico Sandro Bertagnolli – Curso de Engenharia Elétrica - UFSM
- Acadêmico Josemar Siqueira – Curso de Física – UFSM



Participantes da Cooperação Brasil-Japão em Ciências Espaciais Básicas diretamente envolvidos no Projeto:

- Dr. Kiyohumi Yumoto – Kyushu University, Japão.
- Dr. Kazuo Makita – National Institute of Polar Research, Japão.



Estudante
Fagner Chagas Rother

Dados gerais

Indicadores de produção C, T & A

Dados gerais

Identificação do estudante

Nome: Fagner Chagas Rother

Nível de treinamento: Graduação

Currículo Lattes: 24/11/2006 20:11

E-mail: rother@lancesm.ufsm.br

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

Grupos de pesquisa que atua na instituição

[Clima Espacial, Magnetosferas: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br](#) - INPE

Linhas de pesquisa que atua

[MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO](#)

[MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL](#)

Orientadores participantes de grupos de pesquisa na instituição

[Severino Luiz Guimaraes Dutra](#)

Indicadores de produção C, T & A dos anos de 2001 a 2004

Tipo de produção	2001	2002	2003	2004
Produção bibliográfica	0	0	0	0
Produção técnica	0	0	0	0
Produção artística/cultural e demais trabalhos	0	0	0	0
Orientação concluída	0	0	0	0



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](#)
[Fagner Chagas Rother](#)
[Josemar de Siqueira](#)
[Marcelo dos Santos Zastawny](#)
[Sandro Fettermann Bertagnolli](#)

Árvore do conhecimento:

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

Setores de aplicação:

Produtos e serviços voltados para a defesa e proteção do meio ambiente, incluindo o desenvolvimento sustentado

Objetivo:

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



Linha de Pesquisa 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](#)
[Clezio Marcos De Nardin](#)
[Ezequiel Echer](#)
[Fernando Luís Guarnieri](#)
[Jean Pierre Raulin](#)
[Nalin Babulal Trivedi](#)
[Natanael Rodrigues Gomes](#)
[Nelson Jorge Schuch](#)
[Otavio Santos Cupertino Durão](#)
[Severino Luiz Guimaraes Dutra](#)
[Walter Demetrio Gonzalez Alarcon](#)

Estudantes:

[Carlos Roberto Braga](#)
[Cassio Espindola Antunes](#)
[Cleomar Pereira da Silva](#)
[Jean Carlos Daroit](#)
[Josemar de Siqueira](#)
[Lucas Lopes Costa](#)
[Marcelo dos Santos Zastawny](#)
[Marcos Vinicius Dias Silveira](#)
[Nikolas Kemmerich](#)
[Rafael Lopes Costa](#)
[Samuel Martins da Silva](#)
[Sandro Fettermann Bertagnolli](#)
[Silvano Lucas Prochnow](#)
[Tiago Jaskulski](#)

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-Líder: Ademar Michels



Agradecimentos

Aproveito este espaço para agradecer ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica do INPE/MCT do Dr. José Carlos Becceneri, coordenador da proposta PIBIC/INPE-CNPq-MCT pela oportunidade de poder me desenvolver técnica e cientificamente e também pelo apoio financeiro, ao Dr. Nelson Jorge Schuch, meu Co-Orientador e Mentor, pela oportunidade em poder interagir com este Centro – CRSPE/INPE-MCT e pelos conselhos que muito ajudaram na minha formação profissional e pessoal, ao Dr. Severino Luiz Guimarães Dutra meu Orientador de Projeto de Pesquisa pela paciência, dedicação e rapidez com que sempre respondeu minhas dúvidas e incansável em fazer deste um projeto de excelência, em especial, agradeço ao grande amigo Evandro L. Barreto pelo apoio e incentivo a mim creditado no decorrer das atividades de estudos e pesquisas, mostrando sempre o caminho correto a seguir tanto no âmbito pessoal quanto profissional, aos meus colegas de Laboratório, Cássio E. Antunes, Sandro Bertagnolli, Josemar Siquera pelo companheirismo e auxílio no desenvolvimento do Projeto e de atividades no Laboratório Magnetosferas Interação Terra-Sol/Geomagnetismo do CRESPE/INPE-MCT. Ainda, aos funcionários do CRSPE/INPE-MCT que de várias maneiras contribuíram para oferecer ótimas condições de trabalho, em especial a Professora Dra Damaris K. Pinheiro, Angelita e Maria Celia.

RESUMO

As pulsações geomagnéticas são flutuações do campo magnético terrestre com pequenas amplitudes e com períodos de décimos a centenas de segundos, na faixa ultrabaixa de frequências. As variações do campo magnético da Terra apresentam escalas temporais de curtos e longos períodos, desde frações de segundos até milhões de anos. As variações com períodos mais curtos têm origem nas regiões mais externas da magnetosfera e estão ligadas às interações complexas do vento solar com o campo geomagnético. Essas interações apresentam uma grande variabilidade devido ao ciclo de atividade solar, que tem periodicidades de 11 anos entre tempos de máxima atividade e de 22 anos entre épocas de mesma polaridade do campo magnético do Sol, aproximadamente. Já as variações de períodos longos têm origem no interior da Terra, onde o material líquido em contínuo movimento gera um campo magnético que, por não estar exatamente no centro geográfico da Terra e devido a inclinação do dipolo magnético equivalente, produz um campo irregular, criando anomalias na superfície. A Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS) é a área onde a mais baixa intensidade do campo magnético terrestre é observada. Como consequência direta deste fenômeno o cinturão de radiação que circunda o planeta, conhecido como cinturão de Van Allen, encontra-se ali rebaixado, recebendo a atmosfera local um maior bombardeamento de partículas. O objetivo desse projeto foi o estudo das características das pulsações geomagnéticas de períodos entre 100 a 1000 segundos e seu relacionamento com a precipitação de partículas energéticas carregadas eletricamente na região da AMAS, em épocas diferentes do ciclo solar. As observações geomagnéticas foram realizadas por um magnetômetro do tipo *fluxgate* (núcleo saturado) instalado na estação geomagnética do Observatório Espacial do Sul, do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, SMS (29°,43 S; 53°,82 W), RS, e foram analisadas e comparadas com as pulsações observadas em estações afastadas e fora da anomalia, com ênfase na estação geomagnética de Vassouras, VSS (22,40°S; 43,65W), RJ, do Observatório Nacional – ON/MCT, e na estação geomagnética de Eusébio, EUS (3,89°S; 38,44°O), CE. Utilizando-se uma filtragem digital – um filtro tipo passa-banda com a função de analisar somente as pulsações numa faixa de 180 a 900 segundos – foi possível detectar picos de variação das pulsações Pc5 e Pc6, a potência espectral associada e, também, observar a magnitude da diferença na variação da componente *H* comparando-se resultados da estação de coleta de dados OES/SMS, localizada próximo do centro da AMAS, com as outras estações.



ÍNDICE

1.0	Introdução.....	15
2.0	Campo Magnético Terrestre.....	17
2.1	Origem do Campo Geomagnético.....	18
2.1.1	Fontes de Energia para o Movimento de Flúidos no Núcleo.....	19
2.2	Variações do Campo Geomagnético.....	20
2.2.2	Variação Secular.....	21
2.2.3	Variação Diária.....	22
3.0	Magnetosfera Terrestre.....	23
3.1	Cinturão de Van Allen.....	25
3.2	Interação Terra-Sol.....	26
3.3	Atividade Geomagnética.....	28
3.3.1	Diagrama Musical de Bartels.....	29
4.0	Fenômenos Solares.....	31
4.1	Erupções ou <i>Flares</i>	33
4.2	Manchas Solares.....	33
4.3	Ciclo Solar.....	34
5.0	Pulsações Geomagnéticas.....	36
5.1	Pulsações Contínuas.....	37
5.2	Pulsações Irregulares.....	38
6.0	Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS.....	39
7.0	Instrumentação e Aquisição de Dados.....	42
7.1	Magnetômetro <i>Fluxgate</i> (Núcleo Saturado).....	43
7.2	Magnetômetro de Processão de Prótons.....	45
8.0	Aquisição de Dados.....	46
8.1	Análise dos Dados – Filtragem Digital.....	49
8.2	Análise de Fourier.....	49
8.2.1	Transformada Rápida de Fourier.....	50
8.3	Espectro de Potência.....	51
9.0	Tratamento dos Dados e Resultados.....	53
9.1	Os Dados e a Variação Diária.....	54



9.2 Eventos Geomagnéticos.....	55
9.2.1 Análise da Tempestade Magnética Ocorrida Entre 03 e 09 de Novembro de 2005.....	55
9.2.2 Filtragem de Dados.....	62
9.2.2.1 Filtragem de Dados – Magneticamente Calmos.....	63
9.2.2.2 Filtragem de Dados – Magneticamente Perturbados.....	65
9.3 Estudo da Variação da Intensidade do Campo Geomagnético para 2005.....	71
9.3.1 Análise da variação diária para 2005.....	72
9.3.2 Filtragem Digital da Componente H.....	78
9.3.3 Análise por Espectro de Potência.....	84
10.0 Conclusões.....	90
11.0 Bibliografia.....	92
ANEXOS	
Anexo 1 Programas em Linguagem MatLab.....	96
Anexo 2 Títulos de Trabalhos Apresentados e ou Submetidos em 2006.....	98

Lista de Figuras

Figura 1 - O Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE-MCT.....	16
Figura 2 - Acima da superfície da Terra, as linhas quase dipolares do campo são orientadas para fora do Hemisfério Sul e para dentro do Hemisfério Norte.....	18
Figura 3 - Origem do campo geomagnético.....	19
Figura 4 - Variação Geomagnética, Coordenadas geográficas em 1600.....	21
Figura 5 - Variação Geomagnética, Coordenadas geográficas em 1700.....	21
Figura 6 - Variação Geomagnética, Coordenadas geográficas em 1900.....	22
Figura 7 - Variação Geomagnética, Coordenadas geográficas em 2000.....	22
Figura 8 - Divisão da Ionosfera em suas respectivas camadas.....	23
Figura 9 - Estruturas da Magnetosfera Terrestre.....	24
Figura 10 - Trajetória das partículas no campo geomagnético.....	25
Figura 11 - Cinturões de radiação de Van Allen.....	26
Figura 12 - Interação Terra- sol.....	29
Figura 13 - Diagrama Musical de 1996.....	29
Figura 14 - Diagrama Musical de 2001.....	30
Figura 15 - Diagrama Musical de 2006.....	31
Figura 16 - Estruturas do sol.....	32
Figura 17 - Erupção Solar.....	33
Figura 18 - Manchas Solares.....	34
Figura 19 - Ciclo Solar.....	35
Figura 20 - Região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS. Intensidade total magnética para 2005.0 do Modelo Magnético Mundial 2005. Intervalo de contorno é 2000 nT. Projeção de Mercato.....	40
Figura 21 - Configurações dos perfis de mesma intensidade de campo.....	41
Figura 22 - Anomalia Geomagnética do Atlântico Sul: a posição de satélites onde ocorreu defeito na memória do computador.....	42
Figura 23 - Magnetômetro fluxgate para medida direcional do campo geomagnético.....	44
Figura 24 - Magnetômetro fluxgate instalado no OES/CRSPE/INPE-MCT.....	44
Figura 25 - Magnetômetro de precessão de prótons para medida do campo geomagnético total. A bobina ao redor da amostra é utilizada para alinhar os prótons e detectar o período de precessão dos mesmos.....	46
Figura 26 - Elementos do vetor magnético.....	47
Figura 27 - Componentes H, D e Z para a Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT, do dia 03 de Novembro de 2001, magneticamente calmo (antes da tempestade), com um índice $\Sigma Kp = 3$	56
Figura 28 - Componentes H, D e Z para o Observatório Magnético de Eusébio, EUS, do dia 03 de novembro de 2001 magneticamente calmo (antes da tempestade), com um índice $\Sigma Kp = 3$	56
Figura 29 – Componentes H, D e Z para a Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT, do dia 04 de novembro de 2001 magneticamente calmo, com um índice $\Sigma Kp = 10$	57
Figura 30 – Componentes H, D e Z para o Observatório Magnético de Eusébio, EUS, do dia 04 de novembro de 2001 , magneticamente calmo, com um índice $\Sigma Kp = 10+$	57
Figura 31 – Aumento abrupto durante a tempestade iniciada em 05 de novembro de 2001 ($\Sigma Kp = 22+$), para a Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.....	58
Figura 32 – Aumento abrupto da componente H durante a tempestade iniciada em 05 de novembro de 2001 ($\Sigma Kp = 22+$), para o Observatório Magnético de Eusébio, EUS.....	58
Figura 33 – comportamento das três componentes geomagnéticas H, D e Z para o dia 06 de novembro de 2001, para a Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT, do, com um índice $\Sigma Kp = 54$	59
Figura 34 – Comportamento das três componentes geomagnéticas H, D e Z para o dia 06 de novembro de 2001,, para o Observatório Magnético de Eusébio, EUS, com um índice $\Sigma Kp = 54$	59



Figura 35 – Comportamento das três componentes geomagnéticas H, D e Z para o dia 07 de novembro de 2001, para a Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT, do, com um índice $\Sigma Kp = 23+$ 60

Figura 36 – Comportamento das três componentes geomagnéticas H, D e Z para o dia 07 de novembro de 2001, para o Observatório Magnético de Eusébio, EUS, com um índice $\Sigma Kp = 23+$60

Figura 37 – Comportamento das três componentes geomagnéticas H, D e Z para o dia 09 de novembro de 2001, para a Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT, com um índice $\Sigma Kp = 10+$ 61

Figura 38 – Comportamento das três componentes geomagnéticas H, D e Z para o dia 09 de novembro de 2001, para o Observatório Magnético de Eusébio, EUS, com um índice $\Sigma Kp = 10+$61

Figura 39 – Análise espectral das componentes H e D e o comportamento da densidade de potência polarizada (PPD) e o grau de polarização (DEG) em 03 de novembro de 2001, na Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.....63

Figura 40 – Análise espectral das componentes H e D e o comportamento da densidade de potência polarizada (PPD) e o grau de polarização (DEG) em 03 de novembro de 2001, na Estação EUS.....63

Figura 41 – Análise espectral das componentes H e D e o comportamento da densidade de potência polarizada (PPD) e o grau de polarização (DEG) em 04 de novembro de 2001, na Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.....64

Figura 42 – Análise espectral das componentes H e D e o comportamento da densidade de potência polarizada (PPD) e o grau de polarização (DEG) em 04 de novembro de 2001, na Estação EUS.....65

Figura 43 – Análise espectral das componentes H e D e o comportamento da densidade de potência polarizada (PPD) e o grau de polarização (DEG) em 05 de novembro de 2001, na Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.....67

Figura 44 – Análise espectral das componentes H e D e o comportamento da densidade de potência polarizada (PPD) e o grau de polarização (DEG) em 05 de novembro de 2001, na Estação EUS.....67

Figura 45 – Análise espectral das componentes H e D e o comportamento da densidade de potência polarizada (PPD) e o grau de polarização (DEG) em 06 de novembro de 2001, na Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.....68

Figura 46 – Análise espectral das componentes H e D e o comportamento da densidade de potência polarizada (PPD) e o grau de polarização (DEG) em 06 de novembro de 2001, na Estação EUS.....68

Figura 47 – Análise espectral das componentes H e D e o comportamento da densidade de potência polarizada (PPD) e o grau de polarização (DEG) em 07 de novembro de 2001, na Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.....69

Figura 48 – Análise espectral das componentes H e D e o comportamento da densidade de potência polarizada (PPD) e o grau de polarização (DEG) em 07 de novembro de 2001, na Estação EUS.....69

Figura 49 – Análise espectral das componentes H e D e o comportamento da densidade de potência polarizada (PPD) e o grau de polarização (DEG) em 09 de novembro de 2001, na Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.....70

Figura 50 – Análise espectral das componentes H e D e o comportamento da densidade de potência polarizada (PPD) e o grau de polarização (DEG) em 09 de novembro de 2001, na Estação EUS.....70

Figura 51: Índice Dst para o mês de janeiro de 2005. [WDC FOR GEOMAGNETISM, KYOTO UNIVERSITY. HOURLY EQUATORIAL DST VALUES(PROVISIONAL).. Unit=nT, Time=number of the hour in UT day.]72

Figura 52; Componente magnética H para a Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT, para o dia 09 de janeiro de 2005, dia magneticamente calmo, índice Dst máximo no dia: - 39 nT e ΣKp : 7+.....73

Figura 53; Componente magnética H para o Observatório Magnético de Vassouras, VSS, para o dia 09 de janeiro de 2005, dia magneticamente calmo, índice Dst máximo no dia: - 39 nT e ΣKp : 7+.....73

Figura 54; Componente magnética H para a Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT, para o dia 10 de janeiro de 2005, dia magneticamente calmo, índice Dst máximo no dia: - 33 nT e ΣKp : 12+.....74

Figura 55; Componente magnética H para o Observatório Magnético de Vassouras, VSS para o dia 10 de janeiro de 2005, dia magneticamente calmo, índice Dst máximo no dia: - 33 nT e ΣKp : 12+.....74

Figura 56; Componente magnética H para a Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT, para o dia 17 de janeiro de 2005, dia magneticamente perturbado, índice Dst máximo no dia: - 70 nT e ΣKp : 42+.....75

Figura 57; Componente magnética H para o Observatório Magnético de Vassouras, VSS, para o dia 17 de janeiro de 2005, dia magneticamente perturbado, índice Dst máximo no dia: - 70 nT e ΣKp : 42+.....	75
Figura 58; Componente magnética H para a Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT, para o dia 18 de janeiro de 2005, dia magneticamente perturbado, índice Dst máximo no dia: - 121 nT e ΣKp : 47+.....	76
Figura 59; Componente magnética H para o Observatório Magnético de Vassouras, VSS, para o dia 18 de janeiro de 2005, dia magneticamente perturbado, índice Dst máximo no dia: - 121 nT e ΣKp : 47+.....	76
Figura 60; Componente magnética H para a Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT, para o dia 26 de janeiro de 2005, dia magneticamente calmo, índice Dst máximo no dia: - 24 nT e ΣKp : 4+.....	77
Figura 61; Componente magnética H para o Observatório Magnético de Vassouras, VSS, para o dia 26 de janeiro de 2005, dia magneticamente calmo, índice Dst máximo no dia: - 24 nT e ΣKp : 4+.....	77
Figura 62; Filtragem digital, da componente H em função do tempo (UT), onde se realçam as micropulsações geomagnéticas na faixa de 180-900s, para o dia 09 de janeiro de 2005, dia magneticamente calmo, na Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.....	79
Figura 63; Filtragem digital, da componente H em função do tempo (UT), onde se realçam as micropulsações geomagnéticas na faixa de 180-900s, para o dia 09 de janeiro de 2005, dia magneticamente calmo, no Observatório Magnético de Vassouras, VSS.....	79
Figura 64; Filtragem digital, da componente H em função do tempo (UT), onde se realçam as micropulsações geomagnéticas na faixa de 180-900s, para o dia 10 de janeiro de 2005, dia magneticamente calmo, na Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.....	80
Figura 65; Filtragem digital, da componente H em função do tempo (UT), onde se realçam as micropulsações geomagnéticas na faixa de 180-900s, para o dia 10 de janeiro de 2005, no Observatório Magnético de Vassouras, VSS.....	80
Figura 66; Filtragem digital, da componente H em função do tempo (UT), onde se realçam as micropulsações geomagnéticas na faixa de 180-900s, para o dia 17 de janeiro de 2005, dia magneticamente perturbado, na Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.....	81
Figura 67; Filtragem digital, da componente H em função do tempo (UT), onde se realçam as micropulsações geomagnéticas na faixa de 180-900s, para o dia 17 de janeiro de 2005, no Observatório Magnético de Vassouras, VSS.....	81
Figura 68; Filtragem digital, da componente H em função do tempo (UT), onde se realçam as micropulsações geomagnéticas na faixa de 180-900s, para o dia 18 de janeiro de 2005, na Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.....	82
Figura 69; Filtragem digital, da componente H em função do tempo (UT), onde se realçam as micropulsações geomagnéticas na faixa de 180-900s, para o dia 18 de janeiro de 2005, no Observatório Magnético de Vassouras, VSS.....	82
Figura 70; Filtragem digital, da componente H em função do tempo (UT), onde se realçam as micropulsações geomagnéticas na faixa de 180-900s, para o dia 26 de janeiro de 2005, dia magneticamente calmo, na Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.....	83
Figura 71; Filtragem digital, da componente H em função do tempo (UT), onde se realçam as micropulsações geomagnéticas na faixa de 180-900s, para o dia 26 de janeiro de 2005, dia magneticamente calmo, no Observatório Magnético de Vassouras, VSS.....	83
Figura 72; Espectro de potência do sinal filtrado para o dia 09 de janeiro de 2005, dia magneticamente calmo, na Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.....	85
Figura 73; Espectro de potência da do sinal filtrado para o dia 09 de janeiro de 2005, dia magneticamente calmo, do Observatório Magnético de Vassouras, VSS.....	86
Figura 74; Espectro de potência do sinal filtrado para o dia 10 de janeiro de 2005, dia magneticamente calmo, na Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.	86



Figura 75; Espectro de potência do sinal filtrado para o dia 10 de janeiro de 2005, dia magneticamente calmo, do Observatório Magnético de Vassouras, VSS.....87

Figura 76; Espectro de potência do sinal filtrado para o dia 17 de janeiro de 2005, dia magneticamente perturbado, na Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.....87

Figura 77; Espectro de potência do sinal filtrado para o dia 17 de janeiro de 2005, dia magneticamente perturbado, do Observatório Magnético de Vassouras, VSS.....88

Figura 78; Espectro de potência do sinal filtrado para o dia 18 de janeiro de 2005, dia magneticamente perturbado, na Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.....88

Figura 79; Espectro de potência do sinal filtrado para o dia 18 de janeiro de 2005, dia magneticamente perturbado, do Observatório Geomagnético de Vassouras, VSS.....89

Figura 80; Espectro de potência do sinal filtrado para o dia 26 de janeiro de 2005, dia magneticamente calmo, na Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.....89

Figura 81; Espectro de potência do sinal filtrado para o dia 26 de janeiro de 2005, dia magneticamente calmo do Observatório Magnético de Vassouras, VSS.....90

1.0 Introdução

Dentro do Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT as atividades do Programa de Iniciação Científica, ao qual está vinculado este Projeto, foram desenvolvidas atividades de pesquisas segundo a definição e planejamento no âmbito do Projeto “*Variação com ciclo solar das Pulsações Geomagnéticas de Períodos Longos (1.0 – 10 milihertz) na Região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul*”. O objetivo desse Projeto foi dar prosseguimento ao estudo das características das pulsções geomagnéticas de períodos longos, entre 100 a 1000 segundos, e seu relacionamento com a precipitação de partículas energéticas carregadas eletricamente nessa região.

O plano de trabalho do bolsista Fagner Chagas Rother consistiu em participar das atividades técnico-científicas e da operação da Estação Geomagnética do Observatório Espacial do Sul, do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais em São Martinho da Serra – OES/CRS/CIE/INPE-MCT – Estação Geomagnética que passou a ser identificada como SMS (29°,43 S, 53°,82 W), RS, detectar as pulsções geomagnéticas e comparar as características dessas pulsções com pulsções observadas nas estações afastadas e fora da região da Anomalia. Paralelamente foi realizada uma revisão teórica com literatura específica da área do Geomagnetismo.

O estudo das variações Geomagnéticas pode revelar importantes informações sobre os processos físicos ocorridos na Magnetosfera, pela interação Terra/Sol, bem como eventos ocorridos na Ionosfera que podem, por exemplo, causar interferência nos enlaces de radiocomunicações.

O movimento de fluídos ionizados pelas altas temperaturas no núcleo da Terra, provocam correntes elétricas que induzem um campo magnético dando origem ao chamado Campo Magnético da Terra. Se não fosse a influência de fontes secundárias fora da Terra, que distorcem e causam perturbações no campo, poderia ser dito como um campo dipolar. Com uma grande faixa de variação temporal do campo magnético terrestre, 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 tempestades geomagnéticas, variações diurnas S_q e micropulsções 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 B (ou F), numa escala global, se encontra numa região situada principalmente no sul do equador, que compreende partes do oceano Atlântico e do território brasileiro, e vai desde o estado de São Paulo ao sul do Rio Grande do Sul. Como consequência direta desse fenômeno – denominado *Anomalia Magnética Brasileira* (AMB) ou *Anomalia Magnética do Atlântico Sul* (AMAS) – o cinturão de radiação que circunda o planeta, conhecido como cinturão de Van Allen, encontra-se ali rebaixado, recebendo a atmosfera local um maior bombardeamento de partículas oriundas do espaço exterior. Neste local há uma precipitação de raios cósmicos e de partículas do vento solar ocasionando perturbações na ionosfera e no campo geomagnético, além de rádio-interferência. Esta particularidade, descoberta no início da era dos satélites nos anos 50, faz da região um singular laboratório natural de pesquisa sobre Física de Plasmas e da Radiação, Geofísica Espacial, Geomagnetismo e Aeronomia. Destacam-se nesse contexto os estudos dos processos relacionados com a origem das partículas incidentes, as variações em sua intensidade e os efeitos que produzem na atmosfera local.

Devido ao fato de que a análise dos dados de satélites para baixas latitudes requer sofisticadas técnicas de processamento, grande parte das análises são feitas com magnetômetros instalados em estações no solo. As pesquisas nessa área têm como objetivos coletar e analisar os dados coletados a partir de um magnetômetro instalado no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE – MCT e estudar essas pulsações geomagnéticas, e fazer uma comparação com as informações e dados obtidos em outras estações geomagnéticas.



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

2.0 Campo Magnético Terrestre

A existência do campo magnético da Terra é conhecida desde 1600, quando o médico e cientista inglês William Gilbert propôs no seu livro *De Magnete Magneticisque Corporibus, et de Magno Magnete Tellure (Sobre os ímãs, os corpos magnéticos e o grande ímã terrestre)*, nele são descritas diversas das suas experiências com o seu modelo da Terra chamado "terrella". Das experiências, ele conclui que a Terra era magnética e esse era o motivo pelo qual as bússolas apontam para o norte, contudo o campo geomagnético já era utilizado para orientação desde o tempo dos chineses e foi utilizado na época do descobrimento.

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 “pólo magnético norte”, e um “pólo 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 *inclinação* é o ângulo dessas linhas de força com o plano que é tangente à Terra no ponto de observação, uma inclinação de 90° corresponde ao pólo magnético norte, da mesma maneira que uma inclinação de -90° corresponde ao pólo magnético sul. O equador magnético é constituído pelo conjunto de pontos de inclinação nula.

A teoria física matemática capaz de descrever e justificar o campo magnético da Terra 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 origem fundamental a Terra foi obtida por Gauss em 1838. Já nessa altura se tinha concluído que o campo magnético Terrestre manifestava uma certa *variação secular*, e de que as variações rápidas tinham correlação com fenômenos atmosféricos como as auroras boreais.

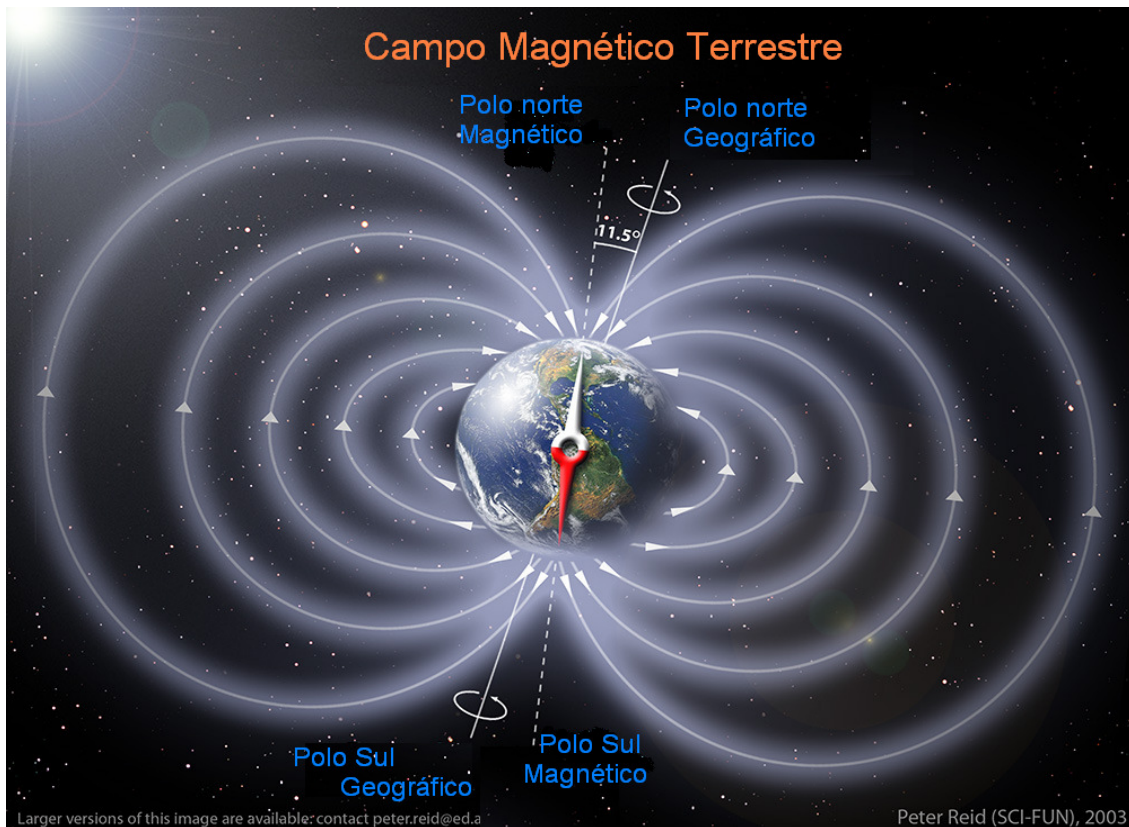


Figura 2 – Acima da superfície da Terra, as linhas quase dipolares do campo são orientadas para fora do Hemisfério Sul e para dentro do Hemisfério Norte. Fonte adaptada: <http://www.scifun.ed.ac.uk/card/images/left/earth-magfield.jpg>

Pela figura 2, nota-se bem que o campo geomagnético pode ser considerado como aproximadamente dipolar, o eixo magnético não coincide em regra com o eixo geográfico, os pólos magnéticos afastam-se sensivelmente dos pólos geográficos.

2.1 Origem do Campo Geomagnético

Se por um lado, o campo geomagnético e suas variações fornecem importantes informações sobre o interior da Terra, é também 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".

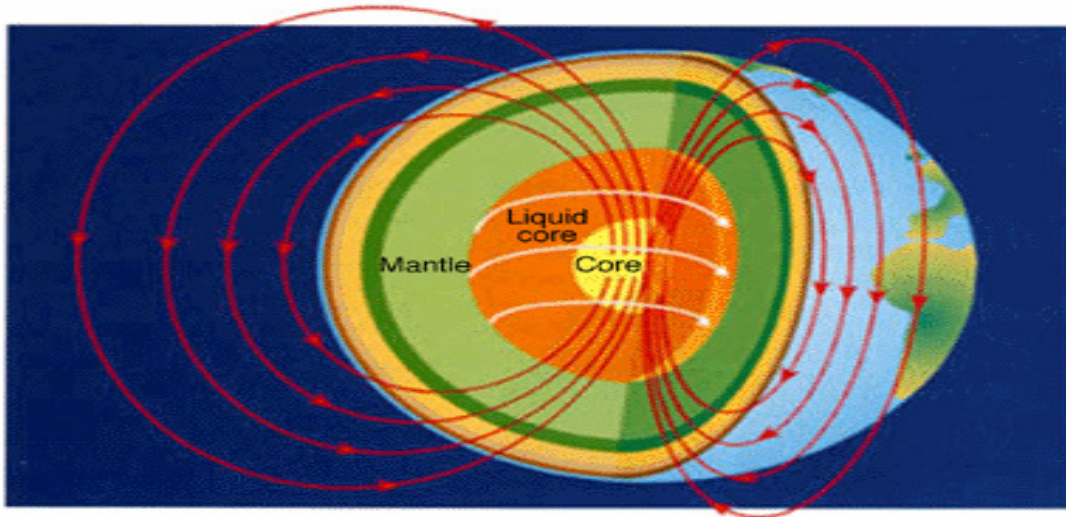


Figura 3. Origem do campo geomagnético <http://www.glossary.oilfield.slb.com/files/OGL98116.gif>

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 periodo 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 10^{21} 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 10^{11} watt seriam liberados com a solidificação, com calor

latente = $4 \cdot 10^5$ J/kg portanto 25 m^3 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.

- (I) Decréscimo da intensidade do campo geomagnético;
- (II) Deriva para oeste do campo não dipolar;
- (III) Deriva em direção ao norte do dipolo axial;
- (IV) Alteração de forma das feições do campo geomagnético sem ocorrer deriva;
- (V) Movimentos (bamboleio) dos pólos geomagnéticos ao redor do eixo de rotação;
- (VI) As periodicidades da variação secular vão desde décadas a milênios e corresponde a uma flutuação contínua da ordem de 20% na magnitude e direção do campo principal (1 ciclo = ~1800 anos).

1600 D.C

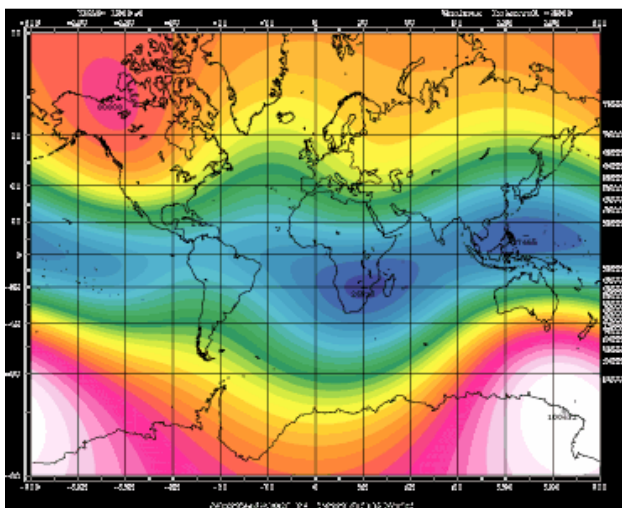


Figura 4. Variação Geomagnética, Coordenadas geográficas em 1600. <http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/igrf/anime/index.html>

1700 D.C

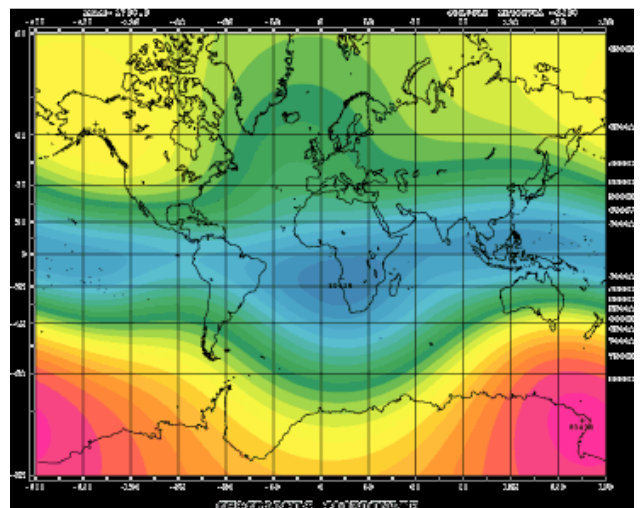


Figura 5. Variação Geomagnética, Coordenadas geográficas em 1700. <http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/igrf/anime/index.html>

1900 D.C

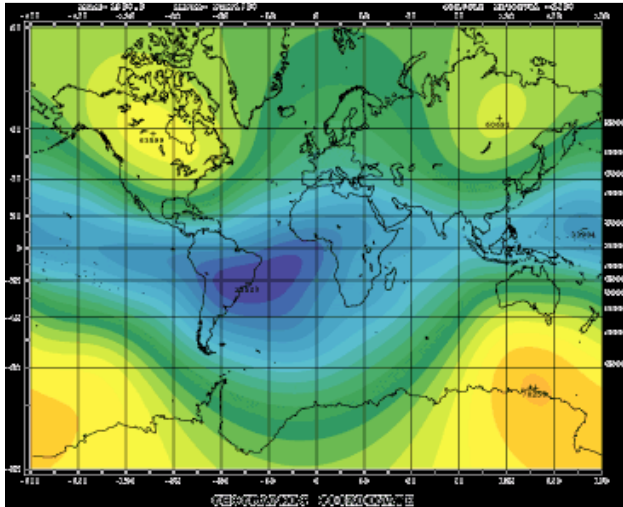


Figura 6. Variação Geomagnética, Coordenadas geográficas em 1900. <http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/igrf/anim/index.html>

2000 D.C

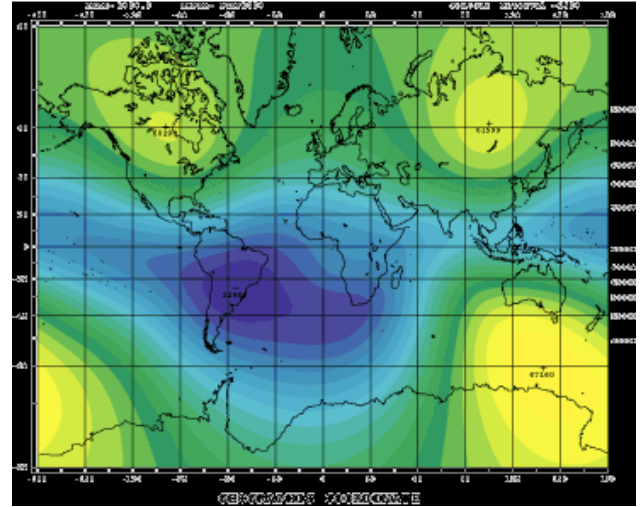


Figura 7. Variação Geomagnética, Coordenadas geográficas em 2000. <http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/igrf/anim/index.html>

2.2.2 Variações Diárias

A variação geomagnética diurna é causada por sistemas de correntes elétricas, que se originam devido ao movimento das camadas atmosféricas ionizadas através das linhas do campo magnético Terrestre devido principalmente à atração gravitacional do Sol. Esses sistemas de corrente circulam na região E da Ionosfera (região da atmosfera, de aproximadamente 60 a 1000 km de altitude, em que a densidade de íons é alta o suficiente para afetar transmissões de ondas eletromagnéticas em rádio frequência) ilustrada na Figura 2.10, tendo dois vórtices localizados nas proximidades das latitudes 30°N e 30°S e são fixos no espaço em relação ao Sol, enquanto a Terra gira embaixo deles.

A variação diurna é função da época do ano, da atividade solar e da latitude geomagnética.

Com base no índice de atividade magnética K, podemos classificar os dias, de acordo com a atividade magnética, em calmos, perturbados e normais. A variação do campo magnético sobre dias magneticamente calmos é chamada variação Sq (do inglês, *Solar quiet*). Correspondentemente, para dias perturbados, a variação é chamada SD (*Solar Disturbed*). A variação que ocorre durante uma tempestade magnética é chamada Dst (*Storm Time Disturbance*).

Hibberd (1981) mostrou que para variações da componente horizontal H a maior parte dos efeitos de perturbações, que contaminam gravações em estações únicas, podem ser removidos pelo uso da diferença ΔH dos valores de H em duas estações tendo a mesma longitude, mas diferentes latitudes. Perturbações devido a correntes magnetosféricas distantes são muito parecidas nas duas estações e acabam cancelando-se, mas os efeitos devido a correntes ionosféricas continuam presentes. A diferença ΔH será denotada por S_R (ΔH), ou simplesmente S_R . Os distúrbios magnéticos resultam da entrada de grandes quantidades de plasma solar na magnetosfera, por ocasião de tempestades magnéticas.

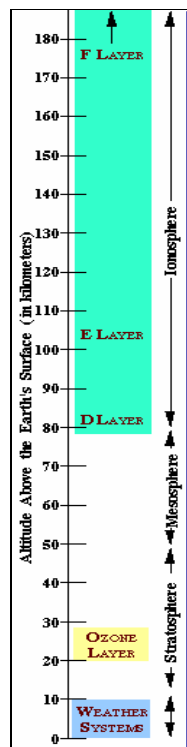


Figura 8 Divisão da Ionosfera em suas respectivas camadas. Fonte: <http://www.sel.noaa.gov/>

3.0 Magnetosfera Terrestre

Medições feitas com satélites artificiais e foguetes indicam que, a grandes distâncias da Terra, próximo à fronteira externa da magnetosfera (mais de 70.000

Km de altura), as linhas de campo magnético Terrestre afastam-se daquelas previstas pelo modelo do dipolo. Tal afastamento apresenta-se na forma de uma variação diurna conforme vista de um ponto sobre a Terra girante, porém apresenta-se constante conforme visto por um observador inercial no sol.

A magnetosfera e seu entorno podem ser segmentados em regiões com características físicas próprias. Antes dela, em direção ao Sol, devido à incidência do plasma solar que tem uma grande velocidade, há uma frente de choque, região que se traduz por uma descontinuidade nos parâmetros físicos do meio, e uma bainha magnética, em que o plasma e o campo magnético do vento solar tem seus valores significativamente alterados. Têm-se então (a) a magnetopausa, que é a região fronteira externa da magnetosfera, sustentando correntes elétricas para assegurar a descontinuidade entre o meio físico solar e o meio físico terrestre; (b) a magnetosfera externa, constituída de plasmas solar e terrestre, com a parte frontal em direção ao Sol, e a cauda magnetosférica, um prolongamento da atmosfera magnetizada em direção oposta ao Sol. Ainda interior a essa região, em direção a superfície, existe a plasmasfera, região em que o plasma terrestre mais denso co-rotaciona com o planeta, e a Ionosfera, região fortemente ionizada.

A magnetosfera é responsável pela ocorrência das auroras polares, conhecidas por auroras boreais e auroras austrais.

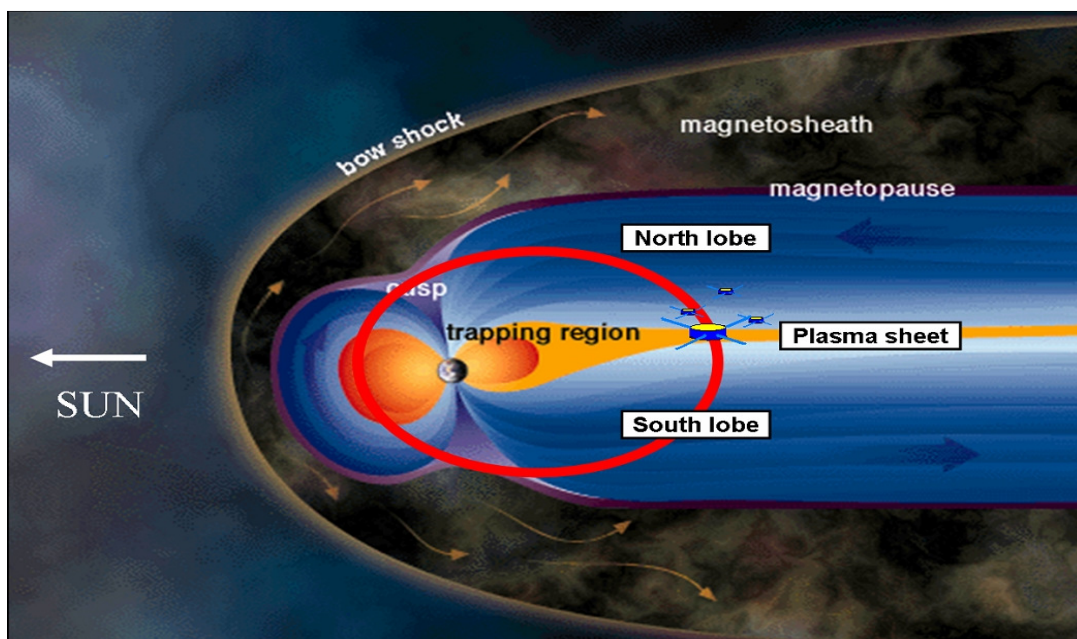


Figura 9 :Estruturas da Magnetosfera Terrestre
sci.esa.int/.../img/72/EarthMagnetosphere.jpg

3.1 Cinturão de Van Allen

As linhas do campo geomagnético são curvas, e nas extremidades estão mais próximas à superfície da Terra. As partículas eletricamente carregadas nestas extremidades das linhas geomagnéticas (pontos de reflexão ou “mirror points”) são refletidas de volta à região equatorial e portanto o movimento giratório oscila entre os hemisférios norte e sul. Simultaneamente, o movimento helicoidal de giro sofre um deslocamento em longitude, elétrons para leste e íons para oeste, dando origem a uma corrente elétrica em grande escala, a corrente de anel ou “ring current”. O movimento das partículas assim descrito é possível devido à praticamente uma ausência de colisões, e é no sentido descrito acima que se costuma dizer que a magnetosfera é a região em que o campo magnético domina o movimento das partículas. Entre estas, as que giram em torno das linhas de campo magnético fechadas, são chamadas de partículas aprisionadas ou “trapped particles” cujas características dependem das condições geomagnéticas (Figura 10).

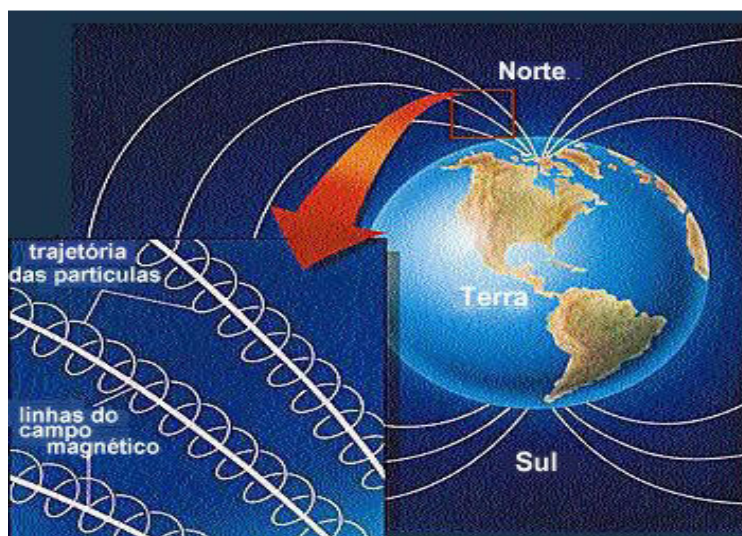


Figura 10 Trajetória das partículas no campo geomagnético.
Fonte: www.achetudoeregiao.com.br/.../particulas.jp

Em 1958 descobriram-se imensas regiões de radiação dentro da magnetosfera. Essas regiões, conhecidas como *cinturão de radiação de Van Allen* (Figura 11) devido ao seu descobridor, contêm prótons e elétrons energéticos presos pelo campo magnético da Terra. Quando esses intensos cinturões de radiação foram descobertos, os cientistas ficaram apreensivos quanto às serias ameaças que

poderiam oferecer as viagens espaciais. Estas cinturões contem prótons e elétrons de alta energia entre 1-100 Mev, que penetram facilmente numa nave espacial e podem causar a uma exploração prolongada, danos aos instrumentos e perigo para os astronautas. Tanto as missões tripuladas como as não tripuladas evitam essa região.

O cinturão de Van Allen é composto de duas faixas, das quais a interior se situa entre 2200 e 5000 quilômetros, e a exterior entre 13000 e 55000 quilômetros da superfície da Terra.

Cinturão Interior: Este é constituído principalmente de prótons de alta energia devido ao choque das partículas de raios Cósmitica.

Cinturão Exterior: Formado principalmente por elétrons de alta energia, provenientes de raios Cósmiticos e por processos de aceleração Mgnetosféricos.

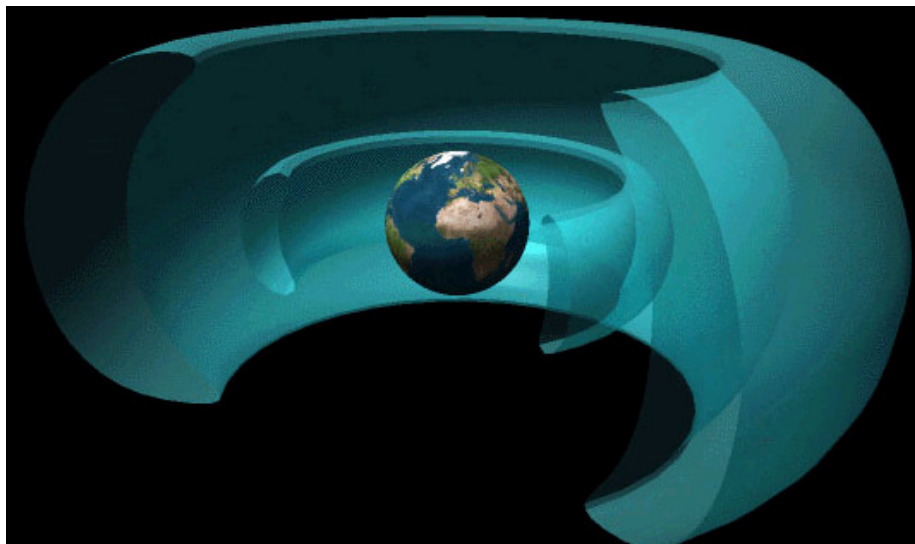


Figura 11: Cinturões de radiação de Van Allen

Fonte:http://www.windows.ucar.edu/tour/link=/glossary/radiation_belts.html&edu=high

3.2 Interação Terra-Sol

O Sol, estrela fornecedora de energia ao nosso planeta, emite permanentemente um plasma, o vento solar, e apresenta freqüentemente erupções solares causadas pela sua própria dinâmica. Essas erupções liberam plasma, espalhando-se pelo espaço cósmico e compondo-se com o vento solar que viaja a velocidades supersônicas. As partículas do vento solar interagem com o campo

magnético terrestre e na região da magnetosfera a ação deste campo é forte o suficiente para manter essas partículas sob seu controle.

Os distúrbios magnéticos resultam da entrada de grandes quantidades de plasma solar na Magnetosfera (figura 12), por ocasião de tempestades magnéticas. Ao deparar-se com o campo geomagnético o vento solar achata esse campo na parte que esta diretamente exposta ao sol e expande na parte anti-solar.

Como a deformação do campo geomagnético, depende da quantidade de plasma ejetado pelo Sol, quando há grandes erupções solares ocorrem as tempestades magnéticas que são detectadas primeiramente por plataformas geoestacionárias e depois pelos magnetômetros espalhados por diversos pontos no globo.

As tempestades magnéticas 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 magnético experimenta fortes perturbações. Uma tempestade magnética típica pode ser dividida em uma fase inicial, com duração de quatro horas, uma fase principal, com varias horas de duração, e uma fase de recuperação, com duração de algumas horas e alguns dias, dependendo da intensidade da tempestade.

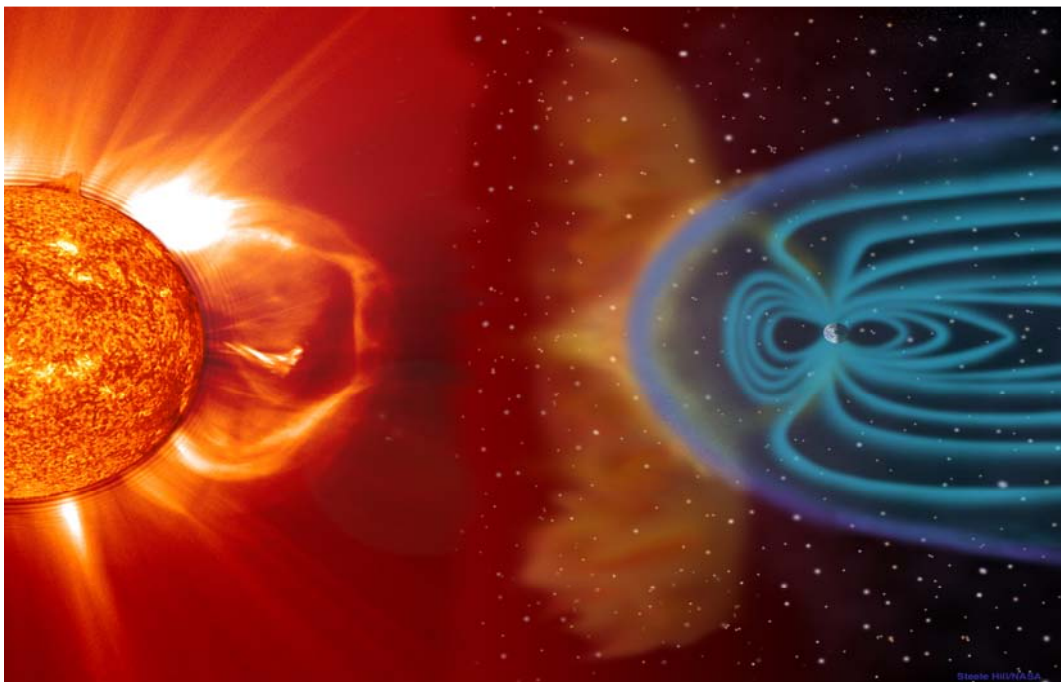


Figura 12: Interação Terra- sol.

Fonte://usrlazio.artov.rm.cnr.it/eclisse2006/Interventi_file/lezione1_file/slide0017_image096.jpg

As sub-tempestades magnéticas são associadas às correntes do campo alinhadas, fluindo dentro e fora da região auroral. Elas são menos intensas, porém mais frequentes e duram apenas algumas horas e são desencadeadas quando o balanço dinâmico de energia da magnetosfera torna-se instável. A frequência das tempestades e sub-tempestades está relacionada ao ciclo solar de 11 anos.

3.3 Atividade Geomagnética

A variação mais evidente é aquela correspondente a um período de 24 horas, chamada de variação diurna solar e indicada pela letra S. A média das variações dos 5 dias mais calmos de cada mês é chamada de campo solar calmo para aquele mês, indicado por Sq. Analogamente, a média dos 5 dias mais perturbados define o campo Sd. Costuma-se calcular as médias anuais, correspondentes portanto a médias de 60 valores. A intensidade do campo durante um dia calmo varia de cerca de 30nT e a declinação pode variar de cerca de 5'. Os valores de Sq e Sd dependem da hora e da latitude.

Mês	Classificação dos Dias														
	Dias Quietos (Sq)										Dias Perturbados (Sd)				
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	D1	D2	D3	D4	D5
May 2006	16	1	27	29	9	15	26	3	2	25	6	7*	11*	12*	18*
Jun 2006	26	4	23	21	13	24	5	19	20	12	6	7	15	8*	28*
Jul 2006	21	2	18	19	8	20	3	16	17	23	28	5*	31*	14*	12*
Aug 2006	13	25	4	16	14	26	6	15	5	24	19	7	20	22	27*
Sep 2006	15	22	9	21	16	28	27	8	20	29	18	24	4	1*	17*
Oct 2006	10	19	26	6	11	17	23	5	18	4	13	14	1	29	21
Nov 2006	7	8	20	21	18	13	6	19	5	14K	10	30	11	24*	25*
Dec 2006	4	31	27	2	29	30	28	3	5	26	15	14	12	6	7
Jan 2007	13	7	24	25	26	22	8	23	9	14	29	17	30	2	3
Feb 2007	21	20	4	24	22	23	11	19	3	25	28	13	14*	15*	7*
Mar 2007	20	21	3	19	9	29	22	18	31	4	13	24*	6*	7*	14*
Apr 2007	16	13	21	20	8	5	6	7	24	11	1	28	2	29	27

3.3.1 Diagrama Musical de Bartels

Em 1940, *Julius Bartels* publicou *Geomagnetism*, um trabalho que até hoje é usado como padrão de geofísica. Em muitas de suas publicações, *Bartels* desenvolveu e aperfeiçoou métodos estatísticos, para serem usados de uma forma rápida e fácil. Um desses modelos é o Diagrama Musical de Bartels, onde pode-se observar rapidamente quais são os dias mais calmos e perturbados de um referido mês. Vejamos a seguir os diagramas musicais para os anos de 1996 (mínimo solar) e 2000 (máximo solar) e em 2006 (próximo ao mínimo solar).

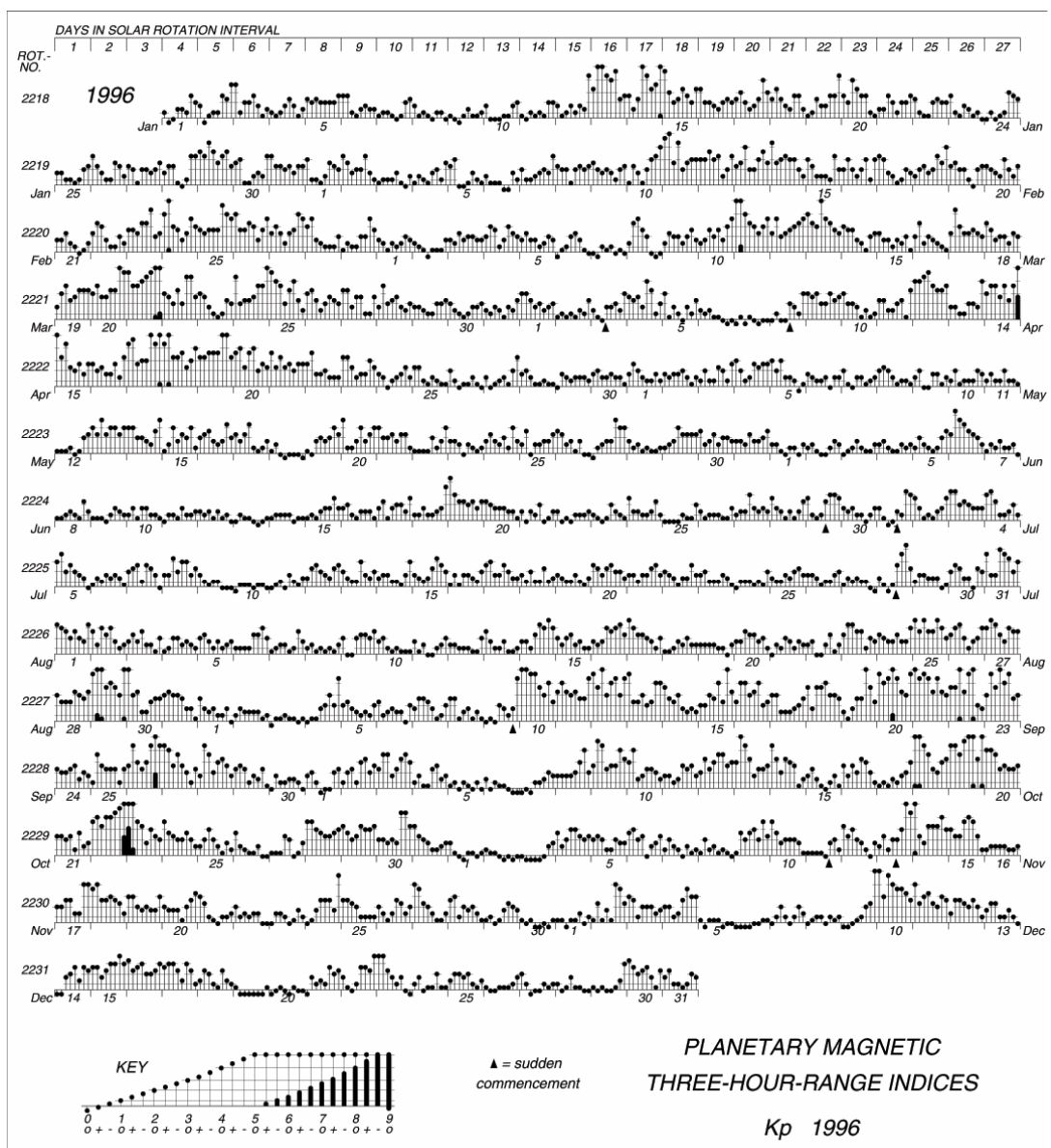


Figura 13 Diagrama Musical de 1996. Fonte: <http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/kp/figs/kp1996.gif>

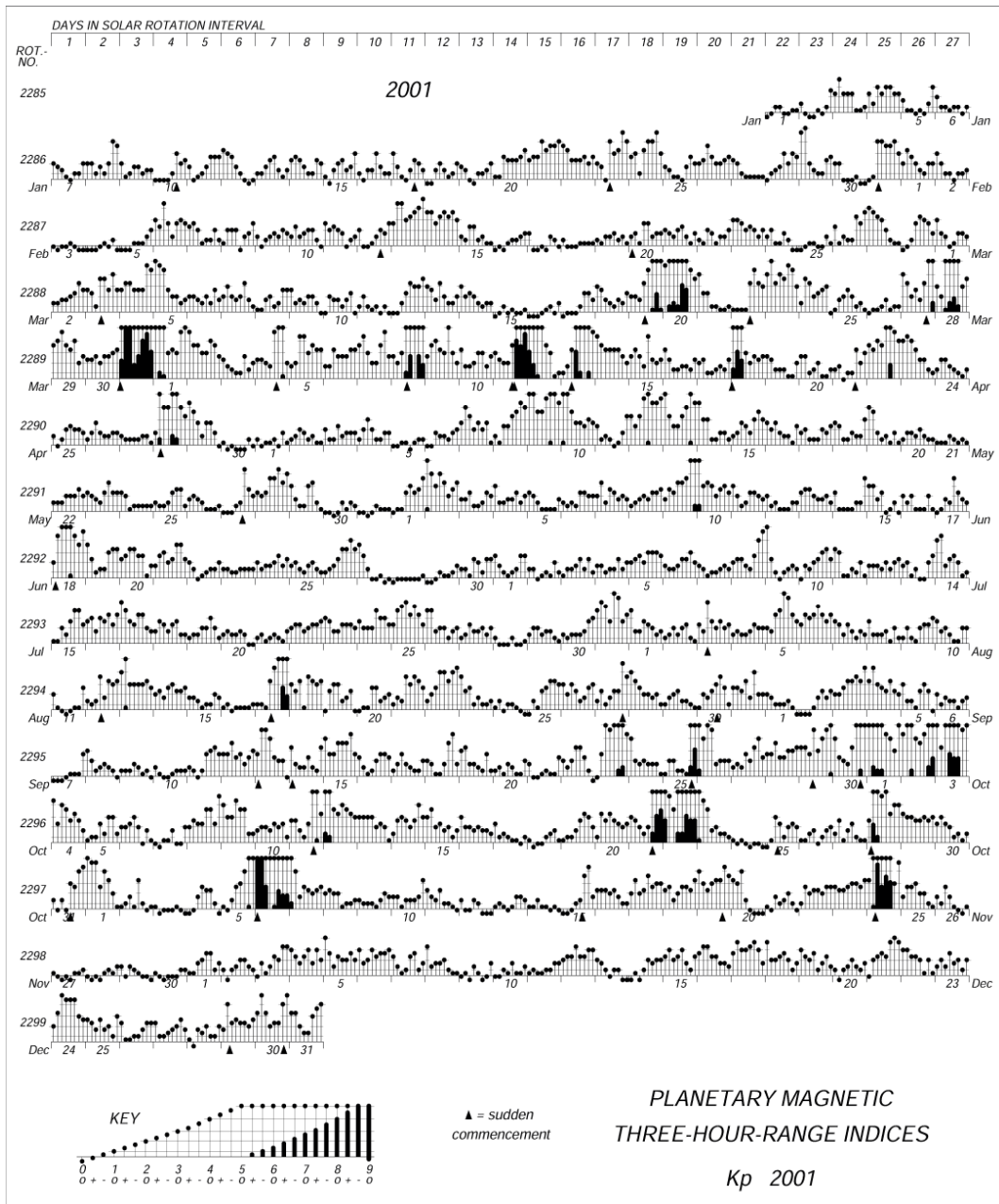


Figura 14: Diagrama Musical de 2001. Fonte: <http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/kp/figs/kp2001.gif>

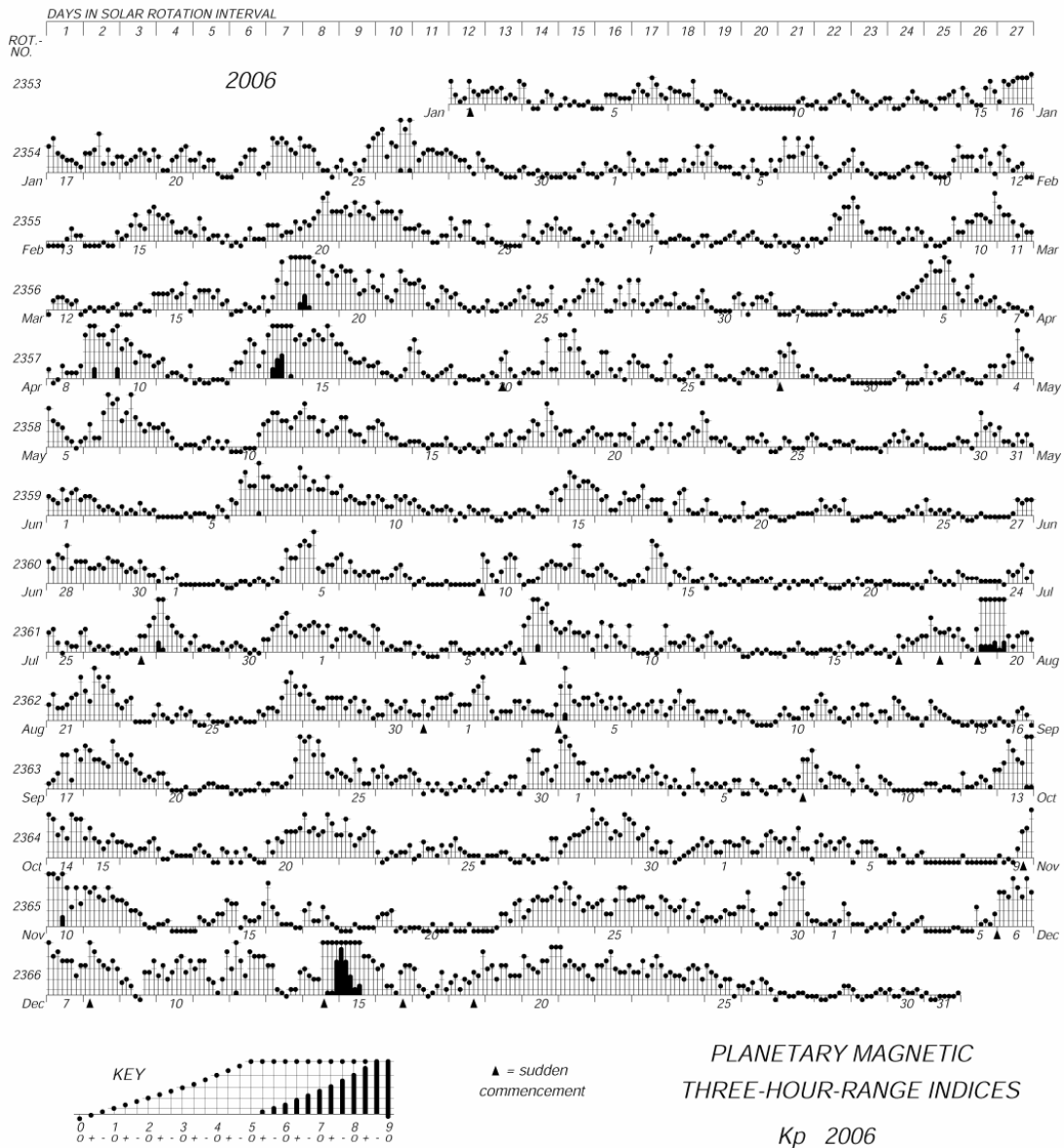


Figura 15. Diagrama Musical de 2006. Fonte: <http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/kp/figs/kp2006.gif>

4.0 Fenômenos Solares

O Sol pode ser dividido em interior solar e atmosfera solar (Figura 16). O interior é constituído de Núcleo, Zona Radiativa e Zona Convectiva. A parte externa é composta por: Fotosfera, Cromosfera e Coroa.

O interior solar possui um núcleo radiativo e um envelope convectivo que pode chegar até a superfície. A energia emitida pelo Sol se origina de reações

nucleares que ocorrem no seu centro e demora 10^7 anos para ser transportada pela Zona Radiativa e em seguida pela Zona Convectiva até atingir a superfície, onde a temperatura é de aproximadamente 5.800 K. O interior solar é formado pelo Núcleo, que se estende até 0,25 raios solares, onde a energia é gerada através de reação de fusão nuclear, apresentando uma temperatura, T, da ordem de $1,5 \times 10^7$ K e densidade $\rho \sim 1,6 \times 10^5 \text{ m}^{-3}$; pela Zona Radiativa, se estendendo no intervalo de 0,25 a 0,75 raios solares, onde a energia gerada no núcleo é dissipada através do processo de difusão radiativa, tendo uma temperatura da ordem de 8×10^6 K e pela Zona de Convecção, estendendo-se no intervalo de 0,75 a 1 raio solar, com temperatura no intervalo de 5×10^5 a 6600 K e onde a energia é dissipada sob a forma de convecção.

A luz emitida pelo Sol se origina na atmosfera solar, que consiste em três diferentes camadas: fotosfera, cromosfera e coroa. A fotosfera contribui com a maior quantidade de luz recebida na Terra e também é a região em que ocorrem as erupções solares “flares” e as proeminências.

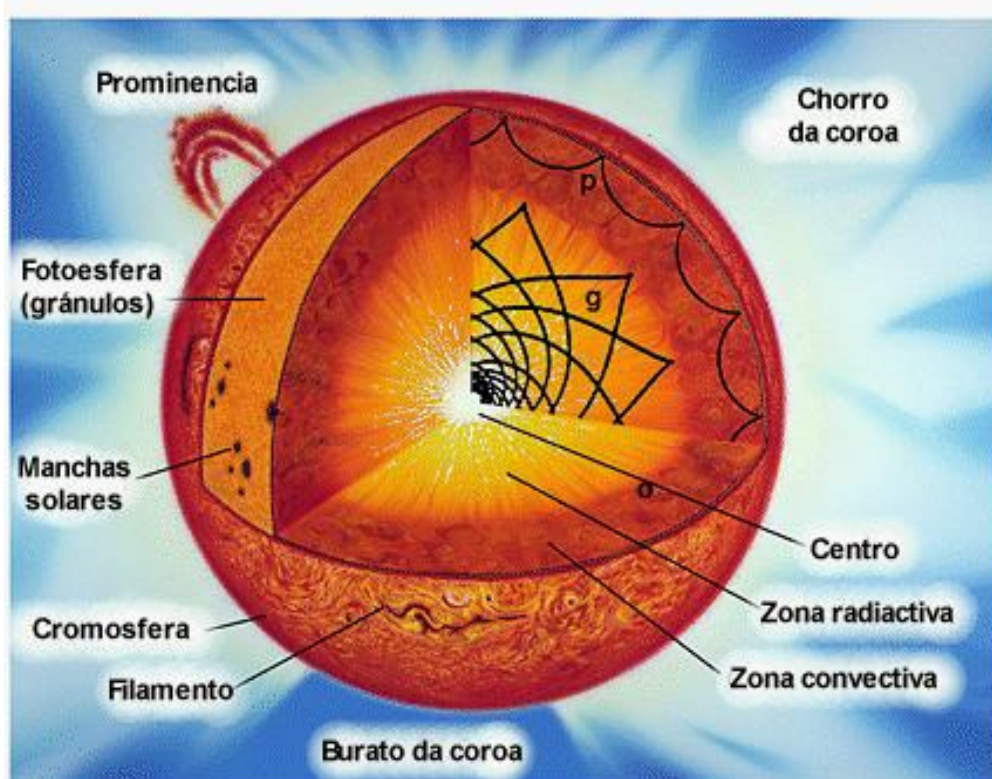


Figura 16, Estruturas do sol. Fonte:
www.EclipsesSolManualDidacticoGalego45_html_351225e1

4.1 – Erupções ou “Flares”

Um *Flare* ocorre de quando a energia magnética constituída na atmosfera solar for liberada de repente. Isto faz com que a radiação seja emitida através do espectro eletromagnético, desde as ondas de rádio aos raios X e gamma. A quantidade de energia envolvida nesta liberação é o equivalente a centenas de milhões de bombas de hidrogênio.

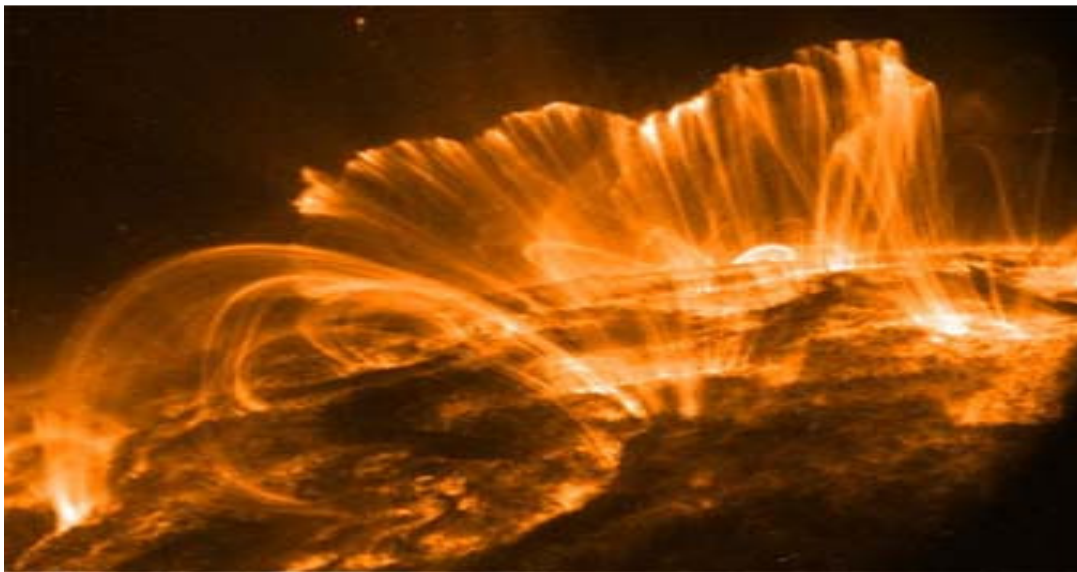


Figura 17, Erupção Solar. Fonte: www.sflare.com/images/solarflares.jpg

Para uma erupção intensa (Figura 17), a energia desprendida em poucos minutos pode atingir até 10^{33} ergs, que excede toda a energia calorífica armazenada na cromosfera e coroa solares. A fonte para essa energia deve estar nos intensos e complicados campos magnéticos existentes nas regiões solares ativas

4.2 – Manchas Solares

Uma mancha solar é uma região onde ocorre uma redução de temperatura e pressão das massas gasosas no Sol, estando intimamente relacionadas ao seu campo magnético, cuja intensidade média é de 1 Gauss, chegando a milhares de Gauss próximo a elas

As manchas podem surgir isoladas ou em grupos, o campo magnético associado é bem mais intenso no período conhecido como ciclo solar (de onze anos), aparecendo as primeiras a cerca de 40° de latitude solar e depois regredindo até o equador enquanto o número existente aumenta para depois diminuir

O tamanho das manchas solares é bem diversificado, geralmente maiores que o nosso planeta. Elas são medidas em termos de milionésimos da área visível do Sol. Uma mancha é considerada grande quando mede entre 300 e 500 milionésimos do disco solar. A maior já registrada foi em 1947, com 6.132 milionésimos - quase 1/7 do disco solar.

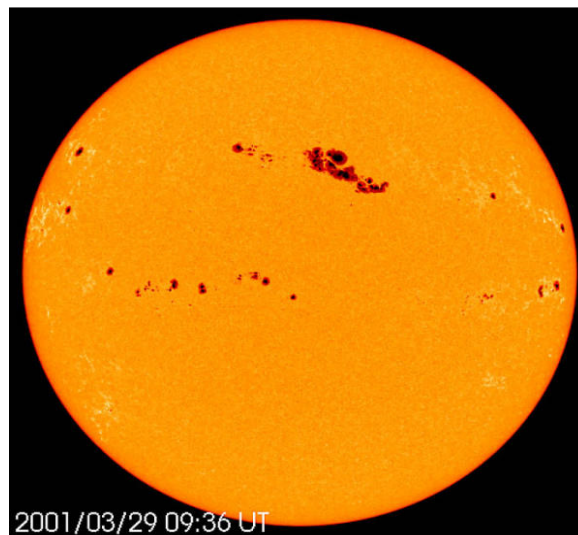


Figura 18, Manchas Solares. Fonte:
http://www.nmm.ac.uk/upload/img/Sunspots_20030213120959.jpg

4.3 Ciclo Solar

O Ciclo de Atividade Solar varia com um período de 11 anos e conseqüentemente, as estruturas do Meio Interplanetário e o Campo Magnético Interplanetário também variam com este mesmo período. O Ciclo Solar de 11 anos, é caracterizado por um aumento no numero de Manchas Solares atingindo um máximo, decrescendo logo em seguida, como mostra a Figura 19. Durante o Ciclo Solar são identificadas fases distintas, a fase de mínimo solar, fase ascendente e fase de máximo solar, fase descendente. Durante o máximo do ciclo ocorre o aumento de

fenômenos energéticos nas regiões ativas associadas as manchas. Estes fenômenos são chamados de explosões solares ou “Flares”, podendo estar associadas a Ejeções Coronais de Massa e a Tempestades Geomagnéticas. Outros efeitos importantes da atividade 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 vida dos astronautas pela exposição a grande quantidade de radiação.

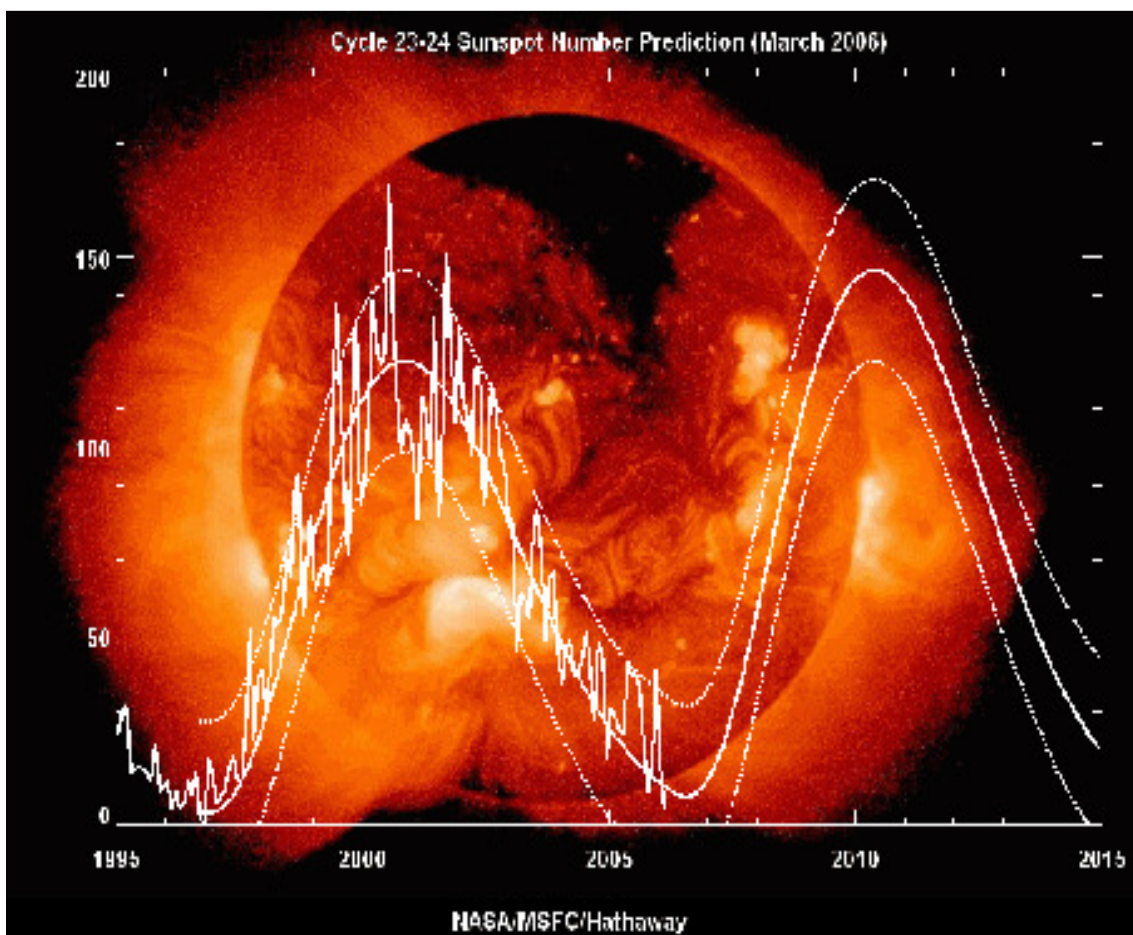


Figura 19, Ciclo Solar. Fonte: <http://cosmos.astro.uson.mx/images/cycle24.jpg>

5.0 Pulsações geomagnéticas

As pulsações são variações magnéticas de períodos curtos presentes no campo geomagnético, resultantes de interações complexas entre as partículas carregadas eletricamente do vento solar e o plasma da magnetosfera e ionosfera terrestres. Períodos de intensa atividade geomagnética introduzem, naturalmente, grandes modificações no regime dinâmico das pulsações. Elas são classificadas como regulares (ou contínuas) e irregulares, com períodos entre 0,2 segundos e 17 minutos. Podem ser subdivididas morfológicamente em subgrupos, dependendo de seus períodos, segundo as seguintes faixas (Jacobs et al. 1964):

Pulsações Contínuas (Pc):

- Pc1, período 0,2 a 5 segundos;
- Pc2, período 5 a 10 s;
- Pc3, período 10 a 45 s;
- Pc4, período 45 a 150 s;
- Pc5, período 150 a 600 s;

Pulsações Irregulares (Pi):

- Pi1, período 1 a 40 segundos;
- Pi2, período 40 a 150 s;

Também se considera 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). Nas tabelas seguintes será adotada a classificação morfológica.

5.1 Pulsações Contínuas

Pulsações	Características
Pc1	<ul style="list-style-type: none">• Importantes fontes de informações de instabilidades de plasma que podem se desenvolver nas regiões dos cinturões de radiação• Indicador do estado da magnetosfera• Ocorrem na forma de “explosões” separadas• Desenvolve-se gradualmente em uma série de pulsações que se estende de dez minutos a horas• Podem também ocorrer na forma de grupos de pulsações com bruscas variações de frequência• São mais frequentemente excitadas em zonas aurorais e subaurorais
Pc2-3	<ul style="list-style-type: none">• Amplitudes de sinais observadas das Pc2-3 são, usualmente, menores do que 1,0 nT e decrescem repentinamente com o decréscimo da atividade solar• Períodos típicos são em torno de 20 a 30 segundos• Tipicamente fenômenos diurnos, com período médio sofrendo variações diárias, maximizando-se ao meio-dia• A frequência característica das Pc2-3 aumenta com o aumento do índice de atividade magnética K• Há incidência destas pulsações também durante a fase inicial das tempestades magnéticas• A frequência de ocorrência das Pc3 não muda muito ao longo do ciclo solar
Pc4	<ul style="list-style-type: none">• Amplitudes típicas das Pc4 são de 5 a 9 nT em altas latitudes e 1 nT em baixas latitudes• Os sinais, usualmente, duram de 10 minutos a várias horas• Nas médias e baixas latitudes o modelo de ocorrência diária tem um máximo ao meio-dia• A frequência de ocorrência das Pc4 aumenta com a diminuição da

	<p>atividade solar, embora suas amplitudes permaneçam quase constantes por todo o ciclo solar</p> <ul style="list-style-type: none"> • As Pc4 são muito mais dominantes que as Pc3 nos mínimos solares • Em todas as latitudes a ocorrência das Pc4 pode ser conectada com o ciclo solar; mais ativamente nos anos de mínimas manchas solares
Pc5	<ul style="list-style-type: none"> • Podem ter amplitudes extremamente grandes, chegando a várias centenas de nanoteslas nas latitudes altas e várias dezenas de nanoteslas nas latitudes baixas • Estende-se por um período de 10 minutos a várias horas • Suas formas são inteiramente senoidais, muitas vezes amortecidas, com algumas distorções que aparecem com o aumento da atividade magnética • Larga distribuição latitudinal, com rápido decréscimo em amplitude com o aumento da distância à zona auroral e um claro aumento equatorial • O aumento da amplitude na região equatorial pode ser explicado pelas correntes ionosféricas chamadas de eletrojetos equatoriais

5.2 Pulsações Irregulares

Esta classe de pulsações é caracterizada por sua forma irregular. Elas têm conexão com os distúrbios do campo magnético e possuem correlação com os distúrbios da magnetosfera superior. Esta classe é dividida em dois subgrupos:

Pulsações	Características
Pi1	<ul style="list-style-type: none"> • Períodos freqüentemente menores do que 15 segundos • Amplitudes têm valores máximos nas zonas aurorais e sua intensidade decresce rapidamente com a latitude • Oscilações têm formas de microestruturas devido aos distúrbios

	<p>lentos do campo magnético, observado durante a fase principal das tempestades magnéticas</p> <ul style="list-style-type: none">• A atividade Pi1 mostra uma dependência distinta com o índice K, aumentando esse índice• Algumas vezes, são registradas (e Pc1) simultaneamente com distúrbios lentos e, também, como distúrbios de campos independentes
Pi2	<ul style="list-style-type: none">• As vezes, apresenta períodos acima de 250 segundos• Amplitudes variam na faixa 1–5 nT• Características principais: seu pequeno tempo de duração e a sua superposição nas Pi1, as quais podem ser seguidas, em certas ocasiões, pelas Pc1• A probabilidade de ocorrência das Pi2 aumenta com o aumento do índice K• Para um mesmo intervalo de tempo, as atividades Pi1 aumentam com o máximo das manchas solares

6.0 Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS

Devido a assimetria do campo geomagnético, algumas anomalias na intensidade total são encontradas, dentre estas, a Anomalia Magnética do Atlântico círculo cujo centro se situa nas coordenadas 25° S e 48°O e um raio aproximado de 900 km, estendendo-se sobre o território brasileiro, do estado de São Paulo ao sul do Rio Grande do Sul. (Figura 20).

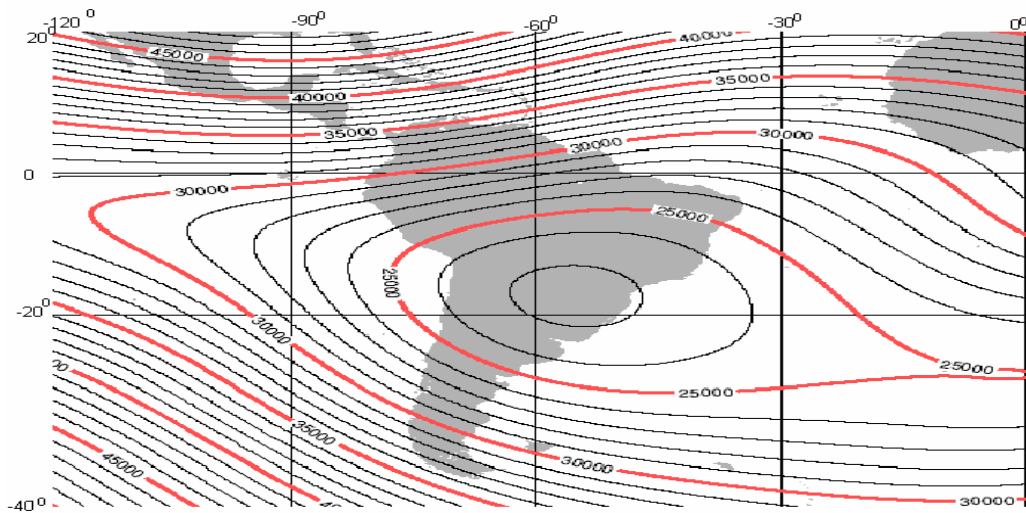


Figura 20 – Região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS. Intensidade total magnética para 2005.0 do Modelo Magnético Mundial 2005. Intervalo de contorno é 2000 nT. Projeção de Mercator. Fonte: www.ngdc.noaa.gov/seg/WMM/image.shtml.

Caracterizada pela baixa intensidade do campo geomagnético a AMAS resulta numa grande depressão na magnetosfera terrestre. Como consequência desta, os cinturões de radiação que circundam o planeta Terra (cinturões de Van Allen). Estão pressionados na superfície da Terra, causando grande precipitação de raios cósmicos e de partículas do vento solar na alta atmosfera da região, ocasionando perturbações no campo geomagnético e na ionosférica, além da radiointerferência.

A depleção do campo magnético na região da AMAS e a consequente precipitação de partículas na alta atmosfera faz desta região um excelente laboratório para estudos de fenômenos atmosféricos em condições de campo magnético fraco. De acordo com pesquisas mais recentes sobre o magnetismo nas rochas, a intensidade do campo geomagnéticos do planeta tem decrescido durante os últimos mil anos e irá desaparecer dentro dos próximos mil anos se a presente taxa de decréscimo persistir. Observou-se também que a taxa de decréscimo do campo geomagnético é notavelmente grande próxima da América do Sul, desde que a intensidade do total do campo geomagnético nesta região já é muito fraca, o campo geomagnético da América do Sul poderá desaparecer dentro de 400 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, isto implica que a

intensidade de partículas de raios cósmicos precipitantes na atmosfera terrestre tende a aumentar, gerando conseqüências imprevisíveis sobre a atmosfera e também no nível da superfície. Esta precipitação de partículas energéticas pode agravar o problemas na redução temporária na camada de ozônio observado na região sul do Brasil, como conseqüência de Efeitos Secundários do Buraco de Ozônio Antártico.

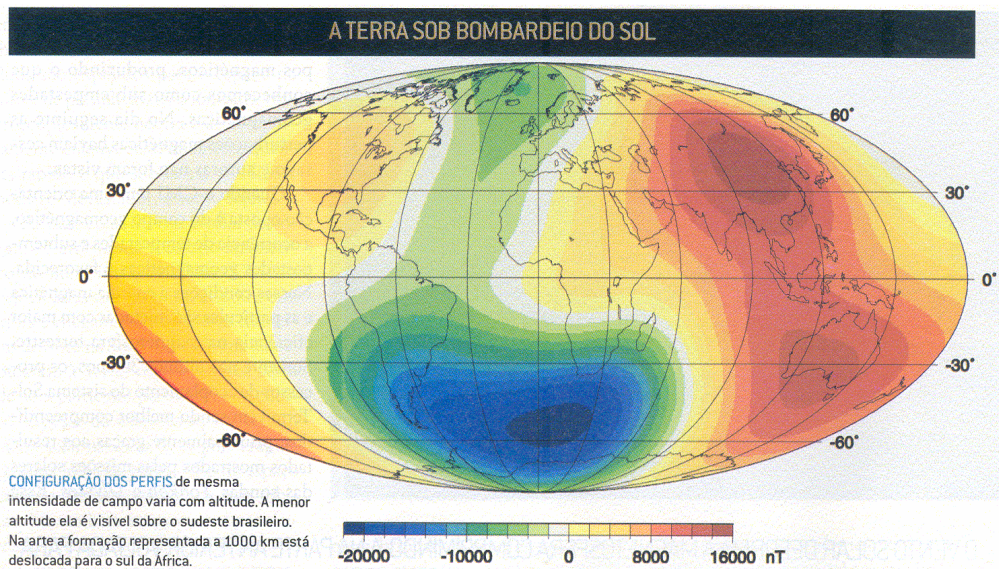


Figura 21 – Configurações dos perfis de mesma intensidade de campo Fonte: Scientific American Brasil – Ano 2, nº 23

Outros efeitos têm sido identificados na AMAS como, por exemplo, o nível de radiação induzido nos satélites quando a atravessam sofre um grande aumento, a tal ponto que se passou a desligar muitos equipamentos durante a passagem – vários satélites apresentam problemas em seu sistema de comunicação nessa região como em nenhum outro lugar (ver Figura 22) – e, também, os raios cósmicos têm um acesso mais fácil à atmosfera dessa região.

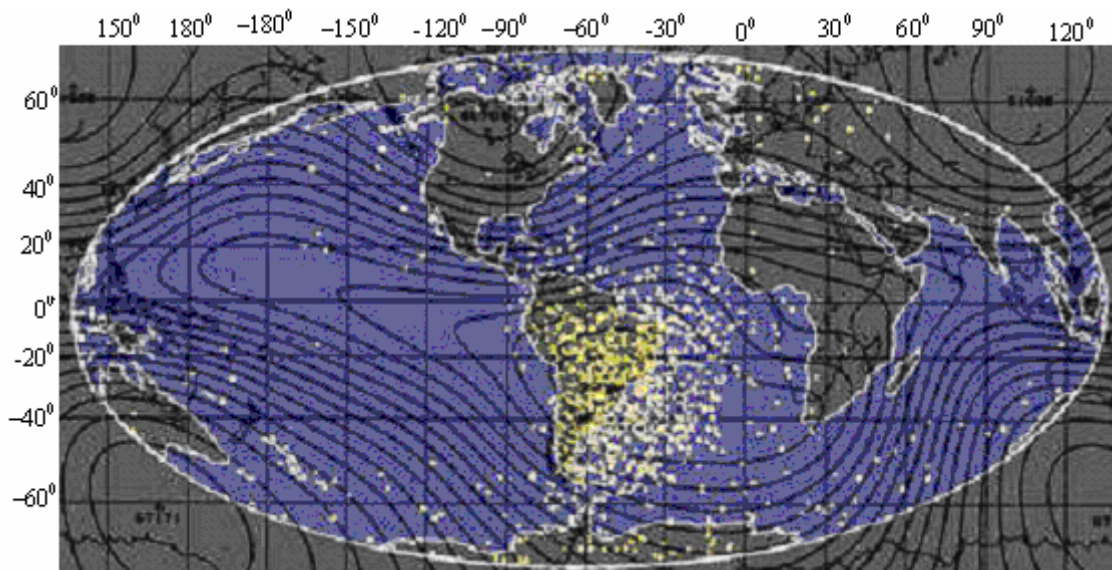


Figura 22 – Anomalia Geomagnética do Atlântico Sul: a posição de satélites onde ocorreu defeito na memória do computador. Fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/esol/esol.htm>.

7.0 Instrumentação e Aquisição dos dados

O campo Geomagnético não pode ser medido diretamente, sendo necessária a interação dele com outros processos físicos para produção de efeitos mensuráveis. Além disso, devido a grande extensão espacial desse campo em relação à dimensão dos sensores, apenas medidas pontuais são obtidas.

Todas as medidas do campo magnético terrestre envolvem a determinação da magnitude e direção do campo vetorial indução magnética \mathbf{B} . Três planos de referência são necessários para esta medição: o plano vertical que contém a direção Leste-Oeste; o plano meridional Norte geográfico (que contém a direção Norte-Sul) e o plano horizontal.

A seguir descrevem-se alguns instrumentos utilizados para a observação do comportamento do campo geomagnético, enfatizando o magnetômetro do tipo *fluxgate* utilizado para a obtenção de dados para este trabalho, e discute-se também a aquisição e armazenamento dos dados e sua análise, incluindo a filtragem digital.

7.1 Magnetômetro *fluxgate* (núcleo saturado)

Neste equipamento, um núcleo altamente permeável, de fácil saturação, é utilizado para amplificar o sinal do campo magnético obtido. A propriedade de histerese do núcleo saturável é utilizada pela imposição de um campo oscilante intenso, que é cancelado pelo campo local. A intensidade do campo geomagnético é obtida pela geração de harmônicos de distorção no campo de saída, medidos pelo sensor secundário ao redor do núcleo. A quantidade de interesse é o segundo harmônico da frequência de excitação, gerado no range de saturação linear do sensor.

Um campo geomagnético ambiente H_0 é sobreposto a um campo de excitação senoidal A , $A \gg H_0$, no qual A é ajustado para ser tão grande quanto necessário para saturação do núcleo de alta permeabilidade. O cancelamento do campo assimétrico causado pela adição do campo ambiente, H_0 , resulta numa distorção da forma da variação da densidade de fluxo magnético \mathbf{B} , unindo-se a uma segunda bobina sensora enrolada ao redor do núcleo. Esta distorção da variação de \mathbf{B} com relação ao tempo, t , contém harmônicos pares em suas componentes de Fourier. A função do campo de entrada pode ser aproximada como $B(t) = a(H_0 + H_e) + b(H_0 + H_e)^3 + c(H_0 + H_e)^5$, onde H_e é o campo de excitação e a , b e c são constantes. Os harmônicos, a partir do terceiro, podem ser desconsiderados, pois são consideravelmente menores do que o segundo. Com um filtro de banda estreita, este segundo harmônico de saída é selecionado para tornar-se a medida do campo ambiente, H_0 , depois de serem comparados a um segundo harmônico “artificial” a partir de uma duplicação da oscilação de excitação original. Com uma oscilação de excitação de aproximadamente 700 c/s, uma variação de 1- γ , do campo ambiente, produz uma saída de aproximadamente 25 μV . Para medidas de sinais fracos, são utilizados dois núcleos em direções opostas no circuito de excitação, e uma bobina secundária cercado ambos. As duas contribuições primárias, nas bobinas com núcleo saturado postas em direções opostas, são então canceladas, como mostra a Figura 3.1 (Campbell, 1997).

Os magnetômetros fluxgate de núcleo saturado e baixo ruído, com uma taxa de aquisição a cada dois segundos (0,5 Hz) fornecem os 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. Neste projeto usamos os dados geomagnéticos adquiridos na estação geomagnética do Observatório Espacial do Sul, na estação geomagnética do Observatório Geomagnético de Vassouras e na estação geomagnética do Observatório Espacial de São Luis. Na Figura 24 são mostrados os sistemas de aquisição e armazenamento de dados geomagnéticos do magnetômetro fluxgate instalado no Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra, RS.

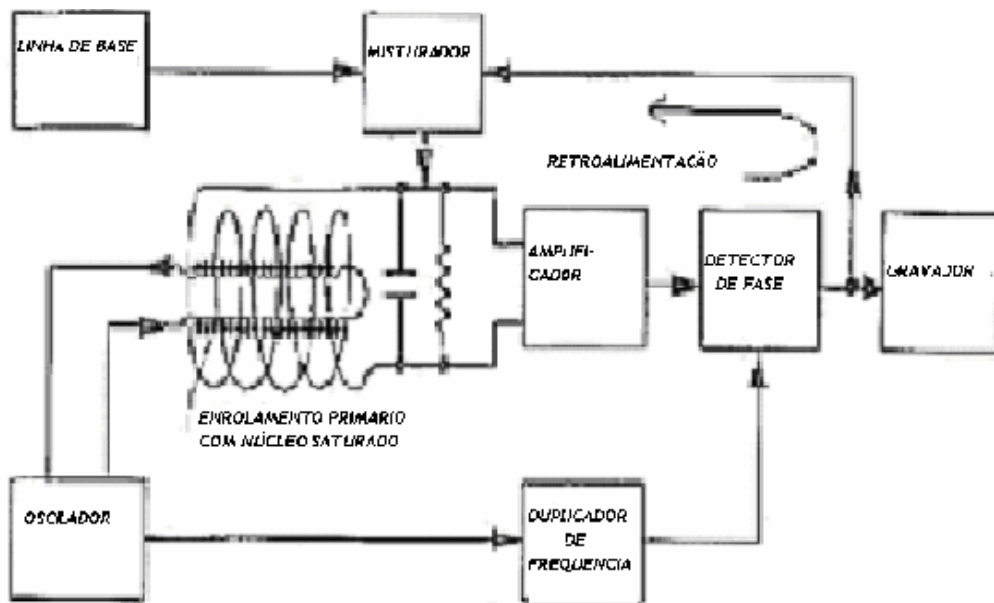


Figura 23: Magnetômetro fluxgate para medição direcional do campo geomagnético. Fonte: Adaptada de Campbell, 1997.

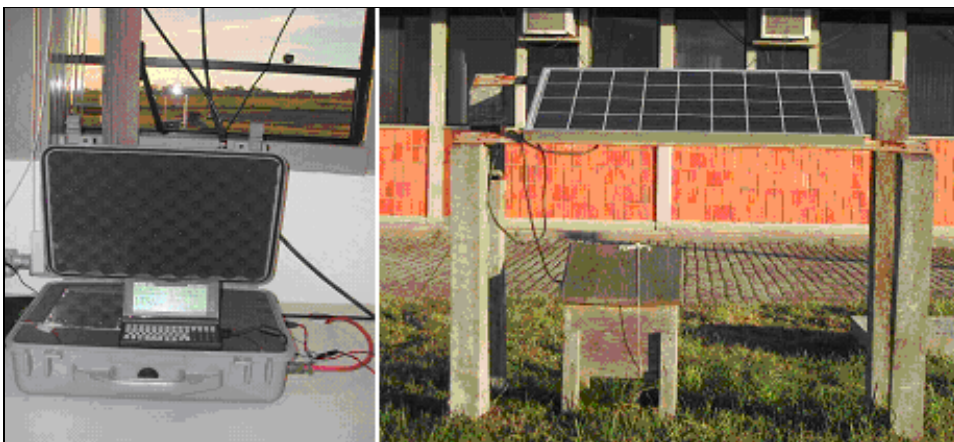


Figura 24: Magnetômetro fluxgate instalado no OES/CRSPE/INPE-MCT

7.2 Magnetômetro de precessão de Prótons

Se um material fluído rico em prótons – tal como querosene, óleos, água etc. – é colocado em um campo magnético, os prótons procurarão se alinhar ao longo do campo aplicado, devido ao torque no seu *spin* intrínseco. Campos fracos originam fraco alinhamento. Um campo magnético de polarização é aplicado, forte o suficiente (da ordem de 10^7 nT) para que uma grande fração dos prótons se alinhem com ele. Então, este campo é repentinamente removido (desligado). Prótons, que se comportam como giroscópios elementares, iniciarão a precessão ao redor do campo magnético residual, o campo magnético terrestre. Como uma fração razoável de prótons fica com os eixos de *spin* alinhados, a precessão conjunta é suficiente para produzir um sinal detectável (Figura 25). A frequência de precessão é diretamente proporcional ao campo magnético da Terra, no ponto onde está o magnetômetro. O sensor mede esta frequência, divide por uma constante apropriada para obter o valor do campo geomagnético em nanoteslas (ou gamas) e mostra a leitura, com sua magnitude calculada através da relação:

$$B = \frac{2\pi}{\gamma_p} f_p \quad \therefore \quad B \text{ (nT)} = 23,4874 f_p \text{ (Hz)}$$

onde $\gamma_p = 2,67513 \times 10^8 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{T}^{-1}$ é a razão giromagnética. Com isto, um campo de 23.487 nT corresponde a uma frequência de precessão de 1 kHz. Apesar da medida básica do magnetômetro de precessão de prótons ser a intensidade do campo geomagnético (grandeza escalar), ele pode ser adaptado e medir também as três componentes do campo **B**.

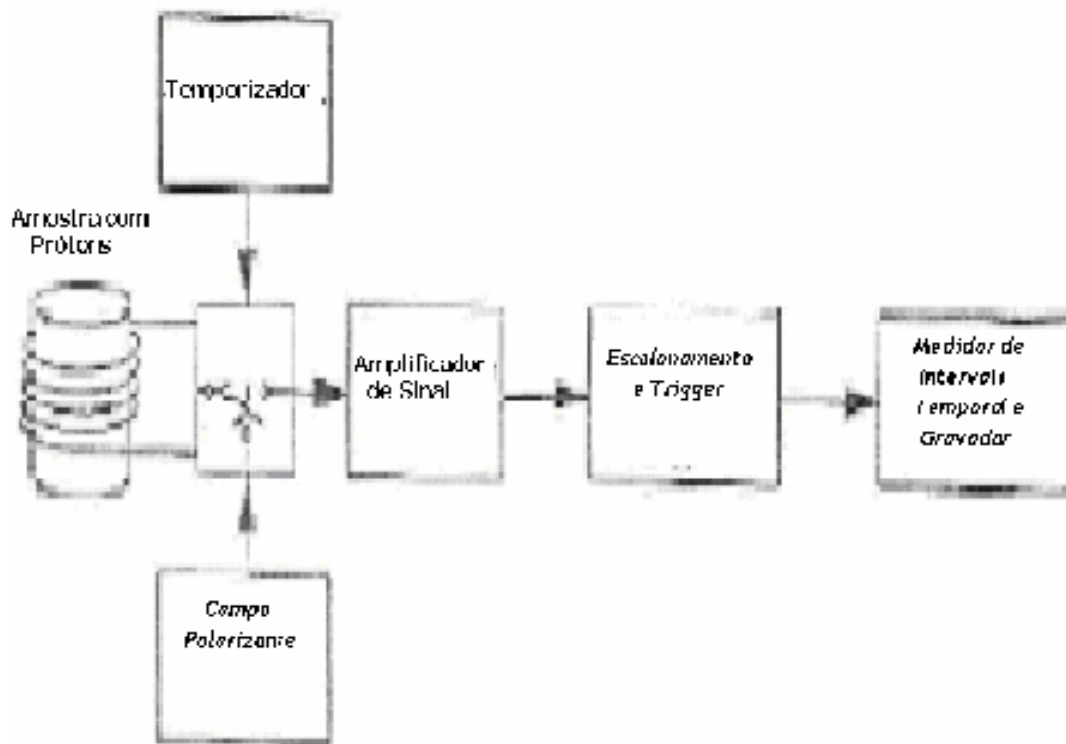


Figura 25 – Magnetômetro de precessão de prótons para medida do campo geomagnético total. A bobina ao redor da amostra é utilizada para alinhar os prótons e detectar o período de precessão dos mesmos. Fonte: Adaptada de Campbell, 1997.

8.0 Aquisição dos dados

Podemos dizer que o Campo Geomagnético é um campo vetorial, já que provoca a orientação da agulha de uma bússola a uma determinada direção, com magnitude, direção e sentido. A intensidade total do vetor magnético representado pela letra (F) é independente do sistema de coordenadas, mas é comum representá-lo alinhado com as direções geográficas no sistema.

A Figura 26 mostra o vetor total do Campo Geomagnético (F) e suas três componentes X, Y e Z.

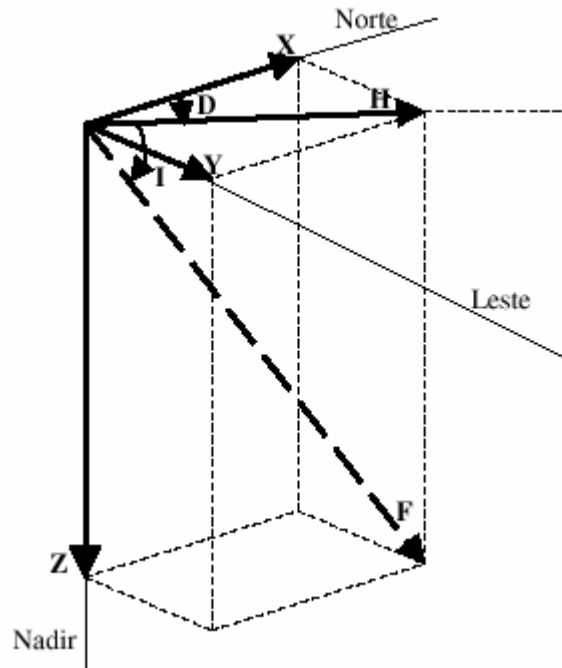


Figura 26 – Elementos do vetor magnético

Elementos lineares:

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

Y – componente magnética leste (positiva para leste);

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

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

F – intensidade total do campo magnético num 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.

A função de um observatório magnético é monitorar o Campo Geomagnético e suas variações nas suas três direções, componentes X , Y e Z embora em muitas estações sejam feitas medidas das componentes H , D , e Z .

O sistema sensor de três coordenadas foi alinhado e orientado nas direções norte, leste e vertical, tendo por base uma bússola e a informação do sensor leste-oeste que indica campo nulo.

Um sistema de aquisição de dados geomagnéticos consiste inicialmente de duas partes: sistema de medição (magnetômetro - *fluxgate*) e o sistema de pré-processamento e armazenamento dos dados coletados. Foram desenvolvidas unidades de aquisição com interface capaz de selecionar as saídas analógicas dos sensores e digitalizá-las por um conversor analógico-digital.). Os dados digitalizados são formatados e transferidos para cartões de memória. Três outras partes completam em geral o sistema de aquisição, que são as unidades de conversão, de qualificação-validação e de processamento e análise dos dados, feitas posteriormente em computadores digitais.

Para este estudo fez-se uso principalmente de dados geomagnéticos coletados na Estação Geomagnética instalada no Observatório Espacial do Sul do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE, do OES/CRESPE/INPE-MCT – INPE, em São Martinho da Serra, denominação abreviada por: SMS (29,43°S; 52,82°O), RS. Foram utilizados os dados da Estação Geomagnética do Observatório Nacional, em Vassouras – VSS (22,40°S; 43,65°O), RJ, e Eusébio – EUS (3,89°S; 38,44°O), MA.

Com os dados coletados do magnetômetro instalado no Observatório Espacial do Sul, de São Martinho da Serra, foram feitas filtragens através de software para facilitar a análise e catalogação dos dados na forma de gráficos das variações das componentes H , D e Z

8.1 Análise dos dados - Filtragem digital

Ao plotarmos o gráfico da intensidade do campo geomagnético versus tempo, este gráfico nos mostrará a variação diurna (período de 24 horas) do campo geomagnético. Como o objetivo deste trabalho é estudar as pulsações geomagnéticas com períodos entre 100 e 1000 segundos, faz-se necessário filtrar o sinal da variação diurna, permitindo que passem somente os sinais das micropulsações.

O propósito da filtragem digital é alterar a informação espectral contida no sinal, produzindo assim um realce nas características espectrais. Um grande número de estruturas diferentes pode ser usado para implementar filtros digitais. As mais comuns são: filtragem direta, em cascata e em paralelo. A maioria dos filtros digitais podem ser implementados usando uma das estruturas mencionadas. A conversão da estrutura de filtragem direta para a estrutura em cascata envolve a fatoração dos polinômios de maneira que o produto das funções de transferência individuais é igual a uma função de transferência. Similarmente, a conversão para a estrutura em paralelo requer a expansão em funções parciais, de tal forma que a filtragem direta seja representada pela soma das funções de transferência individuais.

Para estudar as micropulsações geomagnéticas necessita-se de um filtro que deixe passar apenas sinais em uma banda de frequência. A esses filtros dá-se o nome de filtros passa-faixa ou passa-banda. Neste trabalho utilizamos o filtro BANDPASS.m em linguagem MATLAB.

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.

8.2 Análise de Fourier

Um processo físico pode ser descrito no domínio do tempo, por uma quantidade h como função do tempo, $h(t)$, e também no domínio da frequência, $H(f)$, com $-\infty < f < \infty$. Para muitos propósitos é usual pensar que $h(t)$ e $H(f)$

são representações diferentes da mesma função. As relações entre $h(t)$ e $H(f)$ são dadas pelas equações da transformada de Fourier:

$$H(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t)e^{-i\omega t} dt \quad (4.1)$$

e

$$h(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} H(\omega)e^{i\omega t} d\omega \quad (4.2)$$

onde $\omega = 2\pi f$ é a frequência angular dada em radianos por segundo. Se t é medido em segundos, então f é dado em ciclos por segundo ou Hz (unidade de frequência). Entretanto, as equações (4.1) e (4.2) podem ser operadas em qualquer unidade (Press et al., 1996 e Stearms, 1975).

A potência total de um sinal pode ser calculada tanto no domínio do tempo como no domínio de frequência. A relação entre os dois resultados é dada pelo teorema de Parseval.

$$potência \equiv \int_{-\infty}^{\infty} |h(t)|^2 dt = \int_{-\infty}^{\infty} |H(f)|^2 df \quad (4.3)$$

8.2.1 Transformada Rápida de Fourier

O tempo de computação da transformada de Fourier é muito grande. Definindo W como o número complexo:

$$W = e^{-2\pi i / N} \quad (4.11)$$

nos leva a ter para a transformada discreta de Fourier:

$$H_n = \sum_{k=0}^{N-1} W^{nk} h_k \quad (4.12)$$

Então o vetor h_k é multiplicado por uma matriz cujos elementos (n,k) são as constantes W^{nk} para a potência $n \times k$. A matriz multiplicação produz um vetor resultante cujas componentes é a função H_n . A matriz multiplicação requer N^2 multiplicações, mais um número menor de operações para gerar as potências de W . Desta forma, a transformada discreta de Fourier opera em N^2 processos. Este

número pode ser reduzido para $N \log_2^N$ operações usando algum algoritmo conhecido como transformada rápida de Fourier (FFT). Como a diferença entre N^2 e $N \log_2^N$ é imensa, o tempo de computação é bastante reduzido para valores grandes de N .

8.3 Espectro de Potência

Se $f(t)$ é uma função que representa um sinal obtido no tempo t , então pode-se fazer uma análise espectral deste sinal usando a transformada de Fourier:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-i\omega t} dt \quad (4.13)$$

onde a função $F(\omega)$ representa o espectro correspondente a $f(t)$. Em muitos casos, entretanto, é mais apropriado considerar a potência de um sinal em vez de sua amplitude ou deslocamento. Neste sentido, define-se potência como sendo proporcional ao quadrado da amplitude. O espectro correspondente é designado por espectro de potência (Thomson, 1977).

A potência média para uma função real $f(t)$ é definida pela expressão:

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} |f(t)|^2 dt \quad (4.14)$$

quando este limite existe (Bath, 1974 e Marple, 1987).

O fator $|f(t)|^2$ é chamado de potência instantânea de $f(t)$, e a integral:

$$\int_{-\infty}^{\infty} |f(t)|^2 dt \quad (4.15)$$

é a energia total de $f(t)$, quando a integral converge.

A potência de uma sinal $f(t)$ está relacionada ao espectro de potência correspondente $H(\omega)$ através do teorema de Parseval:

$$\int_{-\infty}^{\infty} |f(t)|^2 dt = \int_{-\infty}^{\infty} |H(\omega)|^2 d\omega \quad (4.16)$$

A quantidade real $|H(\omega)|^2$ é comumente chamada de espectro de potência ou espectro de energia, ou mais precisamente, densidade espectral de potência ou densidade espectral de energia. A densidade espectral de energia é expressa em unidades de energia por unidade ou intervalo de frequência. No teorema de Parseval, o termo $|H(\omega)|^2$ não carrega a informação sobre a fase do espectro da função do tempo. Isto significa que é impossível recuperar o sinal original $f(t)$ se o espectro é dado. Significa também que os sinais com idênticas amplitudes de espectro, mas diferentes fases, teriam a mesma potência. Portanto o espectro de potência não carrega a informação completa do sinal original já que a fase é uma variável perdida.

Agora, supondo que $c(t)$ seja uma função que representa uma amostra de N pontos com valores c_0, c_1, \dots, c_{N-1} e estes pontos estejam dispostos em um tempo T , ou seja: $T = (N - 1)\Delta$. A potência total é expressa então por:

$$\frac{1}{T} \int_0^T |c(t)|^2 dt \cong \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N-1} |c_j|^2 \quad (4.17)$$

Quando se tem uma amostra com N pontos de uma função $c(t)$ em intervalos iguais e usamos a FFT para calcular a transformada discreta de Fourier:

$$C_k = \sum_{j=0}^{N-1} c_j e^{-2\pi i j k / N}, \text{ com } k = 0, 1, 2, \dots, N - 1 \quad (4.18)$$

o espectro de potência (periodograma) vai ser definido em $\frac{N}{2} + 1$ frequências como:

$$P(0) = P(f_0) = \frac{1}{N^2} |C_0|^2 \quad (4.19)$$

$$P(k) = p(f_k) = \frac{1}{N^2} [|C_k|^2 + |C_{N-k}|^2] \text{ com } k = 1, 2, \dots, \left(\frac{N}{2} - 1\right) \quad (4.20)$$

$$P(k) = P(f_{N/2}) = \frac{1}{N^2} |C_{N/2}|^2 \quad (4.21)$$

onde f_k é definida somente para frequências positivas e zero:

$$f_k \equiv \frac{k}{N\Delta} = \frac{2f_c k}{N} \text{ com } k = 1, \dots, N/2 \quad (4.22)$$

onde $f_c = \frac{1}{2\Delta}$ e o teorema de Parseval na forma discreta:

$$\sum_{j=0}^{N-1} |c_j|^2 = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-2} |C_k|^2 \quad (4.23)$$

foi usado para relacionar a função C_k a c_j (Press et al., 1986).

9.0 Tratamento de Dados e Resultados

Nesta Seção se abordará as atividades consolidadas pelo bolsista no período de agosto de 2006 a abril de 2007 no tratamento dos dados geomagnéticos, dando enfoque as pulsações medidas da Estação Geomagnética, SMS do Observatório Espacial do Sul – OES/CRESPE/INPE-MCT (Estação de baixa latitude), proposta para esta pesquisa, e confecção de artigos de iniciação científicas com o fim de apresentá-los em congressos de interesse. Dentro do Projeto intitulado “***Variação com Ciclo Solar das Pulsações Geomagnéticas de Períodos Longos (1.0–10 milihertz) na Região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul***”, seguiu-se uma linha de estudos com o objetivo específico de verificar as características das pulsações geomagnéticas de períodos longos e seu relacionamento com a precipitação de partículas carregadas de altas energias na região AMAS.

Assim estabeleceu-se a seguinte metodologia para melhor aproveitamento das atividades:

- Realizar medidas geomagnéticas continuamente, operando um magnetômetro tipo “*fluxgate*” na Estação Geomagnética SMS do OES/CRESPE/INPE-MCT, em São Martinho da Serra, situada muito próximo ao centro da AMAS;
- Processar os dados obtidos pela Estação Geomagnética SMS do Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra, identificando os eventos de pulsações de períodos longos Pc5–6/Pi3, conhecidos na literatura, e estudar as características destas pulsações, como potência espectral e polarização das ondas eletromagnéticas; e

- Finalmente, interpretar os resultados em termos de processos físicos envolvendo a geração das pulsações e subsequente precipitação das partículas carregadas na AMAS.

Os dados do *fluxgate*, cujo sistema de aquisição funciona ininterruptamente durante as 24 horas do dia, são coletados mensalmente na Estação Geomagnética SMS do OES/CRESPE/INPE-MCT, através da troca de um cartão magnético (memória *flash*), por um dos integrantes do Laboratório de Magnetosferas – Interações Terra-Sol do CRSPE/INPE-MCT, localizado nas propriedades da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, em Camobi, Santa Maria, RS cujos dados são compartilhados com Pesquisadores do DGE/INPE-MCT – São José dos Campos, SP.

9.1 Os dados e a Variação Diária

Os dados geomagnéticos adquiridos foram armazenados e gravados em um arquivo de dados na forma binária e posteriormente convertidos em arquivos tipo ASCII (planilha tipo texto). Os arquivos de dados no formato ASCII é constituído por 43200 linhas de dados, correspondendo a uma aquisição a cada dois segundos para um dia (taxa de amostragem é de dois segundos 0,5 Hz). Os arquivos de dados contêm os valores das três componentes ortogonais do campo geomagnético (*H*, *D* e *Z*), A partir dos dados digitalizados e dispostos em arquivos, tomando-se médias por minuto, nos arquivos com 43200 aquisições, obtemos arquivos de 1440 valores por dia (sendo correspondente a cada minuto). As médias são feitas através do programa Conv Narod 1440.m em linguagem MATLAB.

9.2 Eventos Geomagnéticos

A fim de observar o comportamento das componentes geomagnéticas das observações efetuadas na Estação Geomagnética SMS do OES, CRESPE/INPE-MCT localizada praticamente no centro da AMAS, escolheu-se dois eventos geomagnéticos onde ocorreram tempestades magnéticas com picos de pulsações

geomagnéticas característicos das pulsações classificadas como Pc5 – Pc6. Um dos eventos analisados ocorreu entre os dias 03 a 09 de novembro de 2001, ano próximo à máxima atividade solar. Outro evento analisado ocorreu nos dias 09 á 26 de janeiro de 2005, neste ano o índice de atividades solares está próximo ao seu mínimo. A análise dos dados da Estação Geomagnética de SMS comparados com outras Estações Geomagnéticas fora da AMAS, de EUS e de VSS, indicam uma diferença na intensidade das pulsações geomagnéticas e uma conseqüente diferença na potência do sinal filtrado.

9.2.1 Análise da Tempestade Magnética Ocorrida Entre 03 a 09 de novembro de 2001

A variação diária do campo geomagnético registrada nas Estações Magnéticas do Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra, RS, representada pela sigla SMS e da Estação Magnética do Observatório Espacial de Eusébio, no Ceará representada pela sigla EUS, para os dias 03, 04 e 09 de novembro de 2001 são mostradas nas Figuras 27–30 e 37-38. Esses três dias são geomagneticamente calmos, com valores para o índice ΣKp de 3-, 10 e -10, respectivamente.

As amplitudes das três componentes do campo mostram-se apenas levemente perturbadas ao longo do dia, atingindo os valores máximos entre 15:00 e 17:00 UT e decrescendo até o valor-de-base inicial e final do dia por volta das 21:00 UT. Nesses dias não há variações abruptas. A variação do campo geomagnético durante as horas de iluminação pelo Sol, entre 06:00 e 18:00 LT deve-se a intensificação das correntes Sq. As pequenas flutuações, que estão superpostas à variação diária, são as pulsações geomagnéticas.

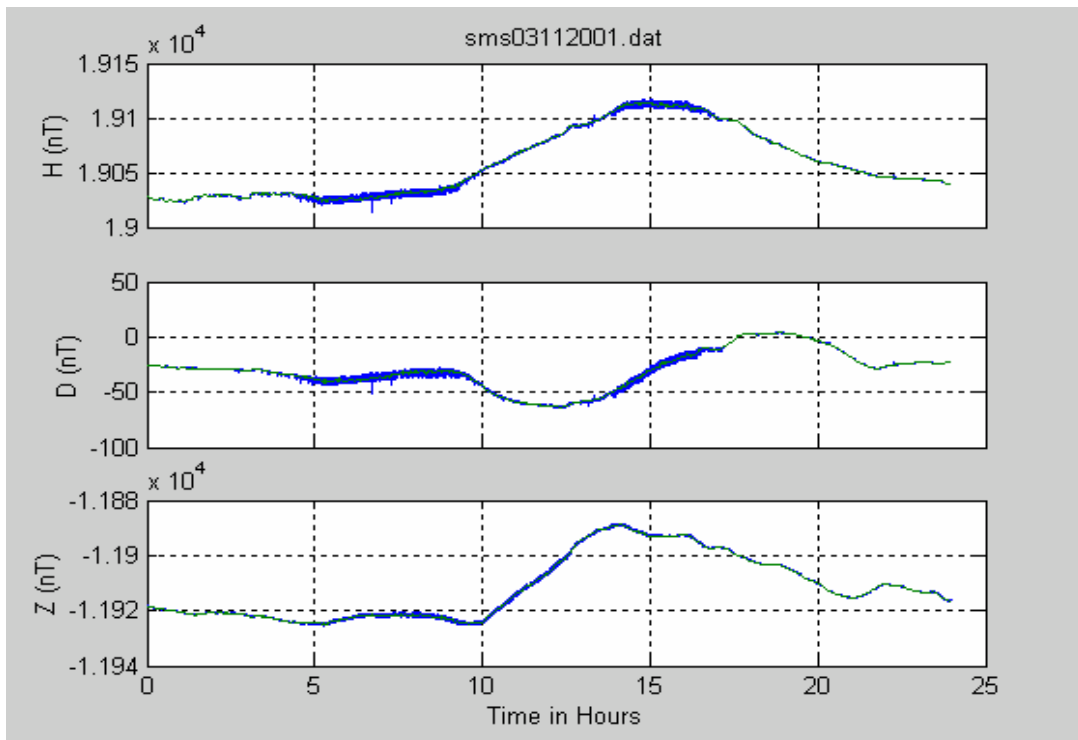


Figura 27 – Componentes H, D e Z para a Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT, do dia 03 de Novembro de 2001, magneticamente calmo (antes da tempestade), com um índice $\Sigma Kp = 3-$.

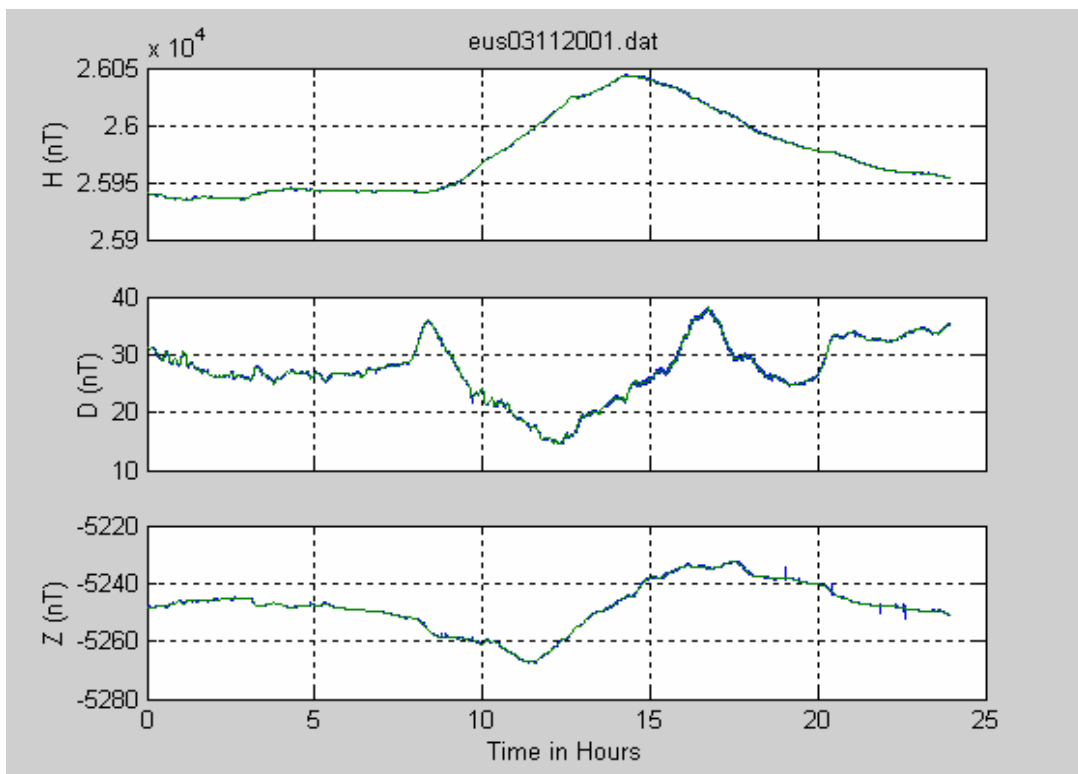


Figura 28 – Componentes H, D e Z para o Observatório Magnético de Eusébio, EUS, do dia 03 de novembro de 2001 magneticamente calmo (antes da tempestade), com um índice $\Sigma Kp = 3-$.

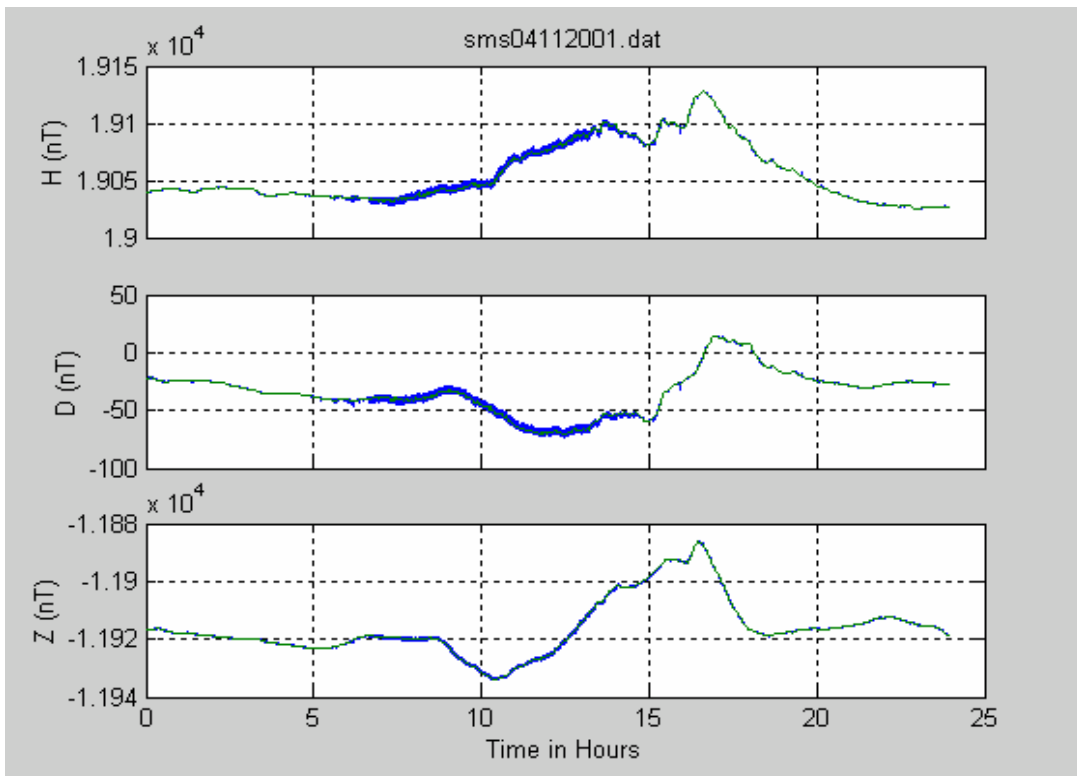


Figura 29 – Componentes H, D e Z para a Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT, do dia 04 de novembro de 2001 magneticamente calmo, com um índice $\Sigma Kp = 10+$.

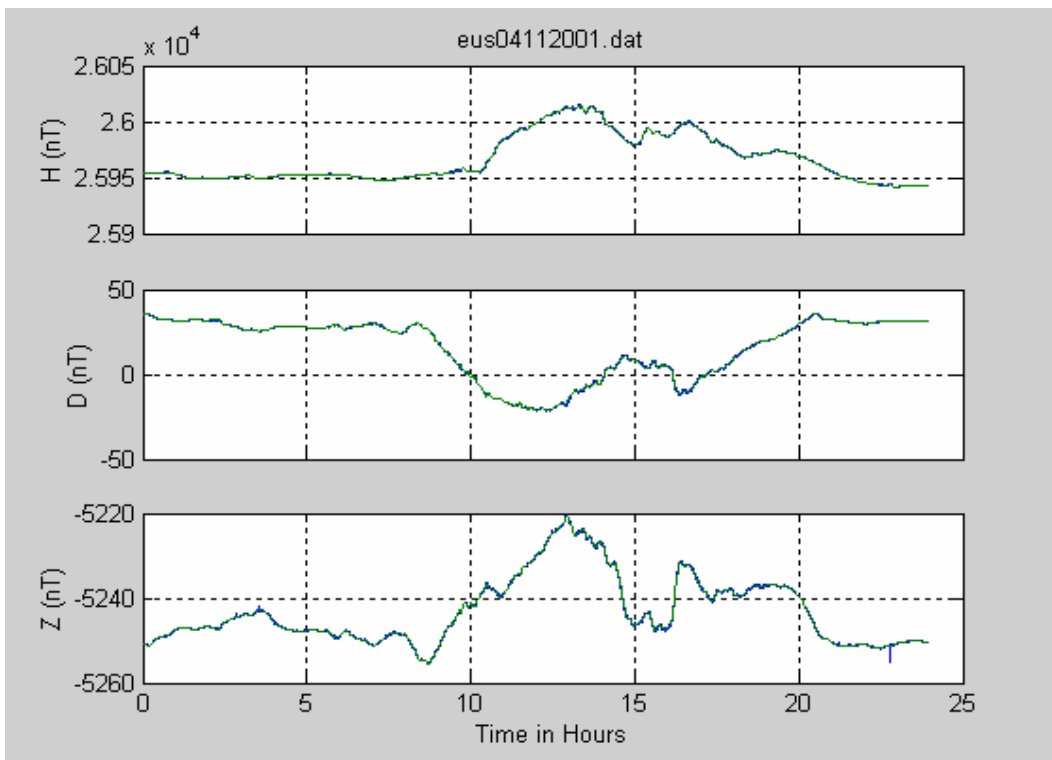


Figura 30 – Componentes H, D e Z para o Observatório Magnético de Eusébio, EUS, do dia 04 de novembro de 2004 , magneticamente calmo, com um índice $\Sigma Kp = 10+$.

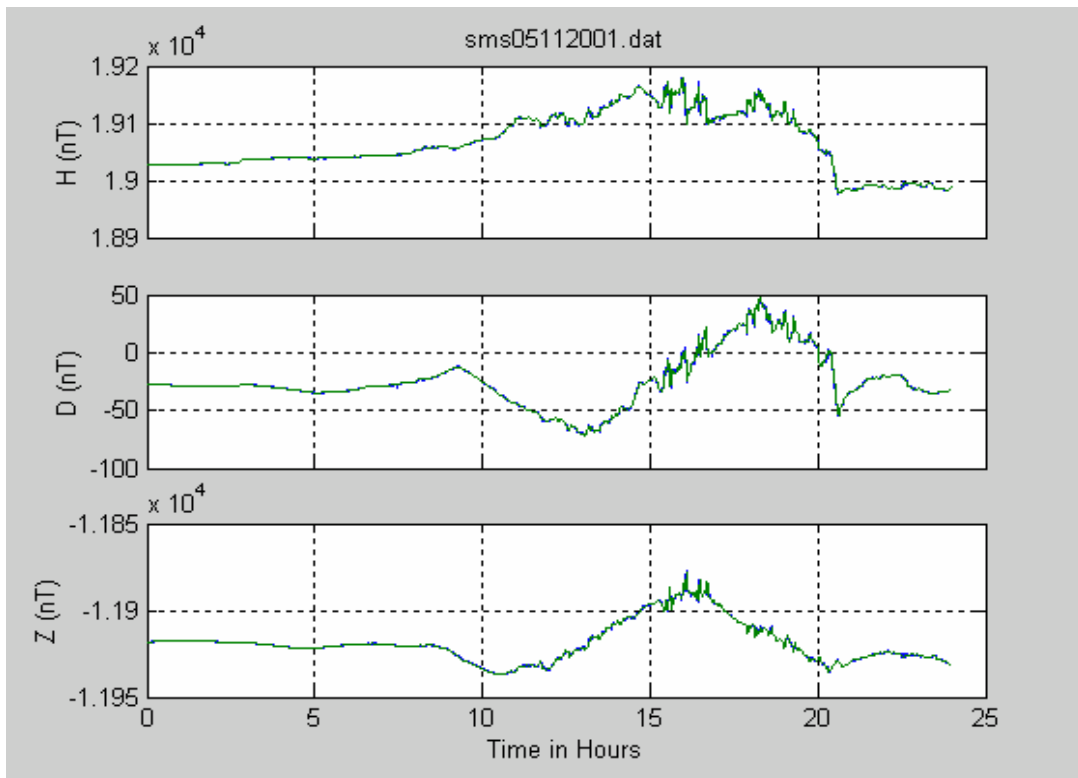


Figura 31 – Aumento abrupto durante a tempestade iniciada em 05 de novembro de 2004 ($\Sigma K_p = 22+$), para a Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.

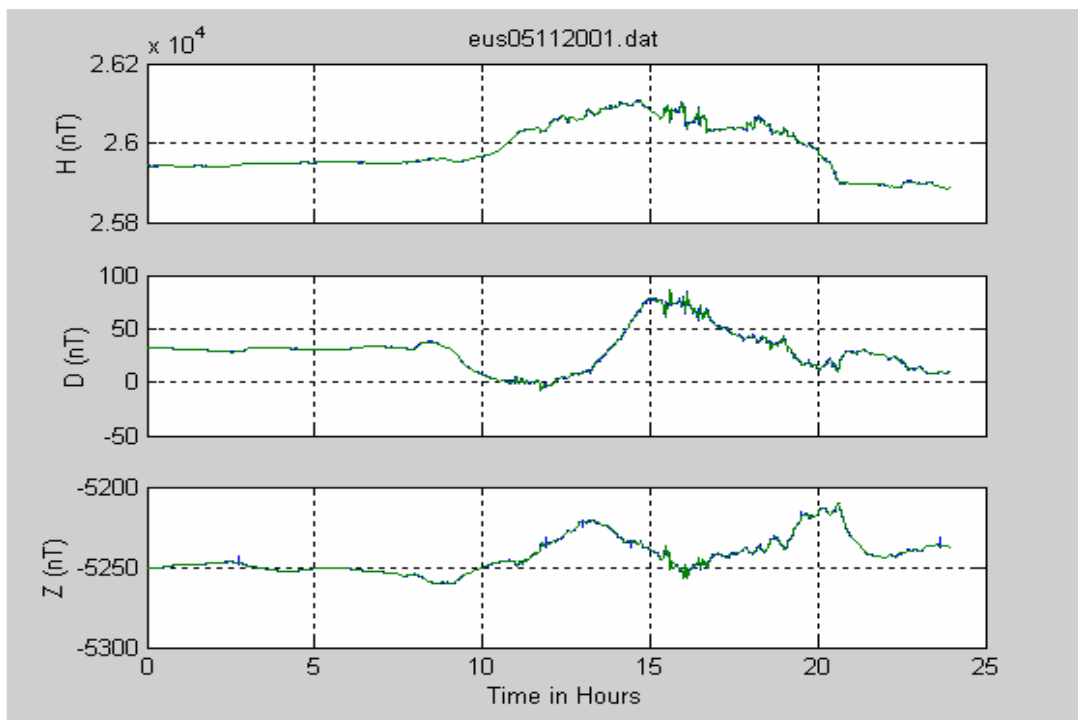


Figura 32 – Aumento abrupto da componente H durante a tempestade iniciada em 05 de novembro de 2004 ($\Sigma K_p = 22+$), para o Observatório Magnético de Eusébio, EUS.

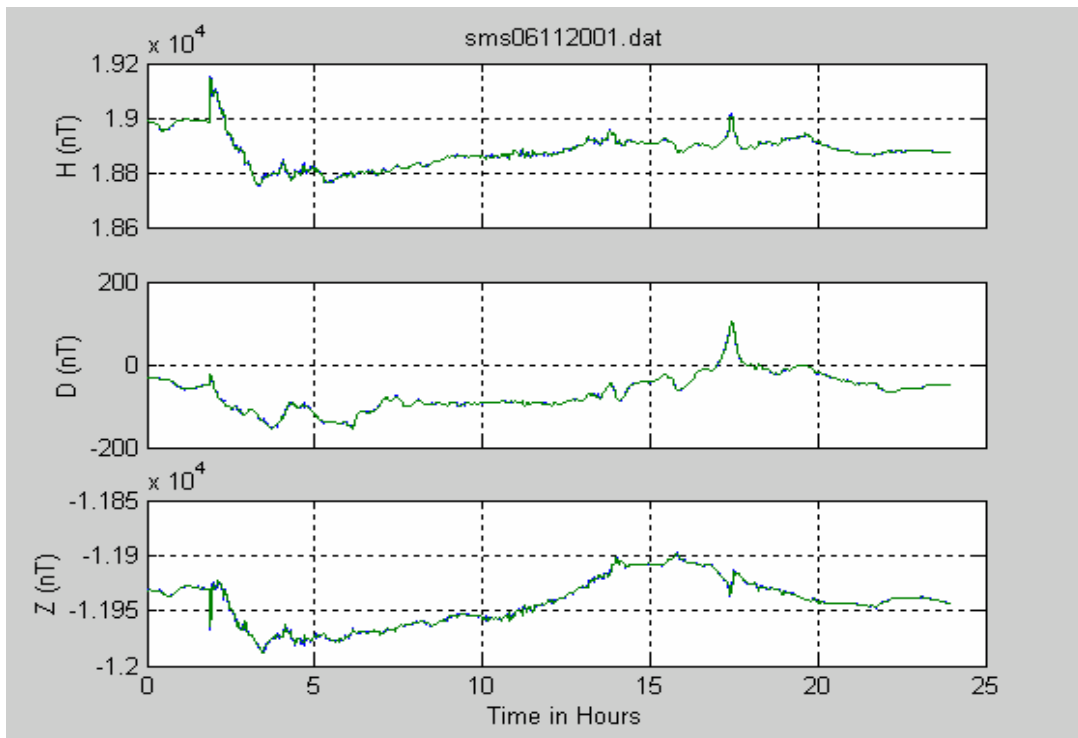


Figura 33 – comportamento das três componentes geomagnéticas H, D e Z para o dia 06 de novembro de 2001, para a Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT, do, com um índice $\Sigma Kp = 54$.

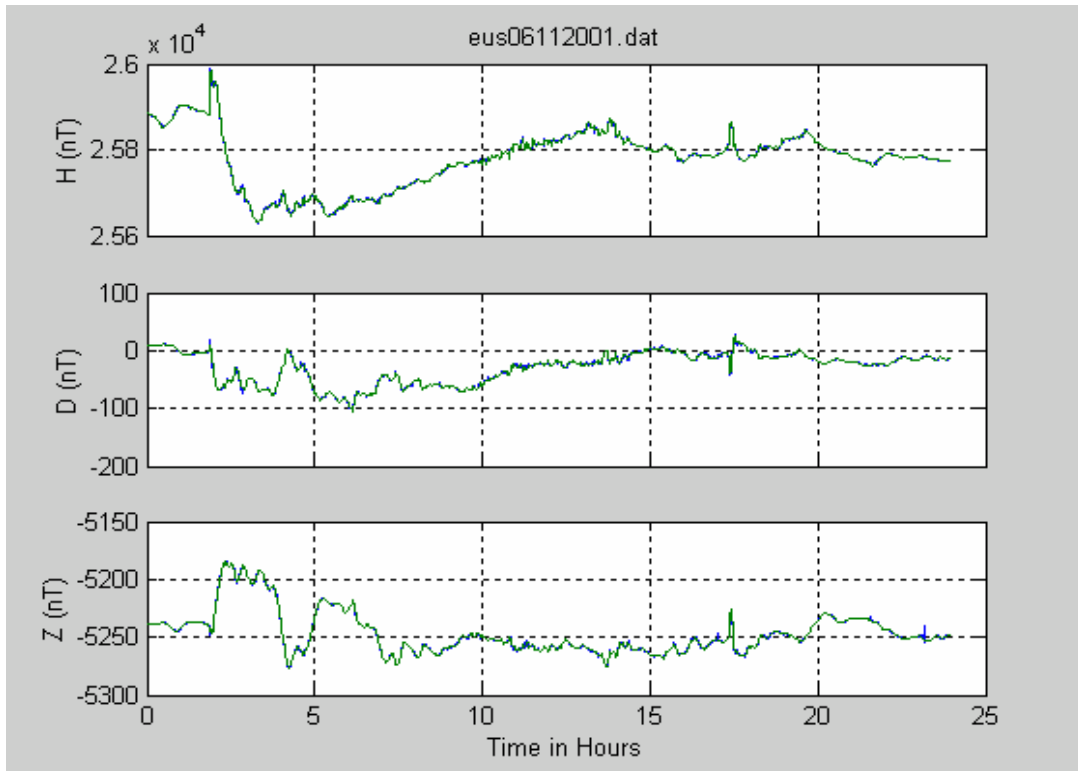


Figura 34 – Comportamento das três componentes geomagnéticas H, D e Z para o dia 06 de novembro de 2001,, para o Observatório Magnético de Eusébio, EUS, com um índice $\Sigma Kp = 54$.

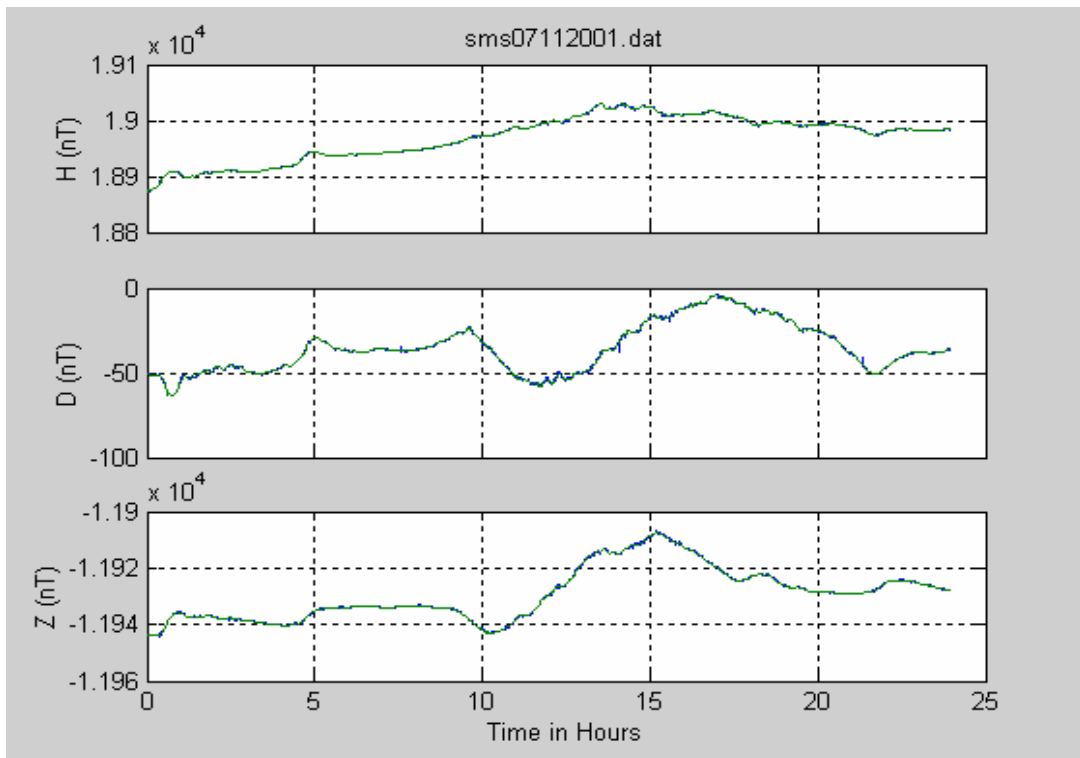


Figura 35 – Comportamento das três componentes geomagnéticas H, D e Z para o dia 07 de novembro de 2001, para a Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT, do, com um índice $\Sigma Kp = 23+$.

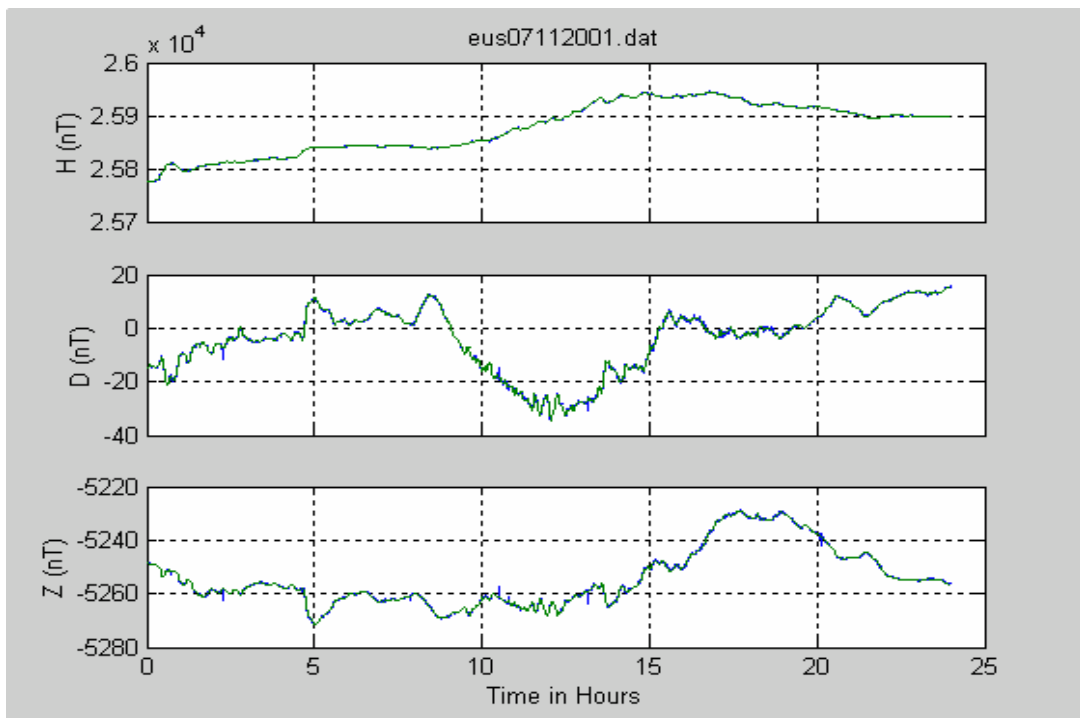


Figura 36 – Comportamento das três componentes geomagnéticas H, D e Z para o dia 07 de novembro de 2001, para o Observatório Magnético de Eusébio, EUS, com um índice $\Sigma Kp = 23+$.

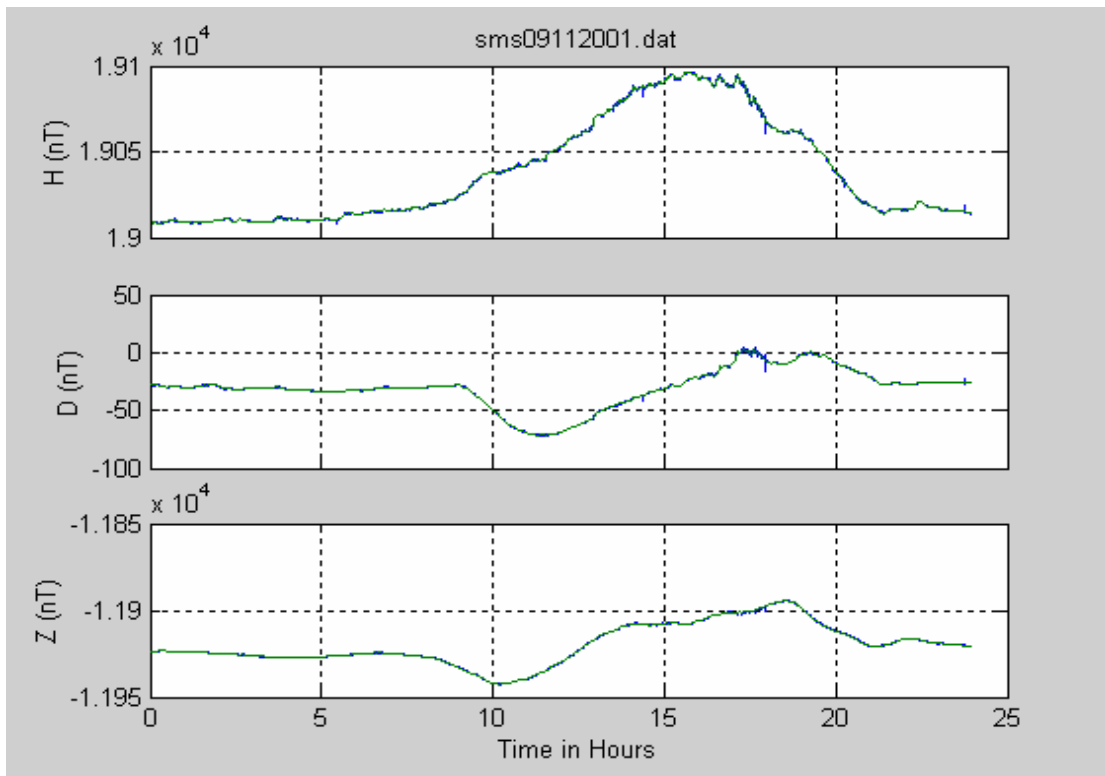


Figura 37 – Comportamento das três componentes geomagnéticas H, D e Z para o dia 09 de novembro de 2001, para a Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT, com um índice $\Sigma Kp = 10+$.

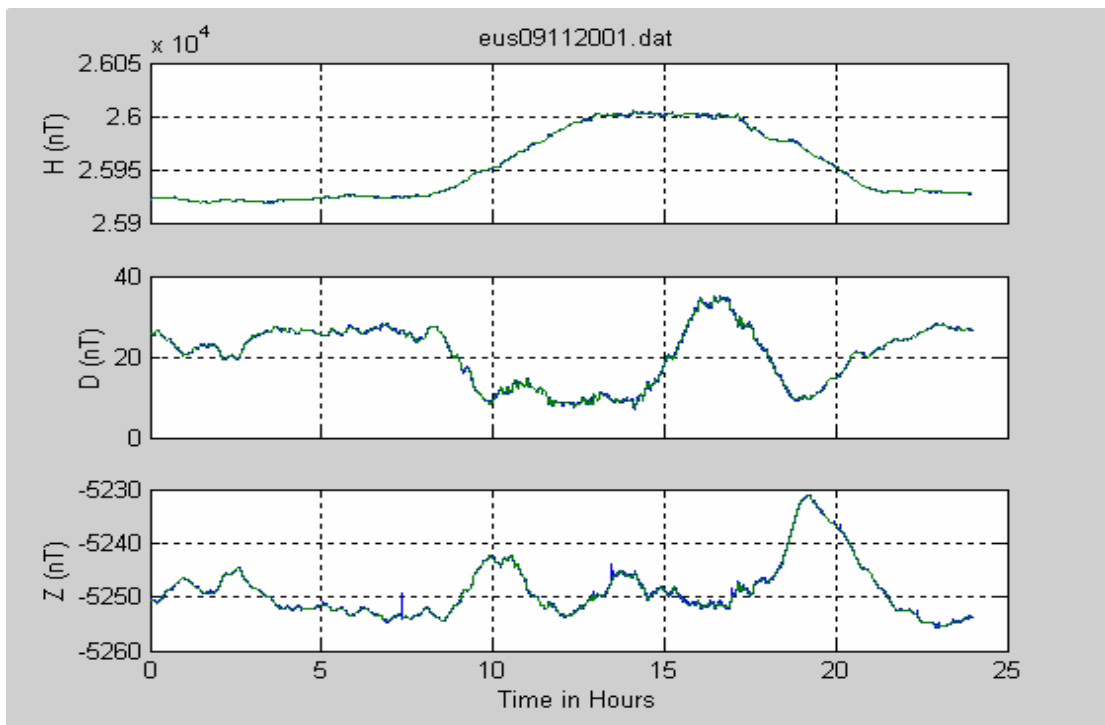


Figura 38 – Comportamento das três componentes geomagnéticas H, D e Z para o dia 09 de novembro de 2001, para o Observatório Magnético de Eusébio, EUS, com um índice $\Sigma Kp = 10+$.

Nas Figuras 31 a 36 são mostrados os gráficos das três componentes magnéticas H , D e Z para os dias de tempestade magnética. Observamos que as amplitudes das três componentes do campo mostram-se variações abruptas ao longo do dia com picos máximos situados em horários diferentes do meio-dia local. Para os dias de tempestade (05 a 07 de novembro de 2001) temos um índice $\Sigma Kp = 22+$, 54 , $23+$, respectivamente.

O início súbito associado à tempestade por volta das 11:00 UT, do primeiro dia, 05 de novembro de 2001 é mostrado nas Figuras 31 e 32 para SMS e EUS. O tempo permanece geomagneticamente perturbado até o dia 07 de novembro de 2001, como mostrado nas Figuras 31-36, para as estações SMS e EUS. Sendo que a tempestade atinge o auge no dia 06 de novembro de 2001, onde o índice Dst para esse dia, fornecido fornecido pela Universidade de Kioto, por volta das 07:00 UT acusa -292 nT.

9.2.2 Filtragem dos Dados

As curvas da variação diária (como nas Figuras 32–36) mostram que o campo geomagnético apresenta mudanças numa faixa muito grande de períodos, que vai desde segundos até horas. As pequenas flutuações desde 100 até 1000 segundos é o objeto de estudo deste trabalho. Para isto, torna-se necessário filtrar a variação diária de modo que a saída contenha os sinais com períodos (ou frequências) dentro da faixa de interesse. Previamente os dados são ponderados a cada 60 segundos, resultando em uma taxa de 1 amostra por minuto (1.440 pontos por dia) e numa frequência de Nyquist de $1/120$ Hz (com período associado de 120 segundos).

Para realizar as filtrações dos dados foi utilizado um filtro digital passa-banda (no domínio do tempo), com saída na faixa de frequência de $1/900$ a $1/180$ hertz (períodos na faixa de 180 a 900 segundos). A aplicação desse filtro na variação diária original das componente H (Norte-Sul) e D (Leste-Oeste) do campo geomagnético permite obter sinais de pulsações na faixa de frequência que se deseja estudar.

Nas filtragens digitais se excluiu a componente Z , por ela ter grande contribuição da componente induzida da Terra e não variações de fontes externas ao planeta..

9.2.2.1 Filtragem dos Dados Para os Dias Magnéticamente Calmos

As pulsações geomagnéticas para os períodos geomagneticamente calmos são representados nas Figuras 39-42 e 49-50. Observa-se que o comportamento das pulsações geomagnéticas das componentes H e D , nas figuras 39 e 40, são de um dia magneticamente calmo onde a componente H apresenta uma amplitude em torno de 0.4 nT e a componente D apresenta uma amplitude em torno de 0,2 nT.

A normalização das componentes durante o dia 09 de novembro de 2001, após o período de 3 dias de tempestade são apresentados nas figuras 49-50. Pode-se observar que o comportamento das componentes H e D são típicos de um dia magneticamente calmo, ou seja, com picos em torno do meio dia local. Os gráficos de potência espectral (PPD) e de polarização (DEG), para as duas estações, são pouco sensibilizados.

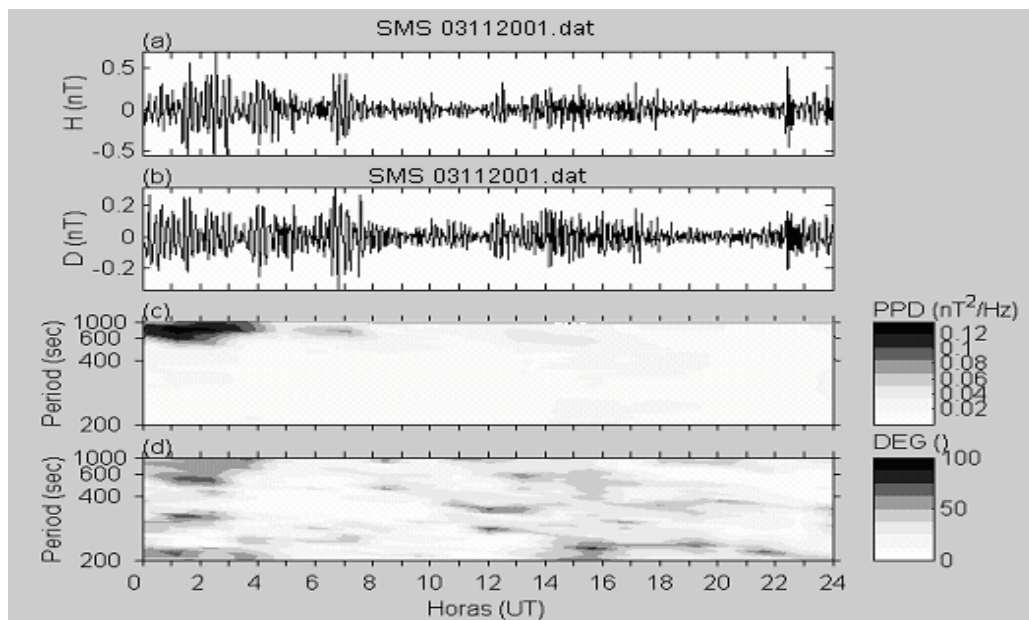


Figura 39 – Análise espectral das componentes H e D e o comportamento da densidade de potência polarizada (PPD) e o grau de polarização (DEG) em 03 de novembro de 2001, na Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.

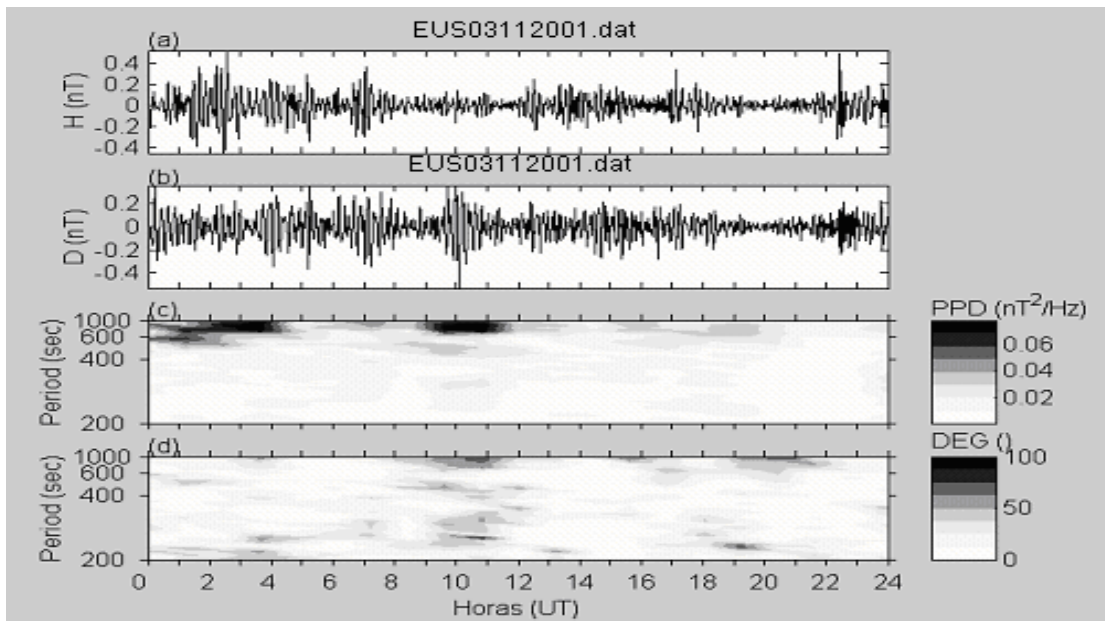


Figura 40 – Análise espectral das componentes H e D e o comportamento da densidade de potência polarizada (PPD) e o grau de polarização (DEG) em 03 de novembro de 2001, na Estação EUS.

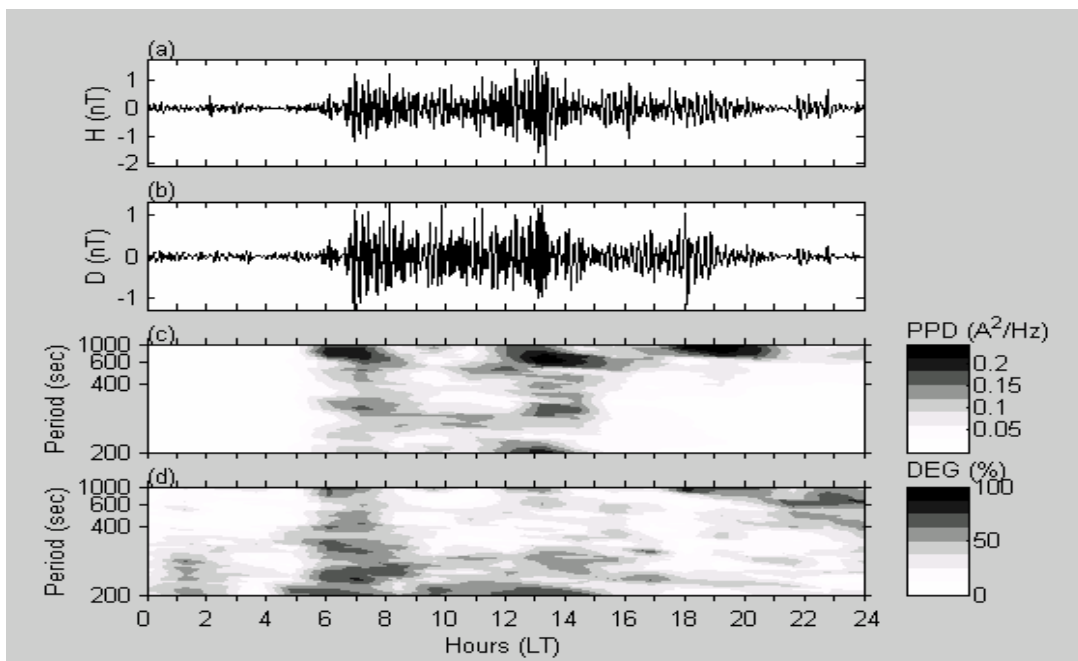


Figura 41 – Análise espectral das componentes H e D e o comportamento da densidade de potência polarizada (PPD) e o grau de polarização (DEG) em 04 de novembro de 2001, na Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.

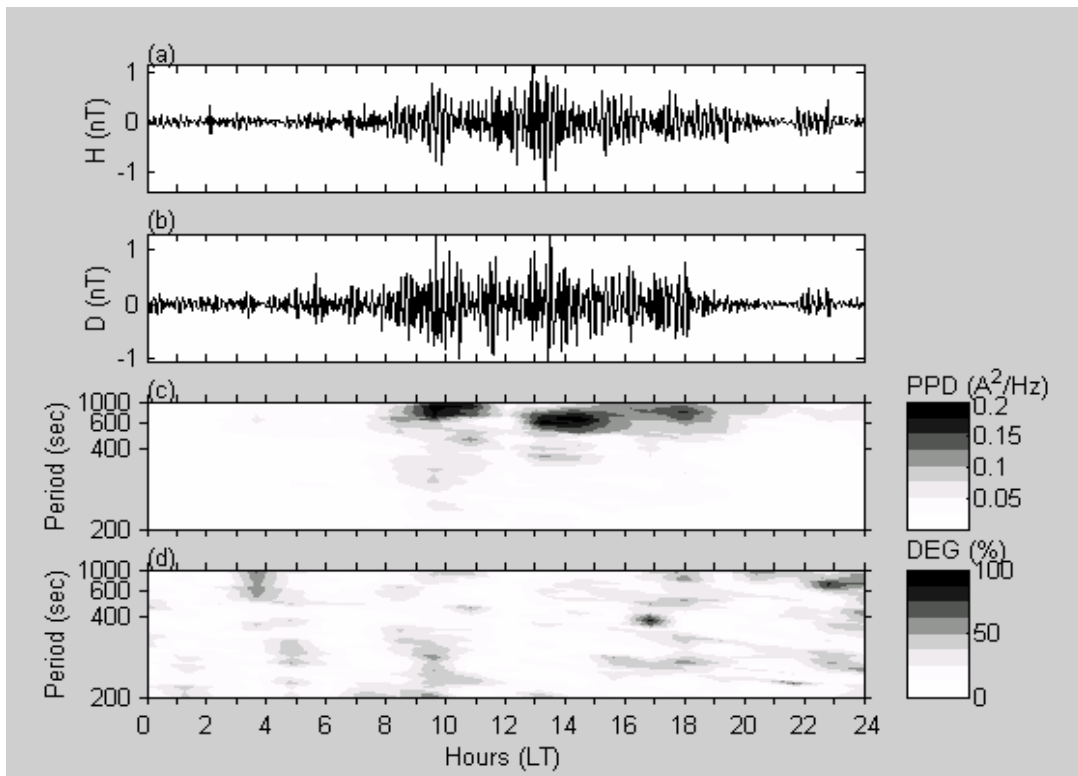


Figura 42 – Análise espectral das componentes H e D e o comportamento da densidade de potência polarizada (PPD) e o grau de polarização (DEG) em 04 de novembro de 2001, na Estação EUS.

9.2.2.2 Filtragem dos Dados Para os Dias Magnéticamente Perturbados

Foi observado nos dados apresentados nas Figuras 43-50 atividades intensas em alguns períodos, cuja análise segue abaixo. Nós sujeitamos os dados de H e de D a uma análise espectral e computamos parâmetros da polarização das pulsações. Uma tentativa é feita de explicar os resultados devido às diferenças grandes de valores da declinação nas duas estações e também à presença da AMAS.

O algoritmo utilizado para confeccionar os gráficos detectou as variações de períodos longos na faixa de 180 a 900 segundos. De cima para baixo, os dois primeiros gráficos – H (nT) e D (nT) – medem as Pc5-Pc6, o terceiro gráfico – PPD – mede a densidade de potência polarizada e o último gráfico mede o grau de polarização – DEG – ou *degree of polarization*.

Analisando o espectro das 24 horas do dia 05 de novembro de 2001 em SMS, Figura 43, percebemos que os primeiros sinais de Pc5-Pc6 são detectados perto das 15:00 UT, representando o começo da tempestade. O pico mais intenso para este dia

é atingido em torno das 16:30 UT. O gráfico PPD é sensibilizado num período de aproximadamente 600-1000 s, entre as 15:00-17:00 UT, enquanto que o gráfico DEG mostra um grau de polarização em torno de 75%, na banda de período entre 300-1000s, em torno das 10:00 UT. Analisando o espectro deste mesmo dia para a Estação Geomagnética de EUS, Figura 44, percebe-se que os picos das componentes *H* e *D* são similares as observadas na Estação Geomagnética de SMS, no entanto os dados do gráfico da DEG são fracamente sensibilizado em torno das 09:30 UT e os dados do gráfico da PPD é sensibilizado num período de aproximadamente 600-1000 s, entre as 19:00-24:00 UT.

Voltamos a ter perturbações abruptas no dia 06 de novembro de 2001, quando o sinal da componente *H* registra pulsações típicas das Pc5 – Pc6 em torno das 02:00 UT, ver Figuras 43-44. Importante observar que o sinal da componente *H* para a Estação Geomagnética de SMS apresenta variações maiores. Observamos que somente o gráfico da PPD da Estação Geomagnética SMS é levemente sensibilizado em torno das 01:00 UT numa faixa de período de 400-900 s. O gráfico da PPD é sensibilizado entre 00:00-03:00 UT, nas duas Estações, num período de aproximadamente 600-1000 s, onde há uma potência maior para os dados da Estação Geomagnética de EUS. O gráfico da DEG é fracamente sensibilizado.

No dia 07 de novembro de 2001 a tempestade vai perdendo intensidade durante a madrugada até se estabilizar em torno das 06:00 UT. As variações seguem estáveis até em torno das 10:00 UT, com picos característicos das Pc5-Pc6, conforme Figuras 45-46. Esta nova fase dura até em torno das 20:00 UT. No dia 9 de novembro de 2001 já não há mais variações abruptas indicando o fim da tempestade, conforme Figuras 49-50. O gráfico da PPD registra em SMS uma densidade de potência polarizada entre 16:00-20:00 UT numa banda de período de 600-1000 s. O gráfico da PPD em EUS também é sensibilizado nesta banda de período e é sensibilizado entre as 10:00-12:00 UT numa banda de período de 700-1000 s.

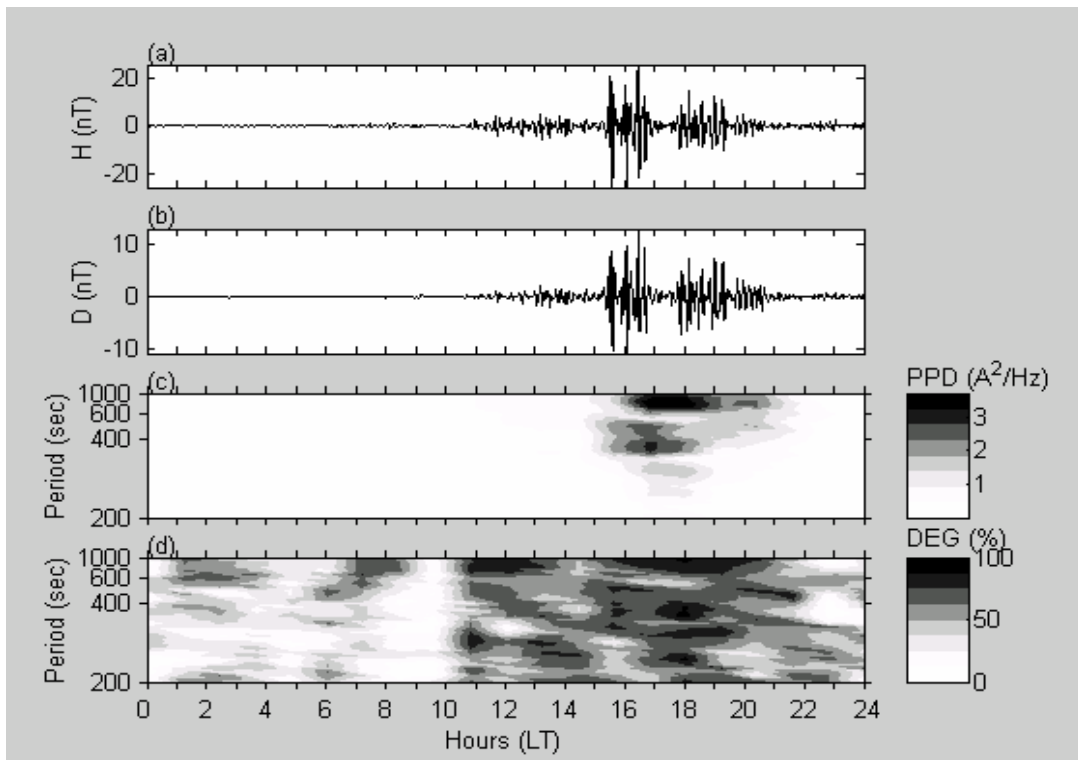


Figura 43 – Análise espectral das componentes H e D e o comportamento da densidade de potência polarizada (PPD) e o grau de polarização (DEG) em 05 de novembro de 2001, na Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.

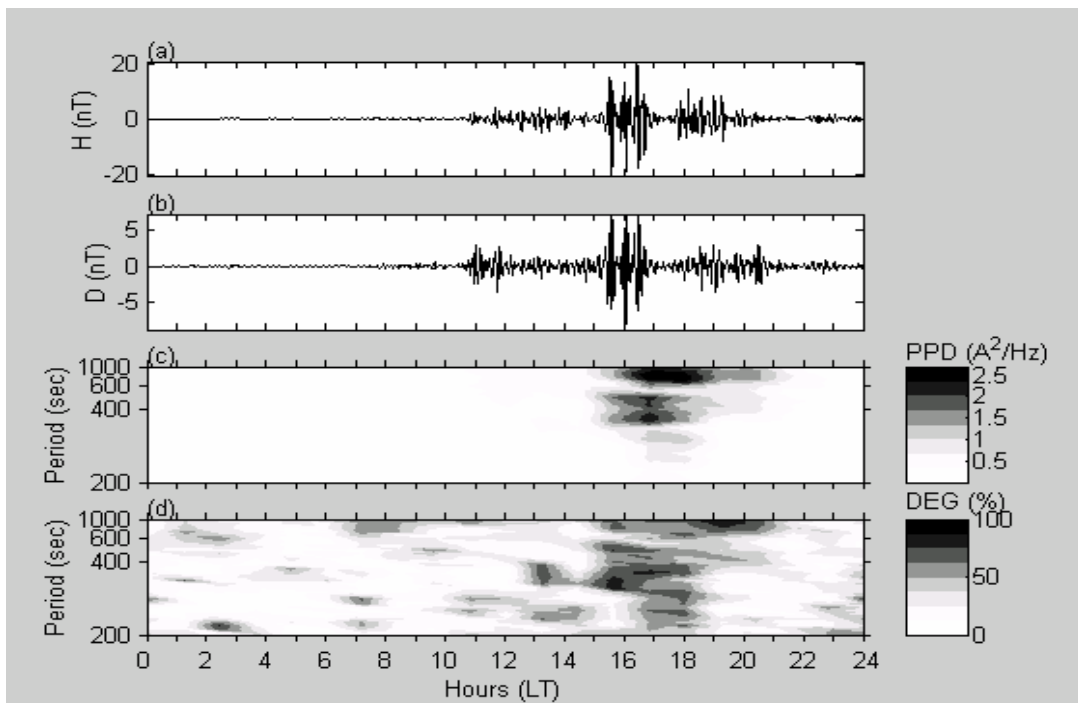


Figura 44 – Análise espectral das componentes H e D e o comportamento da densidade de potência polarizada (PPD) e o grau de polarização (DEG) em 05 de novembro de 2001, na Estação EUS.

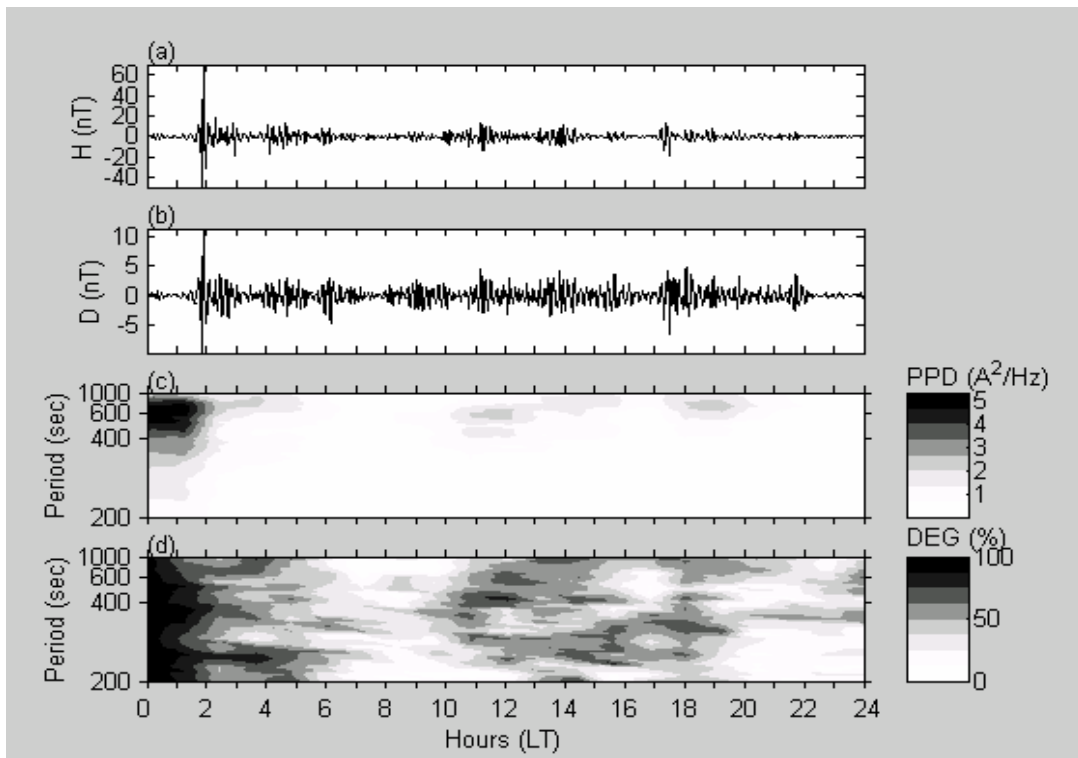


Figura 45 – Análise espectral das componentes H e D e o comportamento da densidade de potência polarizada (PPD) e o grau de polarização (DEG) em 06 de novembro de 2001, na Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.

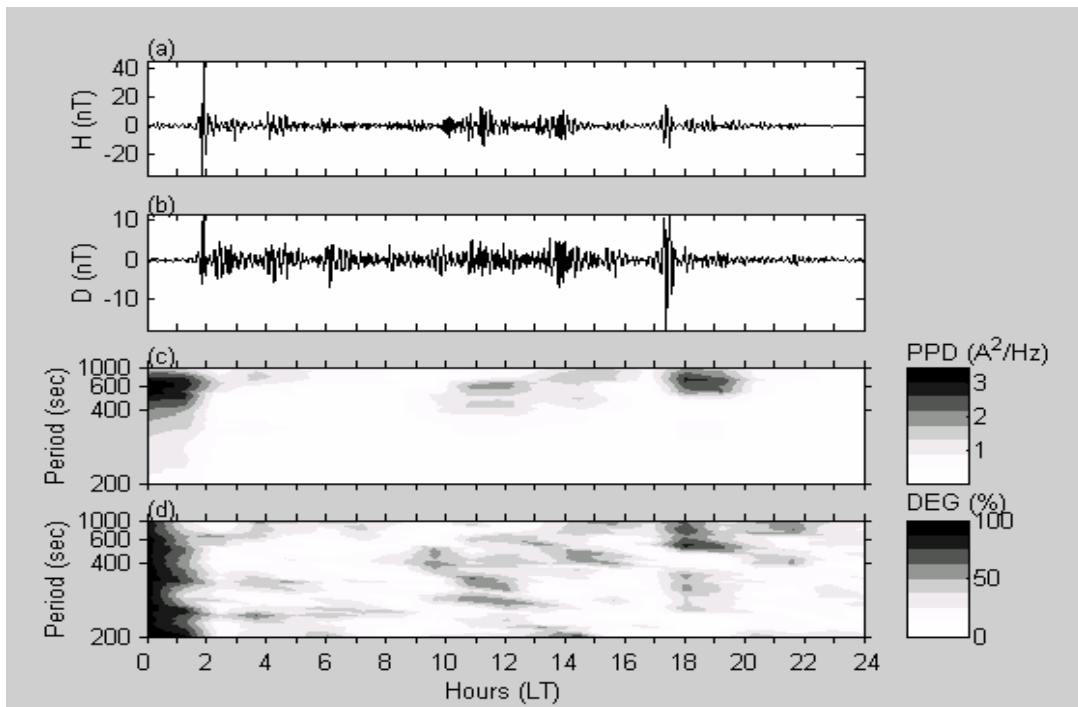


Figura 46 – Análise espectral das componentes H e D e o comportamento da densidade de potência polarizada (PPD) e o grau de polarização (DEG) em 06 de novembro de 2001, na Estação EUS.

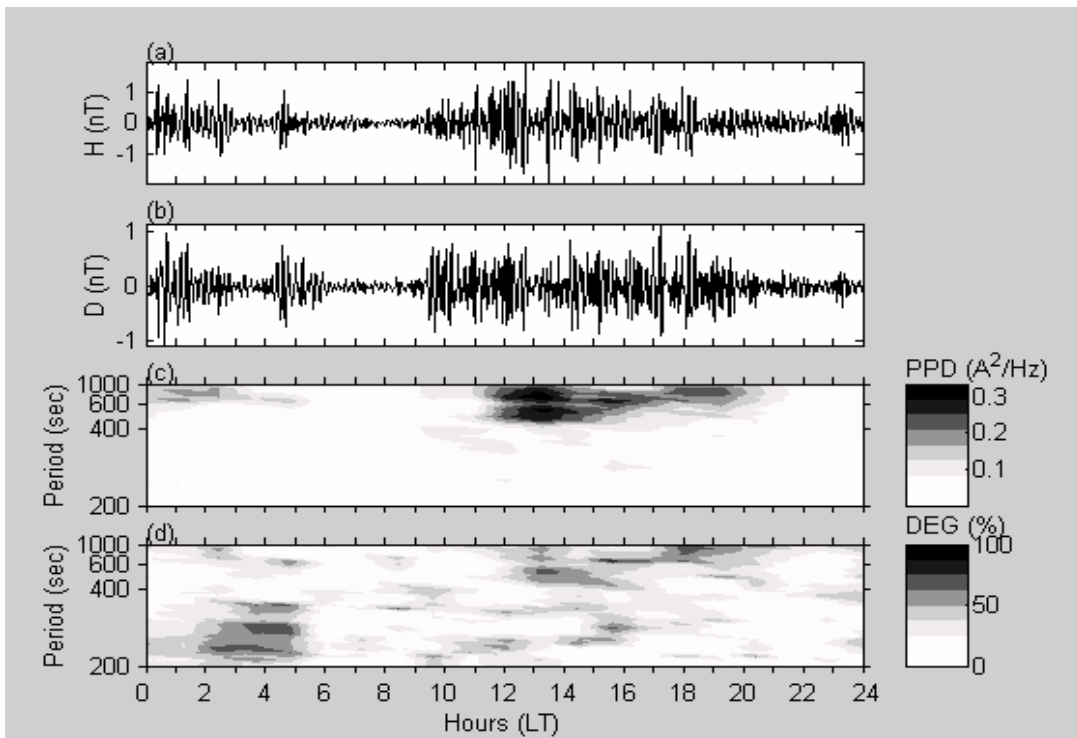


Figura 47 – Análise espectral das componentes H e D e o comportamento da densidade de potência polarizada (PPD) e o grau de polarização (DEG) em 07 de novembro de 2001, na Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.

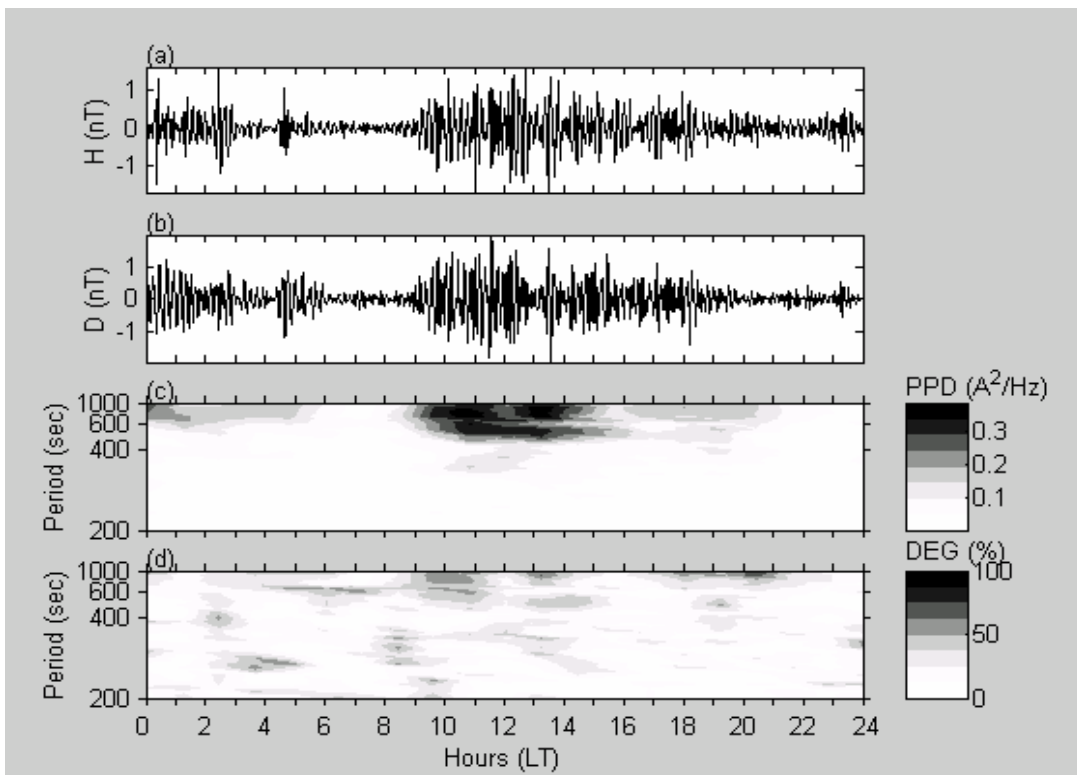


Figura 48 – Análise espectral das componentes H e D e o comportamento da densidade de potência polarizada (PPD) e o grau de polarização (DEG) em 07 de novembro de 2001, na Estação EUS.

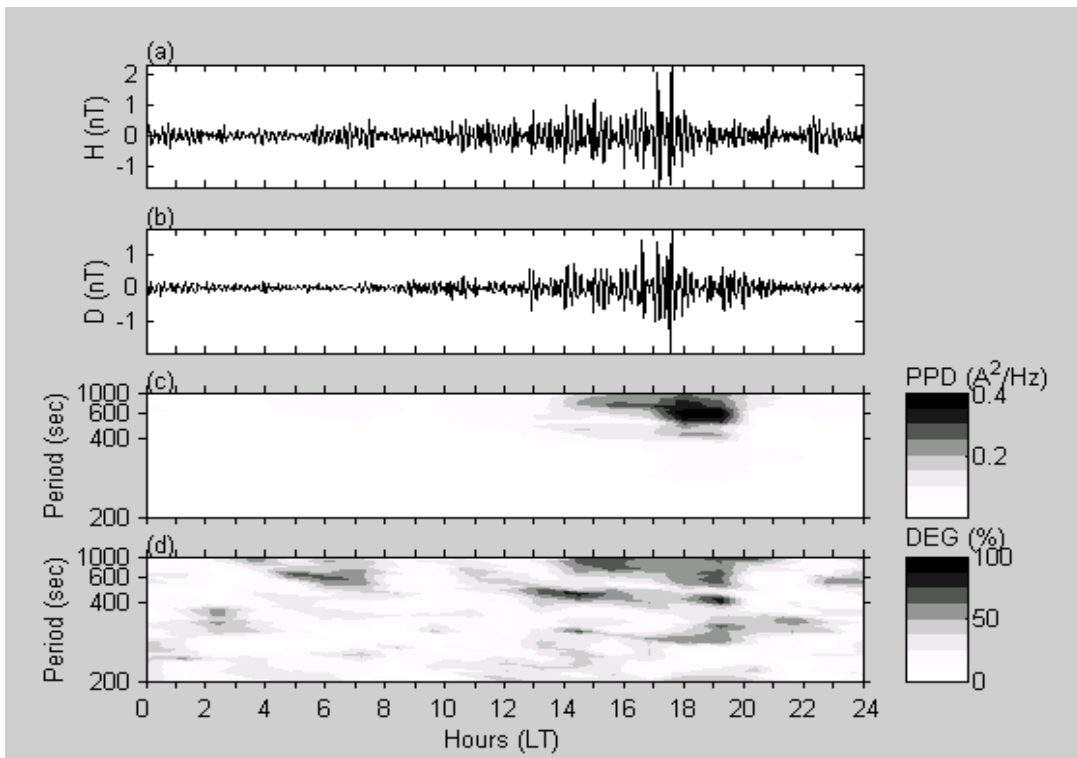


Figura 49 – Análise espectral das componentes H e D e o comportamento da densidade de potência polarizada (PPD) e o grau de polarização (DEG) em 09 de novembro de 2001, na Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.

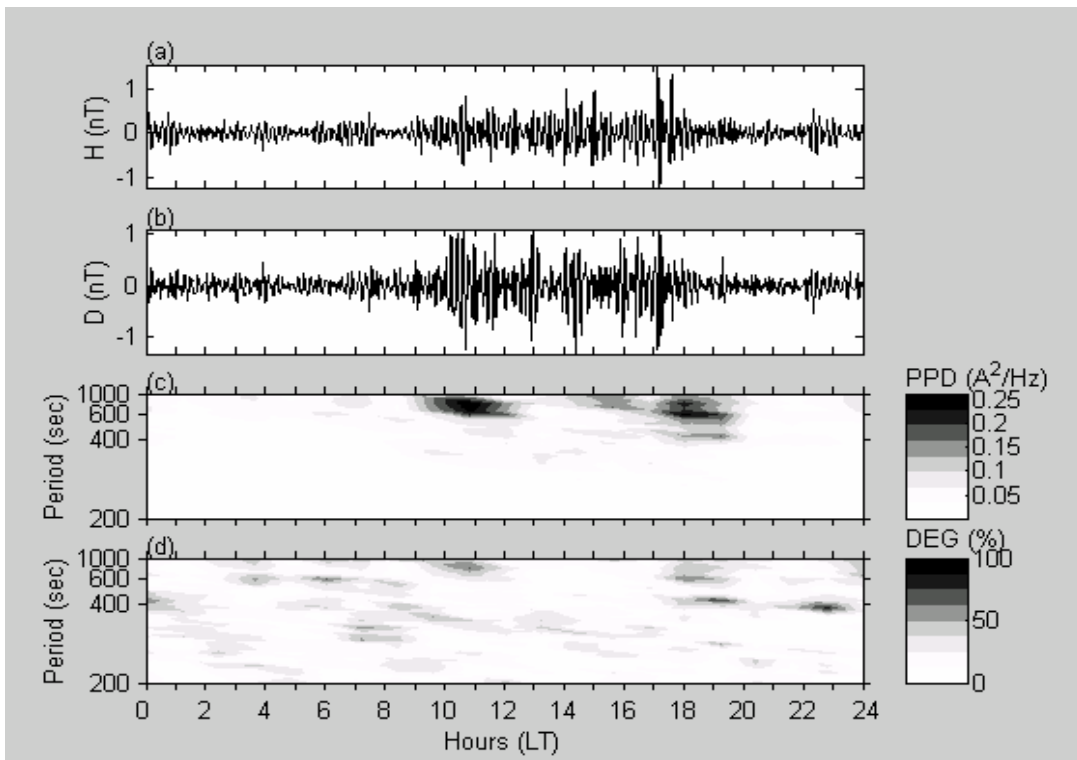


Figura 50 – Análise espectral das componentes H e D e o comportamento da densidade de potência polarizada (PPD) e o grau de polarização (DEG) em 09 de novembro de 2001, na Estação EUS.

9.3 Estudo da Variação da Intensidade do Campo Geomagnético para 2005

O objetivo deste projeto é aplicar o espectro de potência no estudo da intensidade da variação do campo geomagnético e através da PPD (Densidade de Potência Polarizada) estudar as diferenças entre as variações geomagnéticas observadas em dias magneticamente calmos e dias magneticamente perturbados. Após, comparar os resultados obtidos em dias magneticamente calmos e perturbados para a Estação Geomagnética do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT, RS (29.43°S, 53.80°W), SMS, e do Observatório Geomagnético Vassouras, VSS (22.40°S, 43.65°W), RJ, do Observatório Nacional – ON/MCT, e sua relação com a intensidade do Campo Magnético Terrestre.

Inicialmente observou-se e escolheu-se um mês em que houve tempestade magnética para podermos selecionar dias magneticamente perturbados e dias magneticamente calmos num mesmo mês. No mês de janeiro de 2005 foram selecionados dois dias magneticamente calmos antes da tempestade, dois dias magneticamente perturbados, durante a tempestade e mais um dia magneticamente calmo, após a tempestade. Com base inicialmente a uma consulta ao gráfico do índice de tempestade *Dst* (*Disturbance Storm Time*, baseado em medidas de observatórios magnéticos próximos ao equador) fornecido pela universidade de Kyoto (ver Figura 51). Conforme esse gráfico, e os gráficos confeccionados com os dados das estações geomagnéticas SMS e VSS, há ocorrência de uma tempestade magnética nos dias 17 e 18 de janeiro de 2005. Sendo os dados dessas datas usados para os dias magneticamente perturbados e os dados dos dias 09, 10, e 26 de janeiro de 2005 usados para os dias magneticamente calmos.

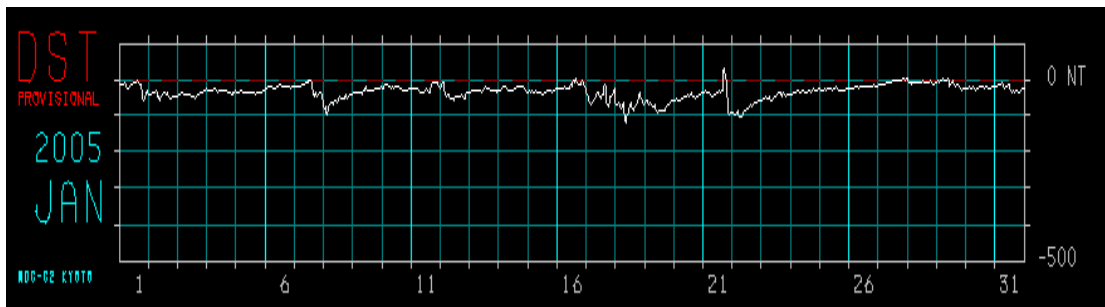


Figura 51: Índice Dst para o mês de janeiro de 2005. [WDC FOR GEOMAGNETISM, KYOTO UNIVERSITY. HOURLY EQUATORIAL DST VALUES(PROVISIONAL).. Unit=nT, Time=number of the hour in UT day.] Fonte: <http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir/p/dstprov200501.html>.

Os arquivos dos dados utilizados contêm os valores da componente ortogonal do campo geomagnético H , registradas em nanoteslas (nT), com um intervalo de amostragem a cada dois segundos (taxa de amostragem é de 0,5 Hz). Primeiramente são elaborados os gráficos da variação diária do campo geomagnético (Figuras 52-61), em seguida é feita a filtragem digital na faixa de 180-900s (Figuras 62-71) e por último a análise espectral (Figuras 72-81).

9.3.1 Análise da Variação Diária para 2005

A variação diária do campo geomagnético registrada nas Estações Magnéticas SMS e VSS, para os dias 09 e 10 de janeiro de 2005 são mostrados nas Figuras 52-55. Esses dois dias são geomagneticamente calmos, antes da tempestade, com valores para o índice ΣKp de 7+ e 12+, respectivamente. O valor máximo do índice Dst para esses dois dias são -39 nT e -33 nT, respectivamente. E no dia 26 de janeiro de 2005 é mostrado nas figuras 60-61. Este dia também magneticamente calmo, após a tempestade, com valor de índice ΣKp de 4+. O valor máximo do índice Dst para este dia é -24 nT.

Ao longo do dia, a amplitude da componente H , mostra-se apenas levemente perturbada, atingindo os valores máximos entre as 15:30 e 16:00 UT e decrescendo até o valor-de-base inicial e final do dia por volta das 22:00 UT.

A variação diária na componente horizontal H (Norte-Sul) durante a tempestade magnética dos dias 17 e 18 de janeiro de 2005 são mostradas nas Figuras 56-59 para as Estações Magnéticas SMS e VSS. Para os dias da tempestade temos $\Sigma Kp = 42+$ e $47+$. O valor máximo do índice Dst para esses três dias são -70 nT e -121 nT, respectivamente.

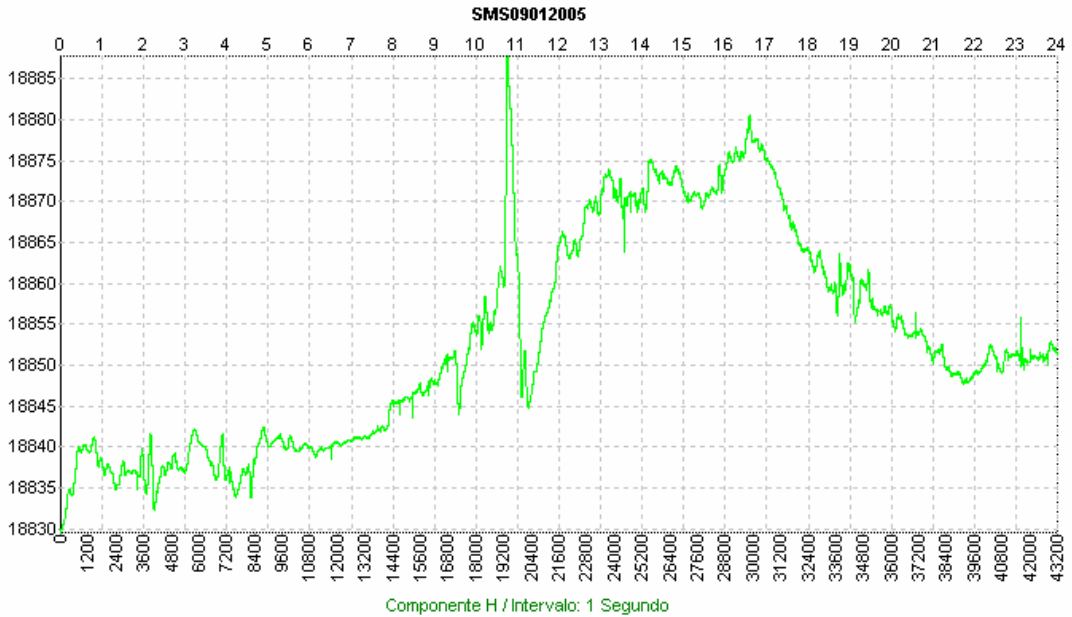


Figura 52; Componente magnética H para a Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT, para o dia 09 de janeiro de 2005, dia magneticamente calmo, índice Dst máximo no dia: -39 nT e ΣKp : $7+$.

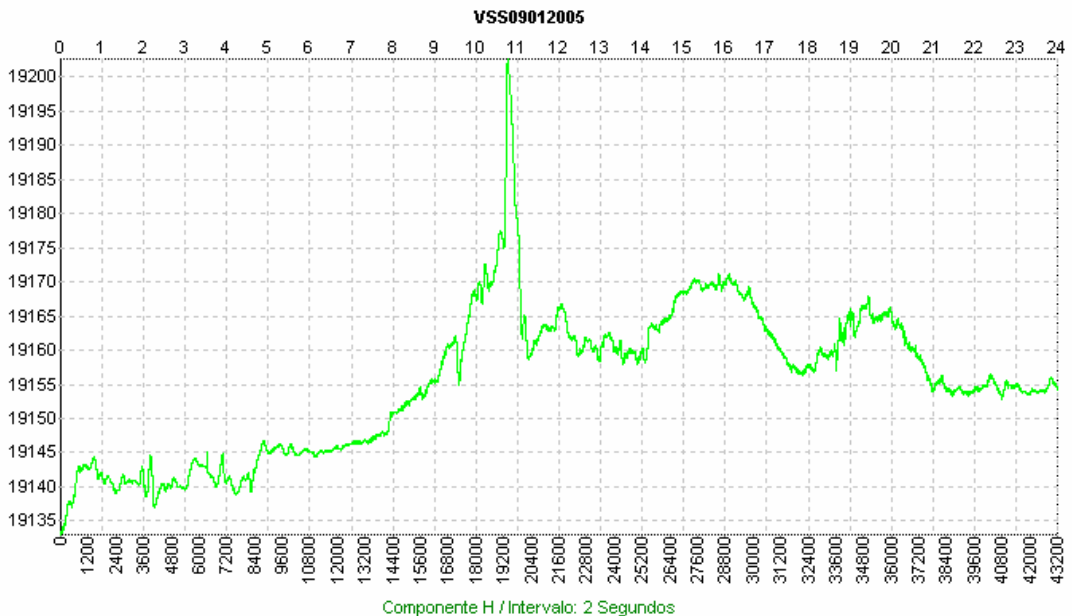


Figura 53; Componente magnética H para o Observatório Magnético de Vassouras, VSS, para o dia 09 de janeiro de 2005, dia magneticamente calmo, índice Dst máximo no dia: -39 nT e ΣKp : $7+.$

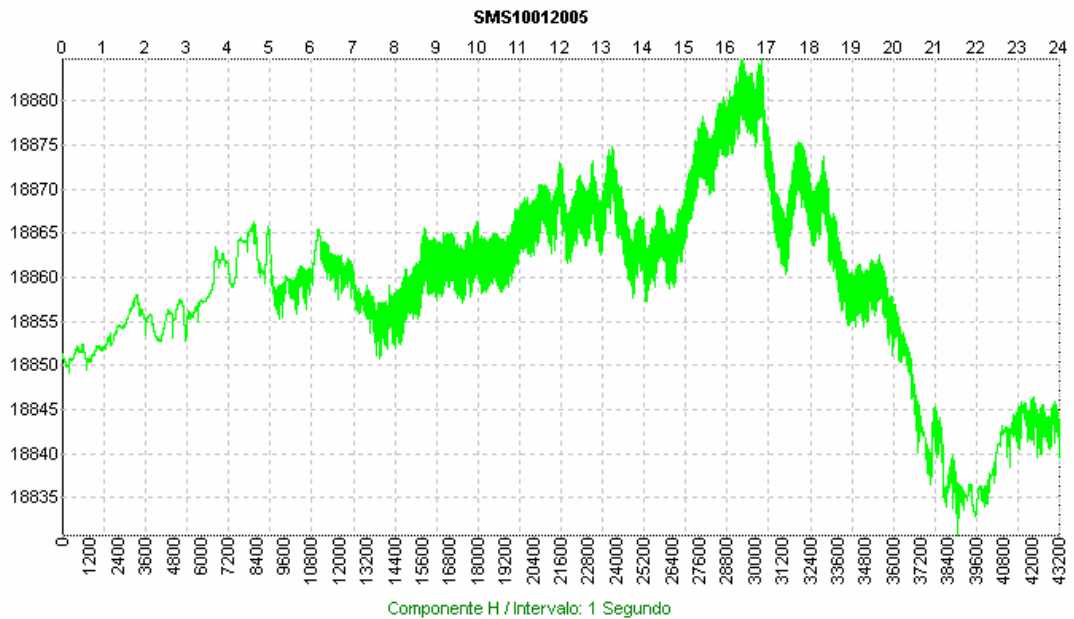


Figura 54; Componente magnética H para a Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT, para o dia 10 de janeiro de 2005, dia magneticamente calmo, índice Dst máximo no dia: - 33 nT e ΣKp : 12+.

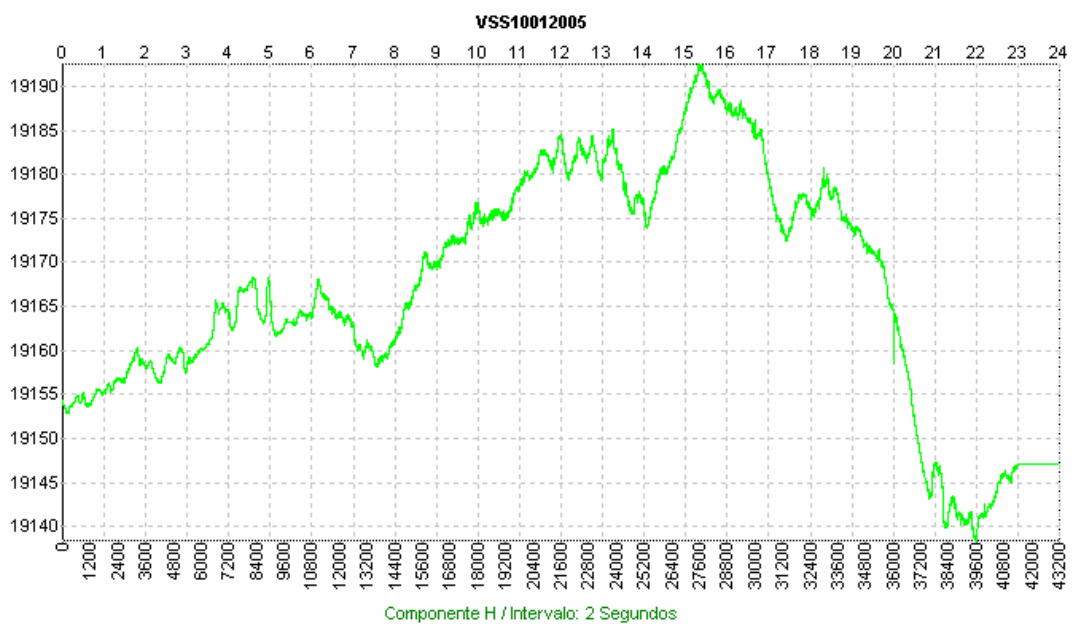


Figura 55; Componente magnética H para o Observatório Magnético de Vassouras, VSS para o dia 10 de janeiro de 2005, dia magneticamente calmo, índice Dst máximo no dia: - 33 nT e ΣKp : 12+.

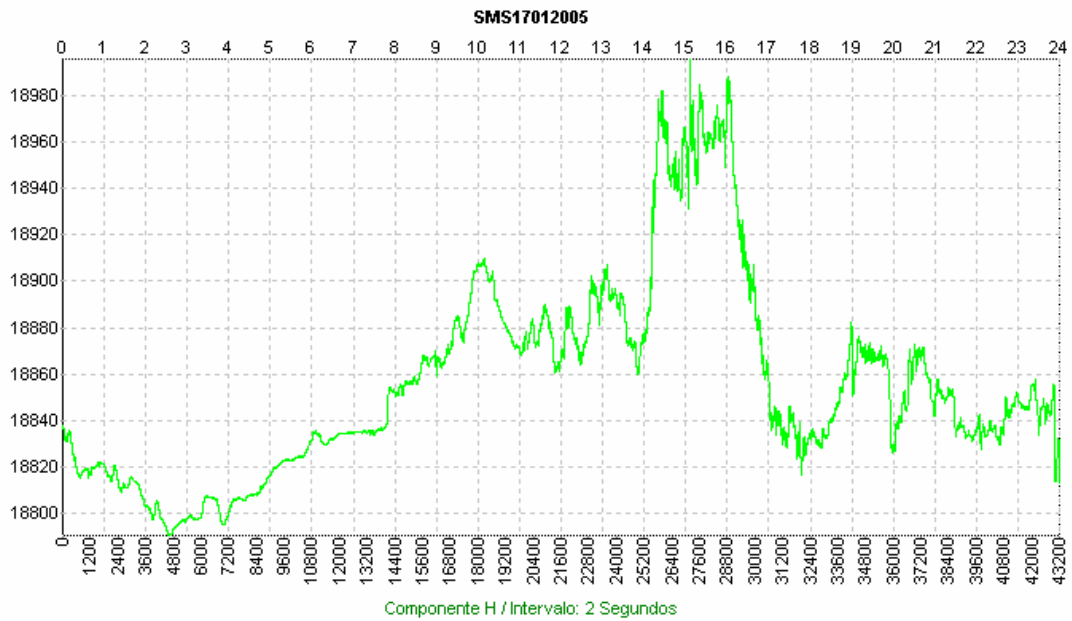


Figura 56; Componente magnética H para a Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT, para o dia 17 de janeiro de 2005, dia magneticamente perturbado, índice Dst máximo no dia: - 70 nT e ΣK_p : 42+.

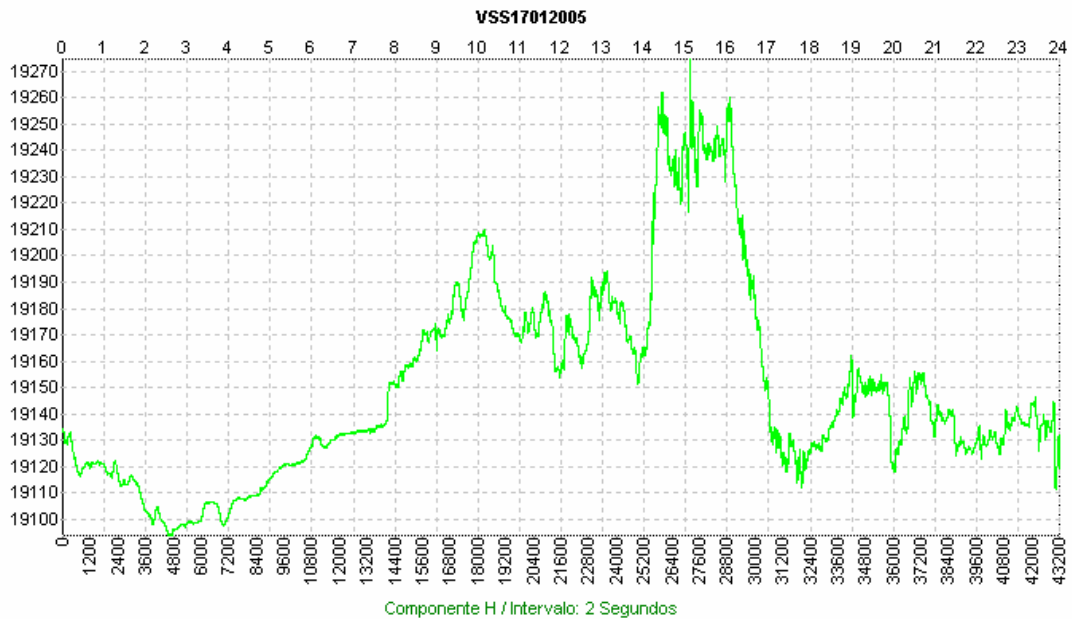


Figura 57; Componente magnética H para o Observatório Magnético de Vassouras, VSS, para o dia 17 de janeiro de 2005, dia magneticamente perturbado, índice Dst máximo no dia: - 70 nT e ΣK_p : 42+.

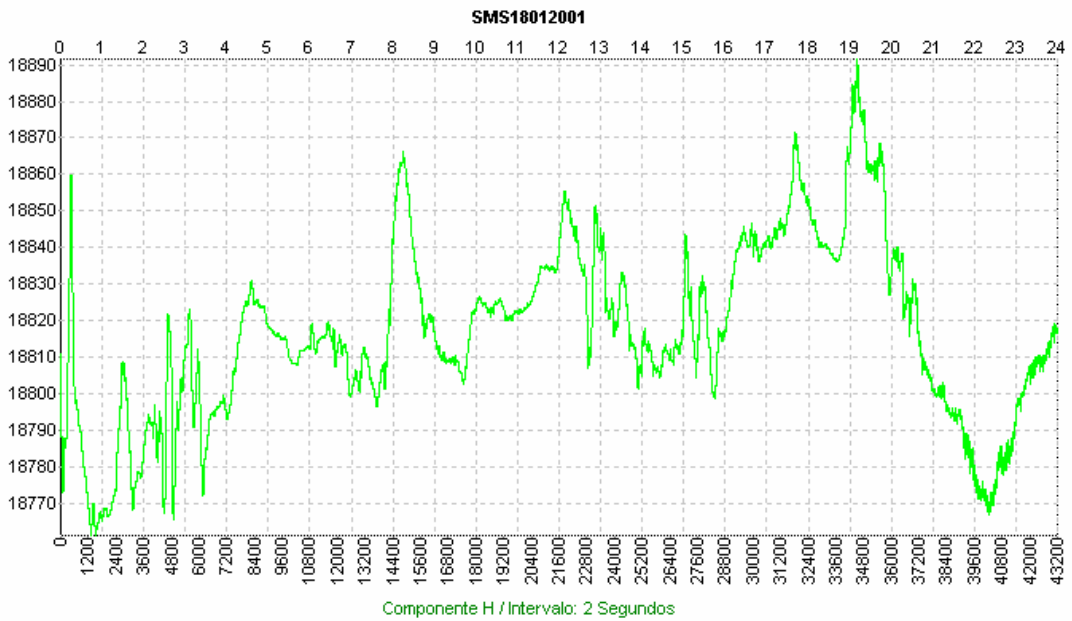


Figura 58; Componente magnética H para a Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT, para o dia 18 de janeiro de 2005, dia magneticamente perturbado, índice Dst máximo no dia: - 121 nT e ΣK_p : 47+.

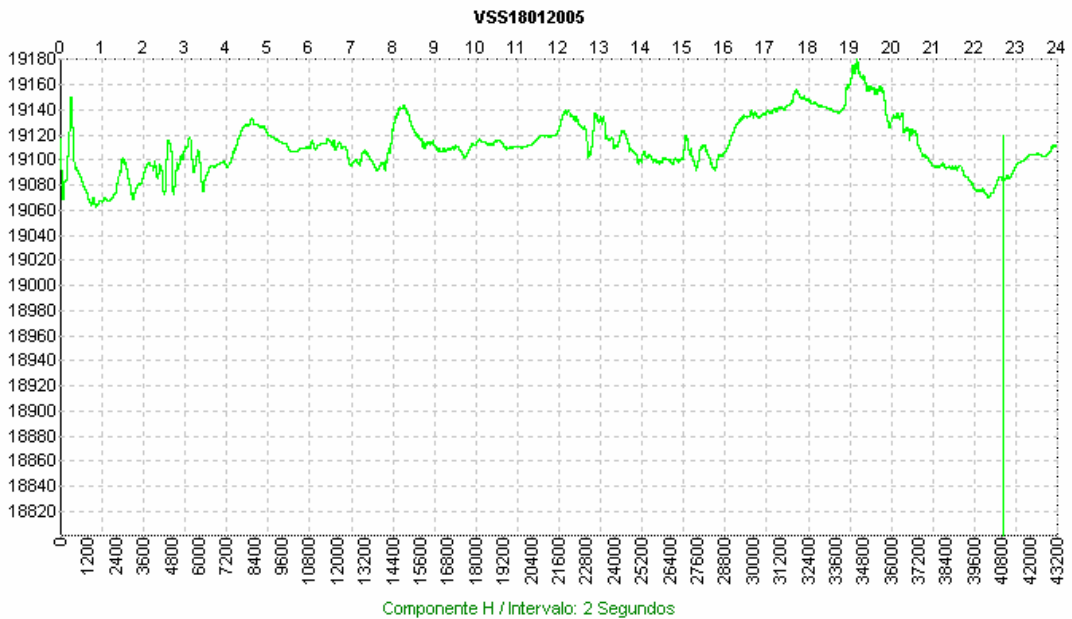


Figura 59; Componente magnética H para o Observatório Magnético de Vassouras, VSS, para o dia 18 de janeiro de 2005, dia magneticamente perturbado, índice Dst máximo no dia: - 121 nT e ΣK_p : 47+.

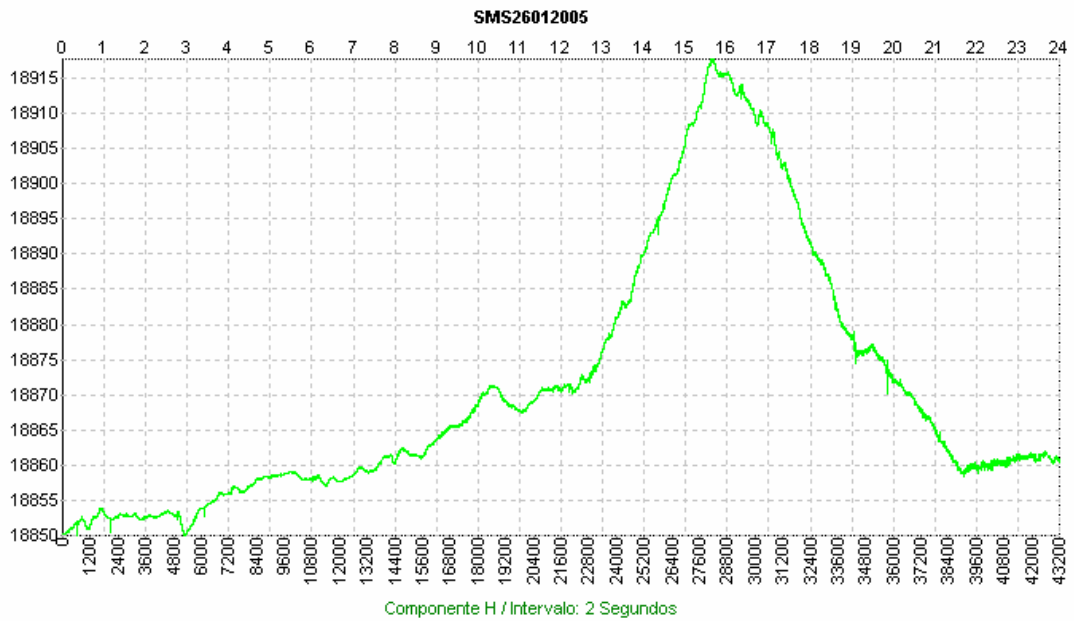


Figura 60; Componente magnética H para a Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT, para o dia 26 de janeiro de 2005, dia magneticamente calmo, índice Dst máximo no dia: - 24 nT e ΣKp : 4+.

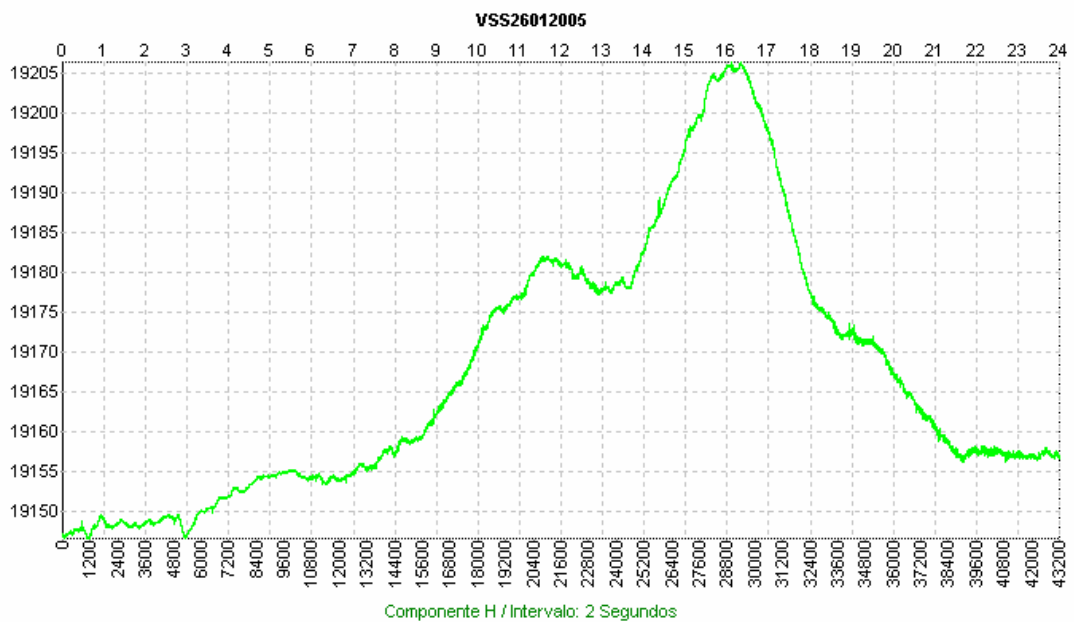


Figura 61; Componente magnética H para o Observatório Magnético de Vassouras, VSS, para o dia 26 de janeiro de 2005, dia magneticamente calmo, índice Dst máximo no dia: - 24 nT e ΣKp : 4+.

9.3.2 Filtragem Digital da Componente H

Como as curvas da variação diária mostram que o campo geomagnético apresenta mudanças numa faixa muito grande de períodos até horas, torna-se necessário filtrar a variação diária de modo que a saída contenha os sinais com períodos (ou frequências) dentro da faixa de interesse, que são as pequenas flutuações que vão de 100 até 1000 segundos.

Para realçar as micropulsões geomagnéticas na faixa de período de 180-900 s foi utilizado um filtro digital passa-banda com saída na faixa de frequência de 1/900 a 1/180 hertz. Mesmo filtro utilizado na análise da tempestade ocorrida entre 17-18 de janeiro de 2005.

As micropulsões geomagnéticas para os dois dias magneticamente calmos são representadas nas Figuras 52-65 e 60-61. Pode-se observar que o comportamento da componente *H*, para os dias 09 e 10 de janeiro de 2005, têm um comportamento típico de um dia magneticamente calmo, onde os picos das micropulsões variam entre -2nT a $+2\text{nT}$ para as Estações Geomagnéticas de SMS e VSS. O mesmo ocorre para o dia magneticamente calmo, após a tempestade 26 de janeiro.

Analisando as micropulsões das 24 horas do dia 17 de janeiro de 2005 observado pela Estação Geomagnética de SMS, Figura 66, temos picos de micropulsões variando entre -6nT a $+6\text{nT}$, característicos de dias magneticamente perturbados. Esses picos indicam tempestades magnéticas classificadas como Pc5-Pc6. As maiores variações são detectadas no intervalo que compreende 14:00 UT–17:00 UT. O gráfico dos dados observados pela Estação Geomagnética de VSS, Figura 67, apresenta as maiores variações das micropulsões no mesmo intervalo de tempo que a Estação Geomagnética de SMS, porém os picos são menores.

Analisando as micropulsões do dia 18 de janeiro de 2005, dia magneticamente perturbado, para a Estação Geomagnética de SMS, Figura 68, há picos de micropulsões variando entre -6nT a $+6\text{nT}$. Ocorrem vários picos durante o dia, sendo que o maior é detectado em torno das 03:00 UT, caracterizando as Pc5-Pc6. O gráfico da Estação Geomagnética de VSS, Figura 69, apresenta os mesmos picos para os mesmos intervalos de tempo, porém, com menor intensidade.

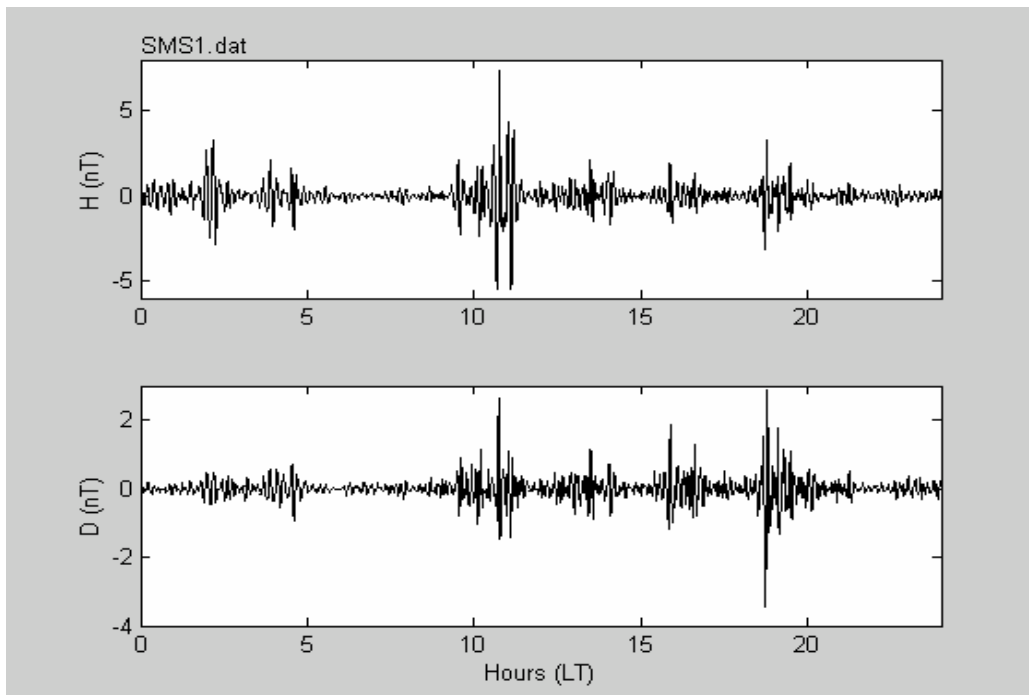


Figura 62; Filtragem digital, da componente H em função do tempo (UT), onde se realçam as micropulsações geomagnéticas na faixa de 180-900s, para o dia 09 de janeiro de 2005, dia magneticamente calmo, na Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.

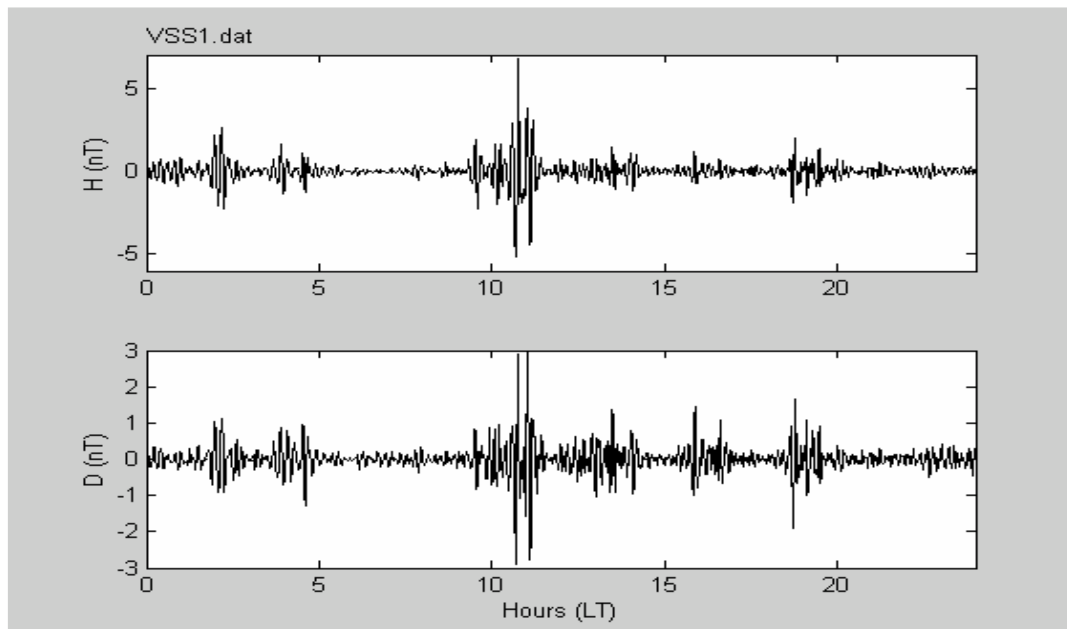


Figura 63; Filtragem digital, da componente H em função do tempo (UT), onde se realçam as micropulsações geomagnéticas na faixa de 180-900s, para o dia 09 de janeiro de 2005, dia magneticamente calmo, no Observatório Magnético de Vassouras, VSS.

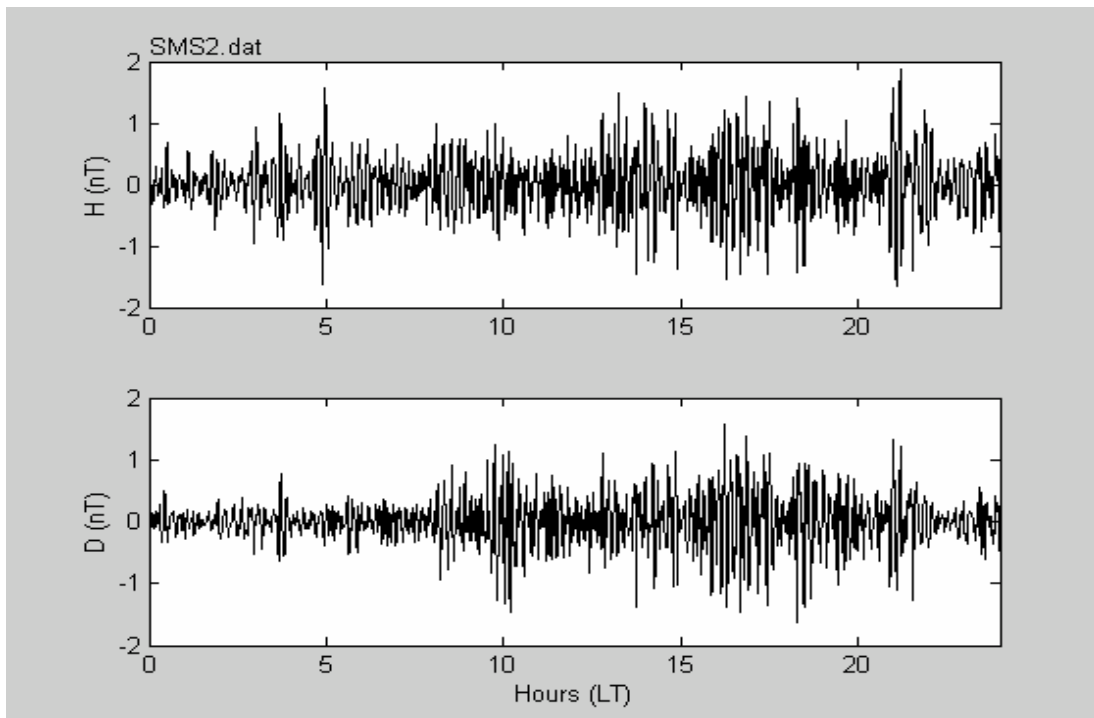


Figura 64; Filtragem digital, da componente H em função do tempo (UT), onde se realçam as micropulsações geomagnéticas na faixa de 180-900s, para o dia 10 de janeiro de 2005, dia magneticamente calmo, na Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.

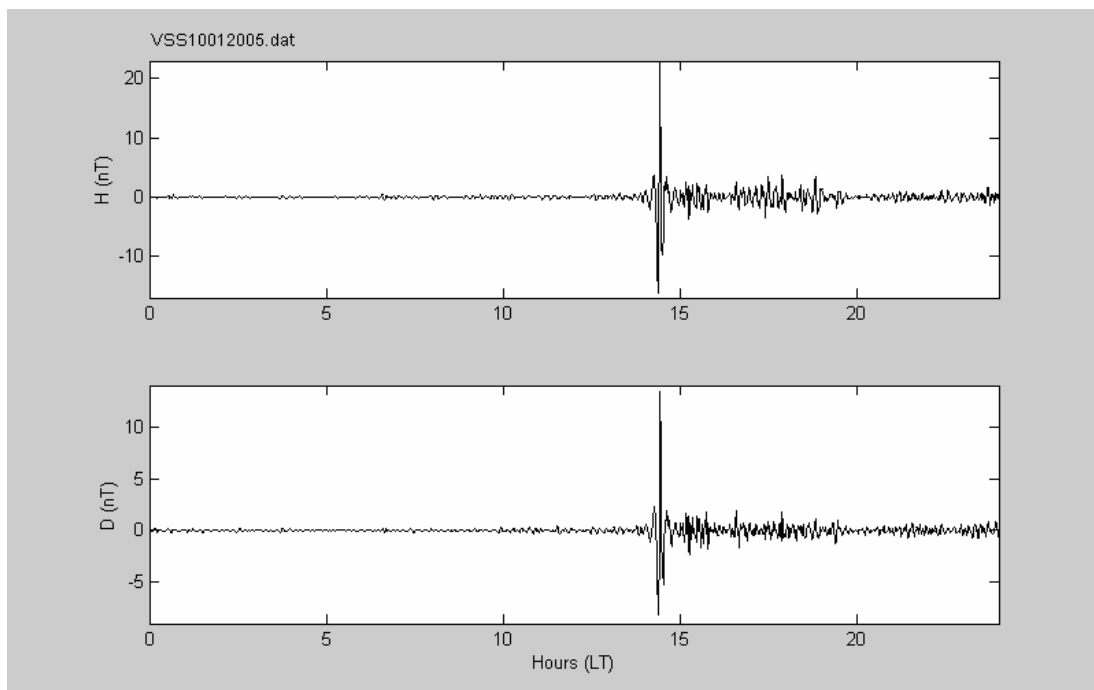


Figura 65; Filtragem digital, da componente H em função do tempo (UT), onde se realçam as micropulsações geomagnéticas na faixa de 180-900s, para o dia 10 de janeiro de 2005, no Observatório Magnético de Vassouras, VSS.

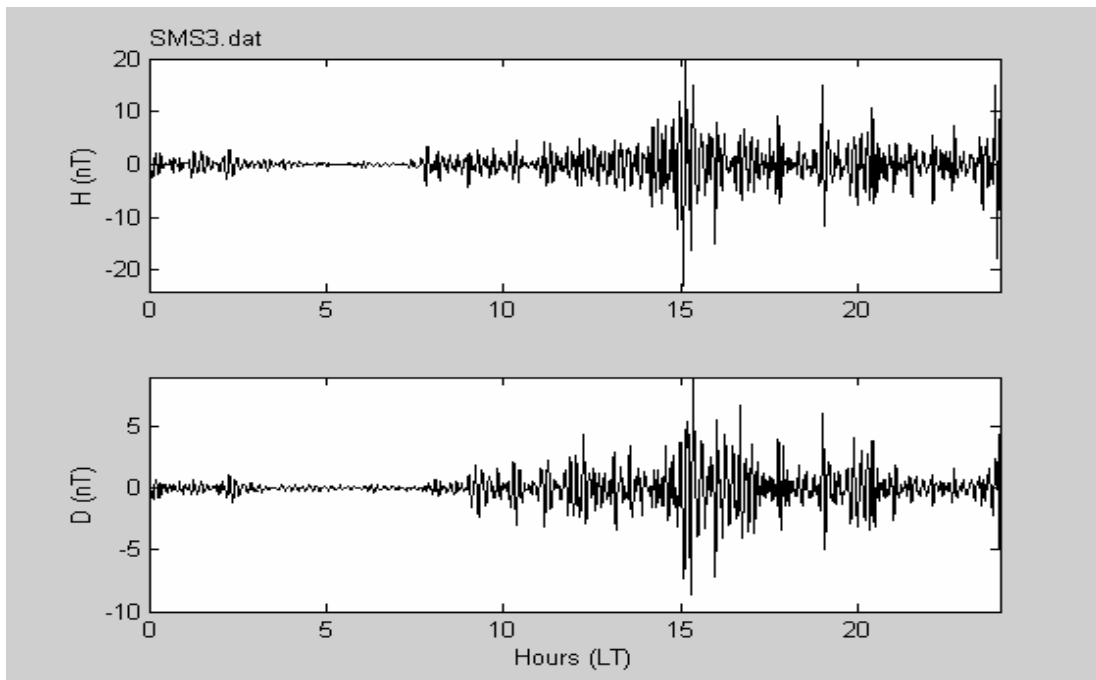


Figura 66; Filtragem digital, da componente H em função do tempo (UT), onde se realçam as micropulsações geomagnéticas na faixa de 180-900s, para o dia 17 de janeiro de 2005, dia magneticamente perturbado, na Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.

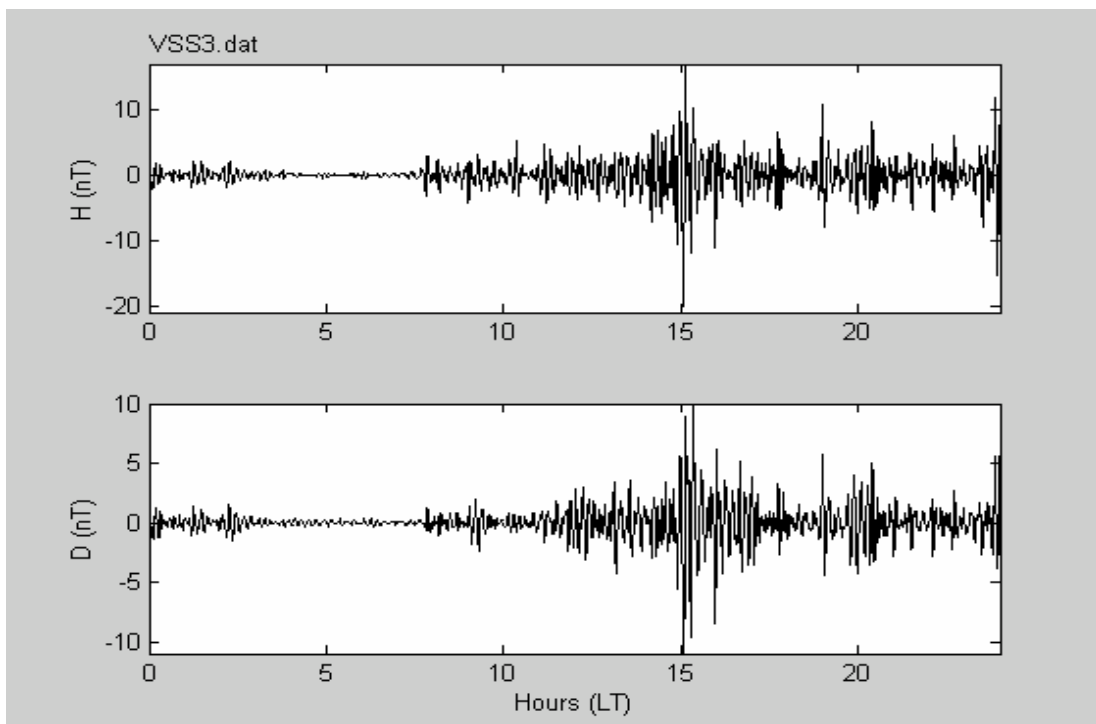


Figura 67; Filtragem digital, da componente H em função do tempo (UT), onde se realçam as micropulsações geomagnéticas na faixa de 180-900s, para o dia 17 de janeiro de 2005, no Observatório Magnético de Vassouras, VSS.

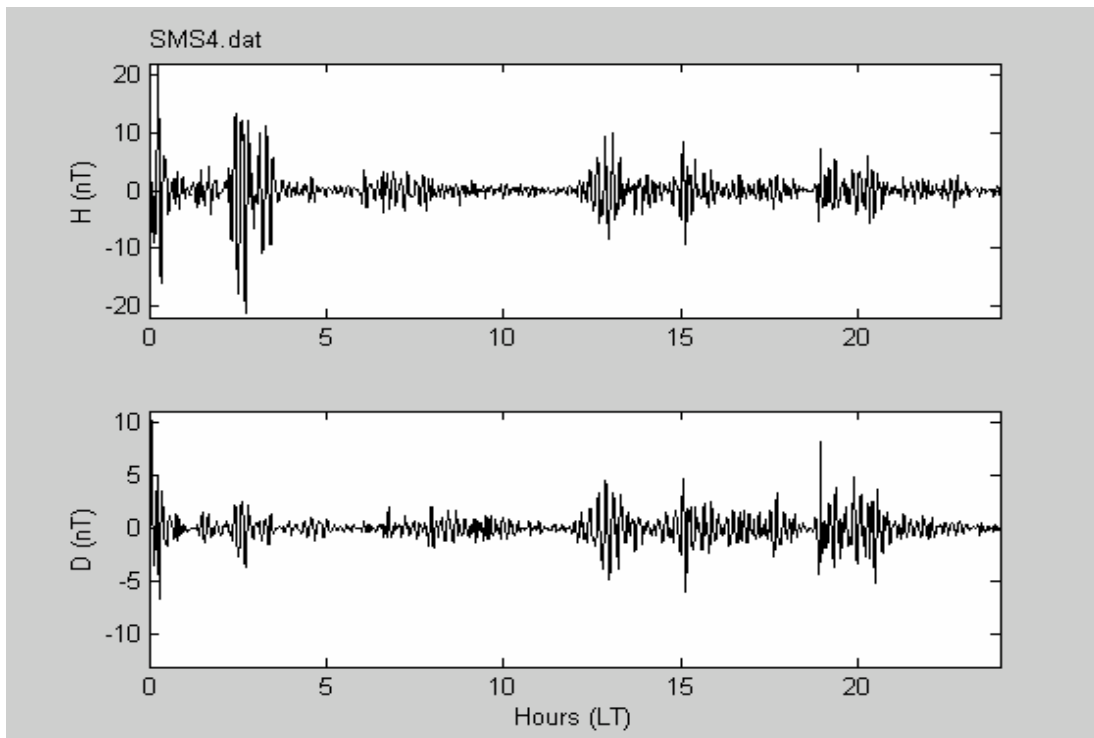


Figura 68; Filtragem digital, da componente H em função do tempo (UT), onde se realçam as micropulsações geomagnéticas na faixa de 180-900s, para o dia 18 de janeiro de 2005, na Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.

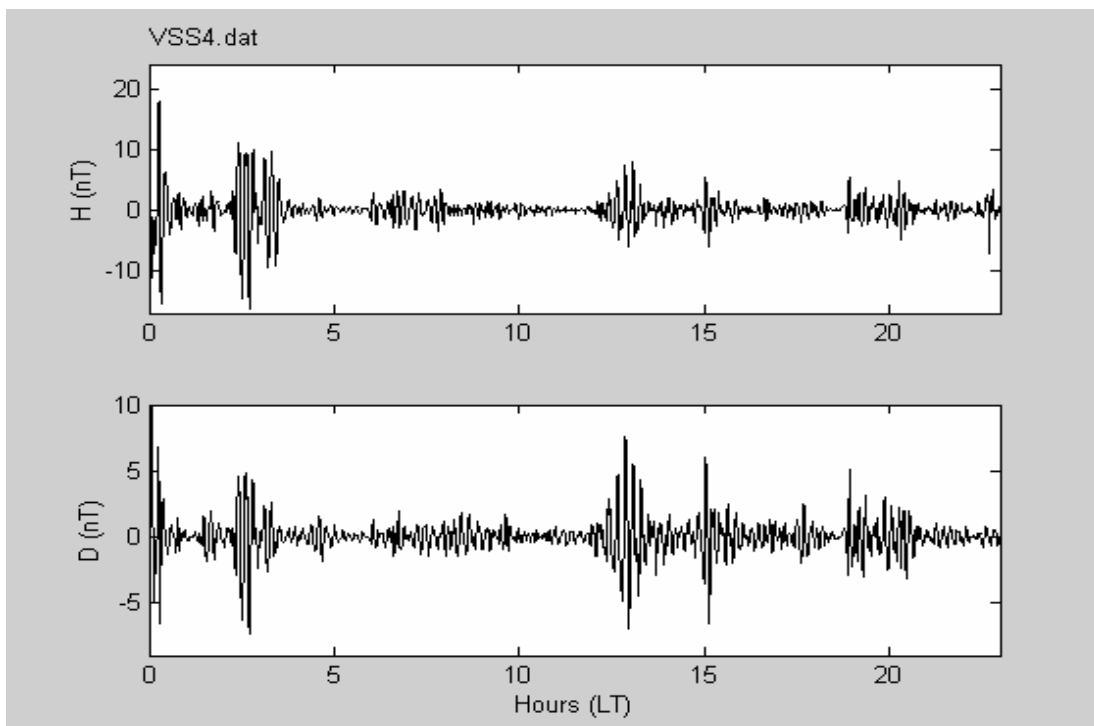


Figura 69; Filtragem digital, da componente H em função do tempo (UT), onde se realçam as micropulsações geomagnéticas na faixa de 180-900s, para o dia 18 de janeiro de 2005, no Observatório Magnético de Vassouras, VSS.

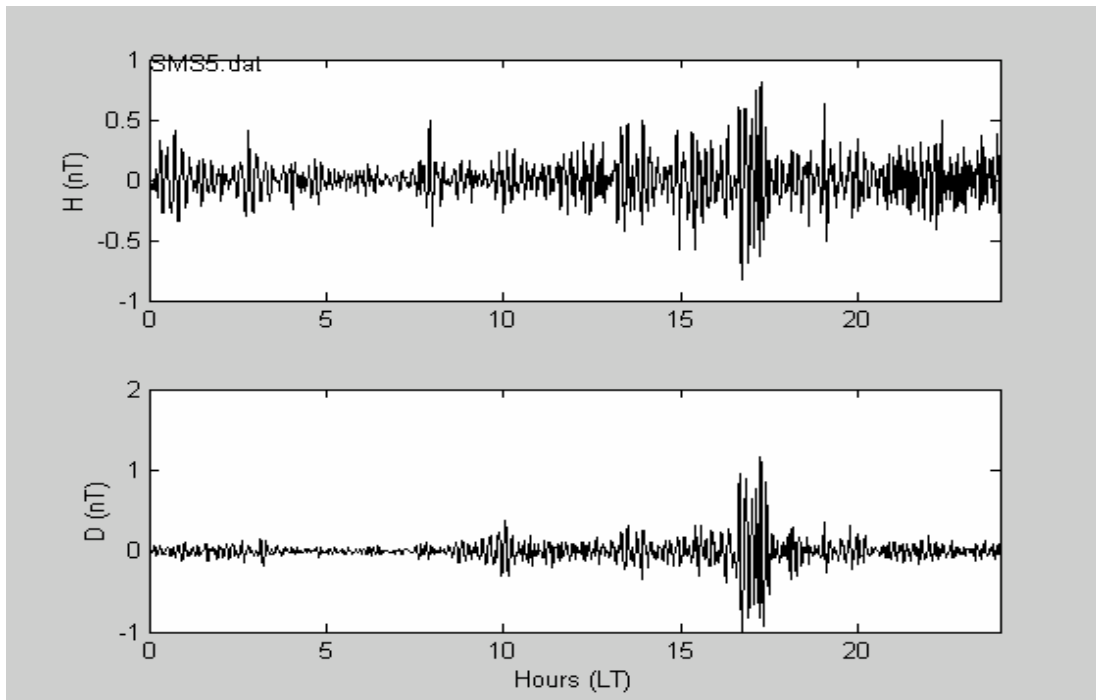


Figura 70; Filtragem digital, da componente H em função do tempo (UT), onde se realçam as micropulsações geomagnéticas na faixa de 180-900s, para o dia 26 de janeiro de 2005, dia magneticamente calmo, na Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.

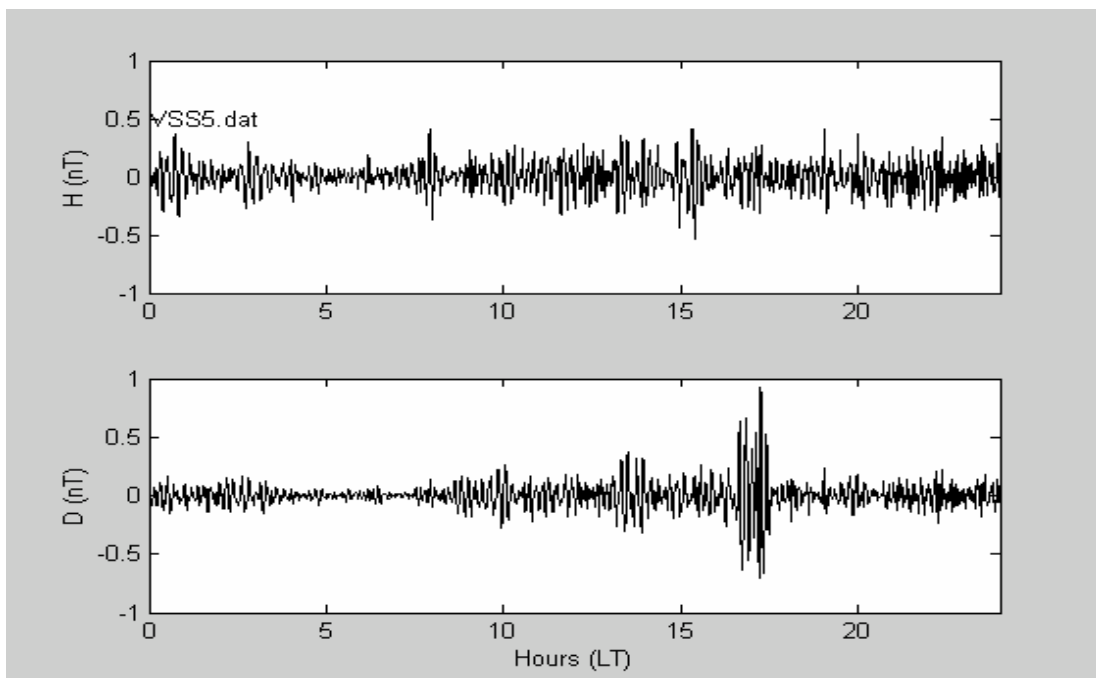


Figura 71; Filtragem digital, da componente H em função do tempo (UT), onde se realçam as micropulsações geomagnéticas na faixa de 180-900s, para o dia 26 de janeiro de 2005, dia magneticamente calmo, no Observatório Magnético de Vassouras, VSS.

9.3.3 Análise por Espectro de Potência

A partir dos sinais filtrados na faixa de 180-900s partiu-se para o estudo destes sinais por espectro de potência. O algoritmo utilizado calcula o espectro de potência do sinal filtrado pelo método FFT (Se há uma função que representa um sinal obtido no tempo, então se pode fazer uma análise espectral deste sinal usando a transformada de Fourier).

As 24 horas dos sinais filtrados na faixa de 180 – 900s, para os dias 09 10, 17, 18 e 26 janeiro de 2005, e os respectivos espectros de potência são vistos nas Figuras 72-81.

Dia magneticamente calmo para a Estação Geomagnética SMS, observa-se que a energia concentra-se em períodos entre 400 s a 900 s, sem picos abruptos de energia para o sinal, sendo que a potência máxima para o dia é alcançada em torno do pico correspondente ao período de 790s com o valor de $0.15 \text{ nT}^2/\text{Hz}$, Figura 72.

Dia magneticamente calmo para a Estação Geomagnética VSS, observa-se que, similarmente a SMS, a energia concentra-se no período entre 700-800 s, sem picos abruptos de energia, com máximo em aproximadamente 790 s correspondendo a uma potência de aproximadamente $0.15 \text{ nT}^2/\text{Hz}$, Figura 73.

Dia magneticamente calmo para a Estação Geomagnética SMS, nota-se que os sinais das pulsações são ainda menos intensos que os sinais do dia anterior, onde a energia concentra-se no período entre 800-825 s, com um valor máximo de energia em torno de $0.02 \text{ nT}^2/\text{Hz}$ num período de aproximadamente 815 s, Figura 74.

Dia magneticamente calmo para a Estação Geomagnética VSS, assim como SMS, os sinais das pulsações são ainda menos intensos que os do dia 09 de janeiro de 2005, com a energia se concentrando no período de 800-825 s, com um máximo de energia em torno de $0.02 \text{ nT}^2/\text{Hz}$ no período de aproximadamente 814 s, Figura 75.

Dia magneticamente perturbado para a Estação Geomagnética SMS, notamos de imediato que os níveis de energia são maiores, para qualquer período observado, quando comparado aos dias magneticamente calmos, significando que os sinais das pulsações são mais intensos nos dias magneticamente perturbados. A análise deste gráfico mostra que a energia espalha-se também para períodos maiores, abrangendo todo o espectro estudado, englobando os sinais característicos das Pc5–Pc6. Notamos

vários picos individuais de energia para diferentes períodos, onde o pico máximo de energia atinge os $0.6 \text{ nT}^2/\text{Hz}$ num período de aproximadamente 650 s, Figura 76.

Dia magneticamente perturbado para a Estação Geomagnética VSS, similarmente ao gráfico de SMS para o dia 17 de janeiro de 2005, a energia espalha-se para períodos maiores, sendo significativa desde 600-700 s. O pico maior de energia ocorre próximo aos 650 s, caracterizando as pulsações Pc5–Pc6, atingindo uma potência máxima de $0.5 \text{ nT}^2/\text{Hz}$. Notamos que a PPD para VSS é menor comparada a SMS para este mesmo dia, Figura 77.

Dia magneticamente perturbado para as Estações Geomagnéticas SMS e VSS, a energia se concentra num período de 650-830 s para ambas as estações, nas Figuras 78-79. Os sinais das pulsações foram intensos nesse dia atingindo uma potência de aproximadamente $0.55 \text{ nT}^2/\text{Hz}$ no período de aproximadamente 830 s para a estação SMS e atingindo uma potência de $0.5 \text{ nT}^2/\text{Hz}$ para a estação VSS num período de aproximadamente 650 s.

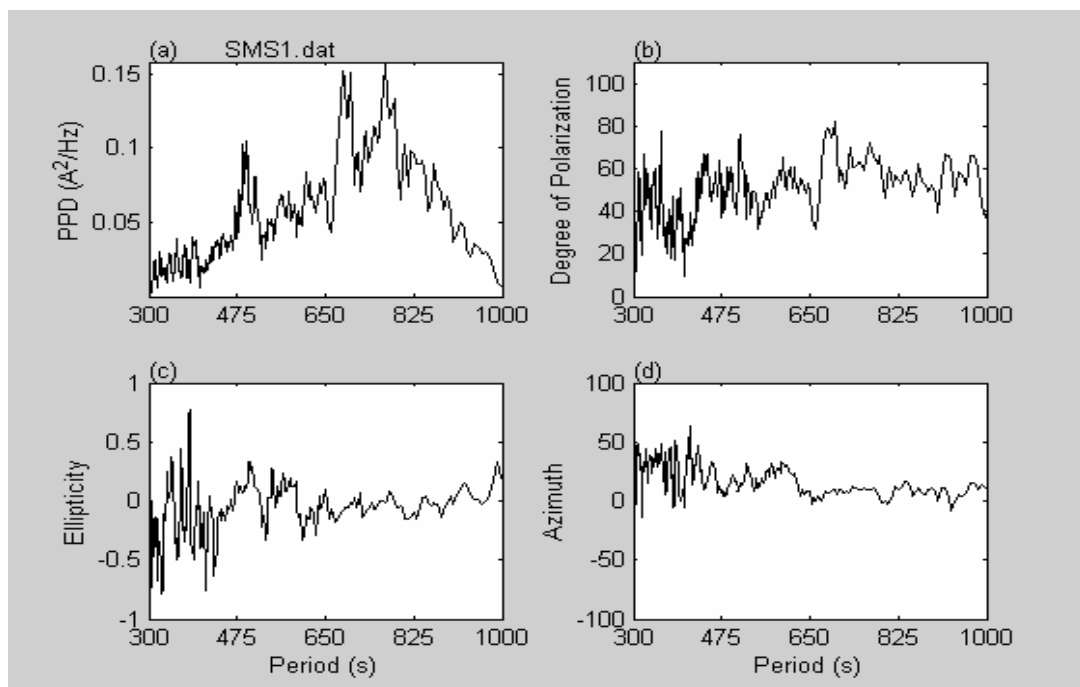


Figura 72; Espectro de potência do sinal filtrado para o dia 09 de janeiro de 2005, dia magneticamente calmo, na Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.

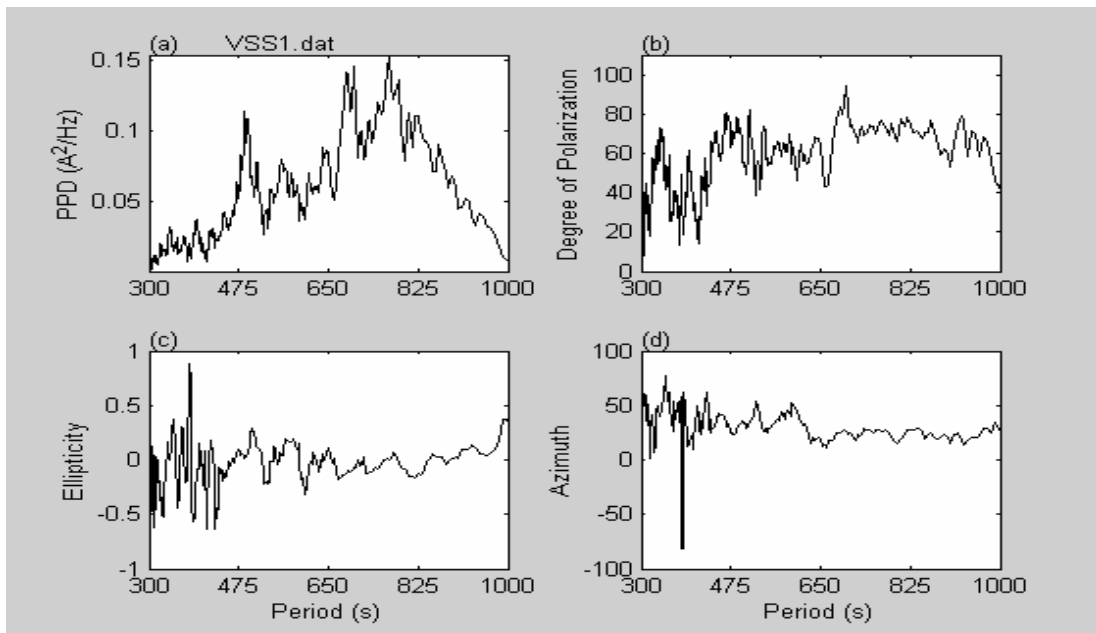


Figura 73; Espectro de potência da do sinal filtrado para o dia 09 de janeiro de 2005, dia magneticamente calmo, do Observatório Magnético de Vassouras, VSS.

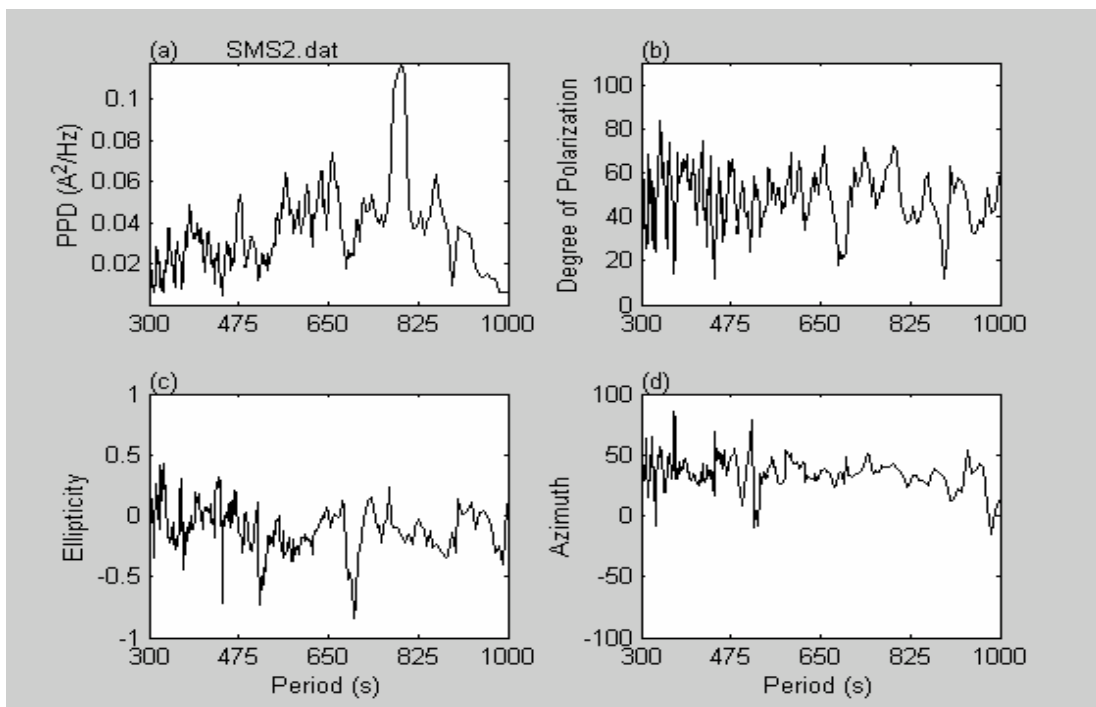


Figura 74; Espectro de potência do sinal filtrado para o dia 10 de janeiro de 2005, dia magneticamente calmo, na Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.

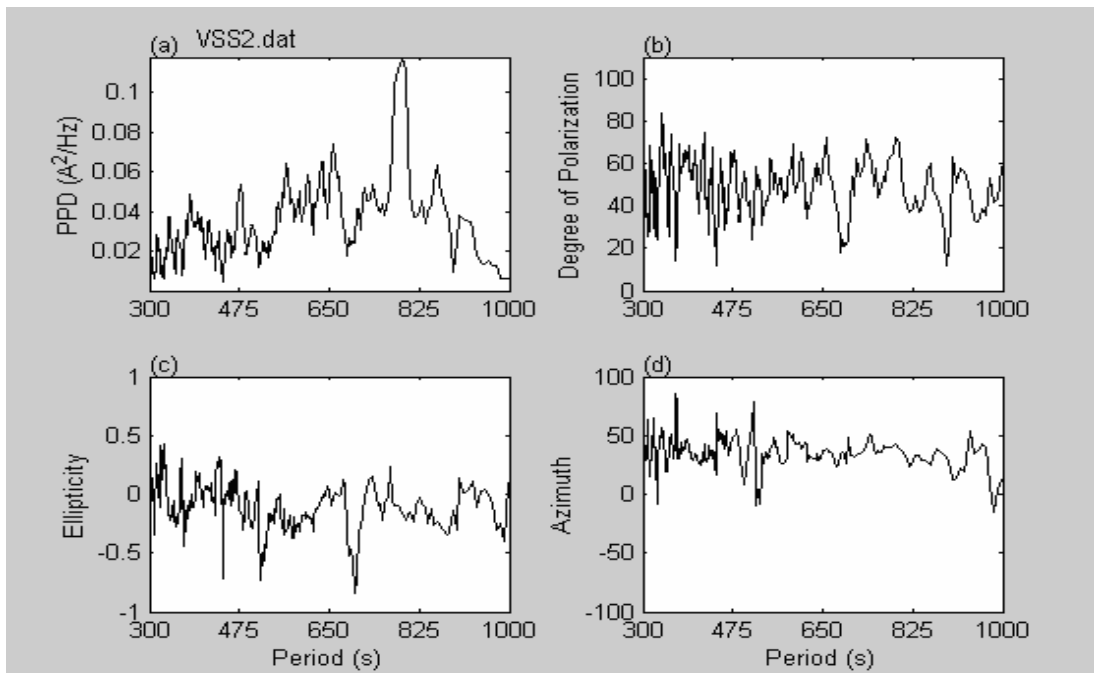


Figura 75; Espectro de potência do sinal filtrado para o dia 10 de janeiro de 2005, dia magneticamente calmo, do Observatório Magnético de Vassouras, VSS.

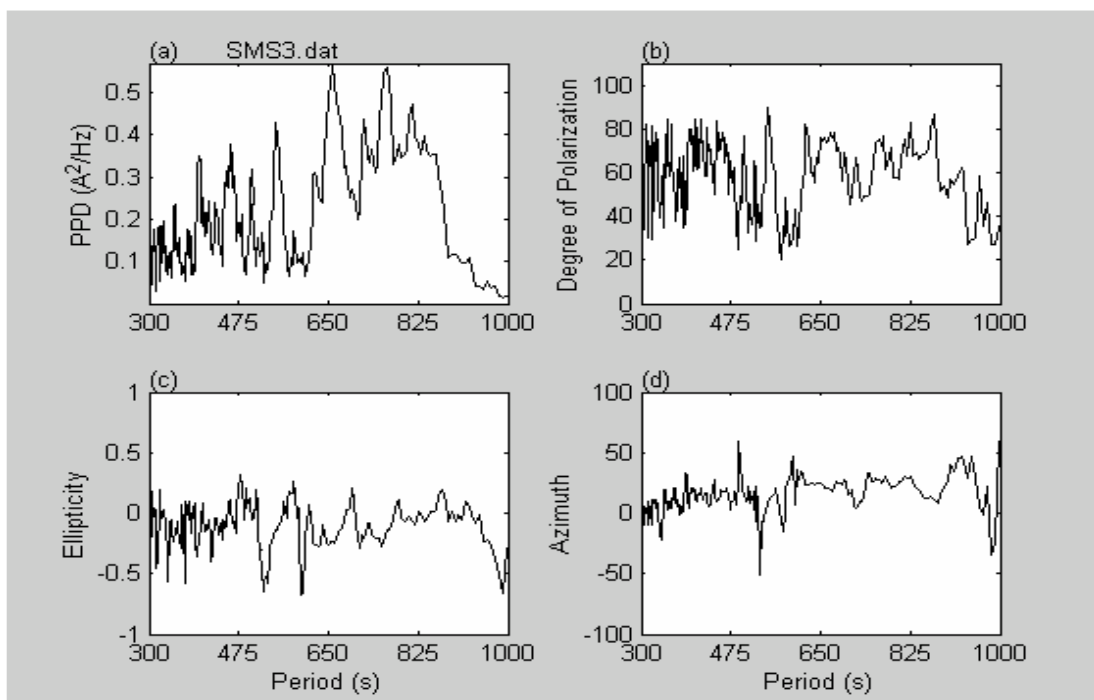


Figura 76; Espectro de potência do sinal filtrado para o dia 17 de janeiro de 2005, dia magneticamente perturbado, na Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.

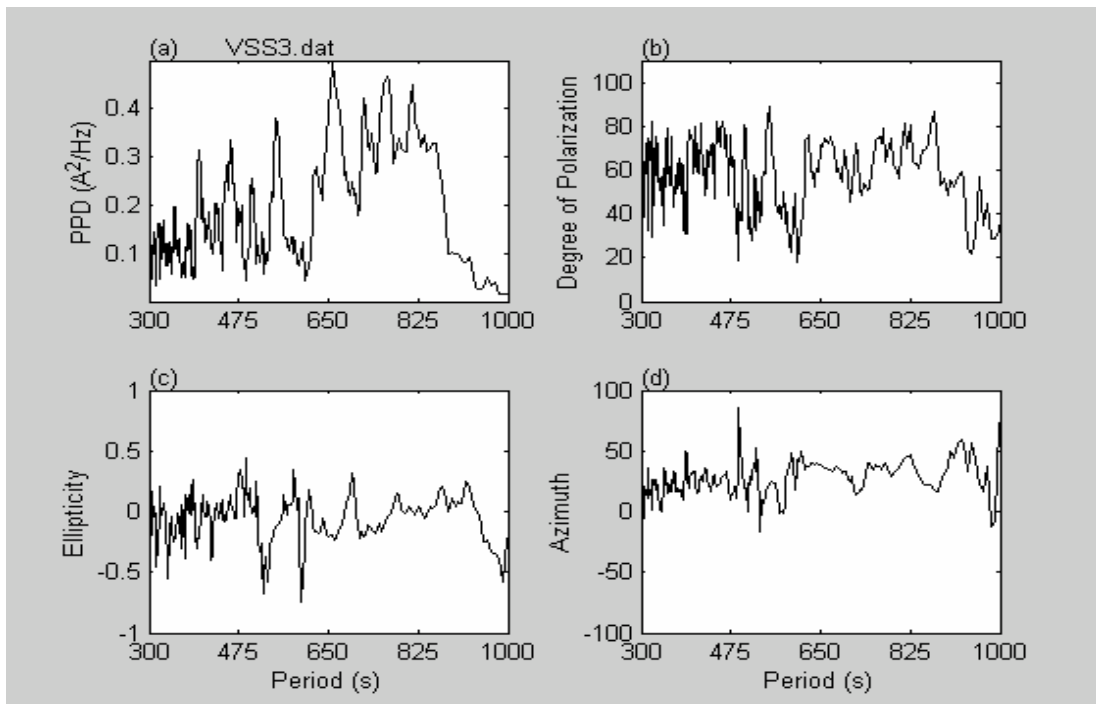


Figura 77; Espectro de potência do sinal filtrado para o dia 17 de janeiro de 2005, dia magneticamente perturbado, do Observatório Magnético de Vassouras, VSS.

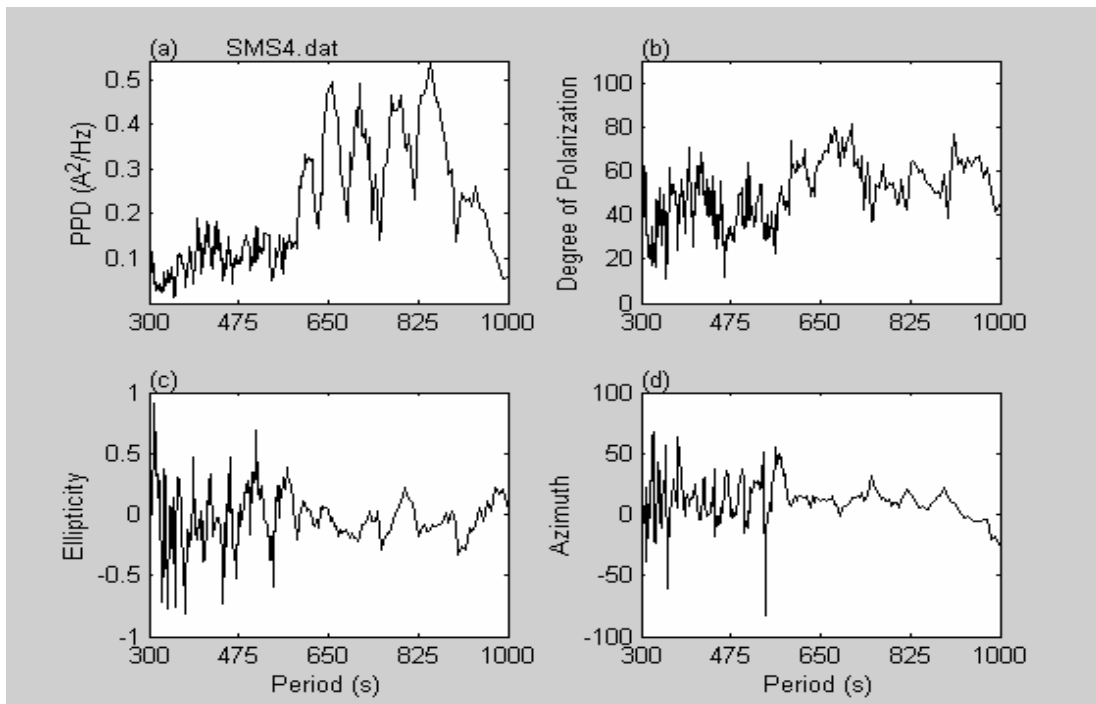


Figura 78; Espectro de potência do sinal filtrado para o dia 18 de janeiro de 2005, dia magneticamente perturbado, na Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.

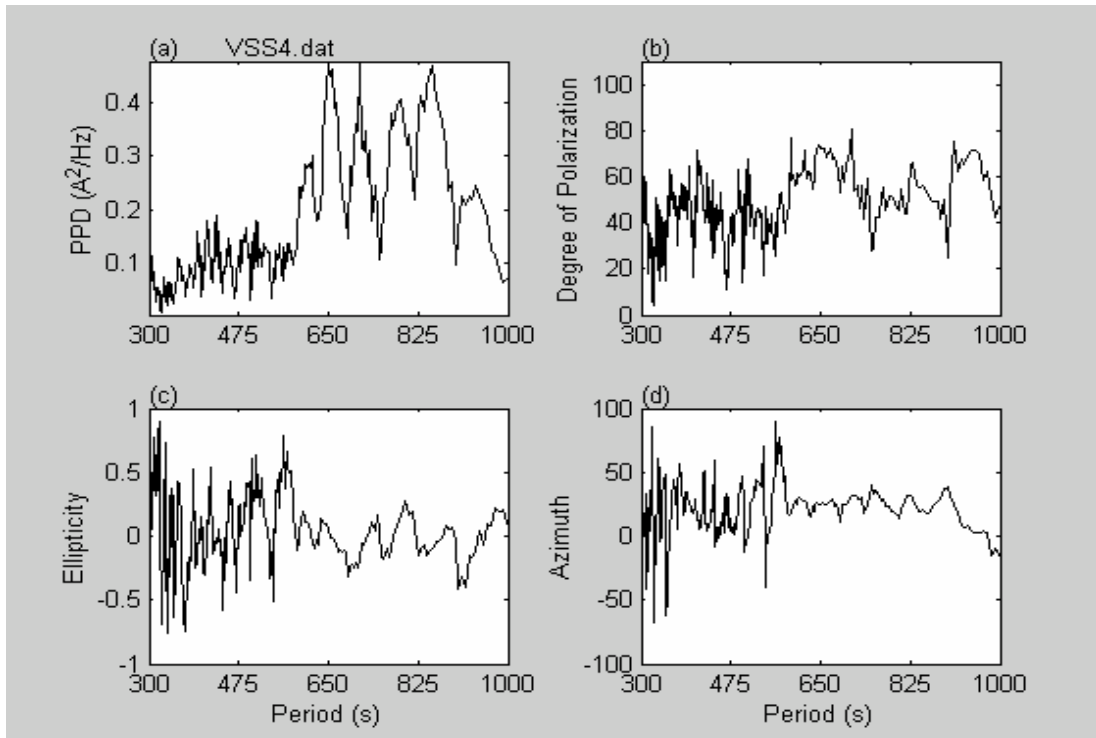


Figura 79; Espectro de potência do sinal filtrado para o dia 18 de janeiro de 2005, dia magneticamente perturbado, do Observatório Geomagnético de Vassouras, VSS.

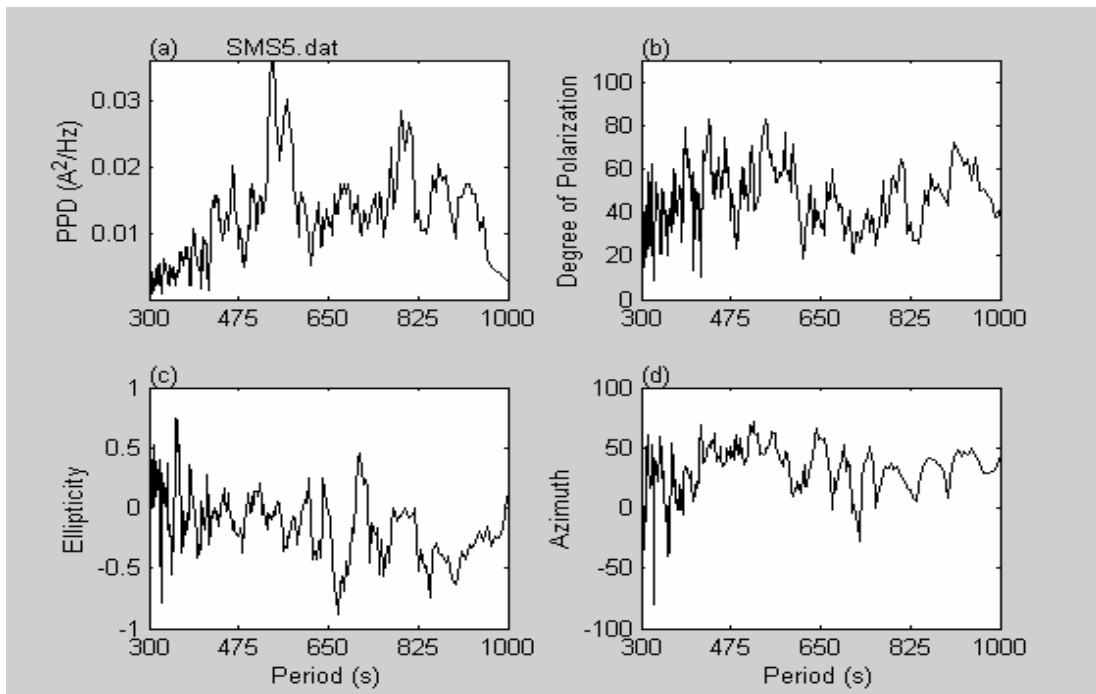


Figura 80; Espectro de potência do sinal filtrado para o dia 26 de janeiro de 2005, dia magneticamente calmo, na Estação Geomagnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.

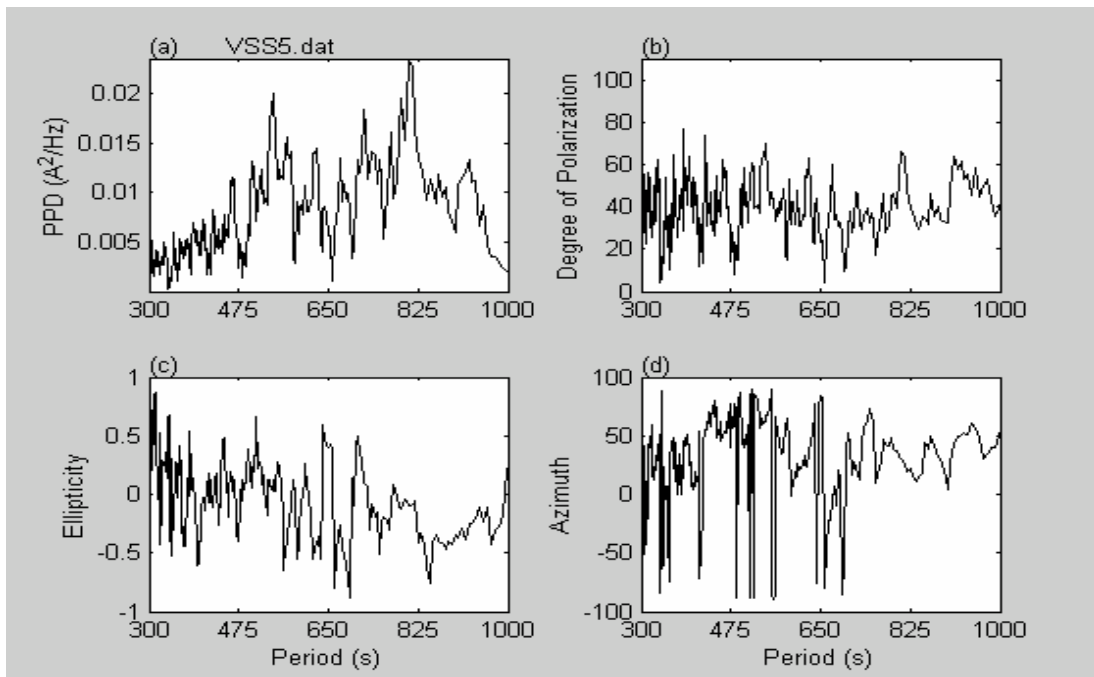


Figura 81; Espectro de potência do sinal filtrado para o dia 26 de janeiro de 2005, dia magneticamente calmo do Observatório Magnético de Vassouras, VSS.

10.0 CONCLUSÕES

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 variação em escala temporal de dias, horas, minutos e segundos. As variações de curta escala foram detectadas pelo magnetômetro *fluxgate* instalado na Estação Geomagnética do Observatório Espacial do Sul do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – OES/CRSPE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS.

As tempestades magnéticas, causadas por explosões solares, causam variações repentinas nas três componentes magnéticas (*H*, *D* e *Z*), principalmente na componente *H*. Devido ao fato de que a Estação Geomagnética OES/SMS está localizada próximo do centro da AMAS, observa-se que as medidas apresentam maior variação quando comparadas com outras estações fora dessa região.

A partir do evento magnético analisado neste relatório, uma tempestade geomagnética ocorrida no período de 05 a 07 de novembro de 2001, pode-se detectar pulsações de períodos longos conhecidos na literatura como Pc5–6/Pi3. As Pc5 compreendem as pulsações entre 150 a 600 segundos e as Pc6 acima de 600 segundos até 1.000 segundos. Utilizando-se uma filtragem digital – um filtro tipo passa-banda com a função de analisar somente as pulsações numa faixa de 180 a 900 segundos – foi possível detectar picos de variação em nível Pc5 e Pc6 e a potência espectral associada;

Com a análise espectral dos períodos observados no período de 05 a 07 de novembro de 2001 para as Estações Geomagnéticas de EUS e SMS, verificou-se que a tempestade magnética apresentou variações mais intensas na componente *H* na estação SMS, com Pc5 e Pc6 atingindo picos maiores na escala de nanoteslas (nT). A densidade de potência polarizada e o grau de polarização atingiram valores altos durante a tempestade para a filtragem espectral feita, com os graus de polarização de onda próximos a 100% e potências bastante intensas na banda de período de 600-1000s. E, ainda, os espectros e a polarização apresentaram sensibilizações maiores para a Estação Geomagnética SMS.

A filtragem digital, referente aos quatro dias analisados do mês de janeiro de 2005, mostra uma maior ocorrência de pulsações geomagnéticas na faixa de 180 – 900 s em dias magneticamente perturbados. Ao se sujeitar os dados filtrados digitalmente a uma análise através do espectro de potência conclui-se que há uma maior densidade de potência polarizada (PPD) na Estação Geomagnética de SMS, quando comparado os dados da estação geomagnética de VSS, para dias magneticamente perturbados, indicando uma maior ocorrência de pulsações geomagnéticas na faixa de 180 – 900 s, e conclui-se que o nível de energia nos dias magneticamente perturbados é maior, quando comparado aos dias magneticamente calmos, significando, como o esperado, que o sinal das pulsações é mais intenso nos dias perturbados.

Verifica-se que em regiões onde o campo geomagnético é menos intenso, como é o caso da AMAS, detecta-se pulsações mais intensas. Este fenômeno pode estar relacionado com a precipitação de partículas eletricamente carregadas nessa região.

A amplitude das pulsações contínuas ou irregulares encontradas na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul depende da condutividade ionosférica. Quando os elétrons provenientes dos cinturões de Van Allen se precipitam na ionosfera da Anomalia, ocorre uma maior presença de pulsações contínuas e impulsivas, aumenta a condutividade ionosférica e conseqüentemente aumenta as amplitudes das pulsações. Assim os eventos das pulsações acompanhados de precipitação de elétrons têm amplitudes maiores no centro da Anomalia comparada com as variações geomagnéticas observadas fora dessa região. Por isso as pulsações têm amplitudes maiores na região de São Martinho da Serra (SMS), RS, quando comparadas com os dados de Eusébio (EUS), MA, e de Vassouras (VSS), RJ.

Pretende-se dar continuidade a esse estudo, considerando outros eventos interessantes e utilizando dados geomagnéticos de outras estações.

11.0 Bibliografia

- 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.
- Campbell, W.H. Introduction to Geomagnetic Fields. Cambridge University Press, 1997.
- Dutra, S.L.G. Noções Básicas de Geomagnetismo. INPE, São José dos Campos, dezembro de 2004 (texto preliminar).
- Jacobs, J.A.; Kato, Y.; Matsushita, S.; Troitskaya, V.A. Classification of Geomagnetic Micropulsations. Journal of Geophysical Research, **69**(1):180–181, Jan. 1964.
- National Geophysical Data Center – NGDC, Boulder, CO,
ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/GEOMAGNETIC_DATA/INDICES/
- Pinto, O., Jr., Gonzalez, W.D. Anomalia magnética Brasileira. INPE, São José dos Campos, 1989.



- 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.
- Thomson, D. J. Spectrum Estimation and Harmonic Analysis. IEEE Proc., 70(9):1055–1096, 1982.
- Zanandrea, A. Estudo das Micropulsações Geomagnéticas em Latitudes Muito Baixas, no Brasil. INPE, São José dos Campos, 1999.
- Zanandrea, A. Micropulsações Geomagnéticas em Santa Maria – RS. INPE, São José dos Campos, maio de 1994.



ANEXOS



ANEXO 1 - PROGRAMAS EM LINGUAGEM MATLAB

PROGRAMA CONVVAROD1440.M

```
%reads Narod_Mag data GPS Timing 2 second sampling
%Writes two data files, one for 2 second data 43200 points a day and
% the other for one minute average data 1440 points a day
clear all
```

```
str_temp1 = input('Filename: ','s');
str_temp1 = sprintf('%s.dat',str_temp1);
data = load(str_temp1);
```

```
%t=data(:,1);
h = data(:,3);
d = data(:,4);
z = data(:,5);
n=length(h);
t=1:length(h)
t=t / length(h)*24;
```

```
str_temp = input('filename ( 2 sec): ','s');
fid = fopen(str_temp,'w');
for i=1:n
    fprintf(fid,'%6d \t %8.2f \t %8.2f \t %8.2f\n',i,h(i),d(i),z(i));
end
fclose(fid);
```

```
%-----
```

```
str_temp2=input('filename Output 1: ','s');
fileout1 = sprintf('%s.dat',str_temp2);
fid = fopen(fileout1,'w');
k = 1;
```

```
for i=1:30:(length(h)-29)
    i0 = i;
    i1 = i0+29;
    h1(k) = mean(h(i0:i1));
    d1(k) = mean(d(i0:i1));
    z1(k) = mean(z(i0:i1));
    t1(k) = mean(t(i0:i1));
    fprintf(fid,'%8d \t %8.3f \t %8.3f \t %8.3f\n',k,h1(k),d1(k),z1(k));
    k = k+1;
end
fclose(fid);
```



```
%-----  
  
figure(1)  
ndim=3;  
nn=1;  
  
subplot(ndim,1,nn), plot(t,h,t1,h1);  
ylabel('H (nT)');  
grid on  
title(str_temp1)  
set(gca,'XTickLabel','');  
nn=nn+1;  
  
subplot(ndim,1,nn), plot(t,d,t1,d1);  
ylabel('D (nT)');  
grid on  
set(gca,'XTickLabel','');  
nn=nn+1;  
  
subplot(ndim,1,nn), plot(t,z,t1,z1)  
ylabel('Z (nT)');  
grid on  
nn=nn+1;  
  
xlabel('Time in Hours')  
a=['!rem grafico00.tif' str_temp1 '.tif']  
eval (a)
```

PROGRAMA FIGMTM5.M

```
clear all  
str_temp1 = input('Filename: ','s');  
str_temp1 = sprintf('%s.dat',str_temp1);  
data = load(str_temp1);  
i1=input('inicio: ')  
i2=input(' fim: ')  
t=data(i1:i2,1)*60/3600;  
xx=data(i1:i2,2);  
yy=data(i1:i2,3);  
zz=data(i1:i2,4);
```

```
N=length(xx);  
d=60.0;  
W=2;
```



```
%---filtragem dos dados-----
fl=1/900;
fh=1/180;
fs=1/60;
[x]=bandpass(xx',fs,fl,fh,8);
[y]=bandpass(yy',fs,fl,fh,8);
[z]=bandpass(zz',fs,fl,fh,8);
%-----

[E,VV]=dpss(N,W);
k=length(E(1,:));
for i=1:k,
    tapsum=0.0;
    tapsq=0.0;
    tapsum=sum(E(:,i));
    tapsq=sum((E(:,i)).^2);
    aa=sqrt(tapsq/N);
    E(:,i)=E(:,i)/aa;
end
[SX,c,wkx,skx]=mtm(x,W,'dap',.95,E,VV);
[SY,c,wky,sky]=mtm(y,W,'dap',.95,E,VV);
[SZ,c,wkz,skz]=mtm(z,W,'dap',.95,E,VV);
for i=1:length(SX)
    freq(i)=(i-1)/(2*(length(SX)-1)*d);
    mx=(skx(i,:))';
    my=(sky(i,:))';
    % mz=(skz(i,:))';
    m=[mx,my];
    [U,S,V]=svd(m);
    pxy(i)=V(2,1)/V(1,1);
    fxy(i)=atan2(imag(pxy(i)),real(pxy(i)))*180/pi;
    grau(i)=sqrt((S(1,1)-S(2,2))^2/(S(1,1)+S(2,2))^2)*100;
    psp(i)=S(1,1)-S(2,2);
    V(3,1)=0+0i;
    [elp(i),ang(i)]=polar(V(1,1),V(2,1),V(3,1));
end

figure
% str_temp = sprintf('Filename: %s (%d:%d)',str_temp1);

tlim=[round(min(t)) round(max(t))];
xlim=[round(min(x)-0.5) round(max(x)+0.5)];
ylim=[round(min(y)-0.5) round(max(y)+0.5)];
subplot(2,1,1),plot(t,x,'k'),axis([tlim xlim]),ylabel('H (nT)'),
text(min(t),max(x)*1.2,str_temp1);
subplot(2,1,2),plot(t,y,'k'),axis([tlim ylim]),
xlabel('Hours (LT)'),ylabel('D (nT)')
```



```
hold off
per=1./freq;
figure
res=[per',psp',grau',elp',ang'];

xlim=[300 1000];
xticks=linspace(min(xlim),max(xlim),5);
subplot(2,2,1)
plot(per,psp,'k'),axis([xlim min(psp) max(psp)]),ylabel('PPD (A^2/Hz)')
set(gca,'XTick',xticks);
text(min(xlim),1.05*max(psp),'(a)');
text(min(xlim)*1.5,1.05*max(psp),str_temp1);
hold off
subplot(2,2,2)
plot(per,grau,'k'),axis([xlim 0 110]),ylabel('Degree of Polarization')
set(gca,'XTick',xticks);
text(min(xlim),116,'(b)');
hold off
subplot(2,2,3),
plot(per,elp,'k'),axis([xlim -1 1]),xlabel('Period (s)'),ylabel('Ellipticity'),
set(gca,'XTick',xticks);
text(min(xlim),1.1,'(c)');
hold off
subplot(2,2,4)
plot(per,ang,'k'),axis([xlim -100 100]),xlabel('Period (s)'),ylabel('Azimuth')
set(gca,'XTick',xticks);
text(min(xlim),110,'(d)');
hold off

%save d:\user\ademil\pola\res.dat res –ascii
```



**ANEXO 2 - TITULOS E RESUMOS DE TRABALHOS APRESENTADOS E
OU SUBMETIDOS EM 2006**

1. **Geomagnetic Pulsations of Long Periods in the Region of the South Atlantic Magnetic Anomaly** autores: Fagner Chagas Rother; Josemar de Siqueira; Sandro Bertagnolli; Cassio Espindola Antunes; Severino Luiz Guimarães Dutra; Nalin B. Trivedi; Nelson Jorge Schuch. Evento: Primer Encuentro de la Red de Investigadores Argentinos en Ciencias de la Heliósfera, Buenos Aires, Argentina.
2. **Variação Com o Ciclo Solar das Pulsações Geomagnéticas de Períodos Longos (1,0 – 10 milihertz) na Região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul- AMAS** autores: Fagner Chagas Rother; Severino Luiz Guimarães Dutra; Nelson Jorge Schuch. Evento: Seminário de Iniciação Científica do Inpe- Sicinpe. Local: São José dos Campos, SP.
3. **Magnetômetro de Fluxo Saturado para Pulsações Geomagnéticas Pc 3 a Pc5.** Autores: Josemar Siqueira, Cassio Espindola Antunes, Sandro Bertagnolli, Fagner Chagas Rother, Nalin Babulal Trivedi, Nelson J. Schuch. Evento: Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia – SBGEA.
4. **Magnetometro para Medidas Geomagnéticas de Baixo Ruído.** autores: Josemar Siqueira, Cassio Espindola Antunes, Sandro Bertagnolli, Fagner Chagas Rother, Nalin Babulal Trivedi, Nelson J. Schuch. Evento: XXI Jornada Academica Integrada da UFSM – JAI, Santa Maria.
5. **Magnetômetro de Fluxo Saturado com Núcleo Toroidal** autores: Cassio E. Antunes, Sandro Bertagnolli, Josemar de Siqueira, Fagner Chagas Rother, Nalin Babulau Trivedi, Nelson J. Schuch. Evento: XXI Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia, 2006, Ijuí, RS.
6. **Estudos Experimentais Visando o Desenvolvimento de Instrumentação para Medidas Geomagnéticas - Magnetômetro de Núcleo Saturado.** Autores: Sandro Bertagnolli, Cassio E. Antunes, Josemar de Siqueira, Fagner Chagas Rother, Nalin Babulau Trivedi, Nelson J. Schuch. Evento: XXI Congresso Regional de Iniciação Científica E Tecnológica em Engenharia, 2006, Ijuí, RS.
7. **Desenvolvimento de Instrumentação para Medidas Geomagnéticas.** autores: Sandro Bertagnolli, Cassio E. Antunes, Josemar de Siqueira, Fagner Chagas Rother, Nalin Babulau Trivedi, Nelson J. Schuch. Evento: XXI Jornada Acadêmica Integrada, UFSM, Santa Maria, RS.