

**ESTUDO DE VARIAÇÕES IMPULSIVAS NO CAMPO GEOMAGNÉTICO
OBSERVADO NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL EM SÃO
MARTINHO DA SERRA – UM OBSERVATÓRIO GEOMAGNÉTICO NA
REGIÃO DA ANOMALIA GEOMAGNÉTICA.**

*Silvio Buchner¹, Ederson Staudt⁹, Rogemar A. Riffel¹, Nalin B. Trivedi¹⁰,
Nelson J. Schuch¹¹*

O Campo Geomagnético é assimétrico, sendo que a região de menor intensidade compreende parte do oceano Atlântico e parte do Território Brasileiro. Esse fenômeno é denominado "Anomalia Magnética Brasileira" ou "Anomalia Magnética do Atlântico Sul" e sua principal consequência é a maior precipitação de partículas que ocorre nessa região devido ao rebaixamento dos cinturões de radiação que circundam o Planeta, também conhecido como cinturões de Van Allen.

O Campo Geomagnético não é estável, apresentando variações temporais e espaciais com amplitudes inferiores à do campo magnético gerado no núcleo da Terra, em várias ordens de grandeza. Essas variações geomagnéticas podem ser classificadas em seculares, diurnas (período de 24 horas), distúrbios (associados a tempestades magnéticas e com períodos bastante variáveis), pulsações (com períodos entre 0,2 e 1000s), atmosféricas (períodos inferiores a 1 s) e produzidas pelo homem. Sendo que as variações seculares são as únicas com origem interna a Terra. A variação diurna é causada por sistemas de corrente elétrica, 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, 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 geomagnéticas.

Quando processos transientes ocorrem na fronteira da Magnetosfera (denominada magnetopausa), ondas de Alfvén com velocidades variadas são lançadas dentro de Magnetosfera. As ondas mais rápidas se propagam perpendicularmente às linhas de Campo Magnético Terrestre e são detectadas por magnetômetros a bordo de satélites geoestacionários na Magnetosfera (GOES) e também por magnetômetros na superfície terrestre. Estas variações impulsivas do Campo Magnético Terrestre estão sendo medidas no Observatório Espacial do Sul, na região da Grande Anomalia Geomagnética do Atlântico Sul.

⁹ Acadêmicos do Curso de Física da UFSM, bolsistas PIBIC/CNPq/INPE no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT - silvio@lagesm.ufsm.br, ederson@lagesm.ufsm.br; riffel@lynx.ccne.ufsm.br.

¹⁰ Orientador, frente ao OES/CRSPE/INPE - MCT - trivedi@lagesm.ufsm.br.

¹¹ Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais -CRSPE/INPE - MCT- njschuch@lagesm.ufsm.br.

**MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS
COORDENAÇÃO DE ENSINO, DOCUMENTAÇÃO E
PROGRAMAS ESPECIAIS - CEP
COORDENAÇÃO DE CIÊNCIAS ESPACIAIS E
ATMOSFÉRICAS - CEA
CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS - CRSPE
OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL - OES/CRSPE/INPE**

Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica - PIBIC - CNPq

RELATÓRIO FINAL DE ATIVIDADES

Título do Projeto:

**"Estudo de variações impulsivas no campo geomagnético observado em São
Martinho da Serra - um observatório geomagnético na região da anomalia
geomagnética"**

Bolsista:

Silvio Buchner

Orientador:

Nalin Babulal Trivedi

Santa Maria, Julho de 2001.

**Dados de Identificação:****Bolsista:**

Silvio Buchner

Orientador:

Dr. Nalin Babulal Trivedi

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Colaboradores:

Dr. Nelson Jorge Schuch

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – INPE

Dr. Severino L. Guimarães Dutra

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

Local de Trabalho/Execução do Projeto:

Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE /CEP - INPE

Laboratório de Geofísica Espacial - LGE/LACESM/CT - UFSM





AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus orientadores, e colaboradores Dr. Nalin B. Trivedi, Dr. Nelson J. Schuch, Dr. Severino L. Guimarães Dutra e aos colegas de trabalho Jean Carlo Santos (mestrando do INPE) e Ederson Staudt (acadêmico do curso de física), e aos demais integrantes do grupo de geomagnetismo pela atenção e paciência que tiveram comigo, ao INPE ao PIBIC/CNPq e a UFSM/CT pelo suporte dado e a todos que de alguma maneira contribuíram para a execução deste projeto e elaboração deste relatório.





ÍNDICE

| | |
|--|----|
| INTRODUÇÃO..... | 5 |
| 1. A PESQUISA ESPACIAL NO SUL DO PAÍS..... | 6 |
| 1.1. O CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS – CRSPE/INPE EM SANTA MARIA | 6 |
| 1.2. O OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL DO CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS – OES/CRSPE/INPE EM SÃO MARTINHO DA SERRA – RS..... | 7 |
| 1.3. CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS – O PROGRAMA DE MONITORAMENTO DO OZÔNIO ATMOSFÉRICO..... | 9 |
| 1.4. GEOMAGNETISMO E MAGNETOSFERA TERRESTRE..... | 9 |
| 1.5. COOPERAÇÃO CIENTÍFICA INTERNACIONAL BRASIL/JAPÃO EM CIÊNCIAS ESPACIAIS BÁSICAS..... | 9 |
| 1.6. OBJETIVOS GERAIS DO PROJETO..... | 10 |
| 1.6.1.Plano de Trabalho..... | 12 |
| 2 . FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 13 |
| 3. MÉTODOS E MATERIAIS..... | 20 |
| 4. ATIVIDADES DO BOLSISTA..... | 22 |
| 5.TÉCNICAS DE AQUISIÇÃO PROCESSAMENTO E ANÁLISE DE DADOS..... | 23 |
| 6. PERSPECTIVAS FUTURAS..... | 25 |
| 7. CONCLUSÕES..... | 26 |
| 8. BIBLIOGRAFIA..... | 27 |
| 9. ANEXOS..... | 28 |





INTRODUÇÃO

Com a formalização do convênio entre INPE e UFSM em 11/04/88 e a instalação de equipamentos científicos do tipo magnetômetro em Santa Maria, e posteriormente em São Martinho da Serra, deu-se início as pesquisas na área de Geomagnetismo na Região Sul do País.

Essas pesquisas têm como objetivo realizar medidas contínuas do Campo Geomagnético, analisando e estudando os dados coletados e comparando-os com os dados coletados em outras estações geomagnéticas.

Neste trabalho tratamos das variações diurnas do Campo Geomagnético, bem como da influência das correntes elétricas na atmosfera ionizada e do eletrojato equatorial na sua variação. Também são tratados os eventos impulsivos conhecidos como eventos TCV (Travelling Convection Vortices), que são característicos de altas latitudes e cujas assinaturas estão sendo procuradas em regiões de baixa latitude e do equador magnético. Este trabalho é dividido em quatro partes, sendo que a primeira parte trata sobre a estrutura física envolvida na Pesquisa Espacial no Sul no País, na segunda e terceira partes é apresentada a fundamentação teórica necessária ao entendimento do trabalho e por fim são apresentados alguns resultados e conclusões.





1. A PESQUISA ESPACIAL NO SUL DO PAÍS

As atividades e as áreas de desenvolvimento de pesquisas conjuntas em Ciências Espaciais e de Tecnologia, entre o INPE e a UFSM, iniciaram formalmente em 11/04/1988; sendo renovado, em 13/08/1996, o antigo Convênio entre o MCT/INPE e a UFSM.

Este Convênio nasceu do interesse do INPE e da UFSM em promover a estratégica descentralização também para o Sul do País da pesquisa, da formação de recursos humanos especializados, do desenvolvimento tecnológico e dos serviços relacionados às Ciências Espaciais, Ciências Atmosféricas, Clima & Meteorologia e Sensoriamento Remoto, às tecnologias e suas engenharias associadas.

1.1. O CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS – CRSPE/INPE EM SANTA MARIA

Em 13/12/1996, foi assinado o Instrumento Público de Cessão de Uso, por 50 anos, de 1,2 hectare de área no “campus” da UFSM, entre o INPE e UFSM com a interveniência do Ministério da Ciência e Tecnologia, para a execução do Projeto de Implantação do CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS – CRSPE/INPE, incluindo o subprojeto da ESTAÇÃO TERRENA DE RASTREIO E CONTROLE DE SATÉLITES – ETRCS/CRSPE/INPE, em Santa Maria, e o subprojeto do OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL – OES/CRSPE/INPE em São Martinho da Serra – RS.

O Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE, em Santa Maria, RS, visa o atendimento dos seguintes objetivos:

1. Dar suporte logístico técnico-científico ao desenvolvimento de programas, projetos e atividades do Instituto realizados nas regiões Sul do Brasil e Cone-Sul da América;
2. Apoiar os lançamentos e monitoramentos de satélites, foguetes e balões, no trânsito dos mesmos, na calibração das cargas úteis e no processamento de dados;
3. Efetuar manutenção do banco de dados obtidos pela Estação Terrena de Rastreo e Controle de Satélites – ETRCS/CRSPE/INPE e pelo Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE;





4. Prestar apoio a usuários localizados nas regiões Sul do Brasil e Cone-Sul da América na obtenção de dados produzidos pelo Instituto;
5. Desenvolver equipamentos, para suporte dos laboratórios, para uso de missões do Instituto e para coleta de dados convencionais ou via satélite;
6. Realizar a administração das atividades, dos recursos humanos e dos recursos financeiros movimentados pelo CRSPE/INPE, ETRCS/CRSPE/INPE e OES/CRSPE/INPE, bem como as de suprimento de materiais, bens patrimoniais e as de orçamento e finanças.

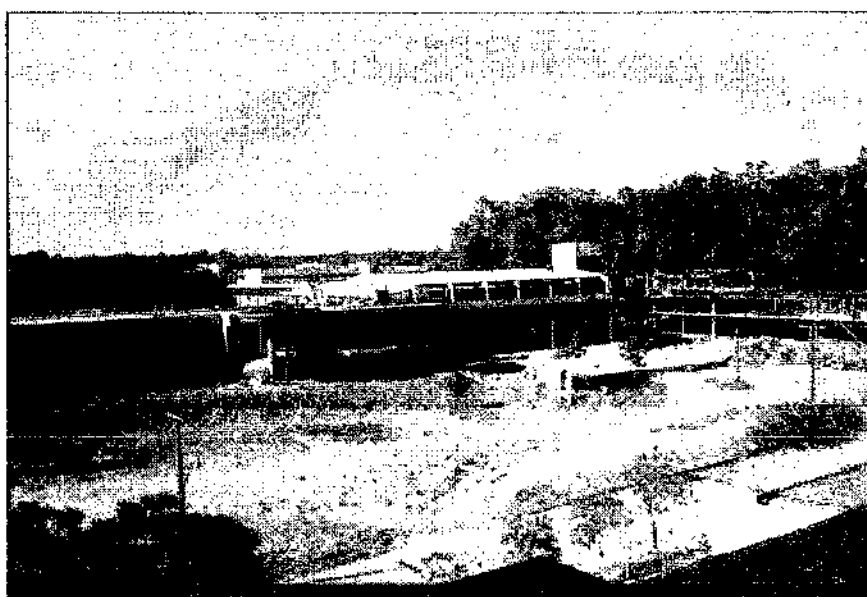


Figura 1 - Obras do CRSPE/INPE em Santa Maria - RS

1.2. O OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL DO CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS – OES/CRSPE/INPE EM SÃO MARTINHO DA SERRA – RS.

O Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE, em São Martinho da Serra – RS, tem como atribuições:

1. Executar e desenvolver as atividades e projetos de pesquisa técnico e científica em Astronomia, nas áreas de Astrofísica e Radioastronomia;
2. Executar e desenvolver as atividades e projetos de pesquisa técnico e científica em Geofísica Espacial, nas áreas de Geomagnetismo, Magnetosfera e Heliosfera, eletricidade atmosférica, física e química da média e baixa atmosfera;





3. Executar e desenvolver as atividades e projetos de pesquisa técnico e científica em aeronomia, nas áreas da físico-química e da física da alta atmosfera e da Ionosfera;
4. Coletar dados, arquivando-os e mantendo-os em banco de dados formatados de acordo com padrões internacionais;
5. Desenvolver e fortalecer atividades de cooperação científica com pesquisadores e instituições de pesquisa nacionais e estrangeiras.

O programa de escolha de sítio envolveu estudo técnico e científico de escolha de sítios, nas regiões Centro-Oeste e Sul do Brasil, no Rio Grande do Sul e finalmente na grande região de Santa Maria e atendendo a metodologia da consideração dos fatores: antropogênicos, logísticos, macro e microclima, meteorológicos e do nível da rádio interferência natural e artificial, pré-requisitos básicos e necessários na pesquisa de escolha e instalação de um sítio, observatório, para observações rádio astronômica.

A localização geográfica e topografia do Observatório são estratégicas, devendo ser ressaltado que não se tem conhecimento da existência de nenhum outro Observatório Espacial do gênero, no Hemisfério Sul, na latitude do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE, o que torna inédita, original e de primeira mão, a natureza dos dados coletados por seus instrumentos.

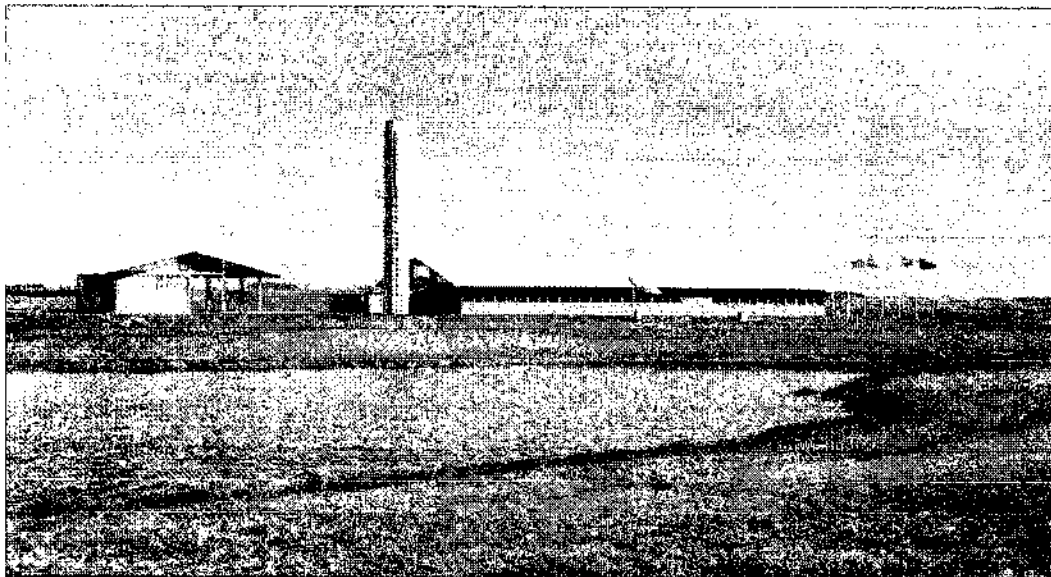


Figura 2 - Prédios 2 e 3, de um total de seis prédios, do Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE, em São Martinho da Serra - RS.

Os sensores e equipamentos, como também as antenas dos radiotelescópios instalados e ou a serem instalados na área do Observatório Espacial do Sul, são de natureza passiva e não são ou serão poluidores, produzindo impacto destrutivo ao meio ambiente.



1.3. CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS – O PROGRAMA DE MONITORAMENTO DO OZÔNIO ATMOSFÉRICO.

O Programa de Monitoramento do Ozônio Atmosférico da UFSM é desenvolvido pelo Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/UFSM como subprojeto do Projeto RA e em colaboração com o Laboratório do Ozônio do INPE, dentro do INPE-UFSM. O Programa tem como objetivo o monitoramento convênio MCT, a análise estatística dos dados e a análise comportamental da Camada de Ozônio Terrestre, na latitude 30° Sul, bem como correlação com o monitoramento sistemático da radiação ultravioleta, de partículas de radiação cósmica, de gases traçadores atmosféricos NO₂ e SO₂ com dados físicos e meteorológicos, obtidos através de sondagens troposféricas e estratosféricas e correlações com os fenômenos vinculados com a Anomalia Magnética do Atlântico Sul.

1.4. GEOMAGNETISMO E MAGNETOSFERA TERRESTRE

A Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas, com sua Divisão de Geofísica Espacial – INPE/CEA/DGE, foi a primeira unidade do INPE a instalar sensores e equipamentos científicos, do tipo magnetômetro, em Santa Maria.

Os primeiros equipamentos ficaram instalados no Campus da UFSM durante algum tempo, sendo através da colocação em operação dos sensores de um magnetômetro do tipo de indução, instalados pela Divisão de Geofísica Espacial próximos ao PRÉDIO 1, em colaboração com o LACESM, que o Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra, entrou em operação na data histórica de 19/12/1996, com a produção dos primeiros dados observacionais científicos. Atualmente, o Laboratório de Geofísica Espacial – OES/CRSPE/INPE conta com mais quatro magnetômetros: dois do tipo fluxgate e dois de precessão de prótons.

1.5. COOPERAÇÃO CIENTÍFICA INTERNACIONAL BRASIL/JAPÃO EM CIÊNCIAS ESPACIAIS BÁSICAS

Uma Cooperação Científica Internacional de coleta e análise de dados por longo período, 12 anos, equivalente a um ciclo solar ou 11 anos, foi estabelecida entre o BRASIL/JAPÃO em Ciências Espaciais Básicas. Nesta cooperação participam pelo lado brasileiro o LACESM da UFSM e a Coordenadoria de Ciências Espaciais e Atmosféricas do INPE, pelo lado japonês participam três institutos de pesquisa: National Institute of





Polar Research; Communication Research Laboratory; National Institute of Radiological Sciences, e cinco universidades: Nagoya University; Kyushu University; Takushoku University; Kokugakuin University; e Rikkyo University.

Esta cooperação tem como principal objetivo pesquisar os fenômenos dinâmicos: aeronômicos, geofísicos espaciais, geomagnéticos e impactos ambientais que ocorrem na grande região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul.

1.6. OBJETIVOS GERAIS DO PROJETO

- Realizar medidas geomagnéticas contínuas das três componentes ortogonais H (norte-sul), D (leste-oeste) e Z (vertical para baixo) do Campo Geomagnético, no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE, em São Martinho da Serra – RS (29°S, 53°W).
- Analisar e estudar os dados geomagnéticos coletados em São Martinho da Serra, comparando-os com dados coletados nas outras estações geomagnéticas (figura 3), a fim de estudar as características das correntes elétricas na atmosfera ionizada (Ionosfera e Magnetosfera), como S_q (responsável pelas variações diurnas nos dias magneticamente quietos – atividade solar baixa), S_R (correntes ionosféricas na região E da Ionosfera, após serem removidas correntes elétricas de origem magnetosférica). Serão também estudadas características de correntes de Eletrojato Equatorial (EEJ), presentes na região E da Ionosfera acima do equador magnético.



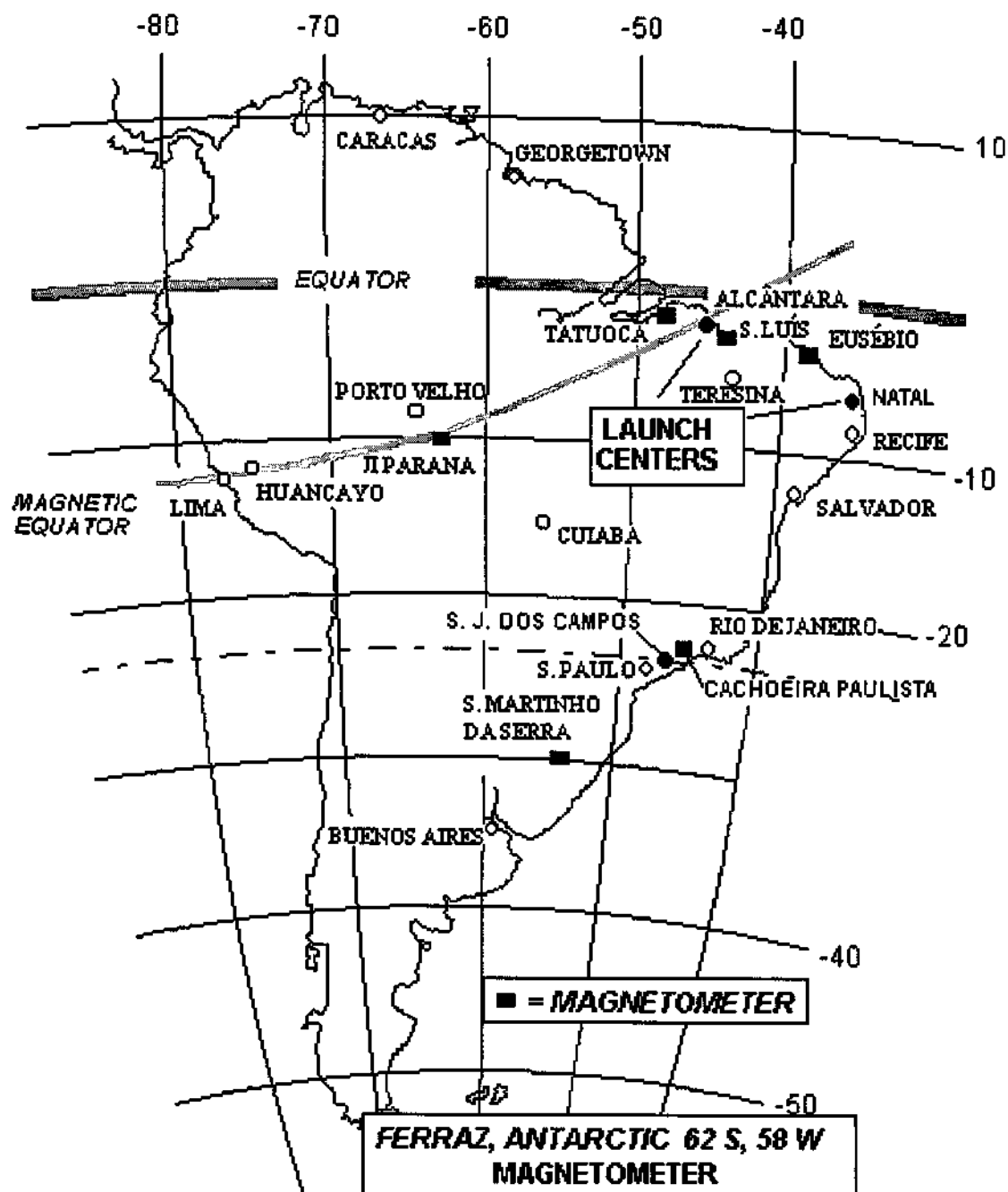


Figura 3 - Mapa da América do Sul mostrando a posição dos equadores geográfico e magnético e também das estações geomagnéticas brasileiras.



1.6.1.Plano de Trabalho

Primeira Fase:

- Revisão Bibliográfica;
- Introdução à ciência de geomagnetismo e pesquisa espacial e conhecer técnicas experimentais de medir campo geomagnético

Segunda Fase:

- Aprender realizar medidas geomagnéticas absolutas para montar um observatório magnético-padrão
- Operar o observatório geomagnético em São Martinho da Serra (SMS) realizando medidas geomagnéticas relativas e absolutas usando magnetômetros do tipo "Fluxgate" e "Precessão dos prótons".

Terceira Fase:

- Detectar eventos nos dados geomagnéticos e escrever relatório sobre pesquisa realizada.
- Comparar as variações impulsivas observadas em SMS com as variações geomagnéticas observadas nos satélites geoestacionários **GOES-5 e GOES-6**.

OBS: Em virtude de não estar com a bolsa, antes de Maio de 2001, pois ela foi transferida para mim neste mês, as três fases citadas acima começaram a ser desenvolvidas mesmo antes de ser concebida esta bolsa, e portanto não tem – se os meses definidos para a execução das tarefas.





2 . FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A Terra possui um campo de forças, chamado Campo Geomagnético (figura 4), circundando o planeta. Esse campo de forças pode ser dividido em um campo principal, que corresponde à cerca de 99% do seu total e é gerado supostamente através de correntes elétricas que fluem na parte líquida do núcleo terrestre, e vários outros, produzidos por correntes elétricas presentes nas regiões ionizadas vizinhas ao planeta.

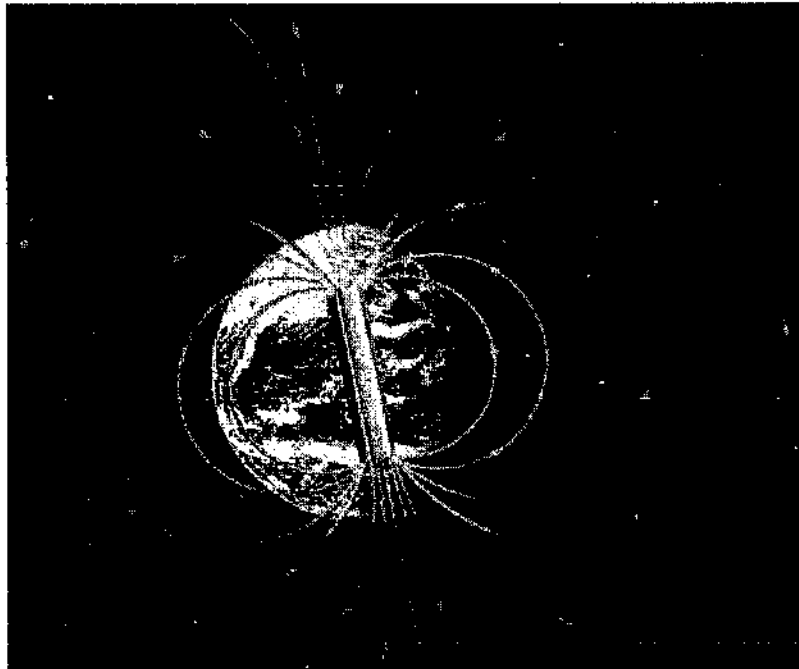


Figura 4 - Dipolo magnético colocado no centro da Terra e levemente inclinado em relação ao eixo de rotação. (Pinto e Gonzales, 1989)

O Campo Geomagnético não é estável, apresentando variações temporais e espaciais com amplitudes muito inferiores à do campo magnético gerado no núcleo, em várias ordens de grandeza.

Essas variações geomagnéticas podem ser classificadas em seculares (períodos maiores que de um ano), diurnas (período de 24 horas), distúrbios (associados a tempestades magnéticas e com períodos bastante variáveis), pulsações (com períodos entre 0,2 e 1000s), atmosféricas (períodos inferiores a 1 s) e produzidas pelo homem (figura 5). Sendo que as variações seculares são as únicas com origem interna a Terra.



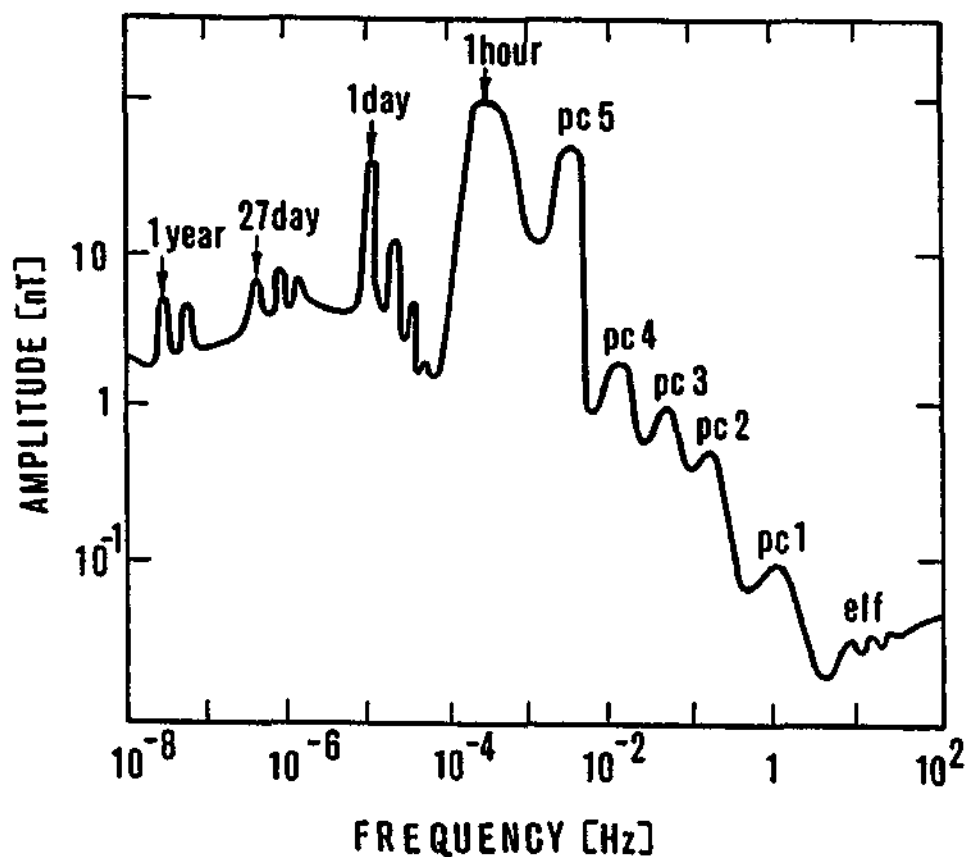


Figura 5– Amplitude das variações naturais da componente horizontal H.(Serson, 1973)

A variação diurna é causada por sistemas de corrente elétrica, 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 Ionosfera¹, 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.

¹ 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.



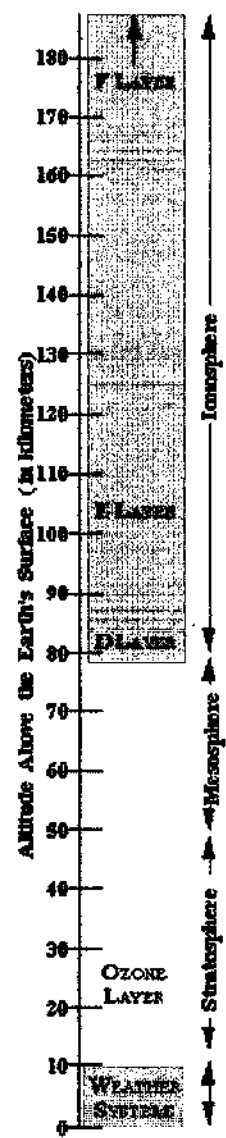


Figura 6 - Divisão da Ionosfera em suas respectivas camadas. (<http://www.sel.noaa.gov>)

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 D_{ST} (Storm Time Disturbance).

Os distúrbios magnéticos resultam da entrada de grandes quantidades de plasma solar na Magnetosfera², por ocasião de tempestades magnéticas. As tempestades

² Magnetosfera - região em que o campo magnético domina o movimento do plasma, constituído principalmente de prótons e elétrons.





magnéticas são consequência do aumento de correntes magnetosféricas e ionosféricas devido à interação entre o vento solar³ e o Campo Magnético Terrestre, 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 três a quatro horas, uma fase principal, com várias horas de duração, e uma fase de recuperação, com duração de algumas horas a alguns dias, dependendo da intensidade da tempestade.

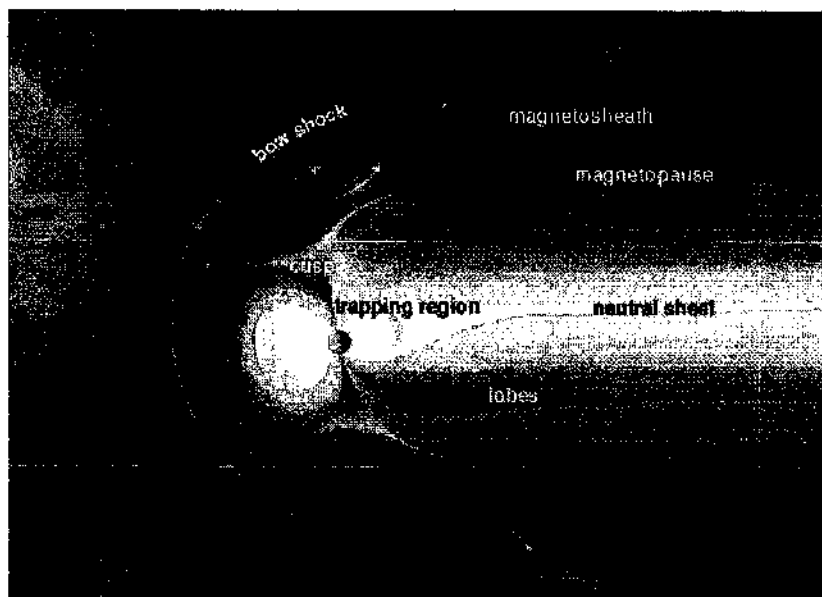


Figura 7 - Ilustração da Magnetosfera terrestre com suas principais regiões. (<http://www.sel.noaa.gov>)

Pulsações geomagnéticas são manifestações de ondas de plasma de frequência ultra-baixa (ULF) na magnetosfera terrestre. Essas pulsações tem intervalos de frequência desde aproximadamente 1 mHz até 10 Hz e aparecem como oscilações quase senoidais nos dados registrados em magnetômetros na superfície terrestre, na ionosfera e na magnetosfera.

Historicamente, as primeiras observações das pulsações geomagnéticas foram feitas por Stewart (1861), o qual notou pulsações geomagnéticas nos registros de uma grande tempestade geomagnética, observada em Kew Observatory (Greenwich, Inglaterra). Somente no Ano Internacional de Geofísica (1958) (IGY) ocorreu um substancial aumento no número de observações das pulsações geomagnéticas e estabeleceu-se o estudo das ondas de plasma e pulsações na magnetosfera como uma disciplina madura. Um subcomitê do “International Association of Geophysics and Aeronomy” (IAGA) sugeriu um esquema

³ Vento Solar - fluxo de partículas ionizadas (plasma) emanadas pelo Sol.





de classificação baseado em duas classes principais de pulsações (Jacobs et al., 1964). A primeira inclui pulsações de caráter mais ou menos contínuo e foi denotada por Pc. A segunda classe inclui pulsações mais ou menos impulsivas e foi denotada por Pi. Vamos falar um pouco sobre cada classe:

- **Pulsações Regulares ou contínuas**

Abrangem o intervalo inteiro das pulsações, com períodos de 0,2 a 600 segundos. Podem ser subdivididas em subgrupos, dependendo de seus períodos.

- *Pulsações Contínuas Pc1 (T = 0,2 – 5 s)*

Estas pulsações são importantes fontes de informações de instabilidades de plasma que podem se desenvolver nas regiões dos cinturões de radiação e são, usualmente, o indicador do estado da magnetosfera.

As Pc1 são oscilações senoidais regulares, com períodos variantes de 0,2 a 5 segundos. Estas pulsações ocorrem na forma de explosões separadas, desenvolvendo-se gradualmente em, uma série de pulsações que se estendem de 10 minutos a horas. Elas podem também ocorrer na forma de grupos de pulsações com bruscas variações de frequência.

Investigações no solo da ocorrência das Pc1 e as características nas mudanças de suas amplitudes com a latitude indicam que elas são mais freqüentemente excitadas em zonas aurorais e sub-aurorais.

Pulsações Contínuas Pc2-3 (T=5-10, 10-45 s)

As amplitudes de sinais observadas das Pc2-3 são, usualmente, menores de 0,5 γ e os períodos típicos são em torno de 2 a 30 segundos. São tipicamente fenômenos diurnos, com período médio sofrendo variações diurnas, maximizando-se ao meio-dia. A principal direção do vetor horizontal perturbado, embora tipicamente norte-sul, sofre uma variação diurna nas maiorias das latitudes e, com essa mudança, ocorrem vários sentidos de polarização.

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.

Pulsações Contínuas Pc4 (T = 45 – 150 s)

As amplitudes típicas das Pc4 são de 5 a 9 nT nas altas latitudes e 1 nT nas baixas latitudes. Os sinais, usualmente, duram de 10 minutos a várias horas. Estes, muitas vezes, aumentam lentamente até uma amplitude máxima que se sustenta por um longo tempo, e





depois decaem imediatamente. 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 atividade solar, embora suas amplitudes permaneçam quase constantes por todo o ciclo solar. Por outro lado, a frequência de ocorrência das Pc3 não muda muito ao longo do ciclo solar; já suas amplitudes decrescem repentinamente com o decréscimo da atividade solar. Assim, as Pc4 são muito mais dominantes que as Pc3 nos mínimos solar.

Em todas as latitudes a ocorrência das Pc4 pode ser conectada com o ciclo solar; mais ativamente nos anos de mínimas manchas solares.

Pulsações Contínuas Pc5 ($T = 150 - 600 s$)

Esta classe de pulsações, com longos períodos (3 – 9 minutos), podem ter amplitudes extremamente grandes, chegando a várias centenas de γ . Estendem-se por um período de 10 minutos à várias horas, e suas formas são inteiramente senoidais, muitas vezes amortecidas, com algumas distorções que aparecem com o aumento da atividade magnética.

Há uma larga distribuição latitudinal das Pc5, incluindo um 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, os quais serão comentados posteriormente.

- **Pulsações Irregulares**

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

Pulsações Irregulares Pi1 ($T1 - 40 s$)

As Pi1 tem formas irregulares com períodos menores do que 15 segundos ($\approx 6 - 10 s$). Suas amplitudes tem valores máximos nas zonas aurorais e sua intensidade decresce rapidamente com a latitude. Estas oscilações tem formas de microestruturas devido aos distúrbios lentos do campo magnético, observadas durante a fase principal das tempestades magnéticas.

A atividade Pi1 mostra uma dependência distinta com o índice K, aumentando com o aumento de K. Algumas vezes, as Pc1 e Pi1 são registradas simultaneamente com distúrbios lentos e, também, como distúrbios de campos independentes.

Pulsações Irregulares pi2 ($T = 40 - 150 s$)





As Pi2 possuem formas irregulares com períodos localizados num intervalo de 40 – 150 segundos, podendo, às vezes, apresentar períodos acima de 250 segundos, e suas amplitudes variam de 1 - 5 γ . As Pi2 tem como características principais o 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, sugerindo que as Pi1 e Pi2 tem diferentes fontes de geração ou que tem diferentes modos de propagação sobre a superfície da Terra.

Egedal (1947, 1948) concluiu, a partir da análise dos dados obtidos no Observatório de Huancayo (12° 02.3' S, 75° 19.4' W), que deveria existir um aumento na corrente superior oeste-leste em um estreito cinturão (~600km) centrado no equador magnético de inclinação zero. Este fenômeno foi chamado mais tarde de eletrojato equatorial (EEJ) por Chapman (1951). Foi descoberto também que o eletrojato reverte ocasionalmente sua direção certas horas do dia, dando origem ao chamado contra eletrojato.

Num magnetoplasma com campos elétrico \vec{E} e magnético \vec{B} perpendiculares, correntes de Pedersen fluem paralelas a componente de \vec{E} normal a \vec{B} . Correntes Hall fluem perpendicular a ambos, \vec{B} e \vec{E} . Quando o fluxo de corrente Hall é inibido pela presença de limites, um campo de polarização é criado, se opondo ao fluxo de corrente. Cowling (1933) reconheceu que se a corrente Hall normal aos campos \vec{B} e \vec{E} é então limitada, a condutividade efetiva (condutividade Cowling) paralela aos campos é aumentada acima da condutividade de Pedersen. Cowling (1933), Martyn (1948) e Cowling e Border (1948) discutiram a possibilidade de que a inibição do fluxo de correntes verticais, pelas camadas de baixa condutividade acima e abaixo da região dínamo (~100-160 Km), deveria aumentar consideravelmente a condutividade efetiva da Ionosfera na direção leste-oeste próxima ao equador magnético, explicando a existência do EEJ. Untiedt (1967) foi o primeiro a reconhecer que o fluxo de correntes verticais não era completamente inibido, como foi assumido anteriormente.



3. MÉTODOS E MATERIAIS

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

O equipamento utilizado para medir o Campo Geomagnético é chamado magnetômetro. Devido a grande variedade de fenômenos que respondem a campos magnéticos, existe uma grande variedade de magnetômetros, cada um com suas vantagens distintas. Neste trabalho, discutiremos alguns tipos de magnetômetros que são utilizados no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE, em São Martinho da Serra - RS.

- **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, B , unindo-se a uma segunda bobina censorsa enrolada ao redor do núcleo. Esta distorção da variação de 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.

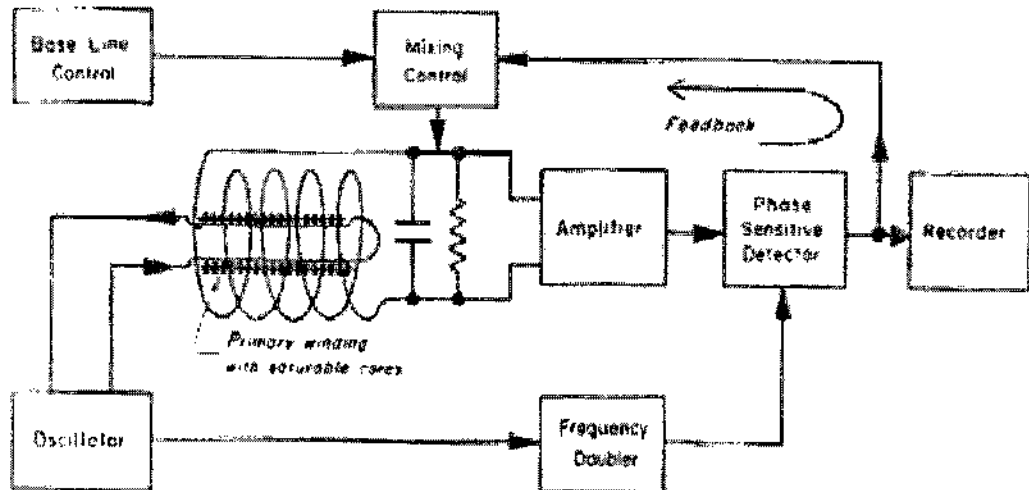


Figura 8 – Magnetômetro Fluxgate para medida direcional do Campo Geomagnético. (Campbell, 1997)

Com uma oscilação de excitação de aproximadamente 700 c/s, uma variação de 1- γ , do campo ambiente, produz uma saída de aproximadamente 25 μ V. Para medidas de sinais fracos, são utilizados dois núcleos em direções opostas no circuito de excitação, e uma bobina secundária cercando ambos. As duas contribuições primárias, nas bobinas com núcleo saturado postas em direções opostas, são então canceladas (figura 8).

• Magnetômetro de Precessão de Prótons

Se um fluido rico em prótons tal como querosene, combustível de avião, heptano, etc. é colocado em um campo magnético muitas vezes maior (cerca de 100 Gauss) que a intensidade de campo magnético terrestre (cerca de 0.5 Gauss) os prótons irão alinhar-se ao longo do vetor campo magnético externo. O campo magnético é induzido no sensor pressionando-se um botão durante alguns segundos. Quando este campo de polarização perpendicular ao campo magnético da terra é repentinamente removido grande número de Prótons que foram alinhados ao campo magnético de polarização, que se comportam como giroscópios elementares, iniciarão a precessão ao redor do campo magnético restante - o Campo Magnético Terrestre. A frequência de precessão é diretamente proporcional ao campo magnético da Terra. O magnetômetro conta esta frequência, divide ela por uma





constante apropriada para obter um valor em gamas e mostrar a leitura, calculando o Campo Geomagnético através da seguinte relação:

$$B_E = \frac{2\pi}{\gamma_P} \nu$$

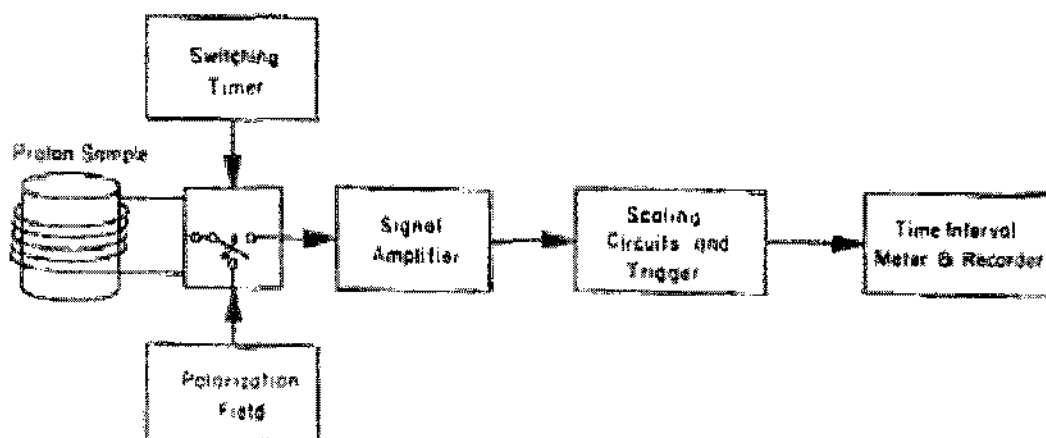


Figura 9 – Magnetômetro de próton para medida do Campo Geomagnético total. A bobina ao redor da amostra é utilizada para alinhar os prótons e detectar o período de precessão dos mesmos. (Campbell, 1997)

4. ATIVIDADES DO BOLSISTA

- Durante o trabalho na área de Geomagnetismo, desenvolvido no Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/UFSM e no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE, o bolsista desenvolveu e participou das seguintes atividades.
- Realizou visitas semanais ao Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE para manutenção dos equipamentos e para a coleta de dados.
- Participou da leitura e discussão do livro: “Introduction to Geomagnetic Fields - Wallace H. Campbell”.
- Participou da leitura e discussão do livro: “Instrumentos Geomagnéticos – Fritz Primdahl”.
- Leitura do livro: “Guide for Magnetic Measurements and Observatory Practice - J. Jankowski e C. Sucksdorff”.





- Com os dados que são coletados na estação geomagnética de São Martinho da Serra o bolsista fez gráficos da variação da componente H do campo magnético terrestre.
- Com os gráficos feitos o bolsista analisou-os, anotando o que ele teve como conclusões, e após seu orientador também os analisou e juntos tiveram uma conclusão definitiva.
- Foi feita uma comparação das variações impulsivas observadas em São Martinho da Serra – SMS com as variações geomagnéticas observadas nos satélites geoestacionários GOES-5 e GOES-6.
- Na estação Magnética de São Martinho da Serra o bolsista além de fazer medidas das variações contínuas geomagnéticas também faz medidas dos valores absolutos do campo magnético, para este é usado um magnetômetro do tipo Fluxgate (núcleo saturado), proveniente do convênio Brasil / Japão.
- Desde que assumiu a bolsa no lugar do Rogemar A. Riffel o bolsista tem se dedicado no desenvolvimento do projeto, bem como na manutenção dos equipamentos de coletas de dados, e na instalação do Observatório Espacial do Sul – OES em São Martinho da Serra – SMS.
- O bolsista vem estudando também a física da magnetosfera, com a leitura de artigos, revistas e livros indicados pelo orientador.
- O bolsista usou algumas técnicas de análise de dados (Transformadas de Fourier e Multi Tapered Spectrum Analysis formulada pelo D. J. Thomson (1982) Spectrum Estimation and Harmonic Analysis , Proceedings of IEEE, 70, 1055-1096; D. J. Thomson – Time series analysis of holocene climate data , Philosophical Transactions of Royal Society of London ,1990 Series A , 330, 601-616) que são descritas na próxima seção.

5.TÉCNICAS DE AQUISIÇÃO PROCESSAMENTO E ANÁLISE DE DADOS

Todas as medidas do campo magnético terrestre envolvem a determinação da magnitude e direção do campo vetorial F , (ambas características dependem do tempo). Três direções são necessárias para estas medições: horizontal H (norte-sul), D (leste-oeste) e Z (vertical para baixo), este projeto visa medir as pequenas variações que vão de 10 à 600segundos. O Espectro dinâmico das variações do campo magnético terrestre é grande,





variando-se desde períodos de alguns séculos até variações rápidas, com períodos de milissegundos a alguns minutos. Devido o espectro grande de variação das componentes do campo, vários instrumentos tem sido desenvolvidos para realizar medidas ou para registrar as variações magnéticas de diferentes aspecto geomagnético.

Uma unidade de aquisição de dados geomagnéticos consiste basicamente de duas partes: sistemas de medição (para o nosso projeto o sistema de medição é feita através de magnetômetros, seu funcionamento foi especificado anteriormente), e o sistema de processamento e armazenamento de dados.

Foram desenvolvidas unidades de aquisição com interfaceamento capaz de selecionar as saídas analógicas dos sensores e digitalizá-las por um conversor analógico - digital. Os dados digitalizados são formatados e transferidos para fitas cassetes, ou cartões de memória, para posterior processamento em computador digital.

Para este estudo fez-se uso de dados geomagnéticos coletados pela estação geomagnética instalada no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE -MCT, em São Martinho da Serra – RS (29°S, 53°W).

A filtragem visa separar a informação espectral contida no sinal, produzindo assim um realce das características espectrais. Um grande número de estruturas diferentes podem ser usadas para implementar filtros digitais. As mais comuns, filtragem direta, em cascata e em paralelo. A conversão da estrutura de filtragem direta para a estrutura em forma de 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 é representada pela soma das funções de transferência individuais.

A estimação espectral é um poderoso método de análise de dados é frequentemente usado para estudar processos geofísicos. Muitas técnicas têm sido desenvolvidas para análise de longas séries temporais estacionárias. Contudo, estas técnicas não são universalmente aplicadas para séries temporais que envolvem processos não estacionários de curta duração. O principal problema tem sido isolar frequências.

Uma nova técnica de estimação espectral, apresentada por Thomson (1982), tem sido aplicada na análise de séries temporais. Na técnica de análise espectral por múltiplas janelas os dados são multiplicados por várias janelas com propriedades de resistência ao vazamento espectral, formando uma seqüência ortogonal de janelas, que minimizam o vazamento do espectro estimado, fazendo a transformação de Fourier nas auto-janelas





“plotar” com o programa/ Software comercial chamado “Auto Signal” tem se os espectros correspondentes a cada uma dessas janelas.

Cada arquivo criado armazena os dados de um dia para as três componentes do campo geomagnético H, D, Z registradas com intervalos de amostragem de três segundos os arquivos tem formato de uma tabela de 4 colunas e 28800 linhas, tendo os dados digitalizados e dispostos em um arquivo pode se obter o gráfico da variação do campo magnético utilizando o programa Auto Signal, que é um programa específico para ser usado na área de geomagnetismo.

6. PERSPECTIVAS FUTURAS

- O bolsista deverá continuar realizando medidas geomagnéticas absolutas de Declinação, Inclinação e Campo Total – F, e das variações impulsivas que ocorrem na região da anomalia geomagnética do Atlântico Sul para monitorar a dinâmica da anomalia geomagnética.
- Durante a seqüência do trabalho na área de geomagnetismo o bolsista pretende participar da elaboração e apresentação de trabalhos para a apresentação nas próximas Jornadas Acadêmica Integrada da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, leitura e discussão de livros e continuar realizando visitas semanais ao Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE para manutenção de equipamentos e coletas de dados.
- O bolsista deve continuar o estudo da física magnetosférica.
- O bolsista deve auxiliar na manutenção do Observatório Espacial do Sul.
- O bolsista pretende levar o seu trabalho para comparar com outros grupos de pesquisa, fazendo uma integração com outras áreas.





7. CONCLUSÕES

A partir dos dados analisados, por intermédio dos gráficos observamos que existe uma certa periodicidade e certa amplitude destas variações geomagnéticas na faixa de 10 a 200 segundos (0,1 a 0,005Hz). Podemos observar em alguns gráficos anexos.

As variações que encontramos e estudamos são geradas pela interação do vento solar com o campo magnético da terra, pelos processos físicos dentro da magnetosfera e também pela interação entre as ondas eletromagnéticas/ hidromagnetodinâmicas e pelos elétrons precipitados (devido a Anomalia Geomagnética – SAA) na ionosfera acima de Santa Maria.

Analisamos e detectamos os eventos de pulsações Pc3 (10 a 45 segundos), com o programa thomson6.exe com amplitudes superiores a (0,04nT) ou (0,03nT), e após encontrados os eventos, estes eventos foram listados com a hora do evento, período do evento e a amplitude do evento, com isso ficam mais fáceis de serem analisados, podendo comparar estes dados com os de outras estações geomagnéticas.

Apesar do pouco tempo em que eu estou com a bolsa, foi interessante estudar as variações que ocorrem no campo magnético terrestre na região da Anomalia Geomagnética Brasileira. Acredito que se esta área for estudada mais detalhadamente será possível sua monitoração. Antes de entender os processos físicos responsáveis pela geração destas pulsações na região da Anomalia Magnética precisamos catalogar os eventos de pulsações Pc3 a Pc5 e Pi2 e Pi3 e anotar as características deles nos dados geomagnéticos coletados no OES.





8. BIBLIOGRAFIA

Amarante, José A. A., General Topics on geomagnetism and Studies of the Occurrence of micropulsations in São José dos Campos, Comissão Nacional de Atividades Espaciais (CNAE) –São José dos Campos - São Paulo – Brazil, 1966.

Campbell, W. H. Introduction to Geomagnetic Fields, Cambridge University Press, New York, 1997.

Jankowski, J e C. Sucksdorff, Guide for magnetic measurements and observatory practice, International Association of Geomagnetism and Aeronomy, Boulder, 1996.

Kirchhoff, V. W. J. H. Introdução à Geofísica Espacial, Ed. Nova Estella.

Pereira, O. J. Estudos de Polarização de Pulsações Magnéticas na Faixa Pc3 a Pc5 Observadas em Santa Maria e Eusébio,1993.

Pinto, Jr. O. e Gonzales W. D. Anomalia Magnética Brasileira, Ciência Hoje, vol. 9, nº 52, 1989.

Primdahl, F., Instrumentos Geomagnéticos, Publicações do Observatório Nacional, Publicação Especial, N^o 09, 1986.

Schuch, N. J.; Adaime, S. F.; Oliveira, N. U. V.; Bortolotto, E.; Sarkis, P. J.; Pinheiro, D. K.; Lüdke, E.; Wendt, F. A.; Trivedi, N. B.; Costa, J. M.; Kirchhoff, V. M. J. H.; Dutra, S. L. G.; Sobral, J. H. A.; Abdu, M. A.; Takahashi, H.; Observatório Espacial do Sul - Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais/INPE, Revista Brasileira de Geofísica; Vol. 15, 65-70,1997.

Zanandrea, A. Micropulsações Geomagnéticas em Santa Maria - RS, Tese de Doutorado – INPE - 1994.



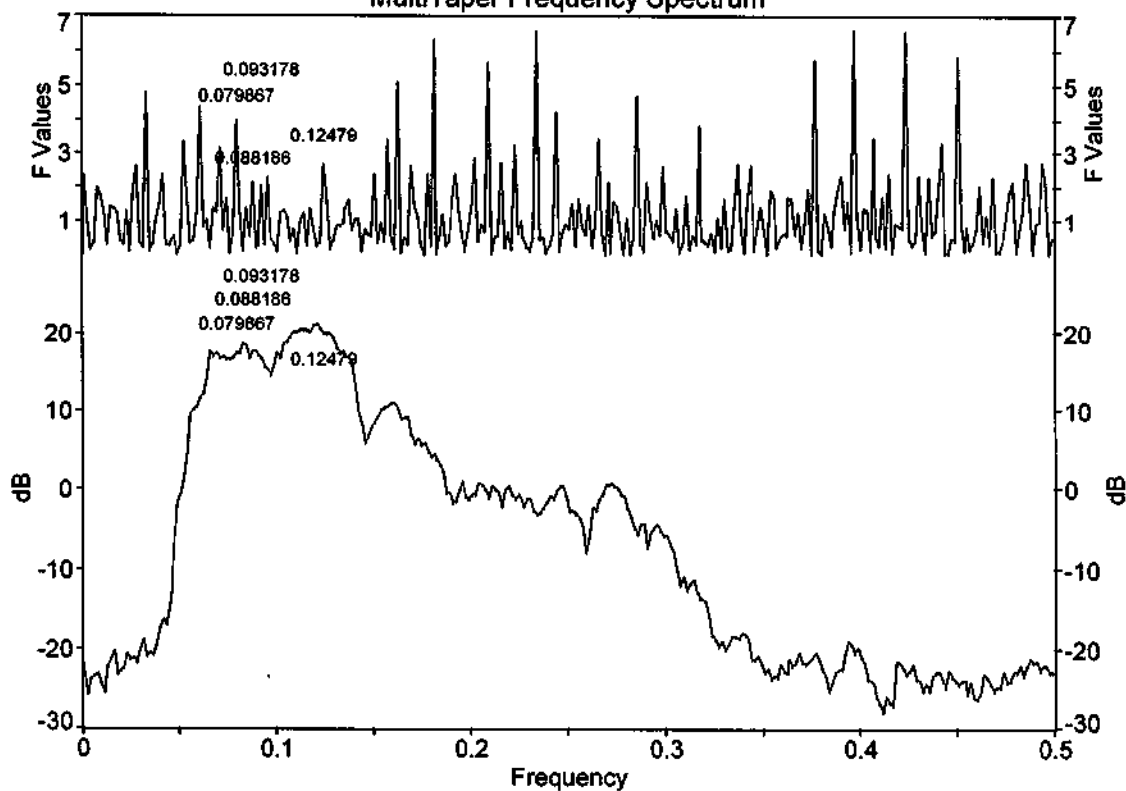


9. ANEXOS

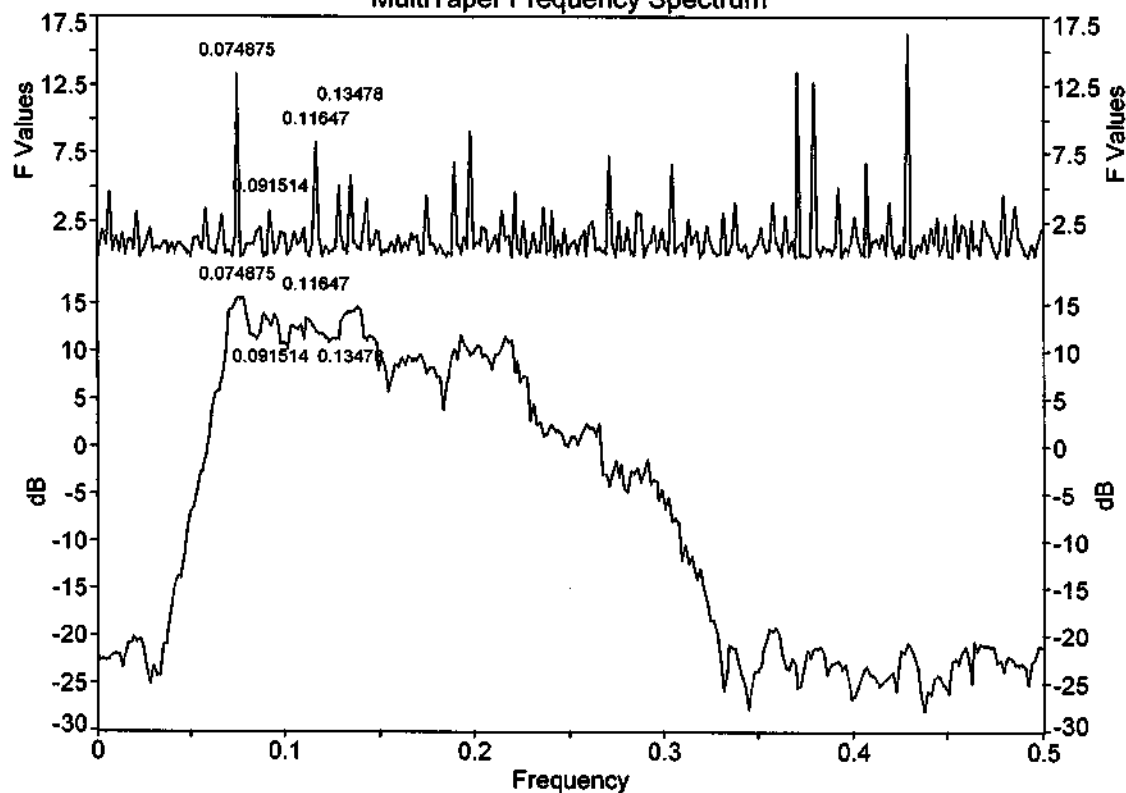
OBS: Os gráficos apresentados são referentes às variações na componente H do Campo Geomagnético. Os gráficos indicam a variação ocorrida a cada meia hora, portanto, a hora indicada no gráfico refere-se ao horário do final do evento, para encontrar o início basta subtrair 30 minutos.



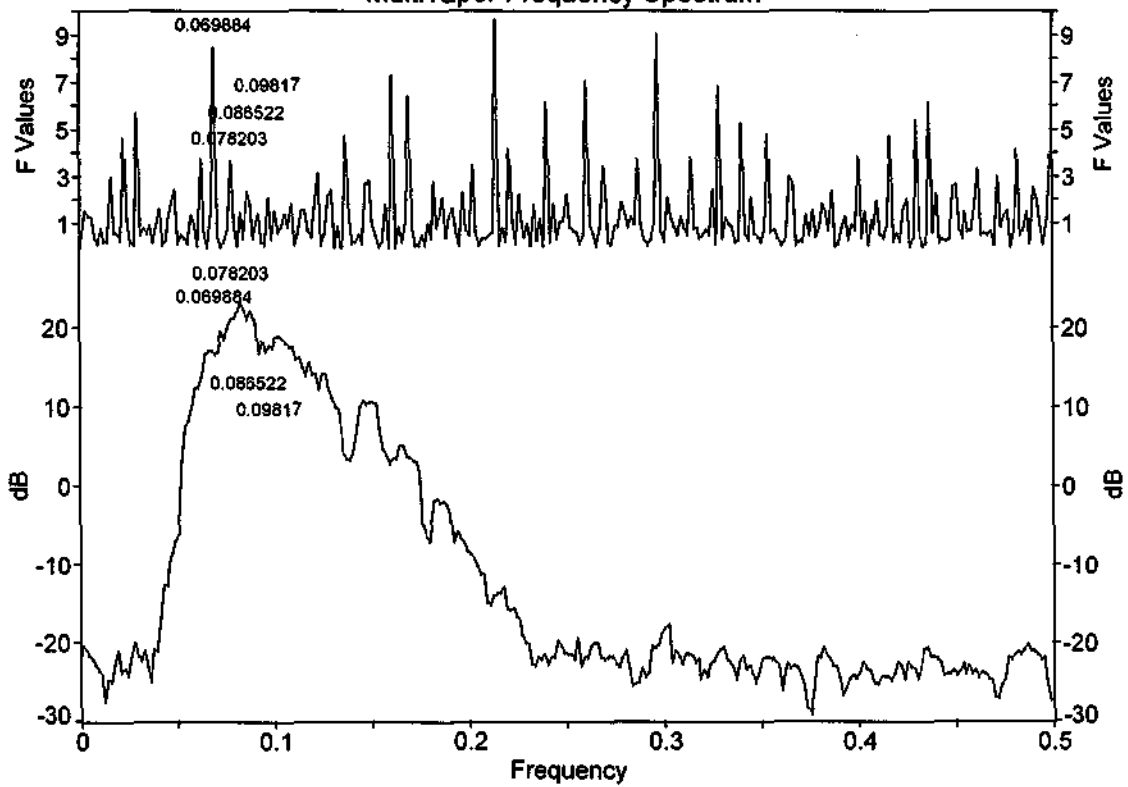
03/10/1994 Horário: 21:30 h
MultiTaper Frequency Spectrum



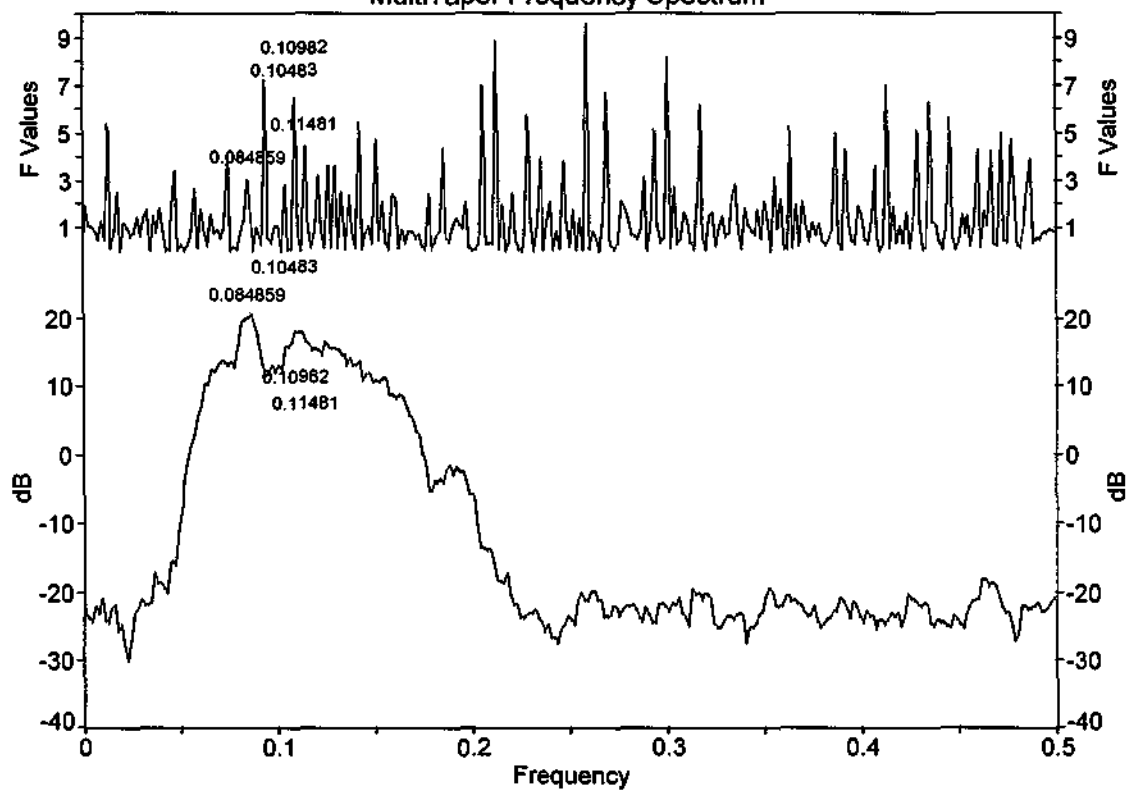
03/10/1994 P3 Horário: 10:00 h
MultiTaper Frequency Spectrum



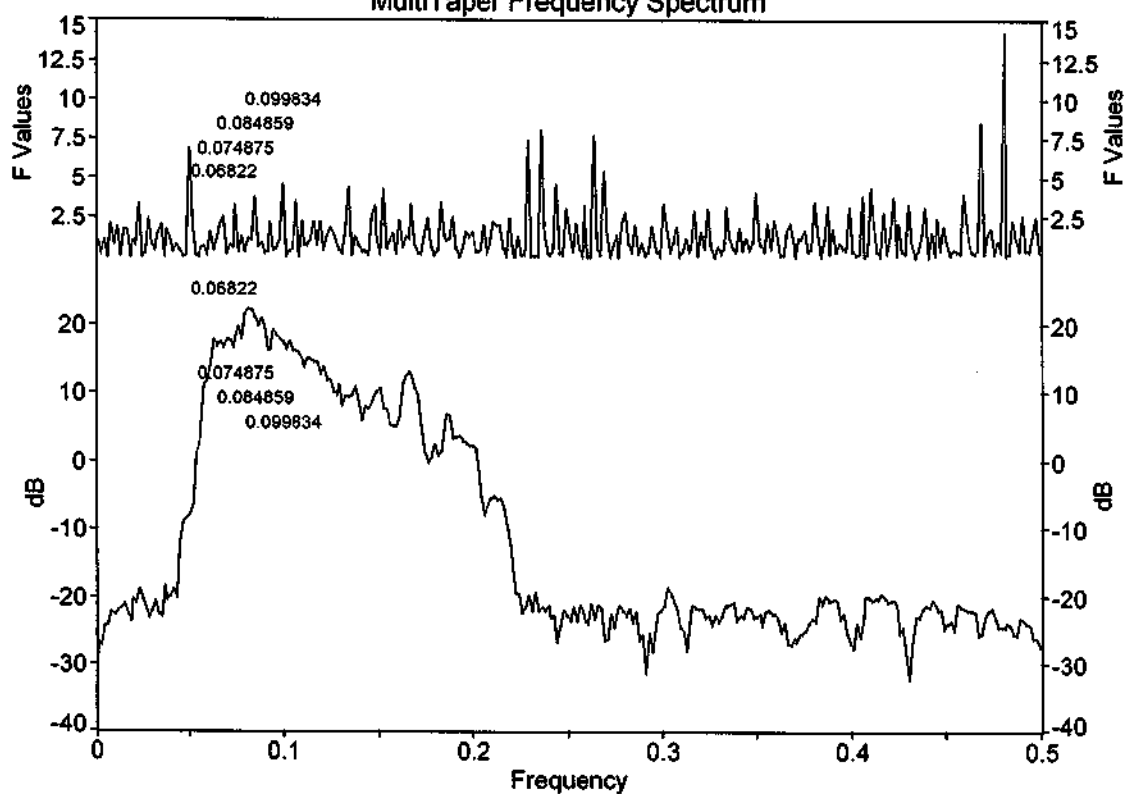
05/10/1994 Pc3 Horário: 21:30 h
MultiTaper Frequency Spectrum



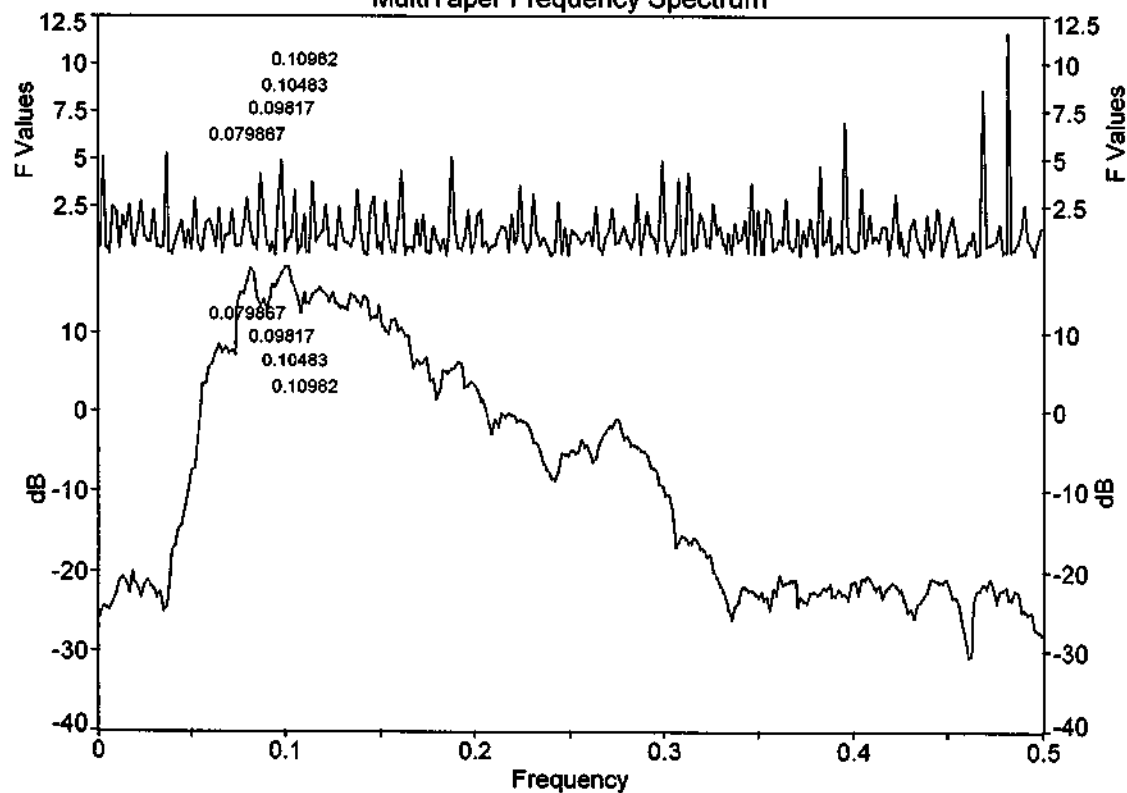
05/10/1994 Pc3 Horário:22:00 h
MultiTaper Frequency Spectrum



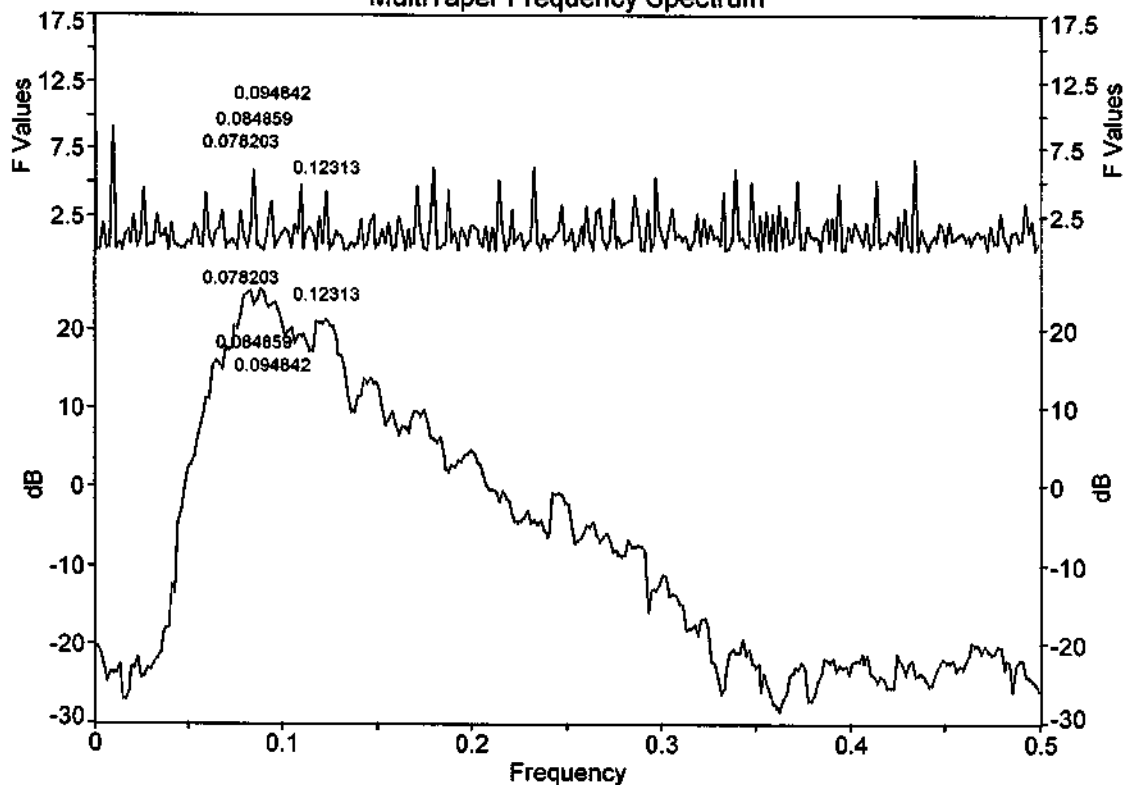
07/10/1994 Pc3 Horário: 14:30 h
MultiTaper Frequency Spectrum



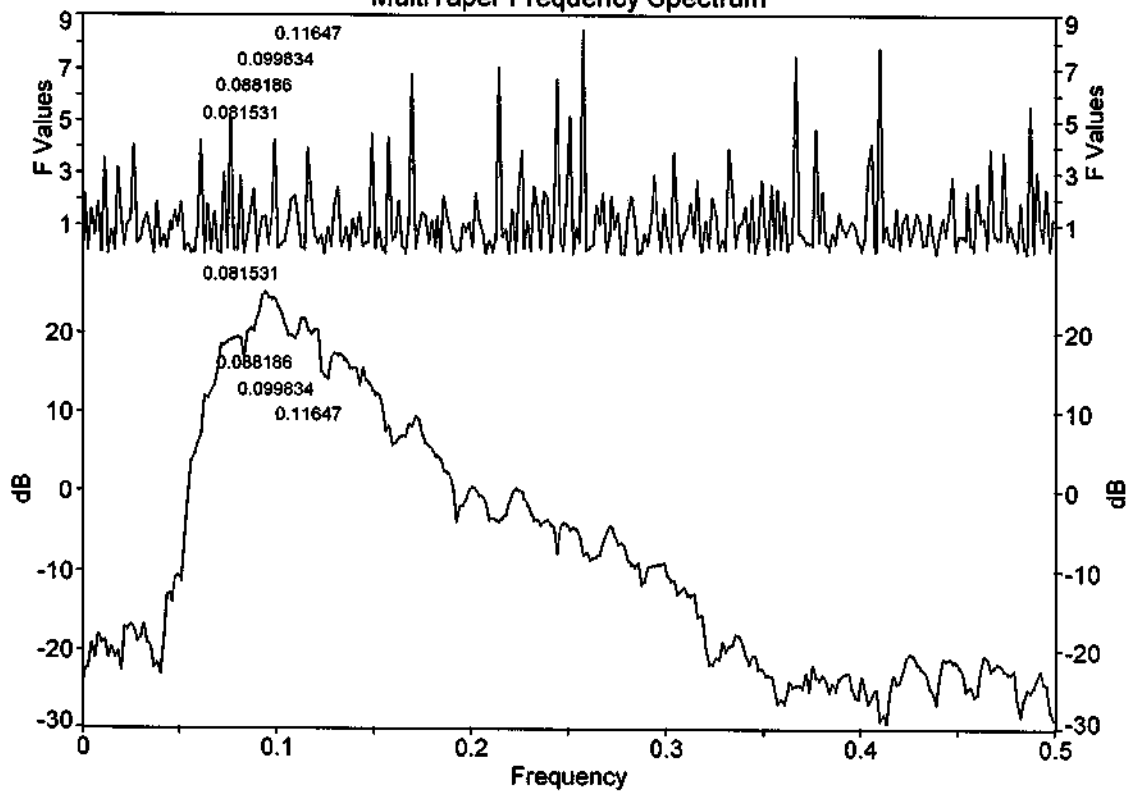
08/10/1994 Pc3 Horário: 8:00 h
MultiTaper Frequency Spectrum

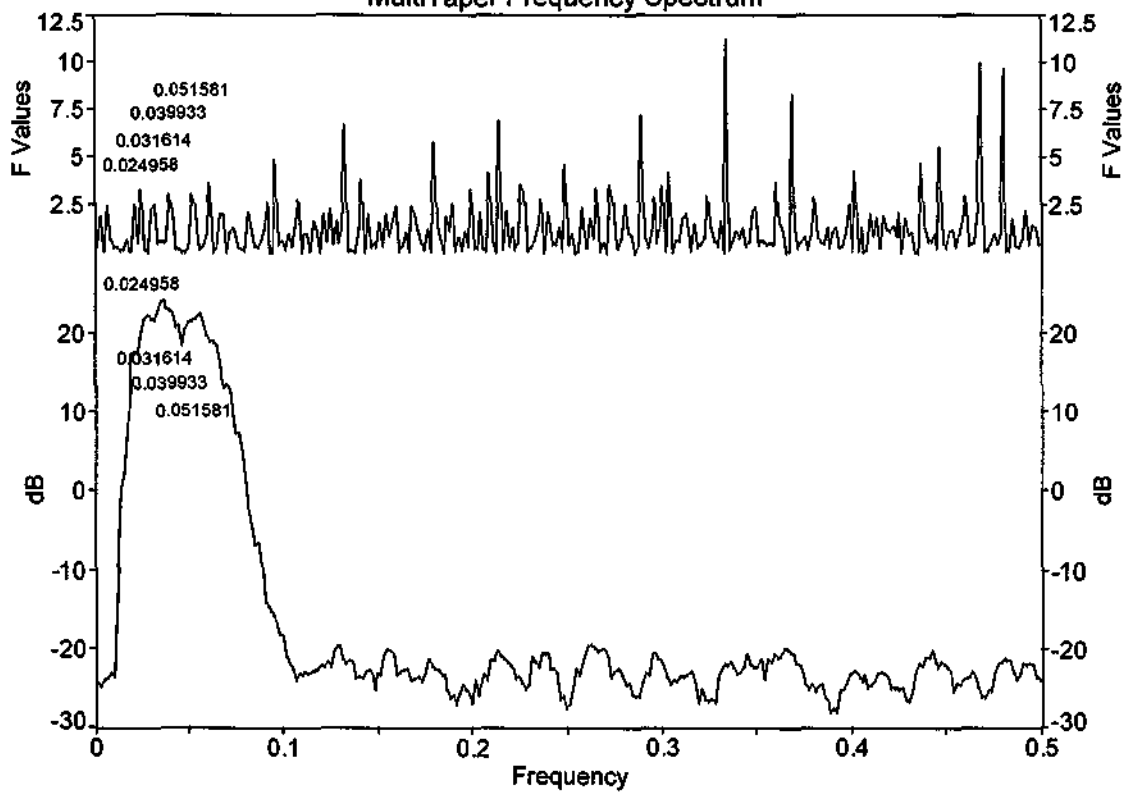
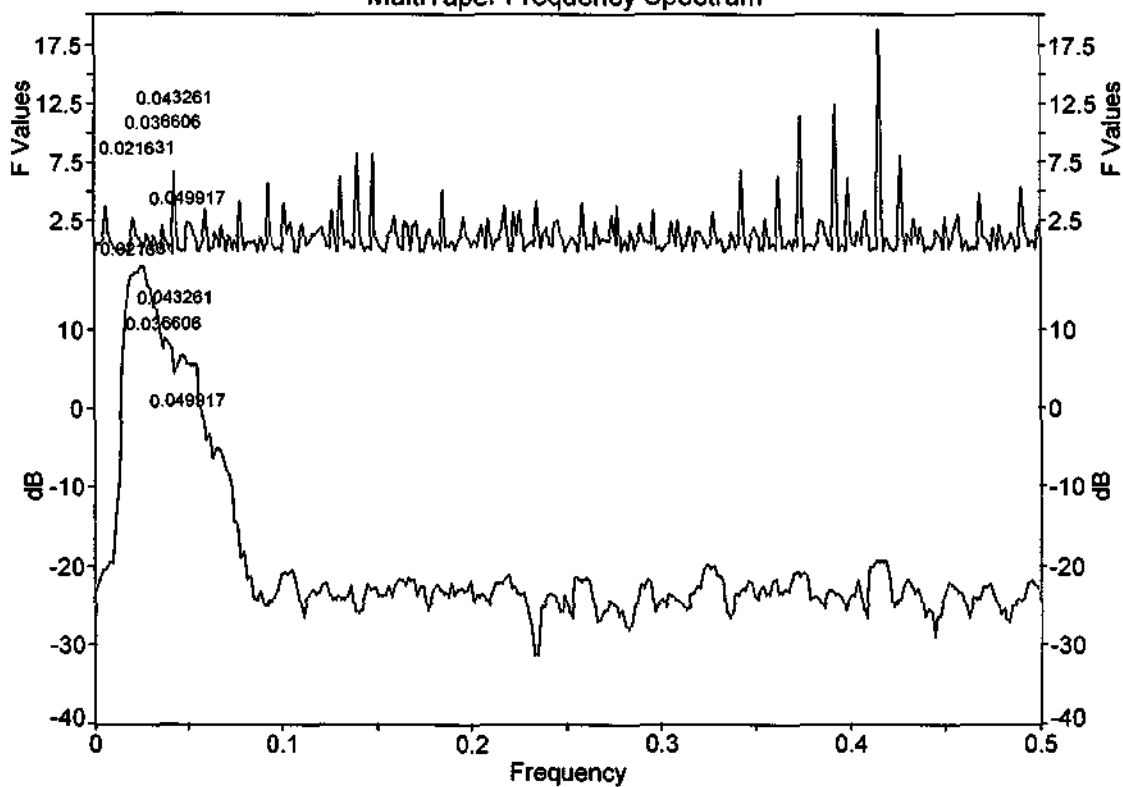


08/10/1994 Pc3 Horário: 14:00 h
MultiTaper Frequency Spectrum

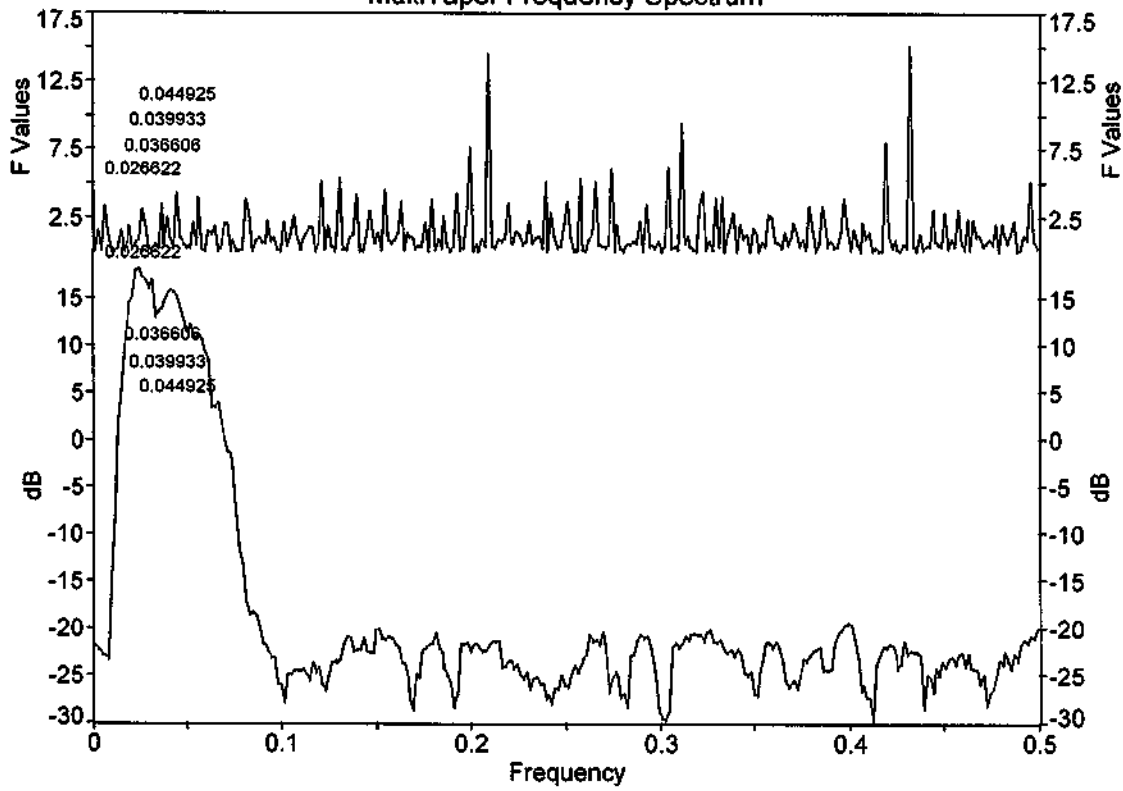


08/10/1994 Pc3 Horário: 16:00 h
MultiTaper Frequency Spectrum

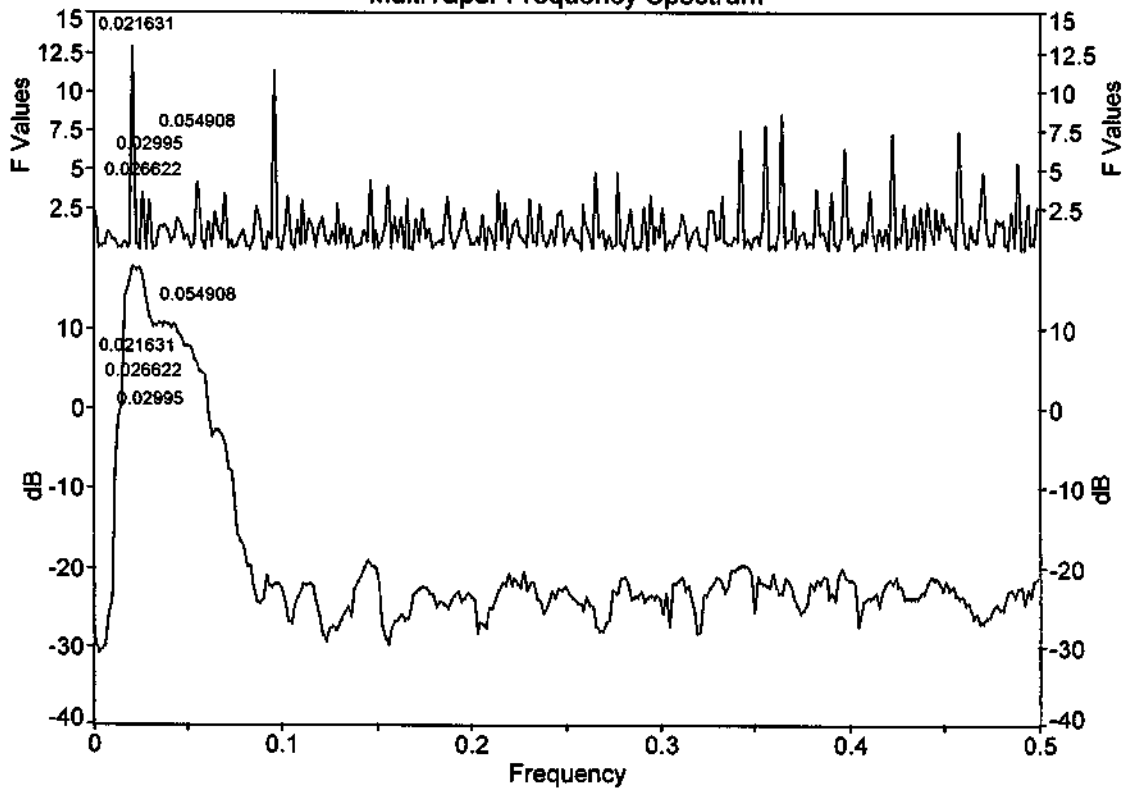




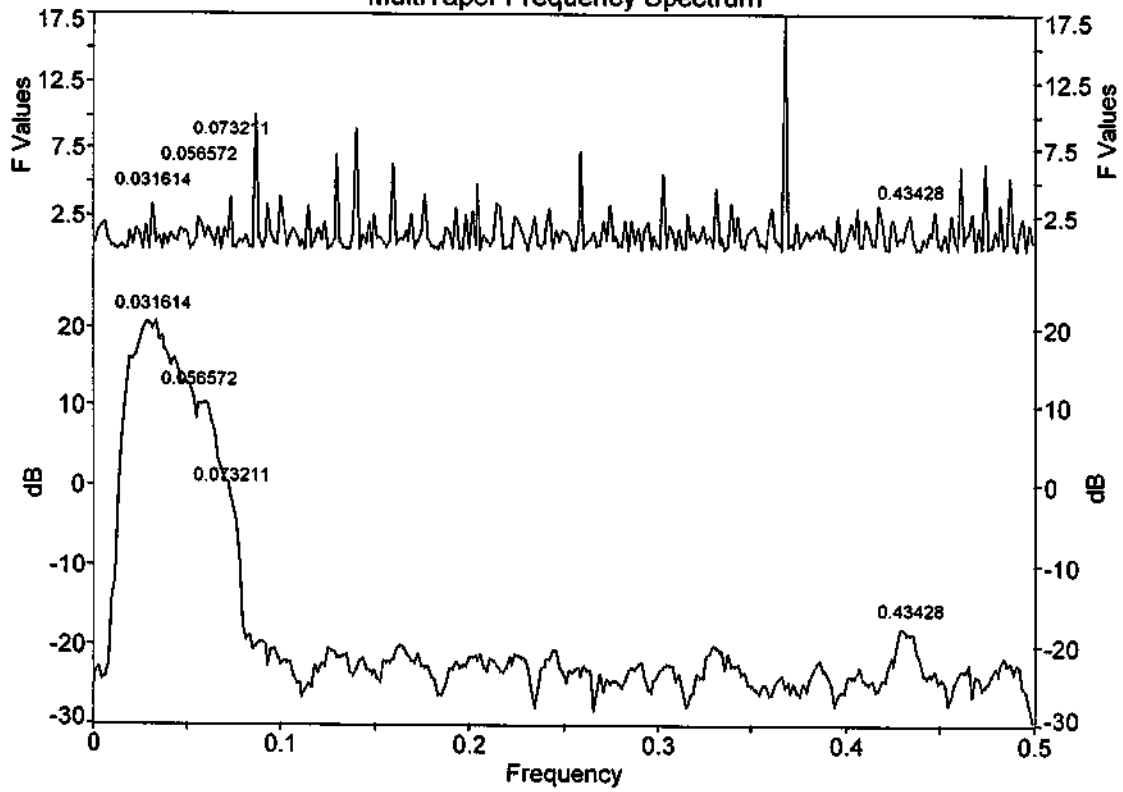
24/10/1994 Pc4 Horário: 9:30h
MultiTaper Frequency Spectrum



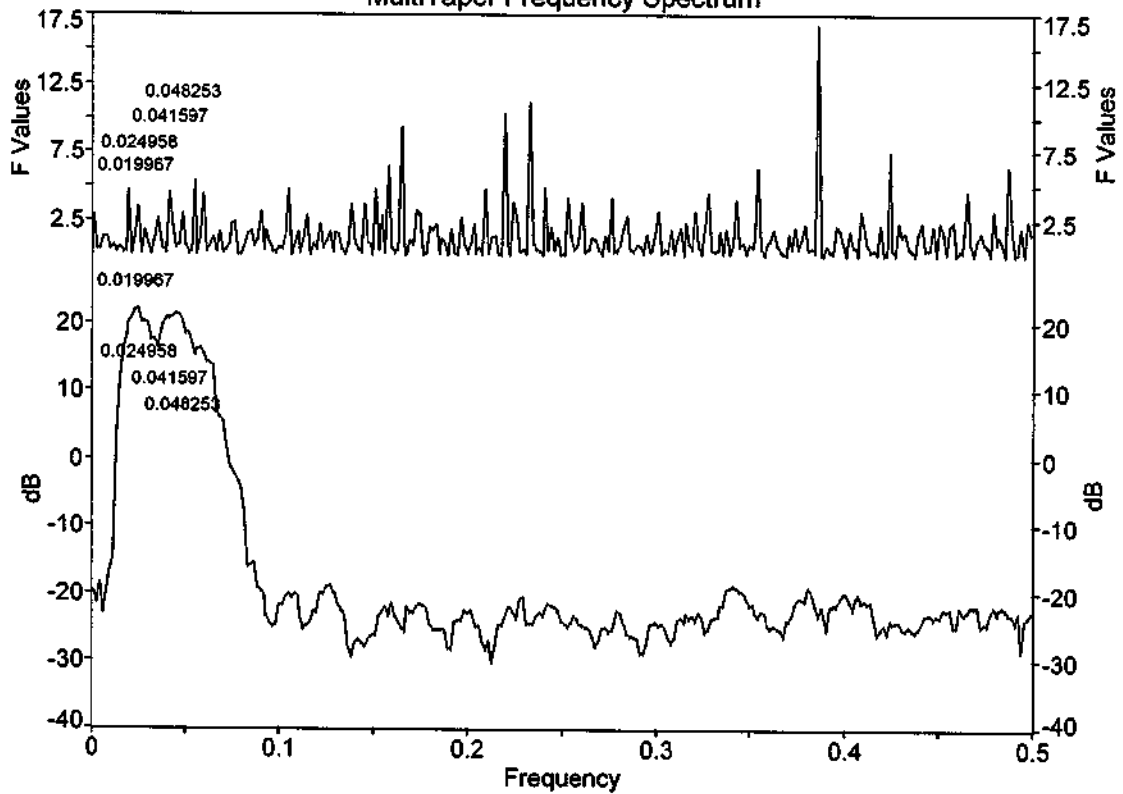
01/09/1994 Pc4 Horário: 14:00 h
MultiTaper Frequency Spectrum



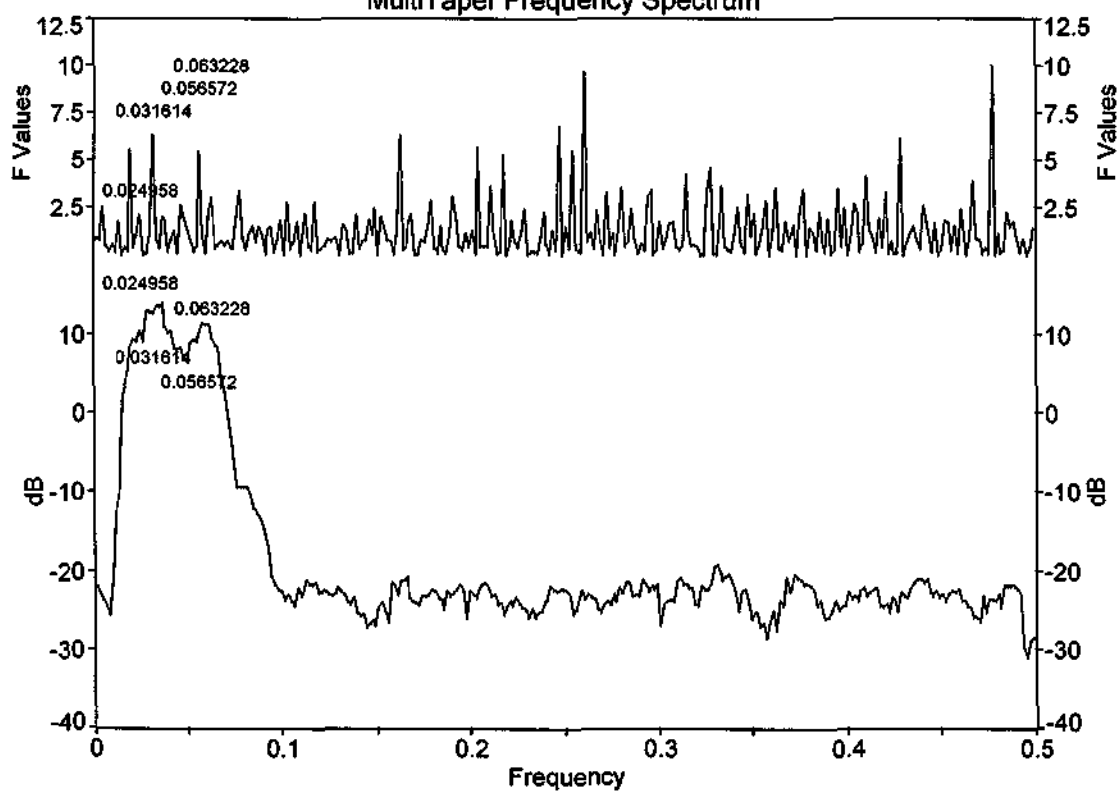
24/10/1994 Pc4 Horário: 18:30 h
MultiTaper Frequency Spectrum



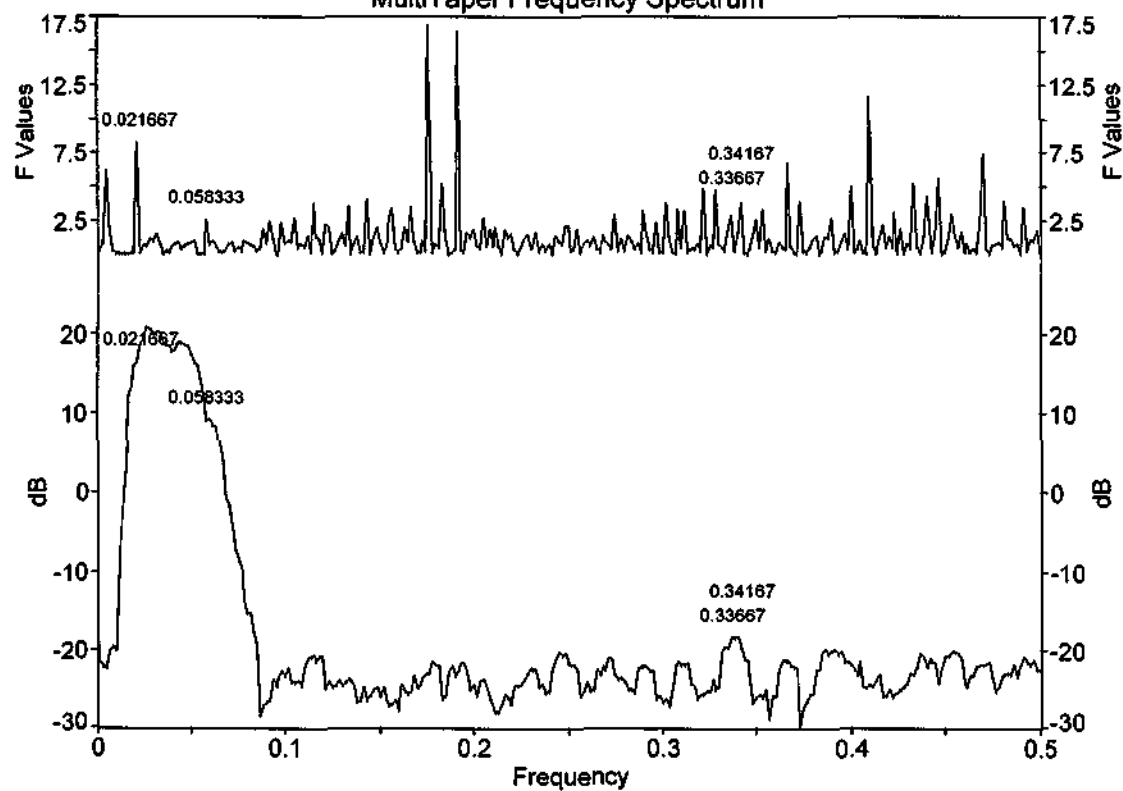
24/10/1994 Pc4 Horário:20:00 h
MultiTaper Frequency Spectrum



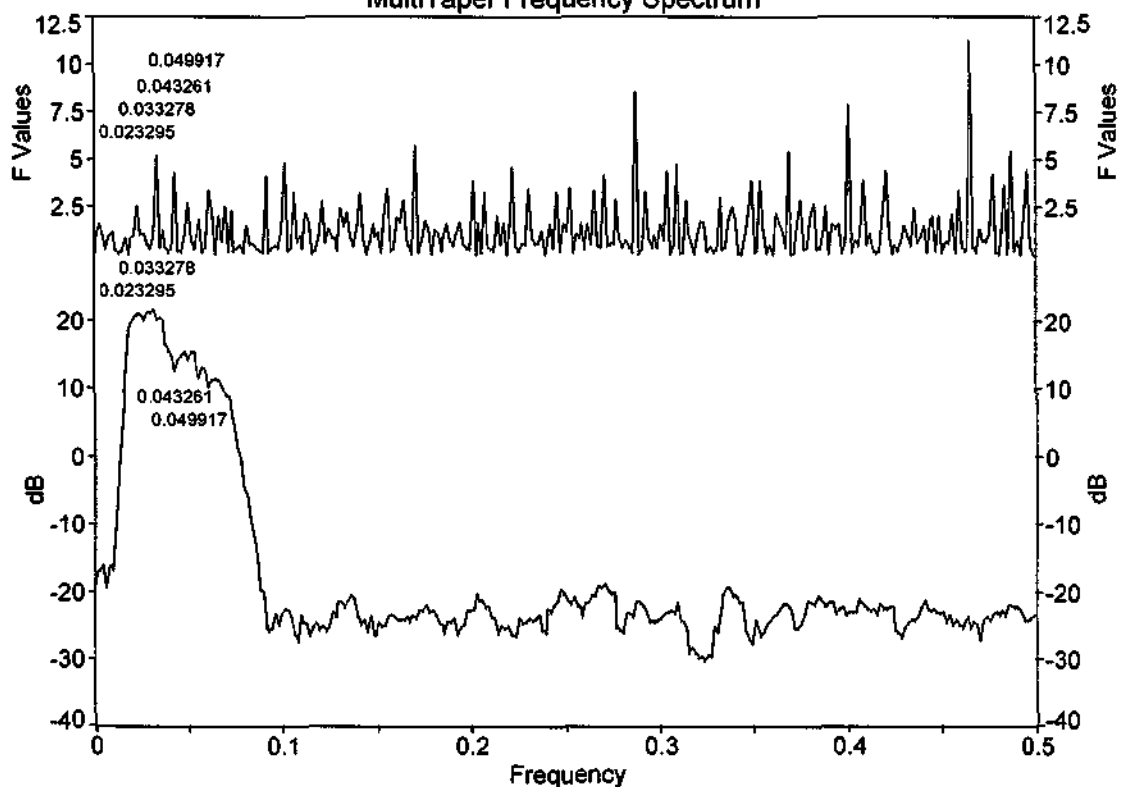
25/10/1994 Pc4 Horário: 7:00 h
MultiTaper Frequency Spectrum



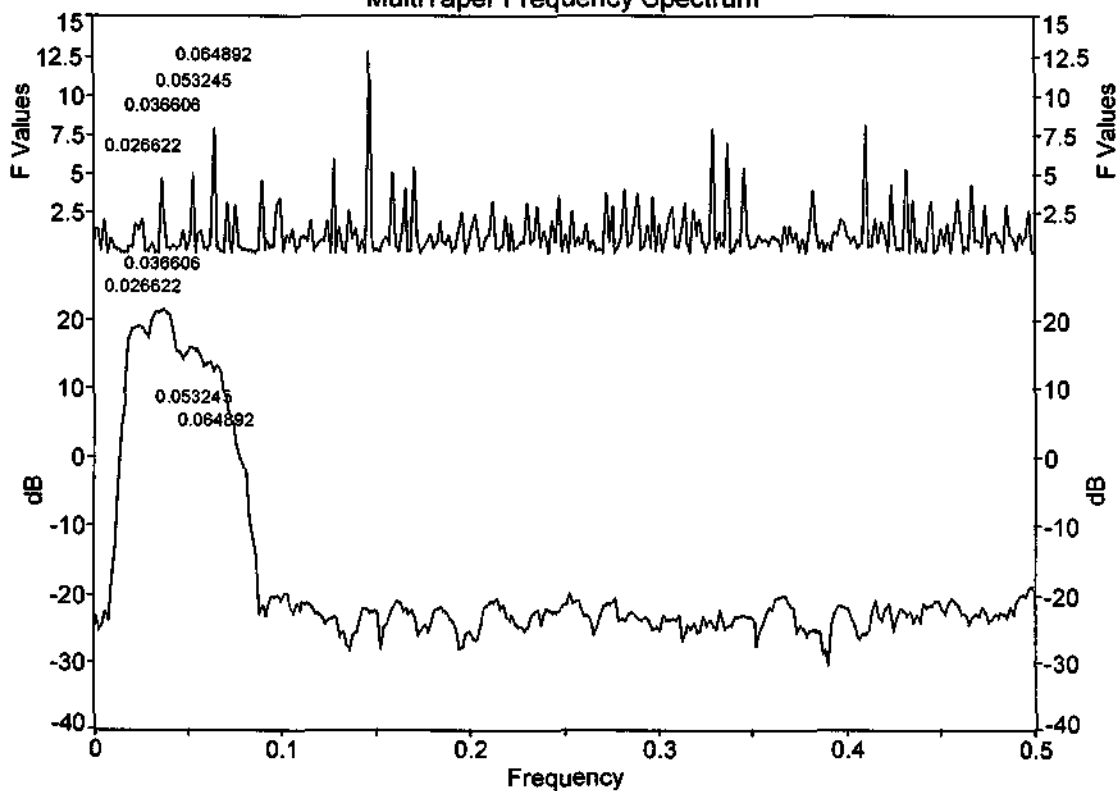
25/10/1994 Pc4 Horário: 1:30 h
MultiTaper Frequency Spectrum



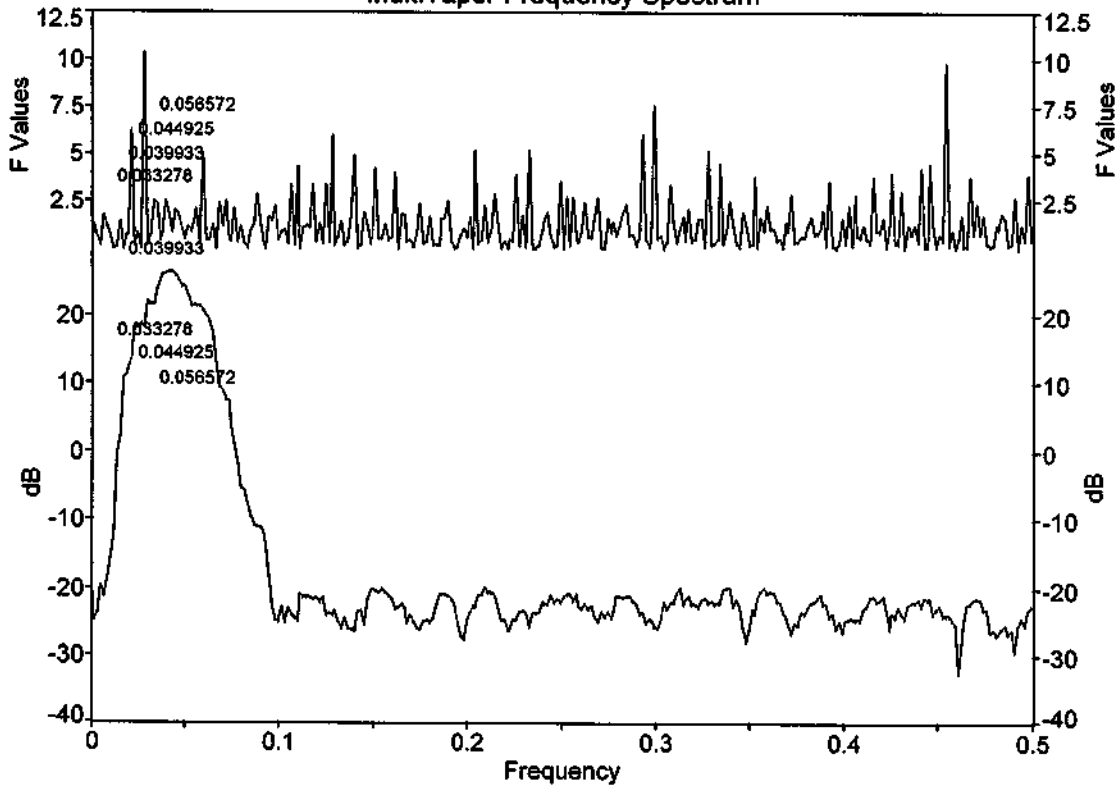
25/10/1994 Pc4 Horário: 15:30 h
MultiTaper Frequency Spectrum



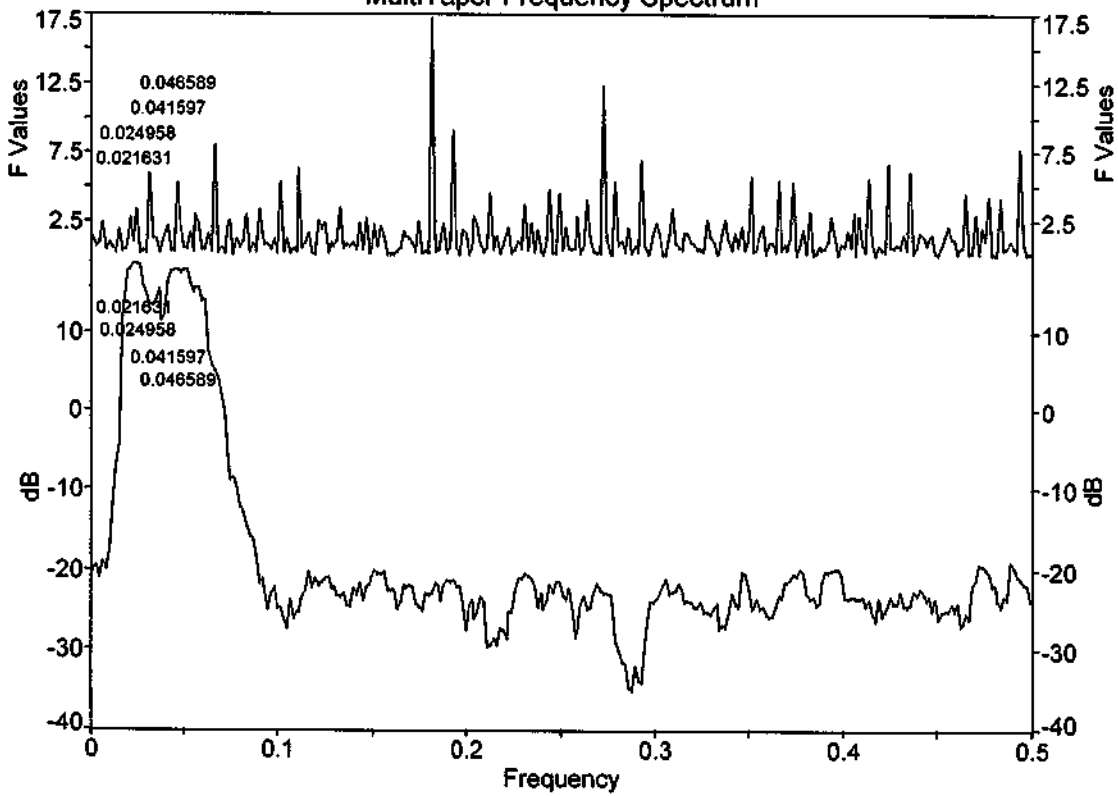
25/10/1994 Pc4 Horário: 17:30 h
MultiTaper Frequency Spectrum



25/10/1994 Horário: 18:30 h
MultiTaper Frequency Spectrum



25/10/1994 Pc4 Horário: 19:00 h
MultiTaper Frequency Spectrum



**MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS
COORDENAÇÃO DE ENSINO, DOCUMENTAÇÃO E
PROGRAMAS ESPECIAIS - CEP
COORDENAÇÃO DE CIÊNCIAS ESPACIAIS E
ATMOSFÉRICAS - CEA
CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS - CRSPE
OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL - OES/CRSPE/INPE**

Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica - PIBIC - CNPq

RELATÓRIO PARCIAL DE ATIVIDADES

Título do Projeto:

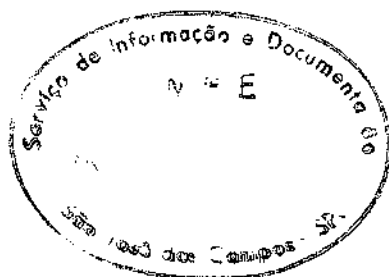
"Estudo de variações impulsivas no campo geomagnético observado em São Martinho da Serra - um observatório geomagnético na região da anomalia geomagnética"

Bolsista:

Rogemar André Riffel

Orientador:

Nalin Babulal Trivedi



Santa Maria, janeiro de 2001.



Dados de Identificação:

Bolsista:

Rogemar André Riffel

Orientador:

Nalin Babulal Trivedi

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Colaboradores:

Nelson Jorge Schuch

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - INPE

Severino L. Guimarães Dutra

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

Local de Trabalho/Execução do Projeto:

Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE /CEP - INPE

Laboratório de Geofísica Espacial - LGE/LACESM/CT - UFSM





AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus orientadores, Dr. Nalin B. Trivedi, Dr. Nelson J. Schuch, Severino L. Guimarães Dutra e ao colega de trabalho Jean Carlo Santos (acadêmico do curso de física), pela atenção e paciência que tiveram comigo, ao INPE e a UFSM pelo suporte dado e a todos que de alguma maneira contribuíram para a elaboração deste relatório.





ÍNDICE

| | |
|---|----|
| INTRODUÇÃO | 5 |
| 1. A PESQUISA ESPACIAL NO SUL DO PAÍS | 6 |
| 1.1. O CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS – CRSPE/INPE EM SANTA MARIA .6 | |
| 1.2. O OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL DO CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS – OES/CRSPE/INPE EM SÃO MARTINHO DA SERRA – RS. | 7 |
| 1.3. CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS – O PROGRAMA DE MONITORAMENTO DO OZÔNIO ATMOSFÉRICO. | 9 |
| 1.4. GEOMAGNETISMO E MAGNETOSFERA TERRESTRE..... | 10 |
| 1.5. COOPERAÇÃO CIENTÍFICA INTERNACIONAL BRASIL/JAPÃO EM CIÊNCIAS ESPACIAIS BÁSICAS..... | 10 |
| 1.6. OBJETIVOS GERAIS DO PROJETO | 11 |
| 1.6.1.Plano de Trabalho..... | 13 |
| 2 . FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 14 |
| 3. MÉTODOS E MATERIAIS | 21 |
| 4. ATIVIDADES DO BOLSISTA..... | 24 |
| 5. PERSPECTIVAS FUTURAS..... | 25 |
| 6. BIBLIOGRAFIA | 27 |
| ANEXOS | 28 |





INTRODUÇÃO

Com a formalização do convênio entre INPE e UFSM em 11/04/88 e a instalação de equipamentos científicos do tipo magnetômetro em Santa Maria, e posteriormente em São Martinho da Serra, deu-se início as pesquisas na área de Geomagnetismo na Região Sul do País.

Essas pesquisas têm como objetivo realizar medidas contínuas do Campo Geomagnético, analisando e estudando os dados coletados e comparando-os com os dados coletados em outras estações geomagnéticas.

Neste trabalho tratamos das variações diurnas do Campo Geomagnético, bem como da influência das correntes elétricas na atmosfera ionizada e do eletrojato equatorial na sua variação. Também são tratados os eventos impulsivos conhecidos como eventos TCV (Travelling Convection Vortices), que são característicos de altas latitudes e cujas assinaturas estão sendo procuradas em regiões de baixa latitude e do equador magnético. Este trabalho é dividido em quatro partes, sendo que a primeira parte trata sobre a estrutura física envolvida na Pesquisa Espacial no Sul no País, na segunda e terceira partes é apresentada a fundamentação teórica necessária ao entendimento do trabalho e por fim são apresentados alguns resultados e conclusões.





1. A PESQUISA ESPACIAL NO SUL DO PAÍS

As atividades e as áreas de desenvolvimento de pesquisas conjuntas em Ciências Espaciais e de Tecnologia, entre o INPE e a UFSM, iniciaram formalmente em 11/04/1988; sendo renovado, em 13/08/1996, o antigo Convênio entre o MCT/INPE e a UFSM.

Este Convênio nasceu do interesse do INPE e da UFSM em promover a estratégica descentralização também para o Sul do País da pesquisa, da formação de recursos humanos especializados, do desenvolvimento tecnológico e dos serviços relacionados às Ciências Espaciais, Ciências Atmosféricas, Clima & Meteorologia e Sensoriamento Remoto, às tecnologias e suas engenharias associadas.

1.1. O CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS – CRSPE/INPE EM SANTA MARIA

Em 13/12/1996, foi assinado o Instrumento Público de Cessão de Uso, por 50 anos, de 1,2 hectare de área no “campus” da UFSM, entre o INPE e UFSM com a interveniência do Ministério da Ciência e Tecnologia, para a execução do Projeto de Implantação do CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS – CRSPE/INPE, incluindo o subprojeto da ESTAÇÃO TERRENA DE RASTREIO E CONTROLE DE SATÉLITES – ETRCS/CRSPE/INPE, em Santa Maria, e o subprojeto do OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL – OES/CRSPE/INPE em São Martinho da Serra – RS.

O Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE, em Santa Maria, RS, visa o atendimento dos seguintes objetivos:





1. Dar suporte logístico técnico-científico ao desenvolvimento de programas, projetos e atividades do Instituto realizados nas regiões Sul do Brasil e Cone-Sul da América;
2. Apoiar os lançamentos e monitoramentos de satélites, foguetes e balões, no trânsito dos mesmos, na calibração das cargas úteis e no processamento de dados;
3. Efetuar manutenção do banco de dados obtidos pela Estação Terrena de Rastreamento e Controle de Satélites – ETRCS/CRSPE/INPE e pelo Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE;
4. Prestar apoio a usuários localizados nas regiões Sul do Brasil e Cone-Sul da América na obtenção de dados produzidos pelo Instituto;
5. Desenvolver equipamentos, para suporte dos laboratórios, para uso de missões do Instituto e para coleta de dados convencionais ou via satélite;
6. Realizar a administração das atividades, dos recursos humanos e dos recursos financeiros movimentados pelo CRSPE/INPE, ETRCS/CRSPE/INPE e OES/CRSPE/INPE, bem como as de suprimento de materiais, bens patrimoniais e as de orçamento e finanças.

1.2. O OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL DO CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS – OES/CRSPE/INPE EM SÃO MARTINHO DA SERRA – RS.

O Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE, em São Martinho da Serra – RS, tem como atribuições:

1. Executar e desenvolver as atividades e projetos de pesquisa técnico e científica em Astronomia, nas áreas de Astrofísica e Radioastronomia;
2. Executar e desenvolver as atividades e projetos de pesquisa técnico e científica em Geofísica Espacial, nas áreas de Geomagnetismo, Magnetosfera e Heliosfera, eletricidade atmosférica, física e química da média e baixa atmosfera;





3. Executar e desenvolver as atividades e projetos de pesquisa técnico e científica em aeronomia, nas áreas da físico-química e da física da alta atmosfera e da ionosfera;
4. Coletar dados, arquivando-os e mantendo-os em banco de dados formatados de acordo com padrões internacionais;
5. Desenvolver e fortalecer atividades de cooperação científica com pesquisadores e instituições de pesquisa nacionais e estrangeiras.

O programa de escolha de sítio envolveu estudo técnico e científico de escolha de sítios, nas regiões Centro-Oeste e Sul do Brasil, no Rio Grande do Sul e finalmente na grande região de Santa Maria e atendendo a metodologia da consideração dos fatores: antropogênicos, logísticos, macro e microclima, meteorológicos e do nível da rádio interferência natural e artificial, pré-requisitos básicos e necessários na pesquisa de escolha e instalação de um sítio, observatório, para observações rádio astronômica.

A localização geográfica e topografia do Observatório são estratégicas, devendo ser ressaltado que não se tem conhecimento da existência de nenhum outro Observatório Espacial do gênero, no Hemisfério Sul, na latitude do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE, o que torna inédita, original e de primeira mão, a natureza dos dados coletados por seus instrumentos.





Figura 1 - Prédios 2 e 3, de um total de seis prédios, do Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE, em São Martinho da Serra - RS.

Os sensores e equipamentos, como também as antenas dos radiotelescópios instalados e ou a serem instalados na área do Observatório Espacial do Sul, são de natureza passiva e não são ou serão poluidores, produzindo impacto destrutivo ao meio ambiente.

1.3. CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS – O PROGRAMA DE MONITORAMENTO DO OZÔNIO ATMOSFÉRICO.

O Programa de Monitoramento do Ozônio Atmosférico da UFSM é desenvolvido pelo Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/UFSM como subprojeto do Projeto RA e em colaboração com o Laboratório do Ozônio do INPE, dentro do convênio MCT/INPE-UFSM. O Programa tem como objetivo o monitoramento, a análise estatística dos dados e a análise comportamental da Camada de Ozônio Terrestre, na latitude 30° Sul, bem como correlação com o monitoramento sistemático da radiação ultravioleta, de partículas de radiação cósmica, de gases traçadores atmosféricos NO₂ e SO₂ com dados físicos e meteorológicos, obtidos através de sondagens troposféricas e estratosféricas e correlações com os fenômenos vinculados com a Anomalia Magnética do Atlântico Sul.





1.4. GEOMAGNETISMO E MAGNETOSFERA TERRESTRE

A Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas, com sua Divisão de Geofísica Espacial – INPE/CEA/DGE, foi a primeira unidade do INPE a instalar sensores e equipamentos científicos, do tipo magnetômetro, em Santa Maria.

Os primeiros equipamentos ficaram instalados no Campus da UFSM durante algum tempo, sendo através da colocação em operação dos sensores de um magnetômetro do tipo de indução, instalados pela Divisão de Geofísica Espacial próximos ao PRÉDIO 1, em colaboração com o LACESM, que o Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra, entrou em operação na data histórica de 19/12/1996, com a produção dos primeiros dados observacionais científicos. Atualmente, o Laboratório de Geofísica Espacial – OES/CRSPE/INPE conta com mais quatro magnetômetros: dois do tipo fluxgate e dois de precessão de prótons.

1.5. COOPERAÇÃO CIENTÍFICA INTERNACIONAL BRASIL/JAPÃO EM CIÊNCIAS ESPACIAIS BÁSICAS

Uma Cooperação Científica Internacional de coleta e análise de dados por longo período, 12 anos, equivalente a um ciclo solar ou 11 anos, foi estabelecida entre o BRASIL/JAPÃO em Ciências Espaciais Básicas. Nesta cooperação participam pelo lado brasileiro o LACESM da UFSM e a Coordenadoria de Ciências Espaciais e Atmosféricas do INPE, pelo lado japonês participam três institutos de pesquisa: National Institute of Polar Research; Communication Research Laboratory; National Institute of Radiological Sciences, e cinco universidades: Nagoya University; Kyushu University; Takushoku University; Kokugakuin University; e Rikkyo University.

Esta cooperação tem como principal objetivo pesquisar os fenômenos dinâmicos: aeronômicos, geofísicos espaciais, geomagnéticos e impactos ambientais que ocorrem na grande região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul.





1.6. OBJETIVOS GERAIS DO PROJETO

- Realizar medidas geomagnéticas contínuas das três componentes ortogonais H (norte-sul), D (leste-oeste) e Z (vertical para baixo) do Campo Geomagnético, no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE, em São Martinho da Serra – RS (29°S, 53°W).
- Analisar e estudar os dados geomagnéticos coletados em São Martinho da Serra, comparando-os com dados coletados nas outras estações geomagnéticas (figura 3), a fim de estudar as características das correntes elétricas na atmosfera ionizada (Ionosfera e Magnetosfera), como Sq (responsável pelas variações diurnas nos dias magneticamente quietos – atividade solar baixa), S_R (correntes ionosféricas na região E da Ionosfera, após serem removidas correntes elétricas de origem magnetosférica). Serão também estudadas características de correntes de Eletrojato Equatorial (EEJ), presentes na região E da Ionosfera acima do equador magnético.



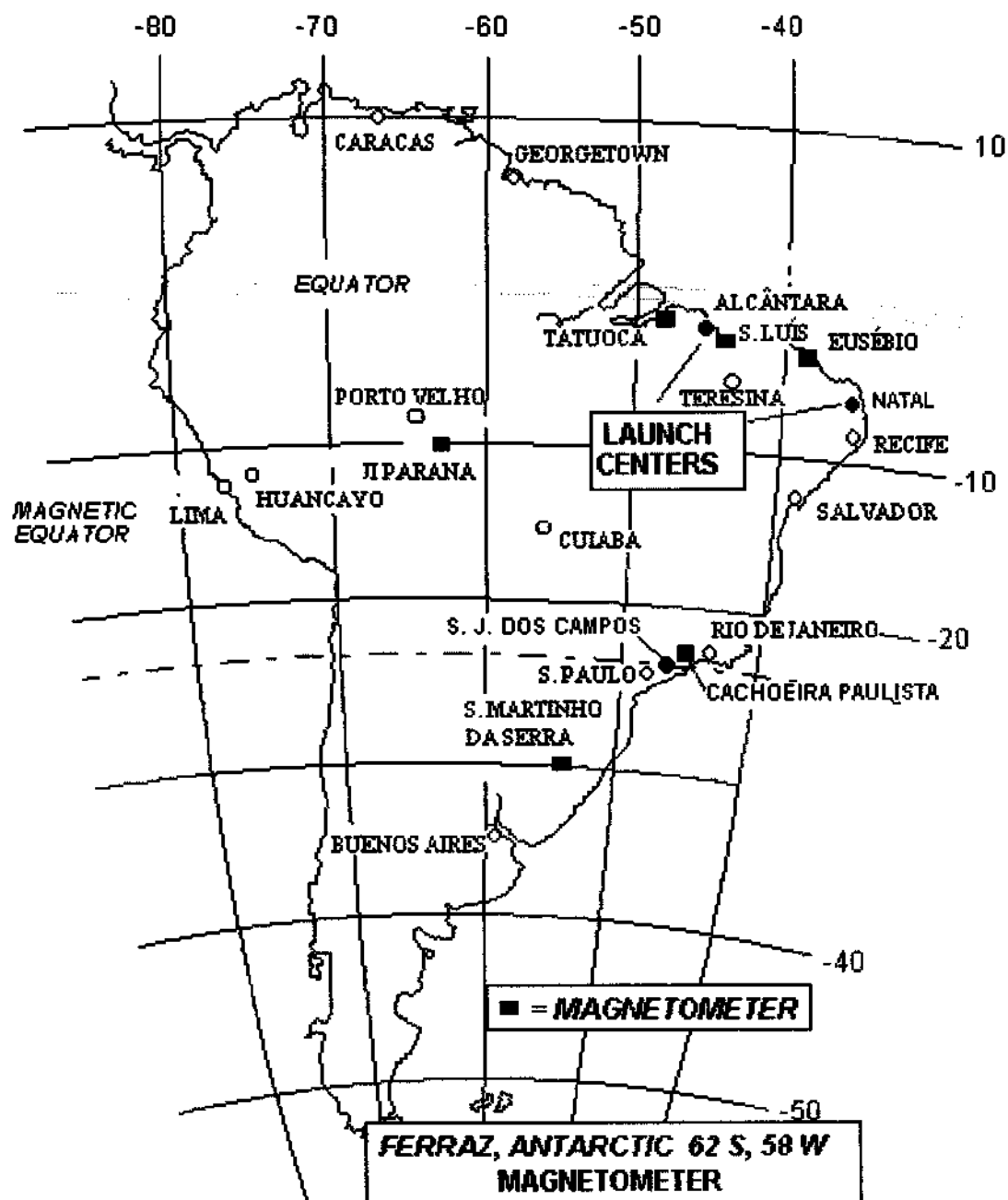


Figura 2 - Mapa da América do Sul mostrando a posição dos equadores geográfico e magnético e também das estações geomagnéticas brasileiras.





1.6.1.Plano de Trabalho

Primeira Fase: (Agosto de 2000 – Outubro de 2000)

- Revisão Bibliográfica;
- Introdução a ciência de geomagnetismo e pesquisa espacial e conhecer técnicas experimentais de medir campo geomagnético

Segunda Fase: (Novembro de 2000 – Fevereiro de 2001)

- Aprender realizar medidas geomagnéticas absolutas para montar um observatório magnético-padrão
- Operar o observatório geomagnético em SMS realizando medidas geomagnéticas relativas e absolutas usando magnetômetros do tipo "Fluxgate" e "Precessão dos prótons".

Terceira Fase: (Março de 2000 – Julho de 2000)

- Detectar eventos nos dados geomagnéticos e escrever relatório sobre pesquisa realizada.
- Comparar as variações impulsivas observadas em SMS com as variações geomagnéticas observadas nos satélites geoestacionários CROES-5 e CROES-6.



2 . FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A Terra possui um campo de forças, chamado Campo Geomagnético (figura 4), circundando o planeta. Esse campo de forças pode ser dividido em um campo principal, que corresponde à cerca de 99% do seu total e é gerado supostamente através de correntes elétricas que fluem na parte líquida do núcleo terrestre, e vários outros, produzidos por correntes elétricas presentes nas regiões ionizadas vizinhas ao planeta.

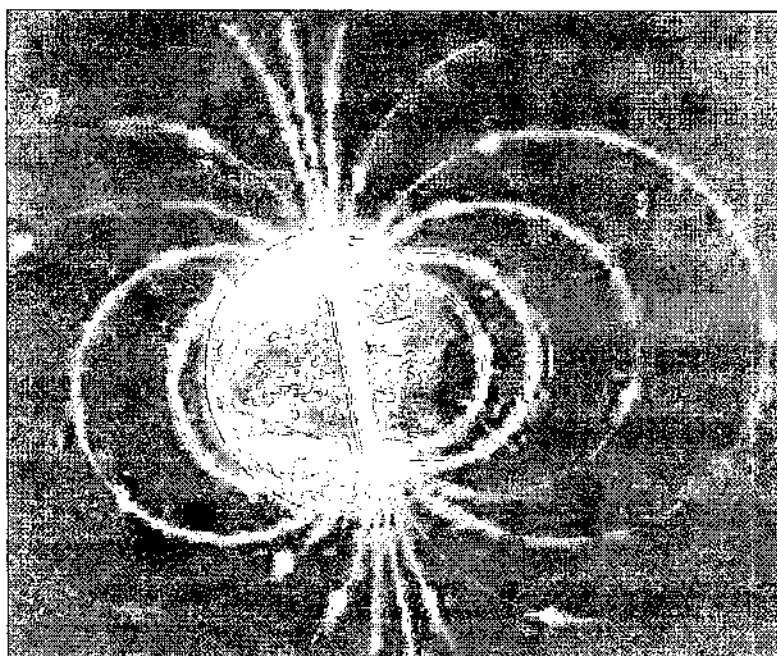


Figura 1 - Dipolo magnético colocado no centro da Terra e levemente inclinado em relação ao eixo de rotação. (Pinto e Gonzales, 1989)

O Campo Geomagnético não é estável, apresentando variações temporais e espaciais com amplitudes inferiores à do campo magnético gerado no núcleo, em várias ordens de grandeza.

Essas variações geomagnéticas podem ser classificadas em seculares, diurnas (período de 24 horas), distúrbios (associados a tempestades magnéticas e

com períodos bastante variáveis), pulsações (com períodos entre 0,2 e 1000s), atmosféricas (períodos inferiores a 1 s) e produzidas pelo homem (figura 5).

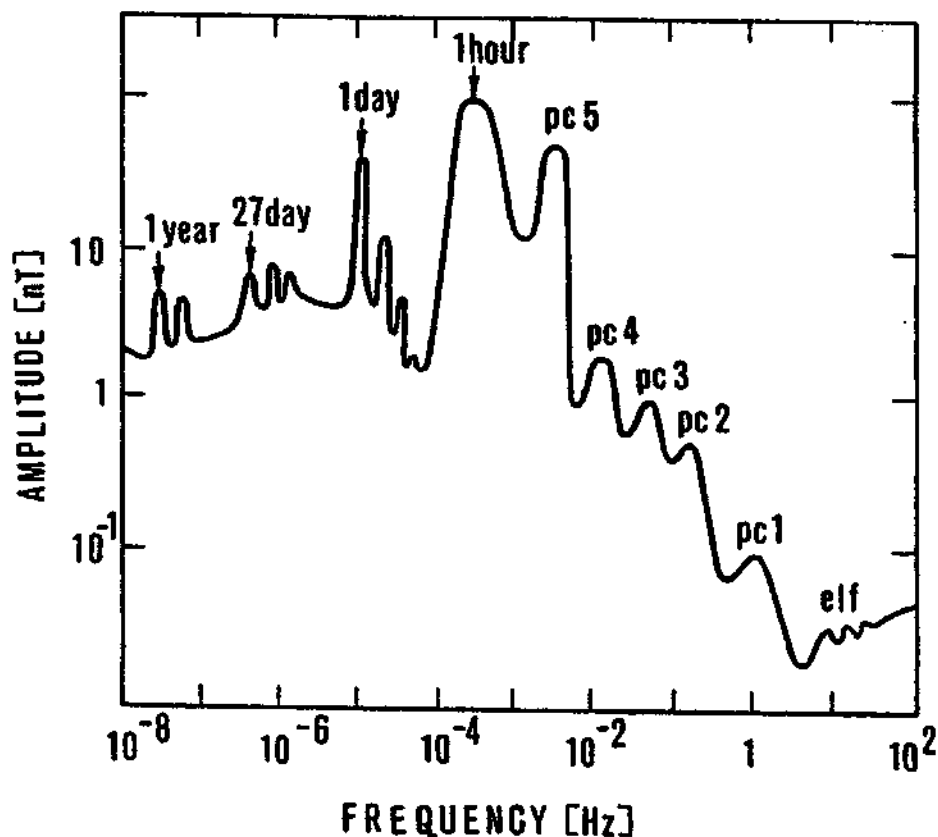


Figura 2 – Amplitude das variações naturais da componente horizontal H.(Serson, 1973)

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

A variação diurna é causada por sistemas de corrente elétrica, 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 ionosfera¹ (figura 6), 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

¹ 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.

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

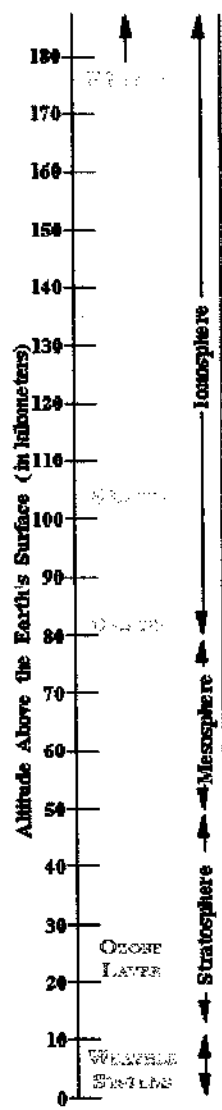


Figura 3 - Divisão da Ionosfera em suas respectivas camadas. (<http://www.sel.noaa.gov>)

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 D_{ST} (Storm Time Disturbance).

Os distúrbios magnéticos resultam da entrada de grandes quantidades de plasma solar na Magnetosfera² (figura 7), por ocasião de tempestades magnéticas. As tempestades magnéticas são consequência do aumento de correntes magnetosféricas e ionosféricas devido à interação entre o vento solar³ e o Campo Magnético Terrestre, 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 três a quatro horas, uma fase principal, com várias horas de duração, e uma fase de recuperação, com duração de algumas horas a alguns dias, dependendo da intensidade da tempestade.

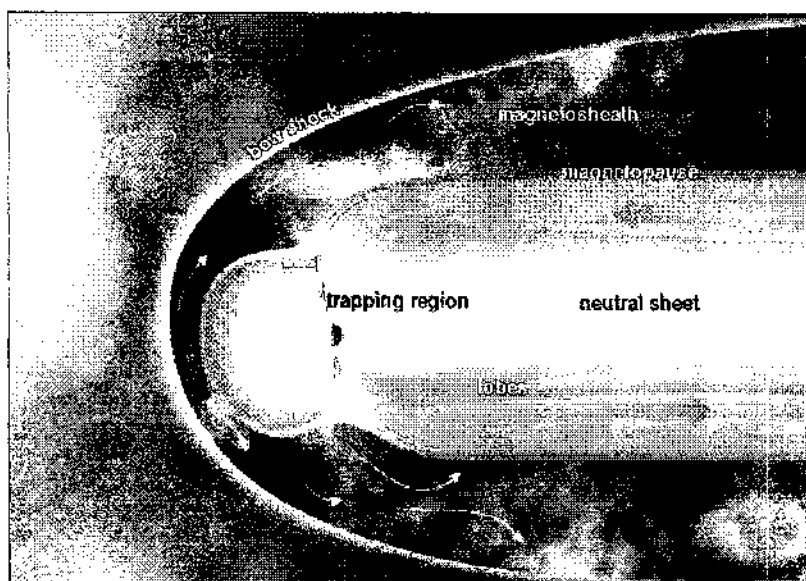


Figura 4 - Ilustração da Magnetosfera terrestre com suas principais regiões. (<http://www.sel.noaa.gov>)

Pulsações geomagnéticas são manifestações de ondas de plasma de frequência ultra-baixa (ULF) na magnetosfera terrestre. Essas pulsações tem intervalos de frequência desde aproximadamente 1 mHz até 10 Hz e aparecem

² Magnetosfera - região em que o campo magnético domina o movimento do plasma, constituído principalmente de prótons e elétrons.

³ Vento Solar - fluxo de partículas ionizadas (plasma) emanadas pelo Sol.

como oscilações quase senoidais nos dados registrados em magnetômetros na superfície terrestre, na ionosfera e na magnetosfera.

Historicamente, as primeiras observações das pulsações geomagnéticas foram feitas por Stewart (1861), o qual notou pulsações geomagnéticas nos registros de uma grande tempestade geomagnética, observada em Kew Observatory (Greenwich, Inglaterra). Somente no Ano Internacional de Geofísica (1958) (IGY) ocorreu um substancial aumento no número de observações das pulsações geomagnéticas e estabeleceu-se o estudo das ondas de plasma e pulsações na magnetosfera como uma disciplina madura. Um subcomitê do "International Association of Geophysics na Aeronomy" (IAGA) sugeriu um esquema de classificação baseado em duas classes principais de pulsações (Jacobs et al., 1964). A primeira inclui pulsações de caráter mais ou menos contínuo e foi denotada por Pc. A segunda classe inclui pulsações mais ou menos impulsivas e foi denotada por Pi. Vamos falar um pouco sobre cada classe:

- **Pulsações Regulares ou contínuas**

Abrangem o intervalo inteiro das pulsações, com períodos de 0,2 a 600 segundos. Podem ser subdivididas em subgrupos, dependendo de seus períodos.

- *Pulsações Contínuas Pc1 (T = 0,2 – 5 s)*

Estas pulsações são importantes fontes de informações de instabilidades de plasma que podem se desenvolver nas regiões dos cinturões de radiação e são, usualmente, o indicador do estado da magnetosfera.

As Pc1 são oscilações senoidais regulares, com períodos variantes de 0,2 a 5 segundos. Estas pulsações ocorrem na forma de explosões separadas, desenvolvendo-se gradualmente em, uma série de pulsações que se estendem de 10 minutos a horas. Elas podem também ocorrer na forma de grupos de pulsações com bruscas variações de frequência.

Investigações no solo da ocorrência das Pc1 e as características nas mudanças de suas amplitudes com a latitude indicam que elas são mais frequentemente excitadas em zonas aurorais e sub-aurorais.

- *Pulsações Contínuas Pc2-3 (T=5-10, 10-45 s)*

As amplitudes de sinais observadas das Pc2-3 são, usualmente, menores de $0,5\gamma$ e os períodos típicos são em torno de 2 a 30 segundos. São tipicamente fenômenos diurnos, com período médio sofrendo variações diurnas, maximizando-se ao meio-dia. A principal direção do vetor horizontal perturbado, embora tipicamente norte-sul, sofre uma variação diurna nas maiorias das latitudes e, com essa mudança, ocorrem vários sentidos de polarização.

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.

- *Pulsações Contínuas Pc4 (T = 45 – 150 s)*

As amplitudes típicas das Pc4 são de 5 a 9γ nas altas latitudes e 1γ nas baixas latitudes. Os sinais, usualmente, duram de 10 minutos a várias horas. Estes, muitas vezes, aumentam lentamente até uma amplitude máxima que se sustenta por um longo tempo, e depois decaem imediatamente. 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 atividade solar, embora suas amplitudes permaneçam quase constantes por todo o ciclo solar. Por outro lado, a frequência de ocorrência das Pc3 não muda muito ao longo do ciclo solar; já suas amplitudes decrescem repentinamente com o decréscimo da atividade solar. Assim, as Pc4 são muito mais dominantes que as Pc3 nos mínimos solar.

Em todas as latitudes a ocorrência das Pc4 pode ser conectada com o ciclo solar, mais ativamente nos anos de mínimas manchas solares.

- *Pulsações Contínuas Pc5 (T = 150 – 600 s)*

Esta classe de pulsações, com longos períodos (3 – 9 minutos), podem ter amplitudes extremamente grandes, chegando a várias centenas de γ . Estendem-se por um período de 10 minutos à várias horas, e suas formas são inteiramente senoidais, muitas vezes amortecidas, com algumas distorções que aparecem com o aumento da atividade magnética.

Há uma larga distribuição latitudinal das Pc5, incluindo um 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, os quais serão comentados posteriormente.

- **Pulsações Irregulares**

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

- *Pulsações Irregulares Pi1 (T1 – 40 s)*

As Pi1 tem formas irregulares com períodos menores do que 15 segundos ($\approx 6 - 10$ s). Suas amplitudes tem valores máximos nas zonas aurorais e sua intensidade decresce rapidamente com a latitude. Estas oscilações tem formas de microestruturas devido aos distúrbios lentos do campo magnético, observadas durante a fase principal das tempestades magnéticas.

A atividade Pi1 mostra uma dependência distinta com o índice K, aumentando com o aumento de K. Algumas vezes, as Pc1 e Pi1 são registradas simultaneamente com distúrbios lentos e, também, como distúrbios de campos independentes.

- *Pulsações Irregulares pi2 (T = 40 – 150 s)*

As Pi2 possuem formas irregulares com períodos localizados num intervalo de 40 – 150 segundos, podendo, às vezes, apresentar períodos acima de 250 segundos, e suas amplitudes variam de 1 - 5 γ . As Pi2 tem como características principais o 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, sugerindo que as Pi1 e Pi2 tem diferentes fontes de geração ou que tem diferentes modos de propagação sobre a superfície da Terra.

Egedal (1947, 1948) concluiu, a partir da análise dos dados obtidos no Observatório de Huancayo (12° 02.3' S, 75° 19.4' W), que deveria existir um

aumento na corrente superior oeste-leste em um estreito cinturão (~600km) centrado no equador magnético de inclinação zero. Este fenômeno foi chamado mais tarde de eletrojato equatorial (EEJ) por Chapman (1951). Foi descoberto também que o eletrojato reverte ocasionalmente sua direção certas horas do dia, dando origem ao chamado contra eletrojato.

Num magnetoplasma com campos elétrico \vec{E} e magnético \vec{B} perpendiculares, correntes de Pedersen fluem paralelas a componente de \vec{E} normal a \vec{B} . Correntes Hall fluem perpendicular a ambos, \vec{B} e \vec{E} . Quando o fluxo de corrente Hall é inibido pela presença de limites, um campo de polarização é criado, se opondo ao fluxo de corrente. Cowling (1933) reconheceu que se a corrente Hall normal aos campos \vec{B} e \vec{E} é então limitada, a condutividade efetiva (condutividade Cowling) paralela aos campos é aumentada acima da condutividade de Pedersen. Cowling (1933), Martyn (1948) e Cowling e Border (1948) discutiram a possibilidade de que a inibição do fluxo de correntes verticais, pelas camadas de baixa condutividade acima e abaixo da região dínamo (~100-160 Km), deveria aumentar consideravelmente a condutividade efetiva da ionosfera na direção leste-oeste próxima ao equador magnético, explicando a existência do EEJ. Untiedt (1967) foi o primeiro a reconhecer que o fluxo de correntes verticais não era completamente inibido, como foi assumido anteriormente.

3. MÉTODOS E MATERIAIS

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

O equipamento utilizado para medir o Campo Geomagnético é chamado magnetômetro. Devido a grande variedade de fenômenos que respondem a campos magnéticos, existe uma grande variedade de magnetômetros, cada um

com suas vantagens distintas. Neste trabalho, discutiremos alguns tipos de magnetômetros que são utilizados no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE, em São Martinho da Serra - RS.

- **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, B , unindo-se a uma segunda bobina sensora enrolada ao redor do núcleo. Esta distorção da variação de 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 tomar-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.

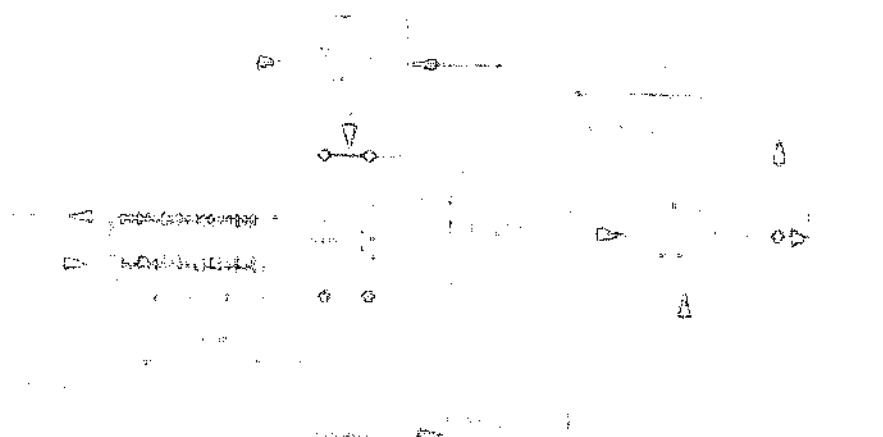


Figura 5 – Magnetômetro Fluxgate para medição direcional do Campo Geomagnético. (Campbell, 1997)

Com uma oscilação de excitação de aproximadamente 700 c/s, uma variação de $1-\gamma$, do campo ambiente, produz uma saída de aproximadamente $25 \mu\text{V}$. 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 (figura 10).

- **Magnetômetro de Precessão de Prótons**

Se um fluido rico em prótons tal como querosene, combustível de avião, heptano, etc. é colocado em um campo magnético os prótons irão alinhar-se ao longo do vetor campo magnético. O campo magnético é induzido no sensor pressionando-se um botão. Então este campo é repentinamente removido. Prótons, que se comportam como giroscópios elementares, iniciarão a precessão ao redor do campo magnético restante - o Campo Magnético Terrestre. A frequência de precessão é diretamente proporcional ao campo magnético da Terra. O magnetômetro conta esta frequência, divide ela por uma constante apropriada para obter um valor em

gammas e mostrar a leitura, calculando o Campo Geomagnético através da seguinte relação:

$$B_E = \frac{2\pi}{\gamma_P} \nu$$

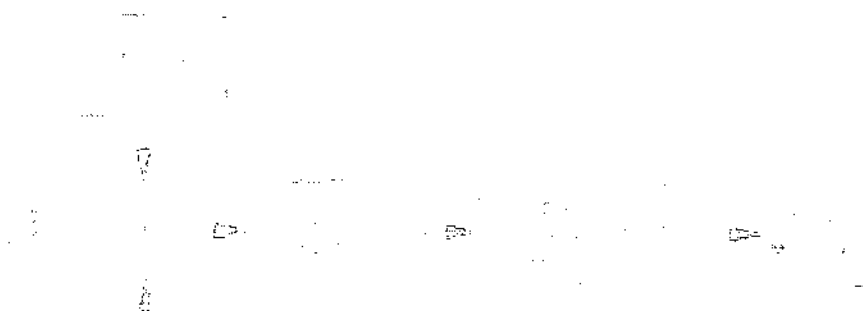


Figura 6 – Magnetômetro de próton para medida do Campo Geomagnético total. A bobina ao redor da amostra é utilizada para alinhar os prótons e detectar o período de precessão dos mesmos. (Campbell, 1997)

4. ATIVIDADES DO BOLSISTA

Durante o trabalho na área de Geomagnetismo, desenvolvido no Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/UFSM e no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE, o bolsista desenvolveu e participou das seguintes atividades (ver documentação em anexo):

- Redigiu e apresentou o trabalho ***Estudos dos Fenômenos Geomagnéticos na Região da Anomalia do Campo Magnético Total em Santa Maria***, na XV Jornada Acadêmica Integrada.

- Participou como co-autor do trabalho ***Estudo da Ocorrência dos Eventos TCV na Região Equatorial Brasileira*** apresentado na XV Jornada Acadêmica Integrada.
- Participou como co-autor do trabalho ***Instalação de um Observatório Geomagnético nas Dependências do Observatório Espacial do Sul _ OES/CSPE/INPE Região Equatorial Brasileira*** apresentado na XV Jornada Acadêmica Integrada.
- Realizou visitas semanais ao Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE, para manutenção dos equipamentos.
- Participou da leitura e discussão do livro: “Introduction to Geomagnetic Fields - Wallace H. Campbell”.
- Participou da leitura e discussão do livro: “General Topics on Geomagnetism and Studies of the occurrence of Micropulsations in São José dos Campos - José A. A. Amarante”.
- Participou da leitura e discussão do livro: “ Instrumentos Geomagnéticos – Fritz Primdahl”.
- Leitura do livro: ” Guide for Magnetic Measurements and Observatory Practice - J. Jankowski e C. Sucksdorff”.

5. PERSPECTIVAS FUTURAS

Durante esta etapa do trabalho na área de geomagnetismo o bolsista participou da elaboração e apresentação de trabalhos apresentados na XI Jornada Acadêmica Integrada da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, leitura e discussão dos livros citados no item anterior e realizou visitas ao Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE para manutenção de equipamentos.

Até esta parte do trabalho não se tirou conclusões do trabalho pois o bolsista ainda não chegou a parte de análise de dados, colocarei então algumas perspectivas futuras do trabalho em andamento:

- O bolsista deverá realizar medidas geomagnéticas absolutas de Declinação, Inclinação e Campo Total – F para monitorar a dinâmica da anomalia geomagnética.
- O bolsista deverá realizar estudos sobre as variações impulsivas com períodos de 5 a 30 minutos de origem na magnetosfera e ventos solar.
- O bolsista deverá comparar as variações impulsivas observadas em São Martinho da Serra – SMS com as variações geomagnéticas observadas nos satélites geoestacionários CROES-5 e CROES-6.
- Estudar a física magnetosférica.
- Com base nos dados obtidos nas estações geomagnéticas brasileiras construir gráficos da componente H do campo *versus* o tempo de ocorrência do evento (H x t) e posteriormente fazer a análise destes.
- Escrever o relatório final referente ao trabalho realizado.

6. BIBLIOGRAFIA

Amarante, José A. A., *General Topics on geomagnetism and Studies of the Occurrence of micropulsations in São José dos Campos, Comissão Nacional de Atividades Espaciais (CNAE) –São José dos Campos - São Paulo – Brazil, 1966.*

Campbell, W. H. *Introduction to Geomagnetic Fields*, Cambridge University Press, New York, 1997.

Jankowski, J e C. Sucksdorff, *Guide for magnetic measurements and observatory practice*, International Association of Geomagnetism and Aeronomy, Boulder, 1996.

Kirchhoff, V. W. J. H. *Introdução à Geofísica Espacial*, Ed. Nova Estella.

Pereira, O. J. *Estudos de Polarização de Pulsações Magnéticas na Faixa Pc3 a Pc5 Observadas em Santa Maria e Eusébio, 1993.*

Pinto, Jr. O. e Gonzales W. D. *Anomalia Magnética Brasileira*, Ciência Hoje, vol. 9, nº 52, 1989.

Primdahl, F., *Instrumentos Geomagnéticos, Publicações do Observatório Nacional, Publicação Especial, Nº 09, 1986.*

Schuch, N. J.; Adaime, S. F.; Oliveira, N. U. V.; Bortolotto, E.; Sarkis, P. J.; Pinheiro, D. K.; Lüdke, E.; Wendt, F. A.; Trivedi, N. B.; Costa, J. M.; Kirchhoff, V. M. J. H.; Dutra, S. L. G.; Sobral, J. H. A.; Abdu, M. A.; Takahashi, H.; *Observatório Espacial do Sul - Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais/INPE, Revista Brasileira de Geofísica; Vol. 15, 65-70, 1997.*

Zanandrea, A. *Micropulsações Geomagnéticas em Santa Maria - RS, 1994.*

ANEXOS

RESUMOS DOS TRABALHOS APRESENTADOS NA XV JORNADA ACADÊMICA INTEGRADA

ESTUDO DOS FENÔMENOS GEOMAGNÉTICOS NA REGIÃO DA ANOMALIA DO CAMPO MAGNÉTICO TOTAL EM SANTA MARIA⁴

Rogemar A. Riffel⁵, Nelson J. Schuch⁶, Ederson Staudt⁷, Jean C. Santos⁸, Nalin B. Trivedi⁹

A distribuição global da intensidade total do Campo Geomagnético apresenta uma região de mínimo, a qual compreende parte do território brasileiro e parte do oceano Atlântico, e é conhecida como região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS ou também como região da Anomalia Magnética Brasileira – AMB.

Como consequência da redução da intensidade total do Campo Geomagnético sobre uma grande área cobrindo a região do território brasileiro, podemos esperar uma alteração no movimento de partículas carregadas na Ionosfera e Magnetosfera desta região. Essa alteração no movimento das partículas carregadas, prótons e elétrons principalmente, faz com que ocorra um aumento na sua precipitação e conseqüentemente um aumento da radiação X devido à desaceleração dos elétrons energéticos pela Atmosfera neutra. Outra consequência da redução da intensidade total do Campo Geomagnético é o dano sofrido por satélites e naves espaciais ao passar nesta região. Um dos danos mais comuns é chamado “Single Event Upset – SEU”, onde um componente digital do satélite muda seu estado digital de 0 para 1 e perturba a função do experimento a bordo do satélite. A proteção dos satélites, veículos espaciais e astronautas é um problema real e de extrema importância.

O Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE, juntamente com a Universidade Federal de Santa Maria – UFSM e a Universidade de Kyushu – Fukuoka – Japão, têm um programa de colaboração científica para conduzir medidas contínuas da variação nas componentes H, D e Z do Campo Geomagnético na grande região de Santa Maria [29.72 S, 53.72 O], mais exatamente no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE, em São Martinho da Serra – RS [29.44 S, 53.82 O]. As medidas são conduzidas por um magnetômetro do tipo fluxgate, com resolução de 0.05 nT e uma taxa de amostragem de 3 segundos. Em abril de 2000, foi instalado mais um magnetômetro fluxgate com a mesma capacidade de gravação de variações geomagnéticas.

Resultados desse programa de colaboração aparecem na utilização dos dados obtidos primeiramente em Santa Maria, e posteriormente em São Martinho da Serra, em diversas publicações. Por exemplo, os magnetogramas serviram como referência para o estudo do comportamento das ondas de plasma, na banda de corrente do Eletrojato Equatorial (EEJ), para o estudo das pulsações devido à “interação onda-partícula”, na região da AMAS, para o estudo das pulsações geomagnéticas Pi2 e Pc4-5, dentre outros fenômenos.

⁴ Pesquisa financiada pela PRAE/UFSM, CNPq, FINEP e INPE

⁵ Apresentador e autor, Acadêmico de Física, LACESM/CT/UFSM

⁶ Orientador, Coordenador da Ação de Implantação do CRSPE/INPE - MCT

⁷ Co-autor, Acadêmico de Física, LACESM/CT/UFSM

⁸ Co-autor, Acadêmico de Física, LACESM/CT/UFSM

⁹ Co-autor, Pesquisador, LACESM/CT/UFSM - OES/CRSPE/INPE

ESTUDO DA OCORRÊNCIA DOS EVENTOS TCV NA REGIÃO EQUATORIAL BRASILEIRA¹⁰

Jean C. Santos¹¹, Nelson J. Schuch¹², Ederson Staudt¹³, Nalin B. Trivedi¹⁴, Rogemar A. Riffel¹⁵

Os eventos TCV (Travelling Convection Vortices) são variações impulsivas características das regiões de alta latitude, aproximadamente 72 graus de latitude. Sua assinatura em magnetogramas de altas latitudes é caracterizada por uma variação magnética isolada com dupla polaridade em uma das componentes e estritamente positiva ou estritamente negativa na outra componente. Essa assinatura se propaga em direção à cauda da Magnetosfera com velocidades de aproximadamente 0.1 a 0.3 graus/s, podendo ser associada a vórtices duplos de corrente gerados por correntes alinhadas as linhas de Campo Magnético ligando a Ionosfera e a Magnetopausa.

Nosso objetivo nesse trabalho foi, primeiramente, tentar identificar os eventos TCV e, posteriormente, estudar as características dos mesmos e os processos físicos envolvidos na geração e propagação destes eventos em baixas latitudes. Para isso, foram selecionados alguns eventos TCV estudados em altas latitudes para a identificação dos mesmos em baixas latitudes.

Com base nos eventos tabelados para altas latitudes, foram selecionados os dias e o(s) período(s) do dia a serem analisados. Utilizamos um período de duas horas, contendo o horário de ocorrência do evento em altas latitudes, e retiramos através do cálculo de residual, feito a partir de um ajuste polinomial, as variações de períodos maiores. Com isso, obtemos uma curva com as variações de período menor, a partir da qual podemos identificar os eventos TCV.

Identificado o evento em baixas latitudes, o próximo passo seria estudar a propagação dos eventos TCV, através das estações geomagnéticas equatoriais de coleta de dados, objetivando verificar características semelhantes àquelas da propagação do evento em altas latitudes e, por fim, encontrar os processos físicos envolvidos na geração e propagação dos mesmos.

Os principais resultados foram à identificação de alguns eventos TCV em baixas latitudes e a identificação das características de propagação do evento, apesar de alguns resultados serem conflitantes. O estudo das características e dos processos físicos envolvidos na geração dos eventos TCV é importante para o entendimento amplo das variações impulsivas e está sendo continuado servindo de base para estudos especializados futuros.

¹⁰ Pesquisa financiada pela PRAE/UFSM, CNPq, FINEP e INPE

¹¹ Apresentador e autor, Acadêmico de Física, LACESM/CT/UFSM

¹² Orientador, Coordenador da Ação de Implantação do CRSPE/INPE - MCT

¹³ Co-autor, Acadêmico de Física, LACESM/CT/UFSM

¹⁴ Co-autor, Pesquisador, LACESM/CT/UFSM - OES/CRSPE/INPE

¹⁵ Co-autor, Acadêmico de Física, LACESM/CT/UFSM