

[imprimir](#)

Referência Completa

[Fechar](#)

Tipo da Referência	Conference Proceedings
Chave Secundária	INPE-9805-PRE/5392
Chave de Citação	SantosTriv:2000:EsVaCa
Autor(es)	Santos, Jean Carlo Trivedi, Nalin Babulal
Título	Estudo das variações do campo geomagnético
Nome do Evento	Seminário de Iniciação Científica do INPE, 7 (SICINPE)
Data	5-6 jun. 2000
Localização do Evento	São José dos Campos
Editora (Publisher)	INPE
Ano	2000
Editor(es)	Fonseca, Ijar Milagre Kienbaum, Germano de Souza Macau, Elbert Eistein Franchito, Sérgio Henrique Villela Neto, Thyrso
Título do Livro	Anais
Tipo	PRE
Organização	INPE
Palavras-Chave	análise das variações, campo geomagnético, sistemas, correntes ionosférica, correntes magnetosférica, assinaturas em magnetogramas
Resumo	A análise das variações do campo geomagnético auxilia no estudo dos sistemas de correntes ionosférica e magnetosférica, a partir das suas assinaturas em magnetogramas, permitindo um conhecimento mais detalhado dos mesmos, sua origem e modos de propagação. Além disso, esse estudo possibilita um aperfeiçoamento no método de análise de magnetogramas e também um maior conhecimento sobre o assunto.
Notas	Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica PIBIC/CNPq/INPE
Idioma	Portuguese
Detentor da Cópia	SID/SCD
Tipo Secundário	CN
Tertiary Type	Sessão Oral
Divulgação	
Formato	Papel
Área	CEA
Grupo(s)	DGE
Afiliação	UFSM Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais. Divisão Geofísica Espacial
Data de Acesso	15 ago. 2003

ESTUDO DAS VARIACÕES DO CAMPO GEOMAGNÉTICO

Jean Carlo Santos (Bolsista PIBIC/CNPq)

Aluno da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

Orientador: Dr. Nalin Babulal Trivedi, Pesquisador, DGE

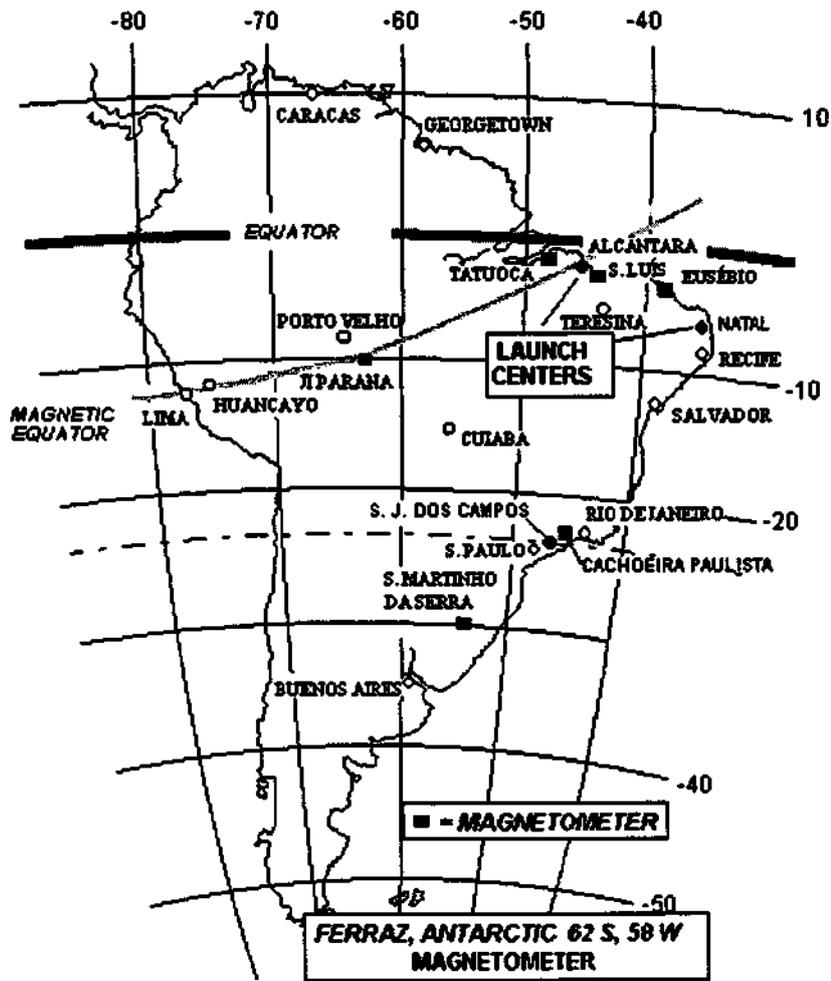
A análise das variações do campo geomagnético auxilia no estudo dos sistemas de correntes ionosférica e magnetosférica, a partir das suas assinaturas em magnetogramas, permitindo um conhecimento mais detalhado dos mesmos, sua origem e modos de propagação. Além disso, esse estudo possibilita um aperfeiçoamento no método de análise de magnetogramas e também um maior conhecimento sobre o assunto.

A partir de dados obtidos em diversas estações geomagnéticas, a maioria delas localizada sobre o território brasileiro, tentou-se identificar e estudar o Eletrojato Equatorial (EEJ), Contra Eletrojato Equatorial e as variações diurnas, através da comparação dos dados entre as estações, procurando também a presença de assinaturas de correntes alinhadas às linhas de campo em baixas latitudes. Para isso utilizou-se um método aplicado por Hibberd para o estudo das variações diurnas em estações isoladas. Neste método as variações devido a correntes magnetosféricas, por terem um caráter global, são retiradas ao subtrair-se os dados de duas estações localizadas aproximadamente na mesma longitude e equidistantes do foco das correntes Sq. Como resultado disso, obtém-se a variação diurna daquela estação.

Outro fenômeno estudado foi o dos TCVs (Travelling Convection Vortices), que são vórtices de corrente na ionosfera, os quais aparecem na região do cusp (aproximadamente 72° de latitude) as 12 UT e se deslocam em direção à cauda da magnetosfera. Com base em eventos cujas assinaturas já haviam sido identificadas em altas latitudes, tentou-se verificar a presença de assinaturas dos TCV nas estações brasileiras localizadas próximo à região do Eletrojato Equatorial e também na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS, também conhecida como região da Anomalia Magnética Brasileira – AMB.

Além disso, foi realizada semanalmente a manutenção dos magnetômetros instalados no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE, os quais fazem parte da Cooperação Brasil-Japão em Ciências Espaciais e Atmosféricas, e o acompanhamento da instalação de um magnetômetro do tipo fluxgate, pertencente ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE.

A figura abaixo apresenta a localização das estações geomagnéticas brasileiras para o ano de 2000:



**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
ESTAÇÃO TERRENA DE RASTREIO E CONTROLE DE
SATÉLITES - ETRCS/CRSPE/INPE
OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL - OES/CRSPE/INPE**

Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica - PIBIC - CNPq

RELATÓRIO FINAL DE ATIVIDADES

**Processo:
106206/98-2**

Título do Projeto:

**Estudo do Campo Geomagnético na Região da Anomalia
Magnética do Atlântico Sul**

**Bolsista:
Jean Carlo Santos**

**Orientador:
Nalín Babulal Trivedi**

**Co-Orientador:
Nelson Jorge Schuch**

Santa Maria, Junho de 2000.



Dados de Identificação:

Bolsista:

Jean Carlo Santos

Orientador:

Nalín Babulal Trivedi

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Co-Orientador:

Nelson Jorge Schuch

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - INPE

Local de Trabalho/Execução do Projeto:

Observatório Espacial do Sul - CRSPE/OES/INPE

Laboratório de Geofísica Espacial - LGE/LACESM



Ofício No. 0021/2000-CRS

Santa Maria, 30 de junho de 2000

Estamos remetendo, anexo, o Relatório Final das Atividades de Bolsa de Iniciação Científica PIBIC/CNPq-INPE, do aluno Jean Carlos Santos, que atua junto ao Observatório Espacial do Sul – OES do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE-MCT, intitulado “Estudo do Campo Geomagnético na Região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul”.

2. Informamos que o acadêmico vem demonstrando sua dedicação, inclusive apresentando bom desempenho curricular.

3. Quanto às suas atividades de pesquisa, devemos ressaltar o seu grande interesse em suas atividades e no seu autodidatismo, inclusive com apresentação de trabalhos/seminários em eventos de Iniciação Científica da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.

Parecer Final: Relatório Aprovado.

Atenciosamente

Nalin Babulal Trivedi
Orientador

Nelson Jorge Schuch
Co-orientador

Ilmo Sr.
Ijar Milagre da Fonseca
Coordenador das Bolsas PIBIC/CNPq-INPE
São José dos Campos, SP



AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus orientadores, Dr. Nalin B. Trivedi e Dr. Nelson J. Schuch, 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	8
1.3. A RADIOASTRONOMIA – PROJETO RA	9
1.4. CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS – O PROGRAMA DE MONITORAMENTO DO OZÔNIO ATMOSFÉRICO	10
1.5. GEOMAGNETISMO E MAGNETOSFERA TERRESTRE	10
1.6. COOPERAÇÃO CIENTÍFICA INTERNACIONAL BRASIL/JAPÃO EM CIÊNCIAS ESPACIAIS BÁSICAS	11
1.7. OBJETIVOS GERAIS DO PROJETO	11
1.7.1. Plano de Trabalho	13
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
3. MÉTODOS E MATERIAIS	25
4. ATIVIDADES DO BOLSISTA	28
5. RESULTADOS E CONCLUSÕES	30
6. BIBLIOGRAFIA	43
ANEXOS	45





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.



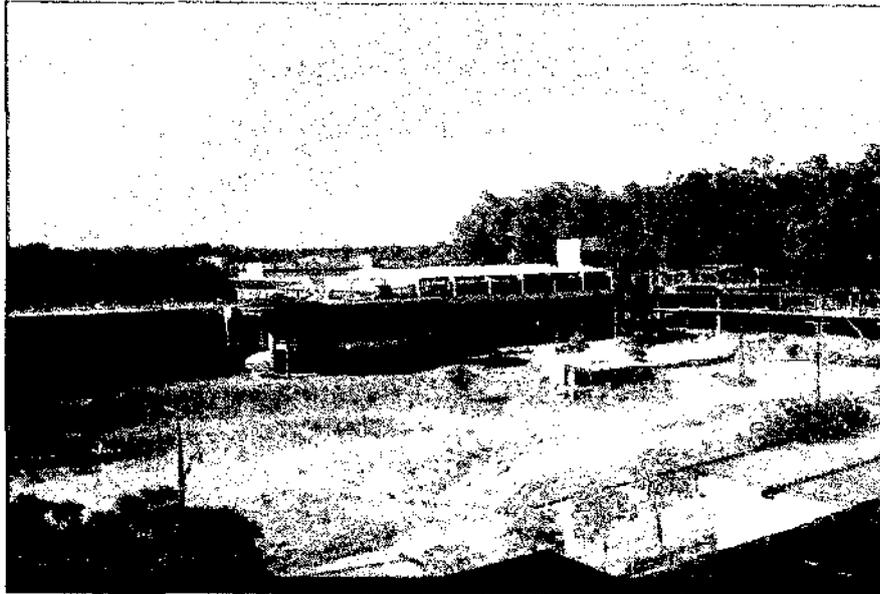


Figura 1 - Obras do CRSE/INPE em Santa Maria - RS.

O Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSE/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/CRSE/INPE e pelo Observatório Espacial do Sul - OES/CRSE/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 CRSE/INPE, ETRCS/CRSE/INPE e OES/CRSE/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.



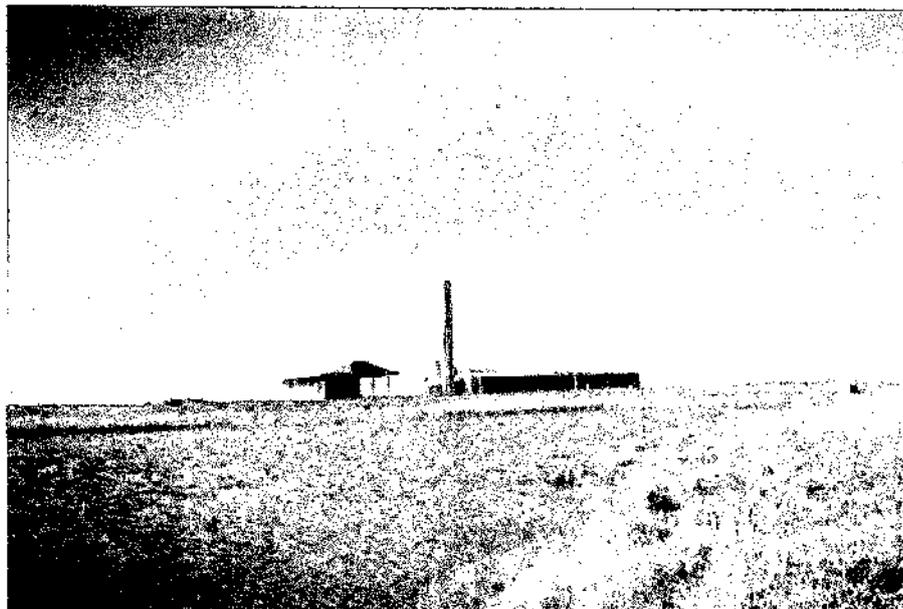


Figura 2 - Prédios 2 e 3, de um total de seis prédios, do Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE, em São Martinho da Serra - RS.

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. A RADIOASTRONOMIA – PROJETO RA.

O Projeto Radioastronomia – Projeto RA visa à construção de um Radiointerferômetro de Síntese de Abertura com a Rotação da Terra, de longa linha de base, 5 a 8 Km – direção Leste/Oeste, operando em baixas frequências, centrada em 150 MHz, através da construção de laboratórios e áreas de apoio adequadas à execução de atividades científicas para implantação no País de técnicas Radiointerferométricas. O projeto propicia o desenvolvimento de pesquisas e a formação de recursos humanos em Ciências Espaciais Básicas, priorizando a Astrofísica, Aeronomia, Geofísica Espacial, Geomagnetismo, Interações Terra-Sol, dentre outras áreas do saber, além das tecnologias vinculadas as áreas de engenharias associadas.





1.4. 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.

1.5. 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.





1.6. 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.

1.7. 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.



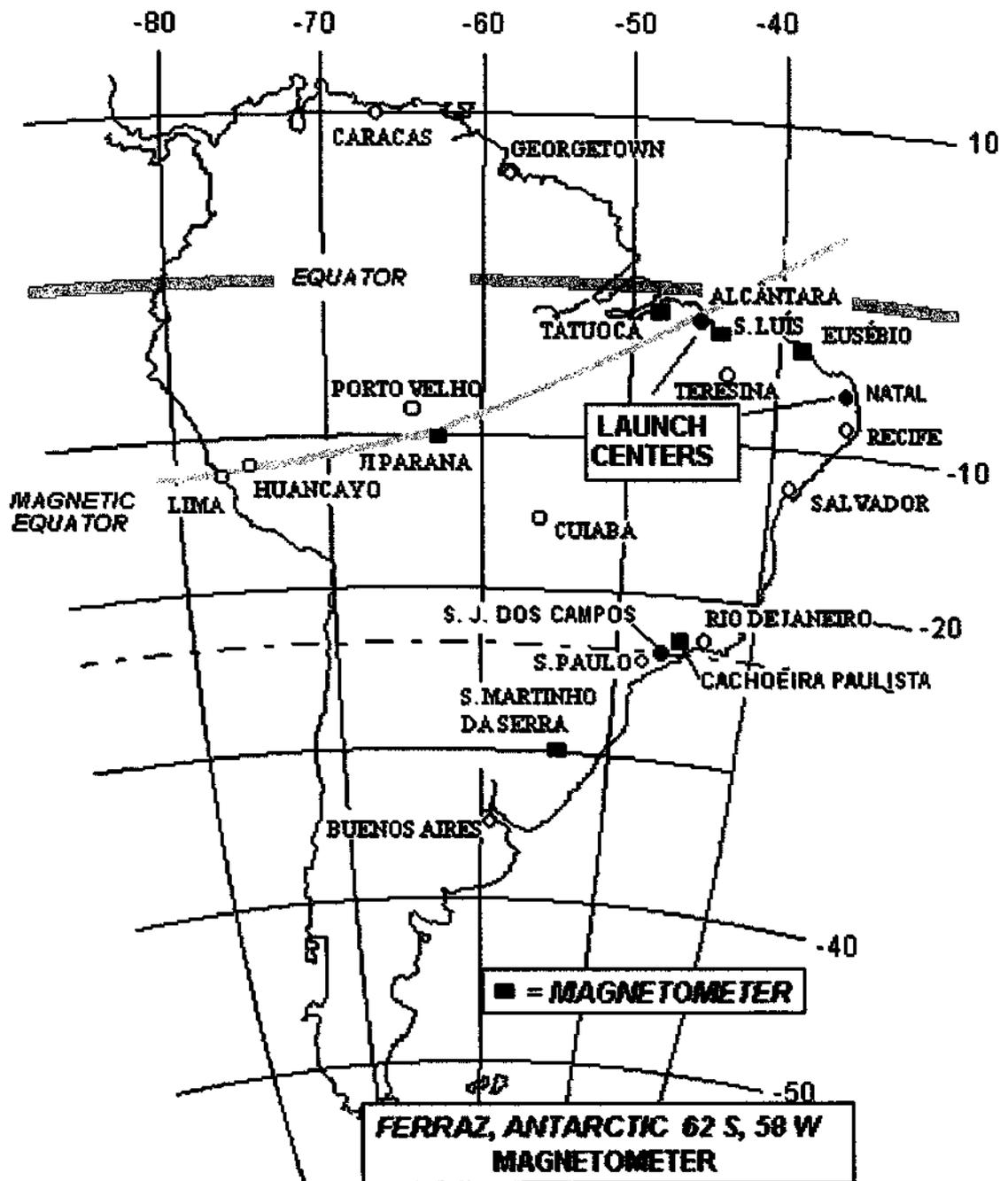


Figura 3 - Mapa da América do Sul mostrando a posição dos equadores geográfico e magnético e também das estações geomagnéticas brasileiras.



1.7.1.Plano de Trabalho

Primeira Fase: (Jan 2000 – Mar 2000)

- Revisão Bibliográfica;
- Construção dos perfis da variação diurna para as componentes H, D e Z em Presidente Médice (11.2°S, 61.8°W), Alcântara (2.33°S, 44.42°W) e Ancon (11° 46.4' S, 77° 08.9' W) nos meses de setembro e outubro de 1994;
- Calcular S_R ($S_R(H) = SMA(H) - PST(H)$), para os três componentes do campo, usando os dados geomagnéticos de Santa Maria (29.44°S, 53.44°W), a partir dos dados obtidos no Campus da UFSM, e Port Stanley.

Segunda Fase: (Mar 2000 – Ago 2000)

- Fazer um estudo comparativo da variação nas componentes H, D e Z entre Presidente Médice, Alcântara e Ancon.
- Fazer um estudo comparativo de S_R com os dados obtidos em Presidente Médice, Alcântara e Ancon, para ver a contribuição, se existir, de S_R no EEJ.
- Procurar evidências das correntes alinhadas ao campo, entre os Hemisférios, pelo método sugerido por Fukushima (1993).
- Estudar a variação latitudinal e horária da variação diurna entre Porto Velho (8.8°S, 63.9°W) e Cuiabá (15.35°S, 56.05°W), a região de $\pm 5^\circ$ de latitude ao redor do equador magnético.
- A partir dos dados das estações geomagnéticas brasileiras e da tabela dos principais eventos TCV para o ano de 1994, construir os gráficos dos eventos TCV para as estações geomagnéticas brasileiras, localizando-os e encontrando algumas de suas características.





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.

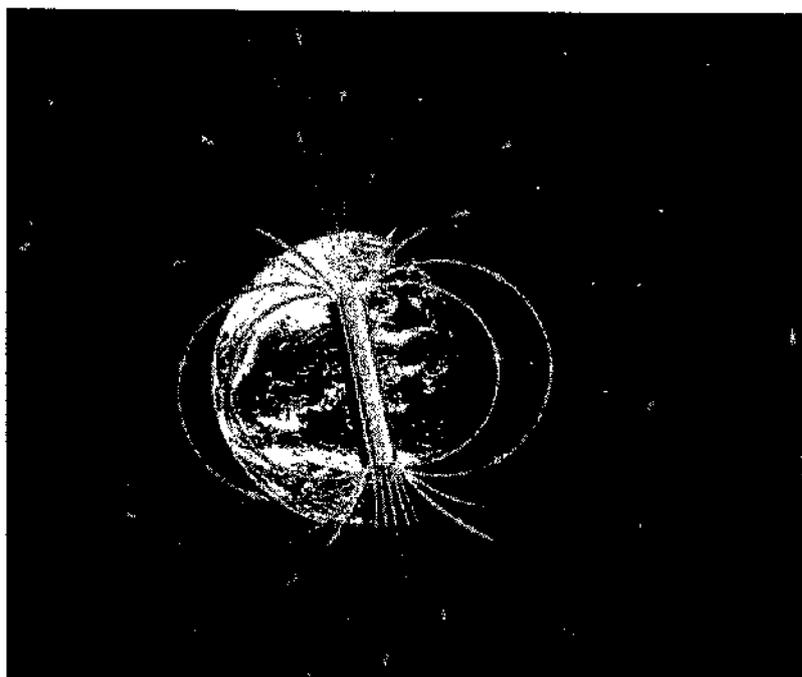


Figura 4 - Dipolo magnético colocado no centro da Terra e levemente inclinado em relação ao eixo de rotação. (Pinto e Gonzales, 1989)

O Campo Geomagnético não é estável, apresentando variações temporais e espaciais com amplitudes 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). Sendo que as variações seculares são as únicas com origem interna a Terra.



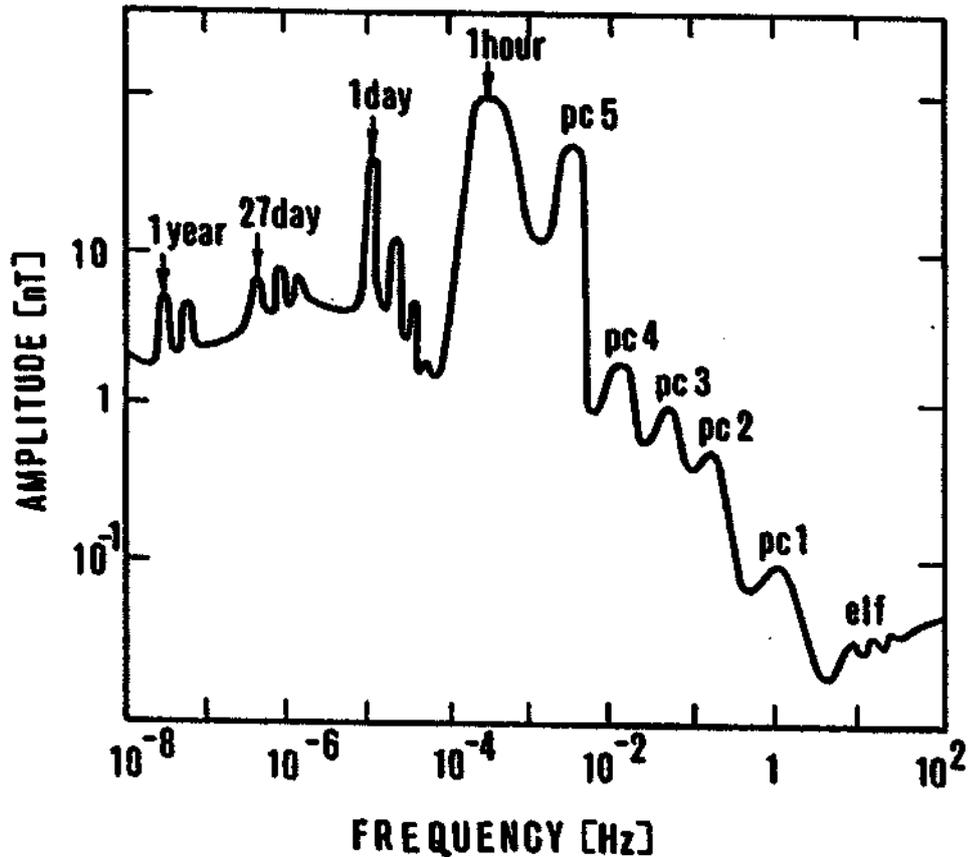


Figura 5 – Amplitude das variações naturais da componente horizontal H. (Serson, 1973)

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 (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 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.



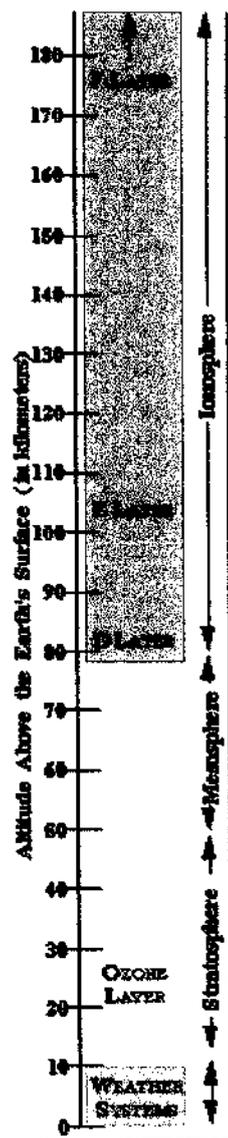


Figura 6 - Divisão da Ionosfera em suas respectivas camadas. (<http://www.sel.noaa.gov>)

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).

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 $S_R (\Delta H)$, ou simplesmente S_R .

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.

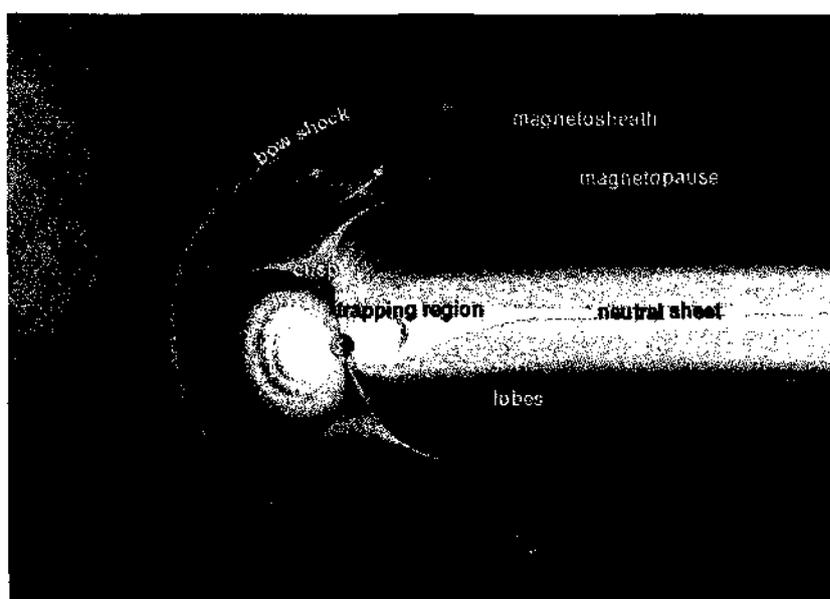


Figura 7 - Ilustração da Magnetosfera terrestre com suas principais regiões.
(<http://www.sel.noaa.gov>)

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.





As pulsações geomagnéticas e os eventos transientes relacionam-se com interações complexas entre o vento solar e as camadas de plasma que constituem a Magnetosfera e a Ionosfera terrestres. São geradas por flutuações na velocidade e densidade do vento solar que, em contato com a Magnetosfera, originam ondas hidromagnéticas. Essas ondas chegam até a Ionosfera guiadas pelas linhas de Campo Geomagnético, causam precipitação de partículas, intensificam as correntes ionosféricas e são modificadas nessa interação, transformando-se em ondas eletromagnéticas.

Samson (1991) dividiu as pulsações em dois tipos de pacotes de ondas:

- 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;
 - Pc6, período acima de 600 s.
- Pulsações Irregulares (Pi)
 - Pi1, período 1 a 40 segundos;
 - Pi2, período 40 a 150 s;
 - Pi3, período acima de 150 s.

No domínio da frequência, dividiu também os tipos de pulsações em três categorias: baixa frequência (1 – 10 mHz), média frequência (10 mHz – 0,1 Hz) e alta frequência (0,1 – 10 Hz).

Existe um tipo de variação magnética chamada Travelling Convection Vortices (TCVs), que são eventos magnéticos impulsivos observados em altas latitudes. Sua fonte é o vento solar e por isso são considerados importantes na transferência de energia do vento solar para dentro da Magnetosfera.

Nos magnetogramas os TCVs são vistos como variações isoladas do campo magnético, com uma estrutura bipolar na componente H e uma variação positiva ou negativa na componente D. Quando diversas estações geomagnéticas, longitudinalmente separadas, são utilizadas, esta assinatura é vista propagando-se em direção a cauda da Magnetosfera. Quando é utilizada





uma grande quantidade de estações geomagnéticas, separadas tanto longitudinalmente quanto latitudinalmente, para calcular o sistema de corrente ionosférica bidimensional equivalente, um vórtice duplo de corrente aparece. Esse vórtice duplo é criado por um par de correntes alinhadas ao campo, uma para cima e outra para baixo.

As principais características dos TCVs, observadas a partir da superfície, são:

- Ocorrência de picos às 09 e 14 LT
 - Ocorre porque a amplitude de perturbação aumenta durante os quatro primeiros minutos.
- Ocorrência de picos em aproximadamente 73 graus de latitude invariante
 - Os vórtices do lado da manhã parecem ocorrer em latitudes menores do que os vórtices do lado da tarde.
- As velocidades de propagação em direção à cauda da Magnetosfera vão de 0.1 à 0.3 graus/s
 - 3-10 Km/s na Ionosfera
 - 130-400 Km/s na Magnetopausa
- O fluxo de corrente equivalente é oposto a deriva do plasma
 - Isso significa que as perturbações magnéticas na superfície são causadas por correntes Hall.
- Os vórtices são separados por 1000 - 2000 Km
- A densidade das correntes alinhadas ao campo pode atingir vários $10^{-6} A/m^2$ na Ionosfera
 - O total de correntes alinhadas ao campo atinge poucas centenas de Ampères.
- Algumas características dinâmicas da aurora diurna podem ser relacionadas aos TCVs
 - As altas densidades de corrente observadas geram possibilidades para diversas instabilidades no plasma que poderiam energizar elétrons.
- Vórtices conjugados nos dois hemisférios tem sentidos opostos de rotação





Embora as características Ionosféricas dos TCVs sejam bem documentadas, os processos ocorrendo sobre a outra extremidade das correntes alinhadas ao campo são mais complicados. A região mais provável para a origem dos TCVs é a magnetopausa, como se poderia assumir a partir das altas latitudes em que eles são observados. Entretanto, alguns resultados recentes sugerem que a fonte possa estar dentro do lençol de plasma (Yahnin e Moretto, 1996; Yahnin et al., 1996). Muitos processos de geração tem sido sugeridos:

- **Eventos de transferência de fluxo (FTE)**
 - Não é considerado um fator importante pelas seguintes razões:
 - ◆ Ainda não é claro que tipo de assinaturas ionosféricas os FTEs deveriam originar
 - ◆ IMF Bz parece não controlar a ocorrência dos TCVs
 - ◆ Não é observado movimento dos TCVs em direção aos polos, como conseqüência da reconexão
 - ◆ As velocidades de propagação na Ionosfera não deveriam ser maiores do que a velocidade do som. Isto esta em desacordo com as velocidades observadas dos TCVs em direção a cauda da Magnetosfera
- **Eventos de penetração impulsiva de plasma**
 - As implicações destes não são muito bem entendidas
- **Pulsos de pressão no vento solar**
 - Alguns eventos TCV têm sido correlacionados com pulsos de pressão medidos
 - Alguns modelos para pulsos de pressão indicam a formação de dois pares vórtices, um em cada lado do meridiano do meio-dia
- **Mudanças rápidas do IMF**
 - Não há nenhum apoio observacional ainda

É importante notar que sistemas de múltiplos vórtices de convexão, relacionados a Pc 5, são considerados eventos diferentes dos TCVs. Outra





importante diferença é que os eventos TCV não estão relacionados a vórtices duplos de larga escala, como aqueles que acompanham sudden impulses (SI).

Egedal (1947, 1948) concluiu, a partir da análise dos dados obtidos no Observatório de Huancayo ($12^{\circ} 02.3' S$, $75^{\circ} 19.4' W$), que deveria existir um aumento na corrente superior oeste-leste em um estreito cinturão ($\sim 600\text{km}$) 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 ($\sim 100\text{-}160\text{ Km}$), 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.

Ao estudar a linha de demarcação entre os sistemas de corrente nos Hemisférios Norte e Sul, por meio dos dados mundiais obtidos em 1958, Price e Stone (1964) chegaram a seguinte conclusão: "Há evidência inconfundível que, durante os meses J (maio, Junho, Julho, Agosto, isto é, os meses de verão no Hemisfério Norte), os sistemas do Hemisfério Norte penetram profundamente no Hemisfério Sul no período da manhã, cruzando e recruzando os equadores geográfico e magnético. Há também evidência que





os sistemas do Hemisfério Sul penetram no Hemisfério Norte, ainda que menos profundamente, no período da tarde. Ainda, há evidência de penetrações correspondentes, mas menores, durante os meses E (para equinócio, isto é, Março, Abril, Setembro e Outubro) e meses D (Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro, isto é, os meses de verão do Hemisfério Sul). Isto refuta a suposição algumas vezes feita que o Equador Magnético dip é sempre a fronteira entre os sistemas do Hemisfério Norte e do Hemisfério Sul.”

Durante um longo tempo, as variações Sq foram atribuídas a correntes circulando na baixa Ionosfera no nível da camada E, na chamada “região dinamo”, com uma altura de aproximadamente 100-120 Km acima da superfície da Terra. Ao estudar a dependência sazonal da variação Sq, viu-se que o equador magnético não é uma fronteira entre os sistemas de correntes que circulavam nos Hemisférios Norte e Sul. Deveria haver uma corrente inter-hemisférica, responsável por essa dependência sazonal.

Um novo ponto de vista foi introduzido por Fukushima, ao atribuir a assimetria verão-inverno da variação Sq às correntes transequatoriais alinhadas ao campo, existentes entre os hemisférios. É muito mais fácil uma corrente fluir na Magnetosfera (meio aproximadamente sem colisão) do que na Ionosfera (meio em que as colisões dominam).

A dependência sazonal na declinação D em médias e baixas latitudes será atribuída a três correntes transequatoriais alinhadas ao campo (figura 8), uma de inverno para verão conectando os focos de corrente geomagnética Sq em médias latitudes, e um par de correntes alinhadas ao campo em baixas latitudes no período da manhã e da tarde com a direção do fluxo de verão para inverno e de inverno para verão, respectivamente.



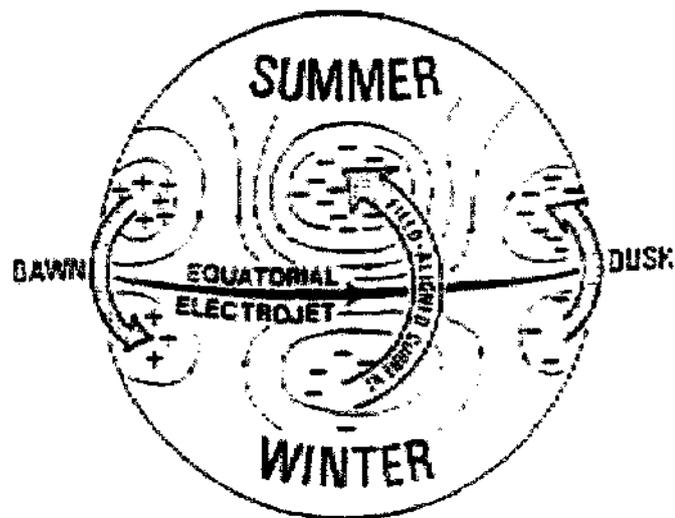


Figura 8 – Um modelo das três principais corrente inter-hemisféricas alinhadas ao campo na Magnetosfera em médias e baixas latitudes (Fukushima, 1991)

- **Correntes alinhadas ao campo em altas latitudes**

As correntes alinhadas com o campo em altas latitudes foram detectadas primeiro pelo satélite 1963-38C (Zmuda et al, 1966) segundo o gradiente espacial da componente leste-oeste do Campo Geomagnético detectado acima das zonas aurorais Norte e Sul. Algumas características importantes das correntes alinhadas com o campo em altas latitudes foram reveladas a partir de estudos com outros satélites científicos, incluindo sua persistência e a sistemática dependência de sua direção sobre o tempo local, latitude, bem como a condição do vento solar.

- **Correntes alinhadas ao campo em médias latitudes**

Os vórtices de corrente Sq, presentes nos Hemisférios Norte e Sul, tem um potencial elétrico mínimo em seu foco, sendo o potencial elétrico mais negativo no Hemisfério em que é verão. Se os valores de potencial elétrico são diferentes entre um par conjugado de estações nos Hemisférios Norte e Sul, correntes alinhadas ao campo irão fluir imediatamente na Magnetosfera para cancelar ou ao menos reduzir a diferença de potencial entre os pontos conjugados (figura 9).



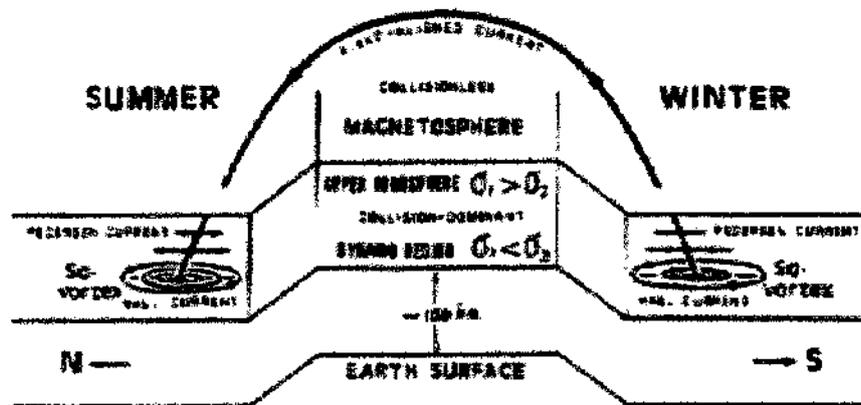


Figura 9 - Ilustração esquemática da corrente alinhada ao campo de inverno para verão entre os focos de corrente Sq nos Hemisférios Norte e Sul; sua corrente de retorno é a corrente de Pedersen na Ionosfera (Fukushima).

Portanto, as correntes inter-hemisféricas alinhadas ao campo em médias latitudes fluem do inverno para o verão a fim de cancelar ou pelo menos reduzir a diferença de potencial existente entre os dois Hemisférios.

- **Correntes alinhadas ao campo em baixas latitudes**

A existência de correntes alinhadas ao campo em baixas latitudes pode ser deduzida da análise de dados magnéticos, em particular da dependência sazonal da variação diurna na declinação magnética. A inversão sazonal da declinação é atribuída a um par de correntes inter-hemisféricas alinhadas ao campo na Magnetosfera em baixas latitudes, próximas ao meridiano do amanhecer e do anoitecer.





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 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.

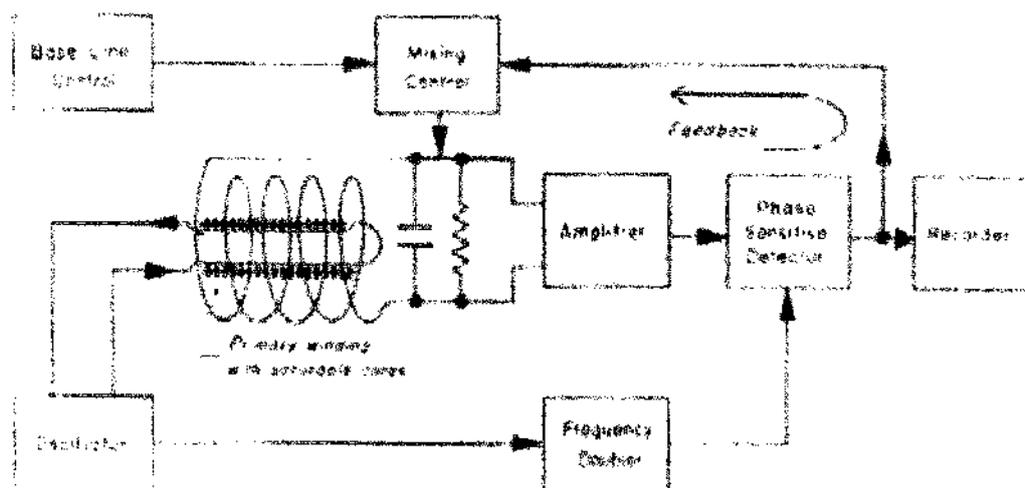


Figura 10 – Magnetômetro Fluxgate para medida direcional do Campo Geomagnético. (Campbell, 1997)

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

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

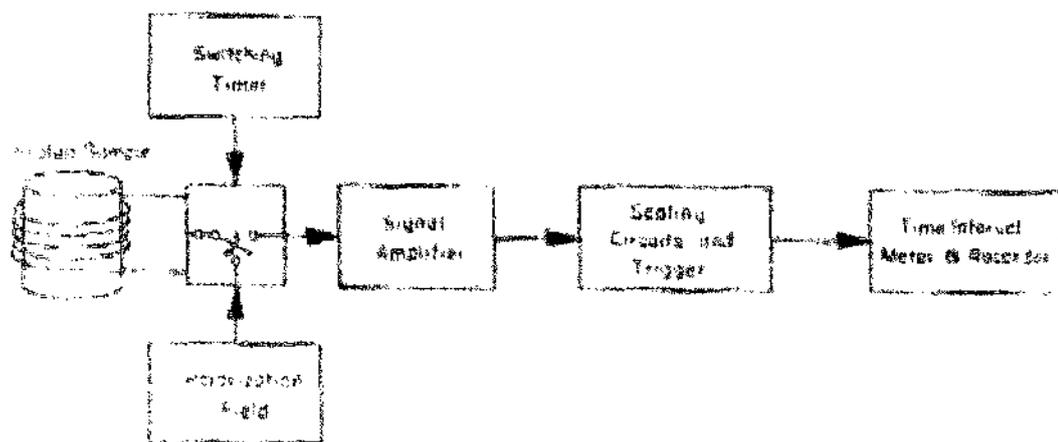


Figura 11 – Magnetômetro de próton para medida do Campo Geomagnético total. A bobina ao redor da amostra é utilizada para alinhar os prótons e detectar o período de precessão dos mesmos. (Campbell, 1997)





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 ***Observações da Intensidade Total do Campo Geomagnético na Região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS***, na IV Jornada Integrada de Pesquisa Extensão e Ensino.
- Redigiu e apresentou o trabalho ***Monitoramento do Campo Magnético Terrestre na Região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul Utilizando um Magnetômetro de Indução***, no XIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia.
- Redigiu e apresentou o trabalho ***Variação do Campo em Períodos Calmos***, na XIII Jornada Acadêmica Integrada.
- Redigiu e apresentou o trabalho ***Estudo das Variações do Tipo Sq no Campo Geomagnético na Região de Santa Maria***, no V Seminário de Iniciação Científica do INPE.
- Participou da palestra sobre Geomagnetismo intitulada ***Geomagnetic Hole***, ministrada pelo Dr. **Kazuo Makita**, Professor Pesquisador da Takushoku University e do National Institute of Polar Research – Tóquio.
- Participou do seminário intitulado ***Mecânica Newtoniana e Relatividade Geral***, ministrado pelo Dr. **Nilton Oscar Santos**, na época Pesquisador Titular do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq / Observatório Nacional – ON sendo que atualmente desenvolve pesquisas no CRSPE/INPE.
- Participou do seminário intitulado ***Uma Introdução ao Estudo da Ionosfera Terrestre***, ministrado pelo Eng. **Clezio Marcos Denardini**.
- Participou do ***Curso de Eletrônica Básica e Eletrônica Digital***, ministrado pelo Eng. **Clezio Marcos Denardini** e pelo Acadêmico **Adriano Sanick Padilha**.





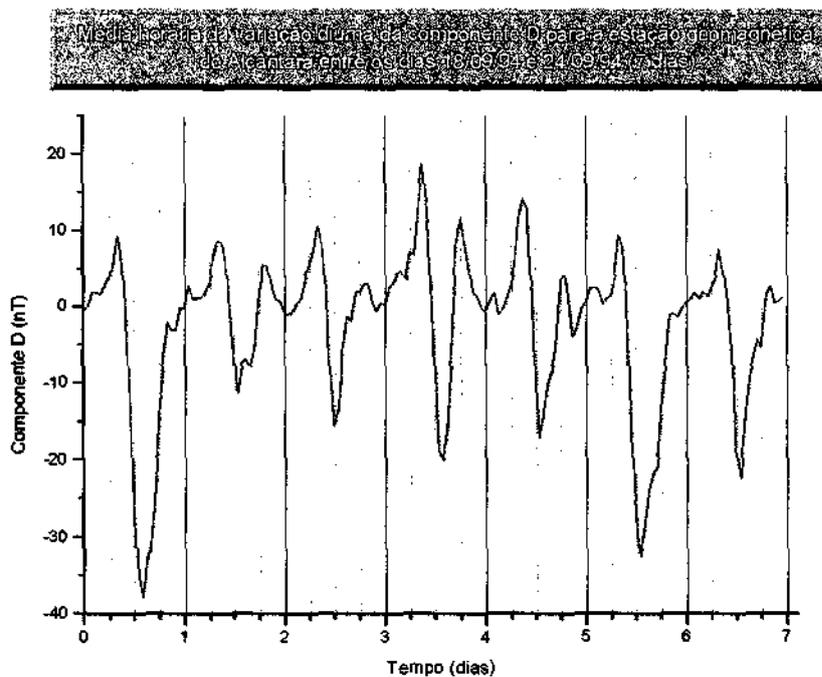
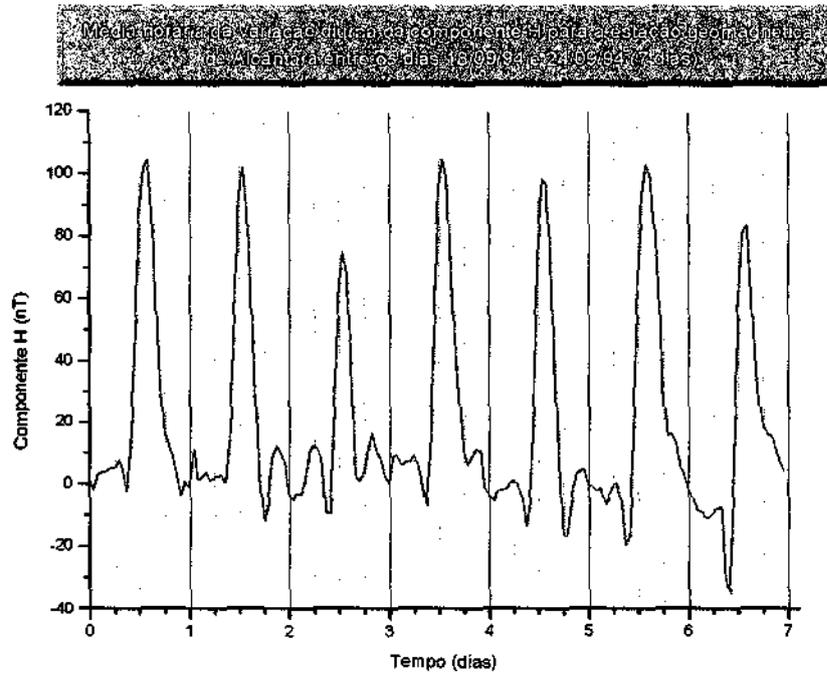
- Participou do seminário ***Relatividade Geral: Introdução, Equivalência e Limintes***, ministrado pelo Professor da Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Dr. **Filipe de Moraes Paiva**.
- Participou do curso intitulado ***Noções de Computação Científica e Programação em Linguagem C***, ministrado pelo Acadêmico em Informática **Ricardo Luís Kulzer** e pelo Eng. Químico **Ezequiel Echer** e pelo Bacharel em Informática **Cezar Tadeu Pozzer**.
- Foi designado pelo Coordenador do Projeto Radioastronomia, para atuar em nível discente como responsável pelo PROGRAMA DE GEOMAGNETISMO, LABORATÓRIO DE GEOFÍSICA ESPACIAL – PROJETO RADIOASTRONOMIA, COOPERAÇÃO BRASIL – JAPÃO, CONVÊNIO: INPE – UFSM.
- Acompanhou diversas Missões Japonesas ao Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE, para a instalação e manutenção de equipamentos.
- Realizou visitas semanais ao Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE, para manutenção dos equipamentos.
- Realizou visitas técnicas ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, em São José dos Campos – SP.
- Acompanhou a instalação de um magnetômetro do tipo fluxgate pertencente ao INPE.





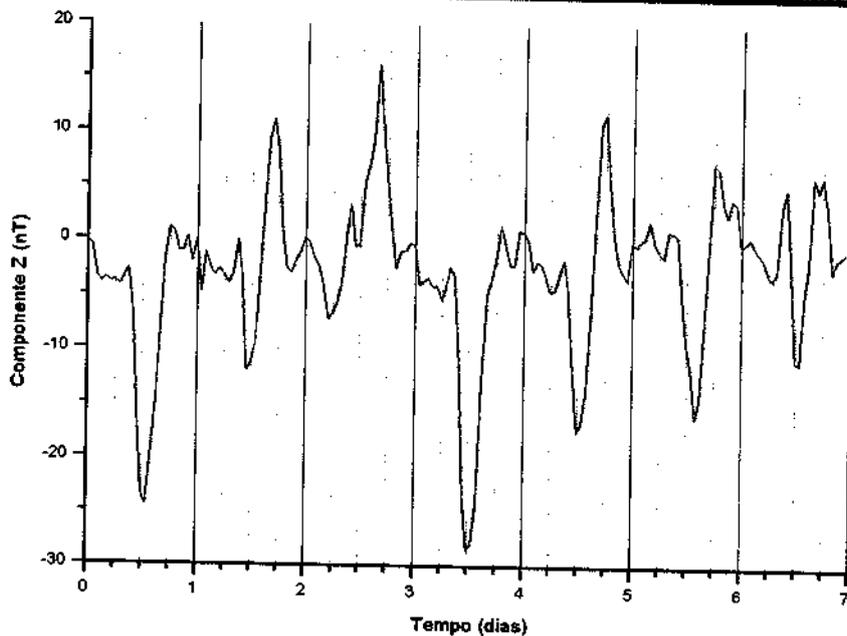
5. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Com base nos dados obtidos nas estações geomagnéticas já mencionadas, foram construídos os seguintes gráficos para a variação diurna das componentes do Campo Geomagnético:

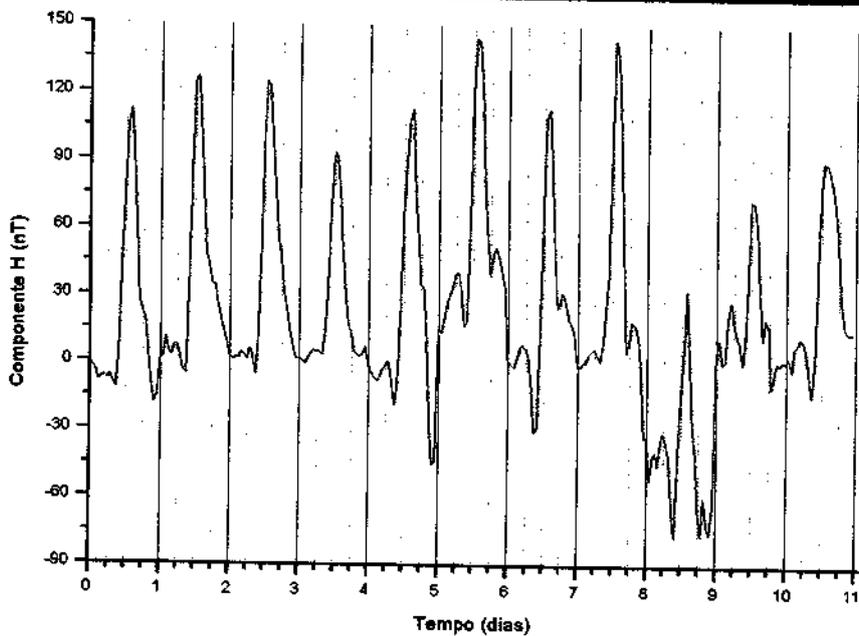




Média horária da variação diurna da componente Z para a estação geomagnética de Ponta Grossa entre os dias 10/09/94 e 24/09/94 (7 dias)

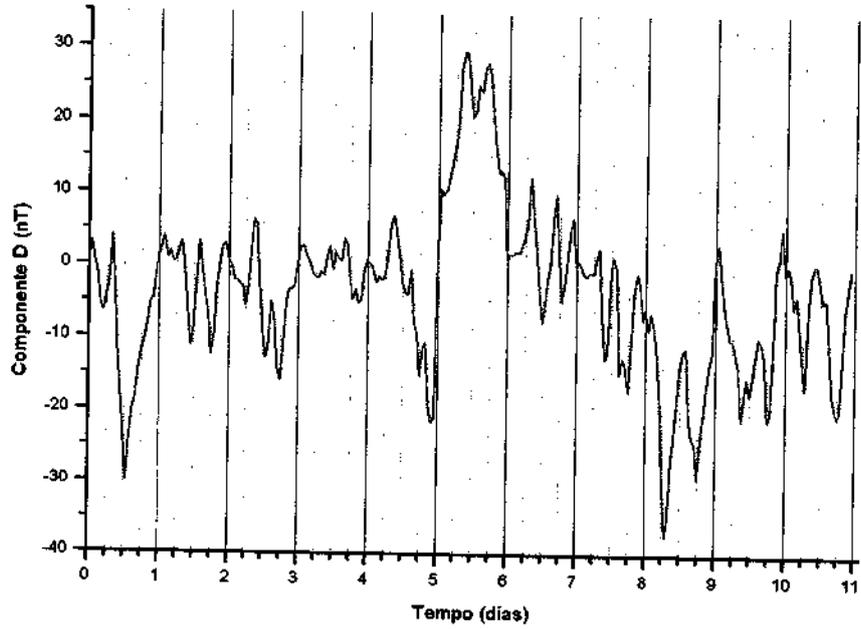


Média horária da variação diurna da componente H para a estação geomagnética de Ponta Grossa entre os dias 15/10/94 e 25/10/94 (11 dias)

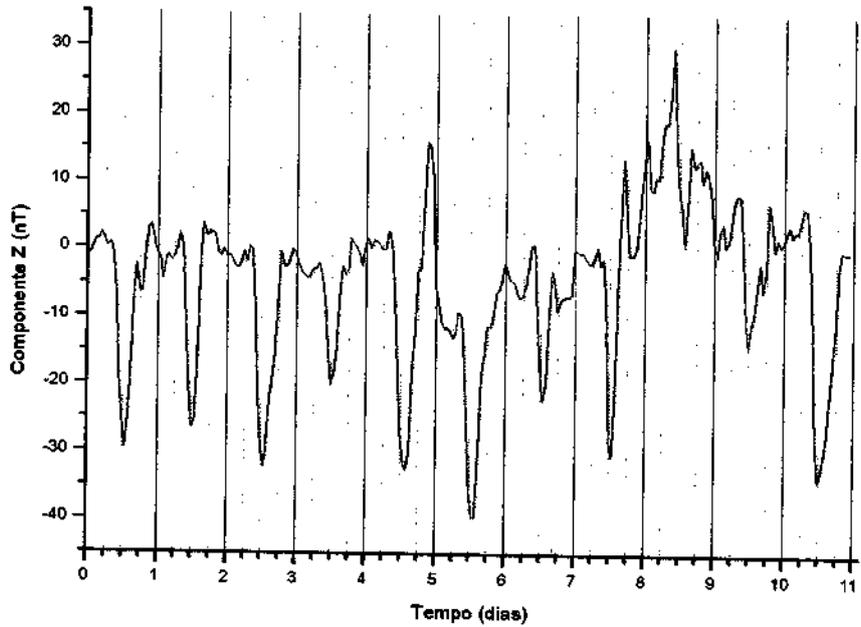




Média horária de variação diurna da componente D para a estação geomagnética de Alcântara entre os dias 15/09 e 25/09/11 (11 dias)

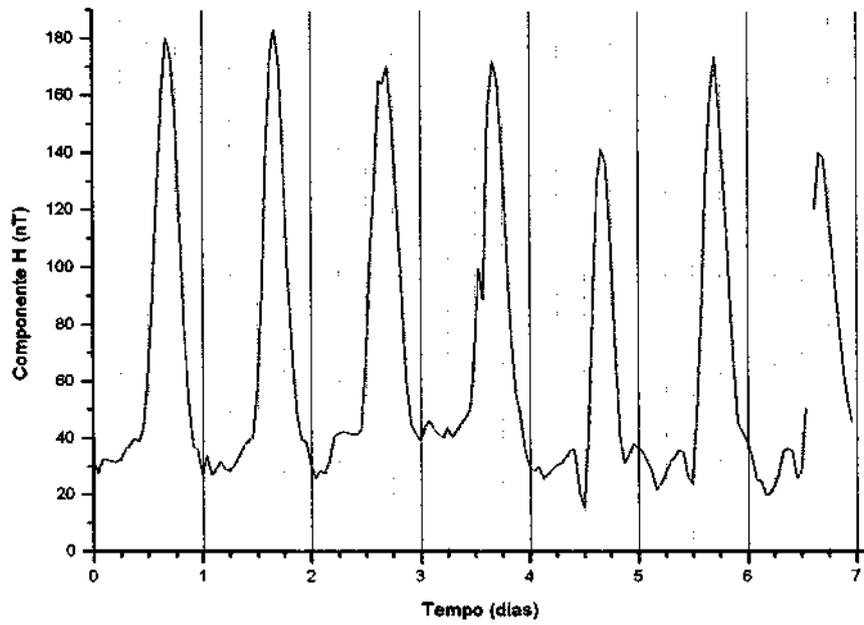


Média horária de variação diurna da componente Z para a estação geomagnética de Alcântara entre os dias 15/09 e 25/09/11 (11 dias)

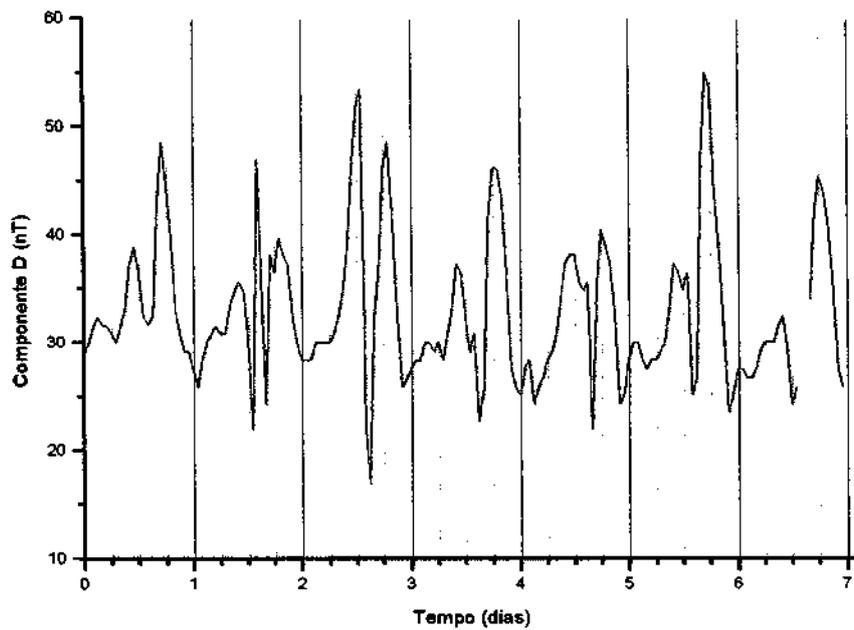




Média horária da variação diurna da componente H para a estação geomagnética de Ancon entre os dias 13/09/94 e 21/09/94 (7 dias)

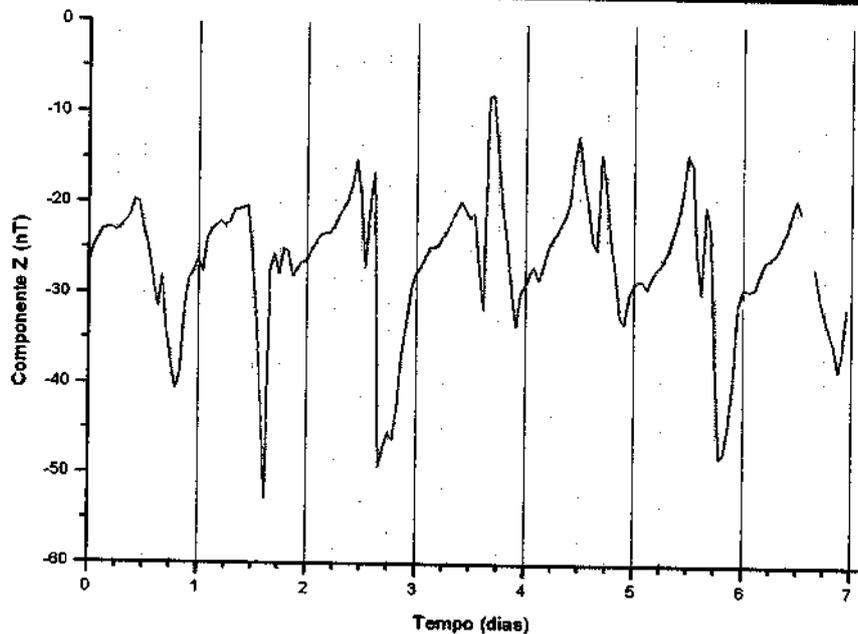


Média horária da variação diurna da componente D para a estação geomagnética de Ancon entre os dias 13/09/94 e 21/09/94 (7 dias)

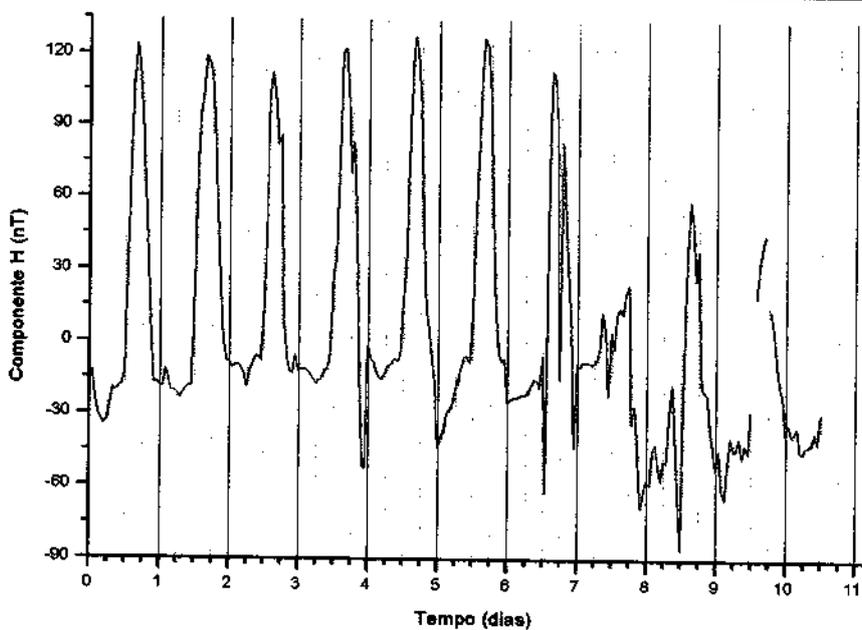




Média horária da variação diurna da componente Z para a estação geomagnética de Ancon entre os dias 13/09/94 e 21/09/94 (7 dias)

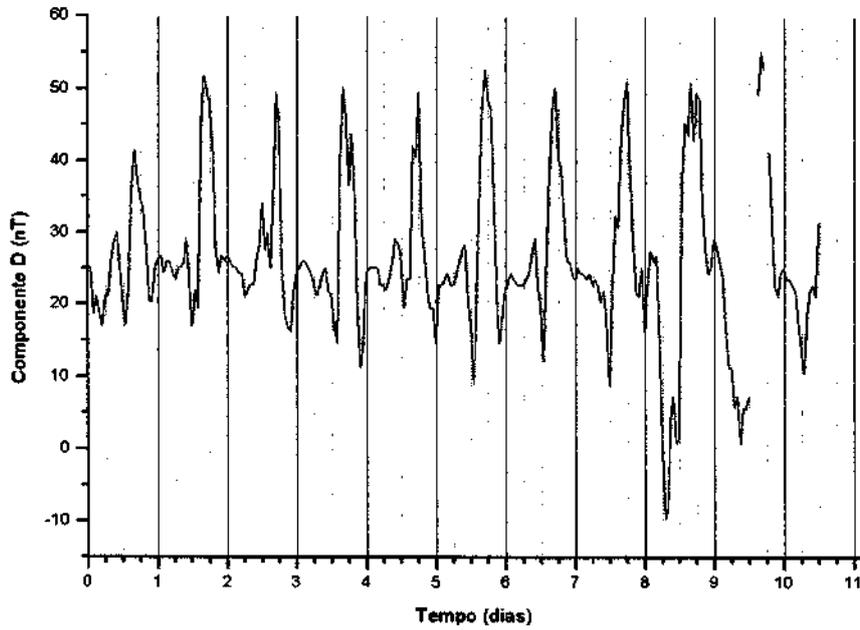


Média horária da variação diurna da componente H para a estação geomagnética de Ancon entre os dias 13/09/94 e 25/09/94 (13 dias)

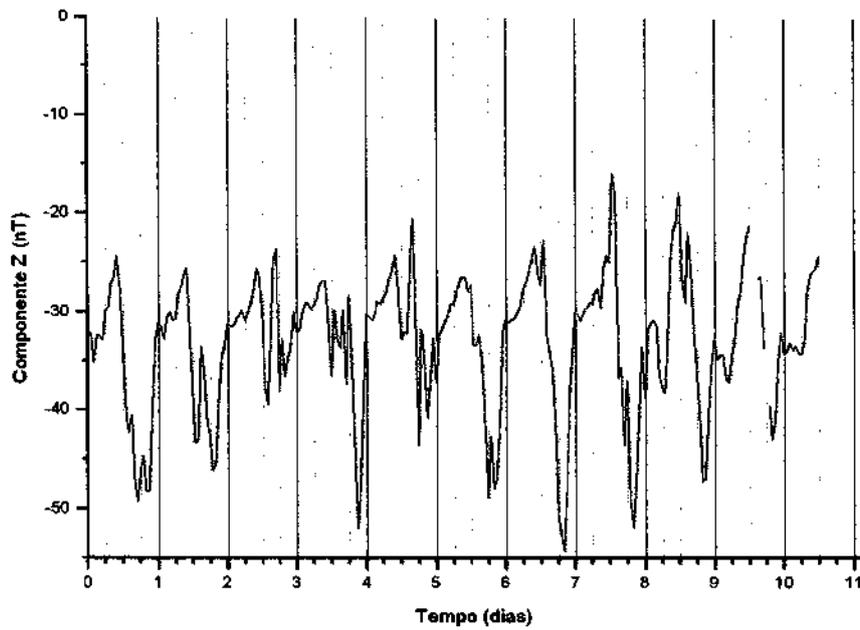




Média horária da variação diurna da componente D para a estação geomagnética de A, contendo os dias 5/10/94 e 25/10/94 (11 dias)

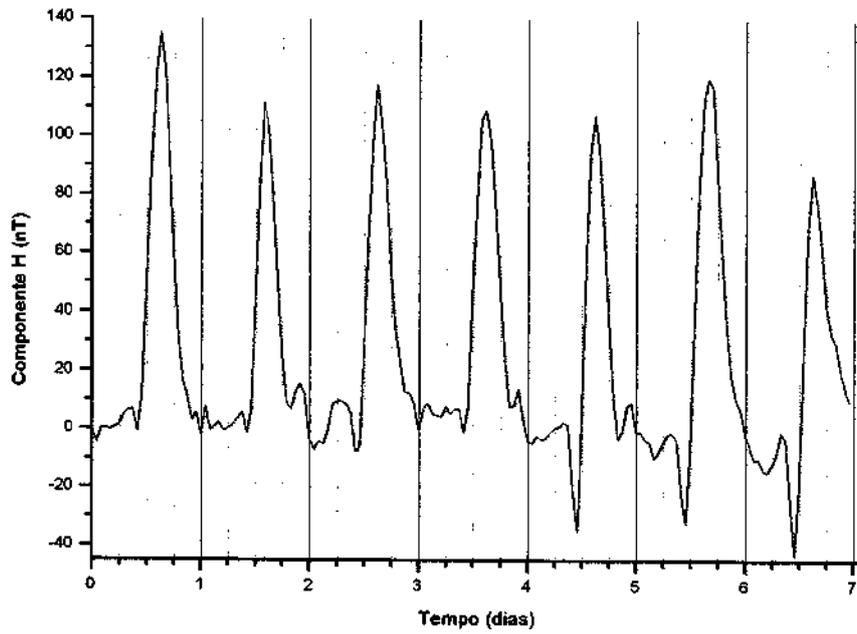


Média horária da variação diurna da componente Z para a estação geomagnética de A, contendo os dias 5/10/94 e 25/10/94 (11 dias)

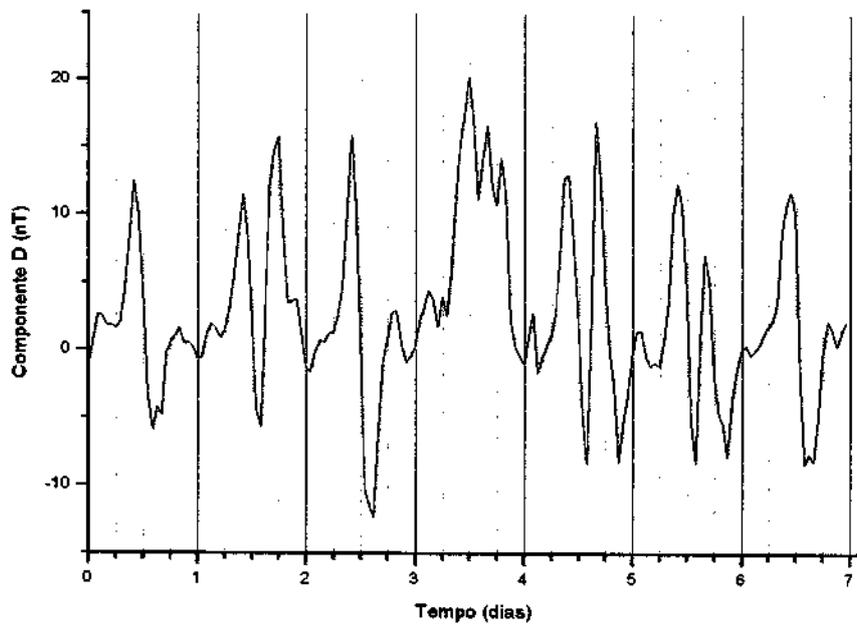




Média diária da variação diurna da componente H para a estação geomagnética de Presidente Médice entre os dias 18/09/04 e 24/09/04 (7 dias)

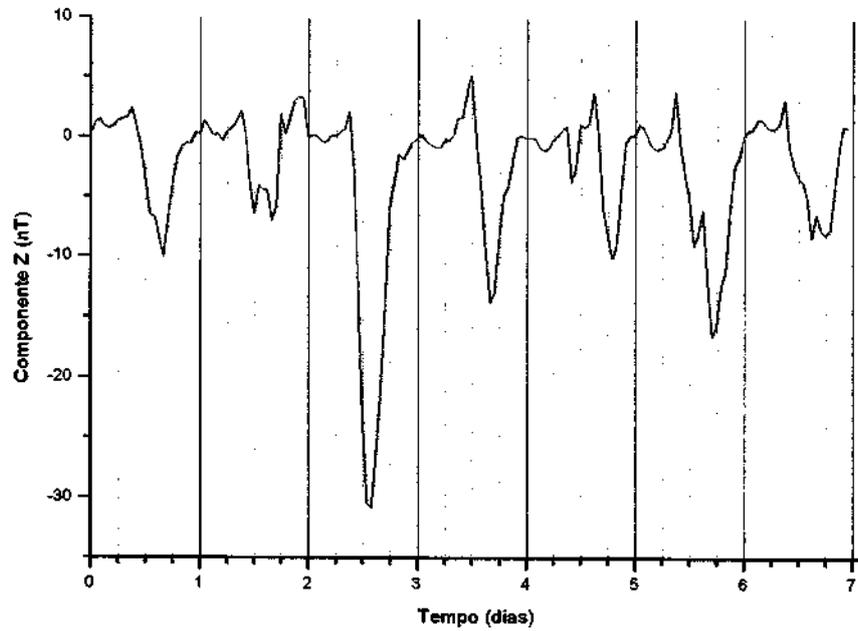


Média diária da variação diurna da componente D para a estação geomagnética de Presidente Médice entre os dias 18/09/04 e 24/09/04 (7 dias)

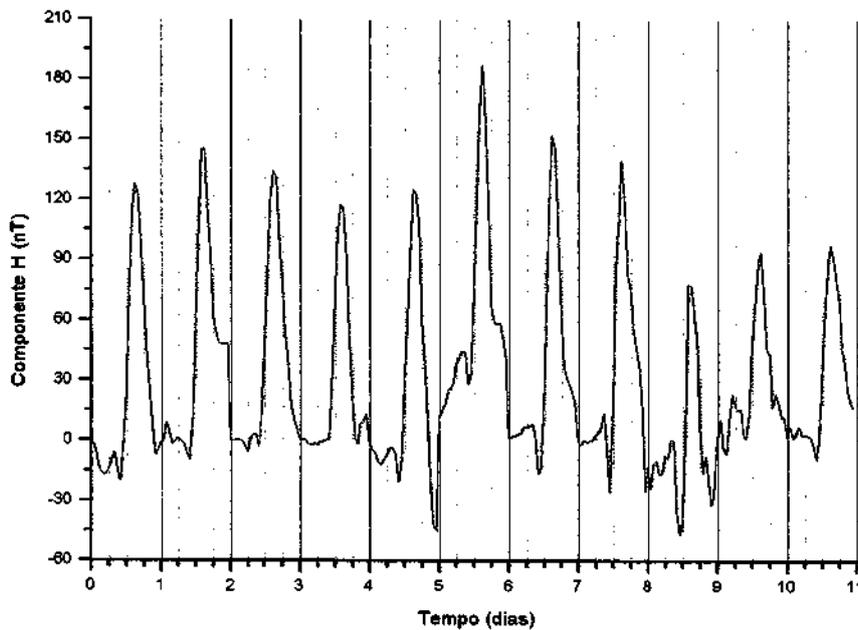




Medição da variação diurna da componente Z para a estação geomagnética de Presidente Médice entre os dias 18/09/94 e 22/10/94 (7 dias)

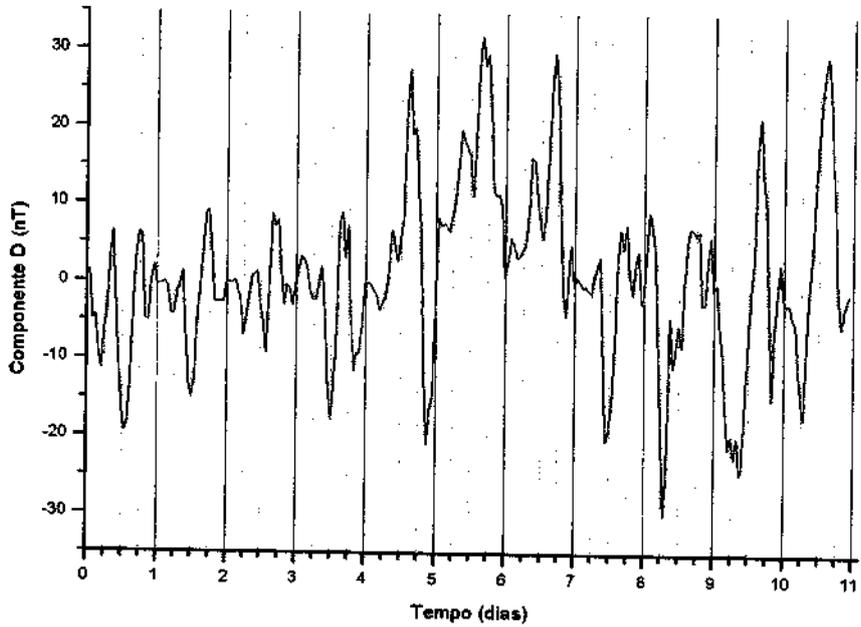


Medição da variação diurna da componente H para a estação geomagnética de Presidente Médice entre os dias 15/10/94 e 25/10/94 (11 dias)

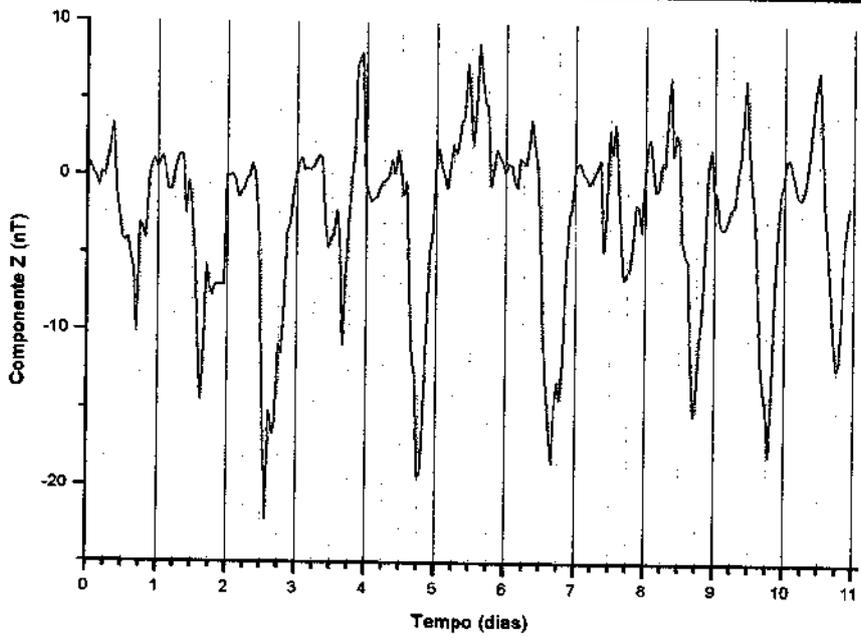




Média horária da variação diurna da componente D para a estação geomagnética de Presidente Médice entre os dias 15/10/94 e 25/10/94 (11 dias)

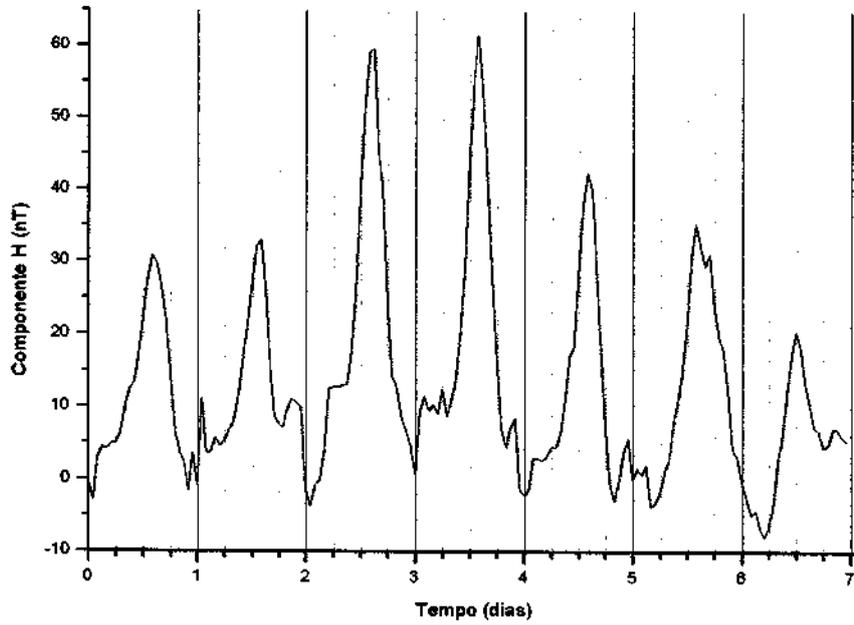


Média horária da variação diurna da componente Z para a estação geomagnética de Presidente Médice entre os dias 15/10/94 e 25/10/94 (11 dias)

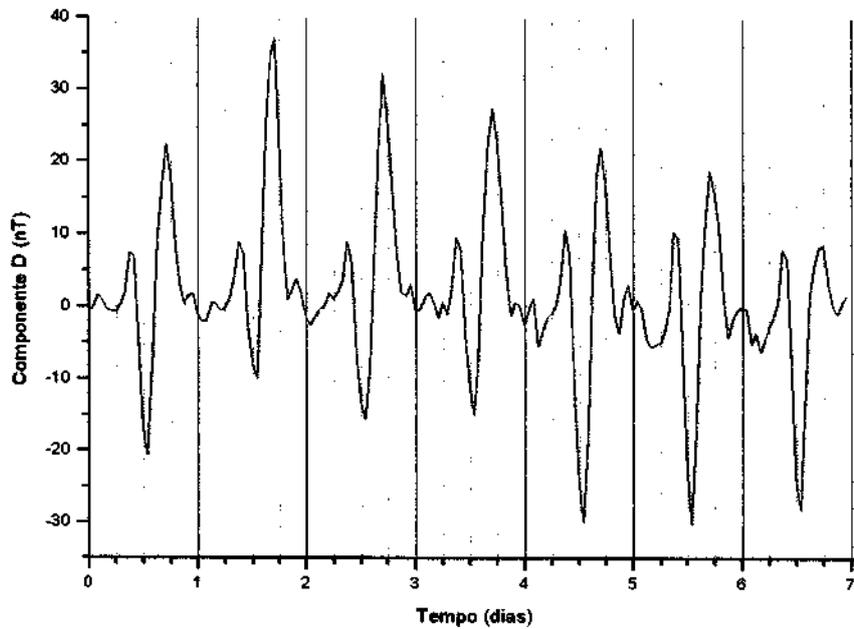


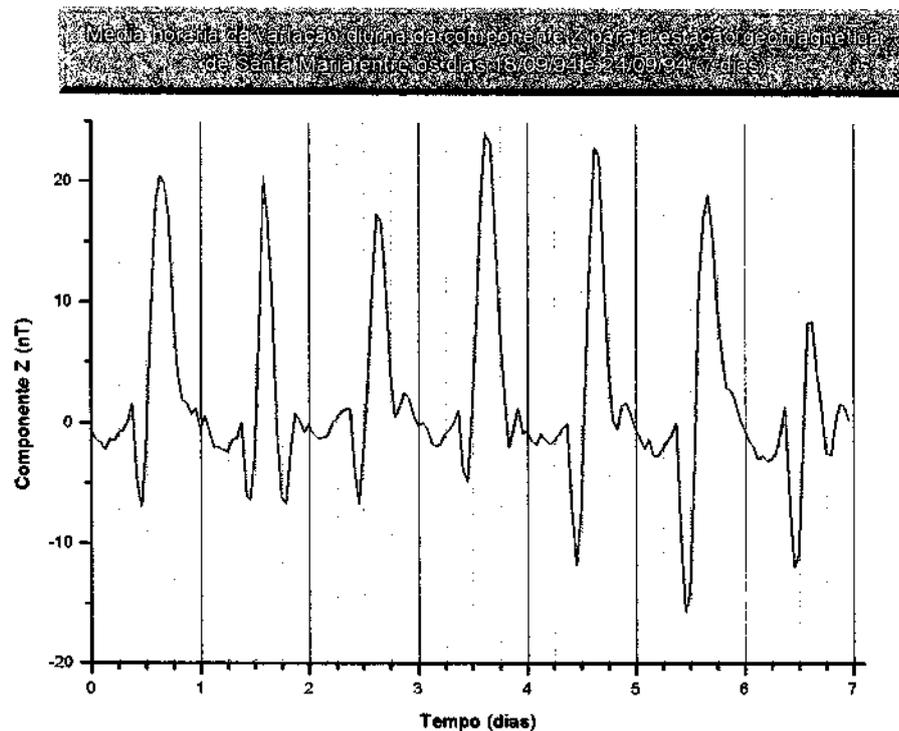


Média horária da variação diurna da componente H para a estação geomagnética de Santa Maria entre os dias 16/09/04 e 24/09/04 (7 dias)



Média horária da variação diurna da componente D para a estação geomagnética de Santa Maria entre os dias 16/09/04 e 24/09/04 (7 dias)





A partir da análise qualitativa da componente H para o período que vai de 18/09/94 até 24/09/94, podemos destacar:

- Todas as estações apresentam uma variação periódica com máximo próximo ao meio-dia local, demonstrando a influência da posição do Sol no aumento da intensidade das correntes que geram esse tipo de variação;
- A amplitude máxima da variação é maior para as estações próximas ao equador magnético de inclinação zero (Ancon, Presidente Médice e Alcântara) do que para as estações em maiores latitudes (Santa Maria), devido à presença do eletrojato equatorial;
- A amplitude máxima da variação em Ancon é maior do que em Presidente Médice e Alcântara, apontando a existência de uma variação longitudinal no eletrojato equatorial;
- Presidente Médice e Alcântara apresentam variações com polaridade invertida nas primeiras horas da manhã no 5º, 6º e 7º dias e no 6º e 7º, respectivamente. Essa variação está associada, possivelmente, a





presença de um contra eletrojato equatorial;

- Ocorreu uma redução na amplitude máxima, do 1º para o 2º dia, em Presidente Médice, que não é vista em Ancon e Alcântara. Existem outras variações na amplitude máxima, que não ocorrem simultaneamente nas três estações equatoriais, estando possivelmente associadas a efeitos locais.

Para o período que vai de 15/10/94 até 25/10/94, podemos destacar:

- Variações periódicas com máximo ao meio-dia local;
- Dependência latitudinal e longitudinal das variações;
- Indícios do contra eletrojato equatorial, não só nas primeiras horas da manhã como também nas primeiras horas da noite;
- Há uma inversão da polaridade das variações no 8º e 9º dias, nas estações de Ancon, Alcântara e Santa Maria.

Convém ressaltar novamente, que os dados analisados em Santa Maria foram obtidos durante o tempo em que o equipamento permaneceu instalado no Campus da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Atualmente, todos os equipamentos de medida do Campo Geomagnético encontram-se instalados no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE, em São Martinho da Serra – RS.

TCVs são eventos transientes claramente identificados em magnetogramas de regiões de altas latitudes, entre 72 e 74º de latitude. Eles apresentam uma assimetria manhã-tarde e podem propagar-se para o leste ou oeste dependendo do horário de ocorrência, atingindo velocidades de 0.1 à 0.3 graus/s, tendo ocorrência de pico as 9 LT (tempo local) e as 14 LT. Muitas causas são propostas para os TCVs: eventos de transferência de fluxo, penetração impulsiva de plasma, pulsos de pressão no vento solar e mudanças rápidas no IMF.

Com base em estudos feitos sobre TCV, como por exemplo o de Zesta et. al. (1999), e uma tabela contendo os eventos TCV para o período de setembro a dezembro de 1994 (ver anexo), foram construídos diversos gráficos





para a variação temporal do campo geomagnético nas estações equatoriais brasileiras, sendo encontradas assinaturas correspondentes a muitos dos eventos TCVs identificados em estações em altas latitudes. Os vórtices identificados nas estações equatoriais, propagam-se com velocidades superiores aos das altas latitudes, sendo as razões desse aumento na velocidade de propagação ainda desconhecidos, e os resultados indicam que as ondas transientes atingem a ionosfera equatorial propagando-se perpendicularmente as linhas de força do Campo Geomagnético.

Outra conclusão que poderia ser tirada é a associação existente entre a Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS e a ocorrência dos TCVs nas estações equatoriais brasileiras. Na região da AMAS o campo magnético total é reduzido, ocorrendo um rebaixamento do cinturão de radiação. Isso faria com que a região funcionasse como um escoadouro para as ondas transientes provenientes da magnetopausa. Porém para comprovação dessa idéia, seria necessário analisar dados de outras estações semelhantes às estações equatoriais brasileiras, mas fora da região da AMAS. Estes dados não estão disponíveis no momento, mas pretende-se utiliza-los para dar seqüência a este estudo, como tema para dissertação de mestrado.

Enfim, concluímos que muitas das características de propagação e morfologia dos TCVs que ocorrem na região equatorial brasileira permanecem desconhecidas, sendo necessário um estudo mais detalhado dos mesmos. Porém, os eventos TCVs ainda são tema de muitas polêmicas e controvérsias entre pesquisadores o que torna necessário cautela na hora de analisá-los.





6. BIBLIOGRAFIA

- Briggs, B. H.**, *The variability of ionospheric dynamo currents*, Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics, vol. 46, N° 5, pp 419-429, 1984.
- Campbell, W. H.** *Introduction to Geomagnetic Fields*, Cambridge University Press, New York, 1997.
- Chapman, S.**, *The equatorial electrojet as detected from the abnormal electric current distribution about Huancayo, Peru and elsewhere*, Arch. Meteorol. Geophys. Bioklimatal, Ser. A, 4, 368, 1951.
- Cowling, T. G.**, *The electrical conductivity of an ionized gas in the presence of a magnetic field*, Mon. Not. R. Astron. Soc., 93, 90-98, 1933.
- Cowling, T. G., and R. Borger**, *Electric conductivity of the ionospheric D-region*, Nature, 162, 143, 1948.
- Egedal, J.**, *The magnetic diurnal variation of the horizontal force near the magnetic equator*, J. Geophys. Res., 52, 449, 1947.
- Egedal, J.**, *Daily variation of the horizontal magnetic force at the magnetic equator*, Nature, 161 443-444, 1948.
- Fukushima, N.**, *Field-aligned currents in the magnetosphere*, Geofísica Internacional, vol. 30, N° 4, pp. 241-248, 1991.
- Hibbert, F. H.**, Journal of Geophysics Research. 78, 2779, 1981.
- 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.
- Martyn, D. F.**, *Electric conductivity of the ionospheric D-region*, Nature, 162, 142-143, 1948.
- Pinto, Jr. O. e Gonzales W. D.** *Anomalia Magnética Brasileira*, Ciência Hoje, vol. 9, n° 52, 1989.
- Price, A. T. and D. J. Stone**, *The quiet-day magnetic variations during the IGY*, Annals of the IGY, 35, 63-269, 1964.





Samson, J. C., *Geomagnetic pulsations and plasma waves in the earth's magnetosphere*, Geomagnetism, Vol. 4, Academic Press, London, pp. 481-592, 1991.

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.

Serson, S. H.; *Instrumentation for induction studies on land*, Phys. Earth Planet Int., 7, 313-322, 1973.

Untiedt, J., *A model of the equatorial electrojet involving meridional currents*, J. Geophys. Res., 72, 5799-5810, 1967.

Zesta, E.; Hughes, W. J.; Engebretson, M. J.; Hughes, T. J.; Lazarus, A. J.; Paularena, K. I.; *The November 9, 1993, traveling convection vortex event: A case study*, J. Geophys. Res., 104, 28041-28058, 1999.

Zmuda, A. J., J. H. Martin and F. T. Heuring, *Transverse magnetic disturbances at 1100 kilometers in the auroral region*, J. Geophys. Res., 71, 5033-5045, 1966.

Foram utilizados os seguintes materiais não publicados:

Fukushima, N., *Interhemispheric field-aligned currents in the magnetosphere associated with the geomagnetic Sq field at middle and low latitudes*.





ANEXOS





SIGNATURES OF TRAVELING CONVECTION VORTEX (TCV) EVENTS IN THE MAGNETOGRAMS FROM THE EQUATORIAL ELECTROJET (EEJ) REGION

N. B. TRIVEDI (1), D. G. Sibeck (2), E.Zesta (3), Jean C. Santos (1), S. L. G. Dutra (4)

1- Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRSPE/INPE, Santa Maria,RS 97119-900, Brasil

2- Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory, Laurel, MD, USA

3- Dept. of Atmospheric Sciences, Univ. of California Los Angeles, Los Angeles, USA

4- National Institute of Space Research-INPE, C.P.-5115, Sao Jose dos Campos,SP 1220-970, Brasil

Traveling Convection Vortices (TCVs) are a clearly identified transient events in high-latitude geomagnetic observations. They travel eastward or westward at geomagnetic latitudes near 72° to 74° . Many causes have been proposed for TCVs,

including bursty reconnection, pressure pulses, impulsive penetration, and the Kelvin-Helmholtz instability. Each cause can launch the compressional and shear

Alfven mode waves into the magnetosphere and ionosphere that are required to produce the events. Zesta et al. [JGR, 1999] provide an extensive analysis of the high-latitude morphology and propagation characteristics of a traveling convection vortex (TCV) that occurred on November 9,1993. We report evidence for

corresponding signatures at Belem (1.4° S, 48.4° W, dip 6.0°), Sao Luis (2.6° S, 44.2° W,dip -0.6°), and Teresina (5.1° S, 42.7° W,dip -6.5°) under the equatorial electrojet (EEJ) band current. We also found clear signatures at Brazilian equatorial stations for several other TCV events identified in the geomagnetic observations of high latitude North American magnetometer arrays like MACCS and CANOPUS. A study of TCV events in the geomagnetic records in the Brazilian EEJ region is presented in this paper. The results suggest that transient waves reach the equatorial ionosphere by propagating across the geomagnetic lines of force.





**TABELA CONTENDO OS EVENTOS TCV PARA O PERÍODO DE
SETEMBRO À DEZEMBRO DE 1994.**

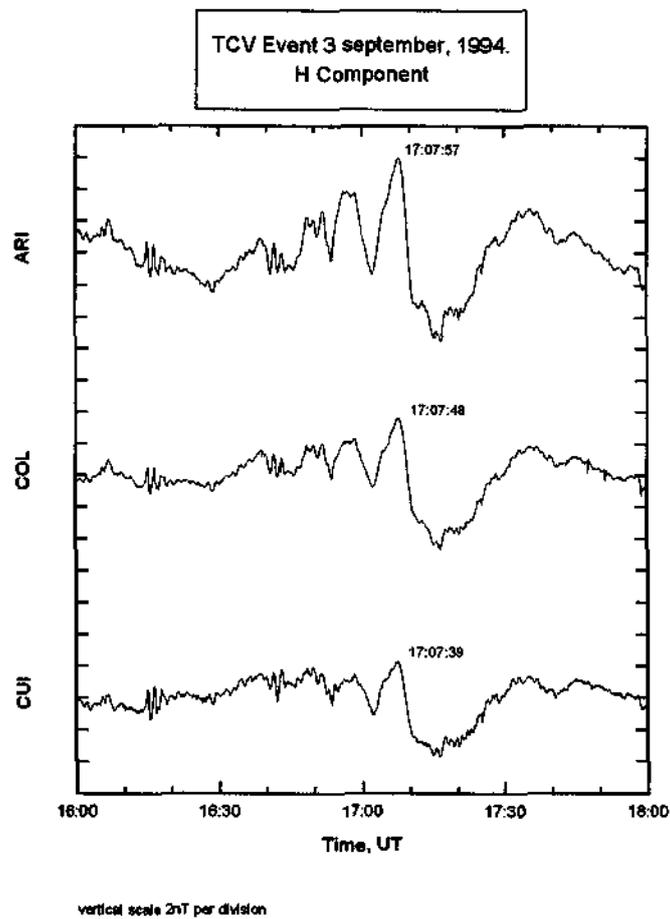
Data	Hora UT do Evento
03/09/94	1700
07/09/94	1710
15/09/94	1345;1500
16/09/94	1000
18/09/94	1250
20/09/94	2050
21/09/94	1600
23/09/94	1235;1730
24/09/94	1550;1720
08/10/94	1930
15/10/94	1400
19/10/94	1600
30/10/94	1300;1535
01/11/94	1400
04/11/94	1400
15/11/94	1615;1900
16/11/94	1830
22/11/94	1805
28/11/94	1330
30/11/94	1730;1750
02/12/94	1105;1215
03/12/94	0905;1130;1430
04/12/94	1635
09/12/94	1045;1125;1330;1530;1630
13/12/94	1655
16/12/94	1920
21/12/94	1400;1530
23/12/94	1740;1920





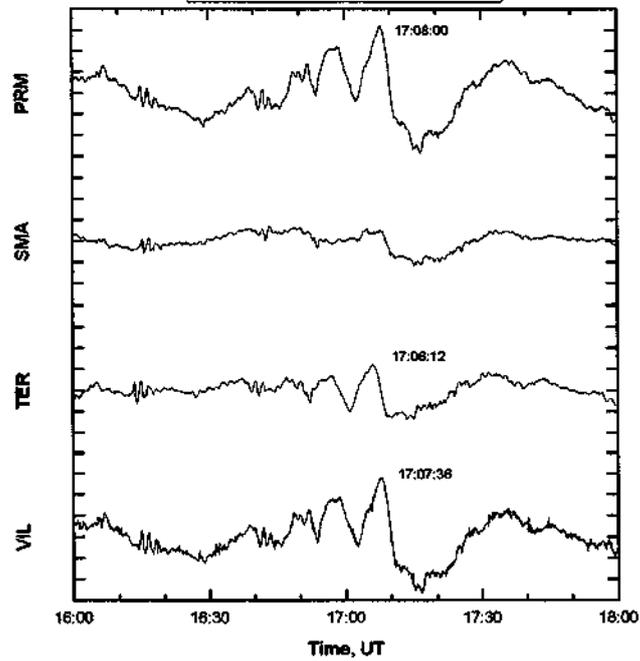
GRÁFICOS DOS EVENTOS TCV

A seguir relacionamos alguns dos eventos TCVs cujos gráficos foram construídos:



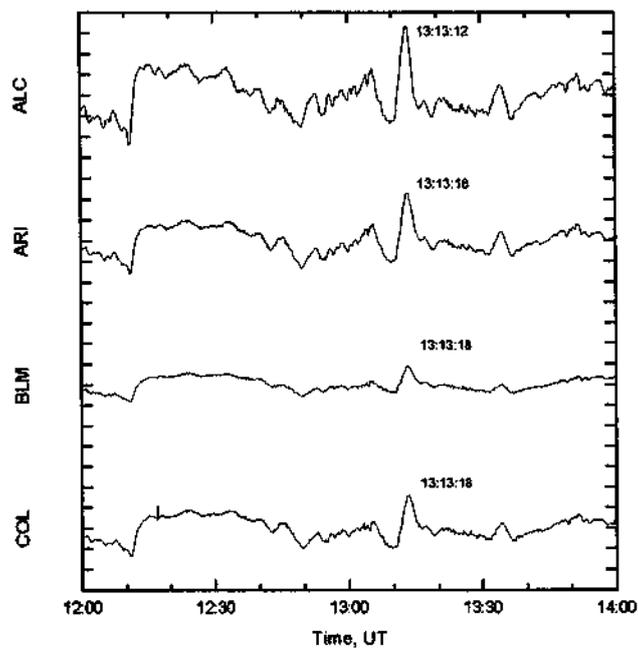


TCV Event 3 september, 1994.
H Component



vertical scale 2nT per division

TCV Event 18 september, 1994.
H Component

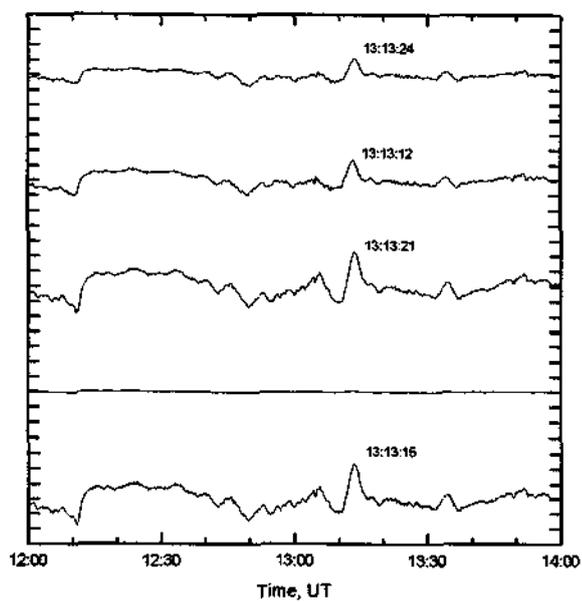


vertical scale 5nT per division



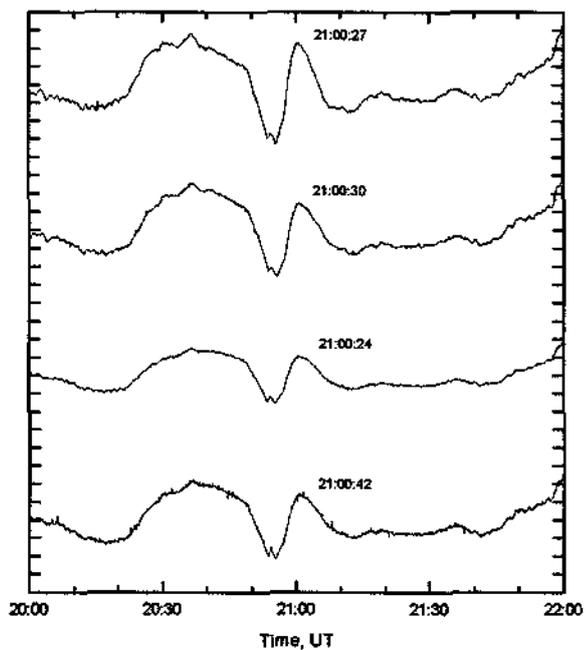


TCV Event 18 september, 1994.
H Component



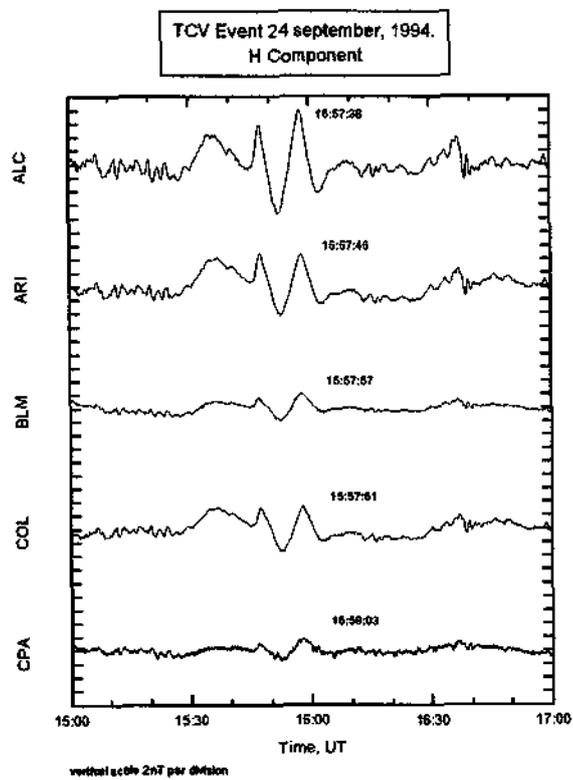
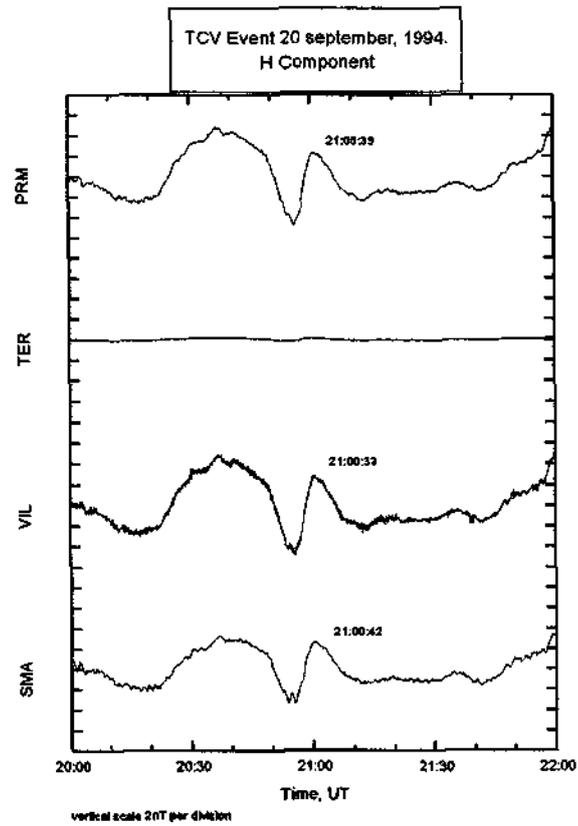
vertical scale 5nT per division

TCV Event 20 september, 1994.
H Component



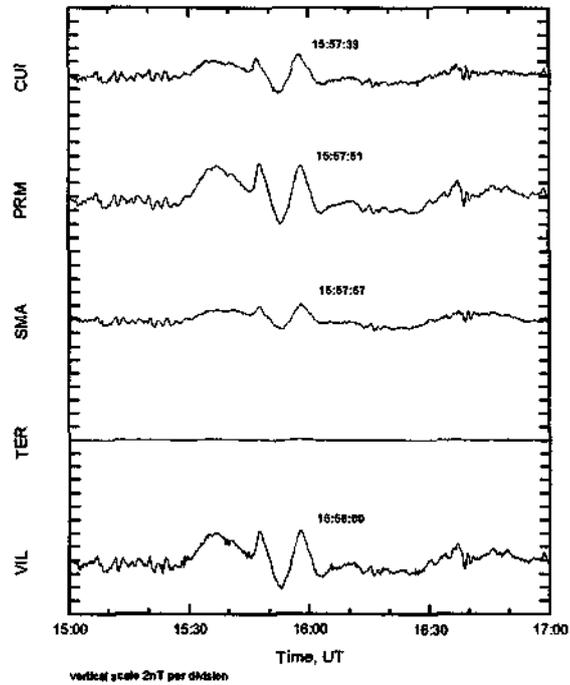
vertical scale 2nT per division



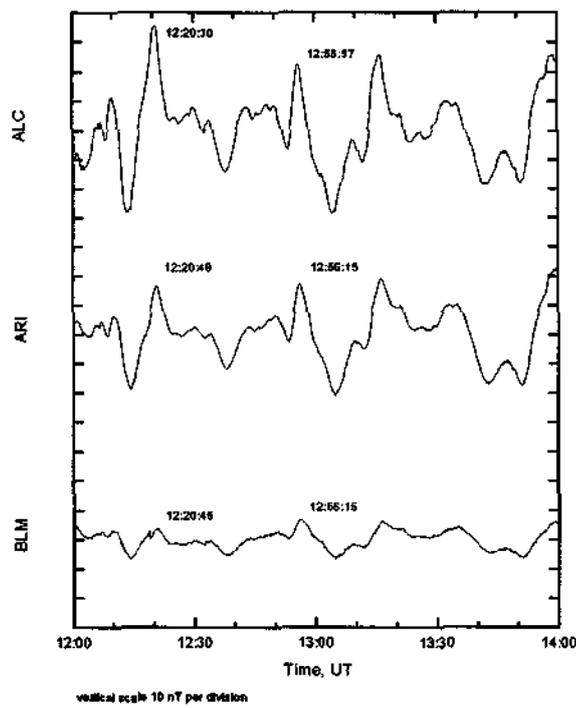




TCV Event 24 september, 1994.
H Component

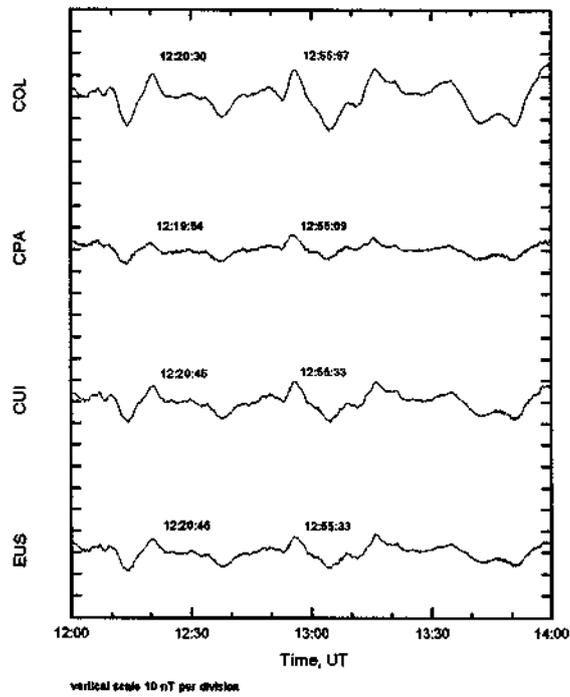


TCV Event 30 october, 1994.
H Component

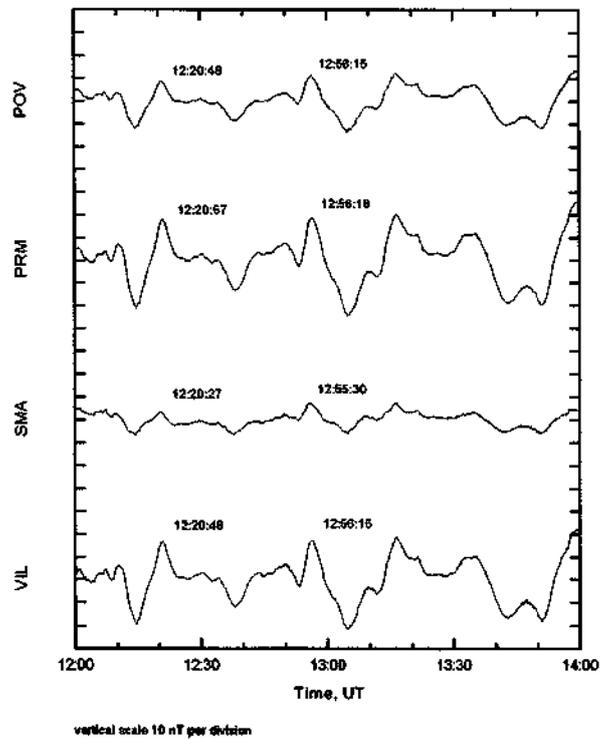




TCV Event 30 October, 1994.
H Component

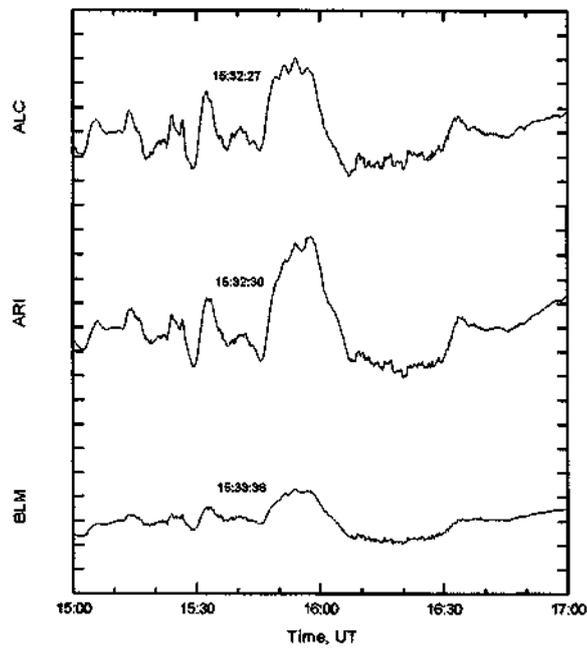


TCV Event 30 October, 1994.
H Component



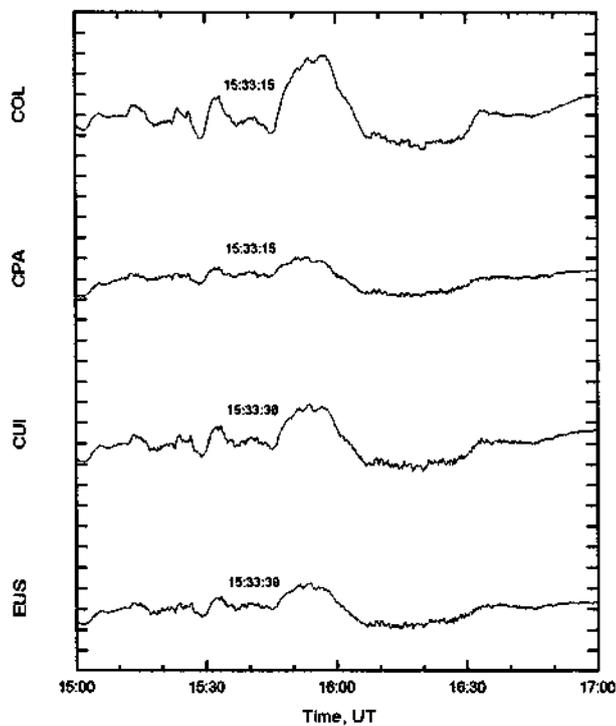


TCV Event 30 October, 1994.
H Component



vertical scale 10nT per division

TCV Event 30 October, 1994.
H Component

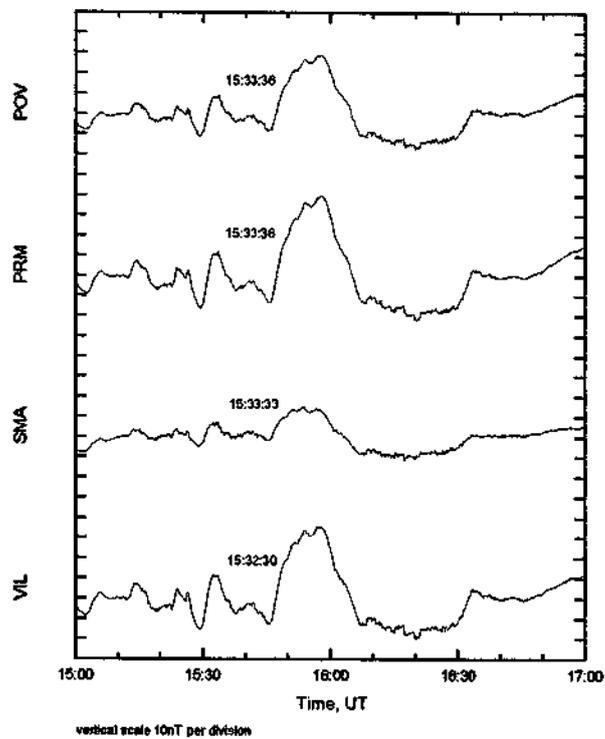


vertical scale 10nT per division





TCV Event 30 October, 1994.
H Component



**XIII JORNADA
XIII ACADÊMICA
INTEGRADA**

CERTIFICADO

Certificamos que

JEAN CARLO SANTOS
participou da **XIII Jornada Acadêmica Integrada**,
realizada no dia 16 de dezembro de 1998,
como apresentador do trabalho:
Variação do Campo em Períodos Calmos



Comissão Executiva
Santa Maria, 16 de dezembro de 1998.

Ministério da Educação e do Desporto
Universidade Federal de Santa Maria



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA**

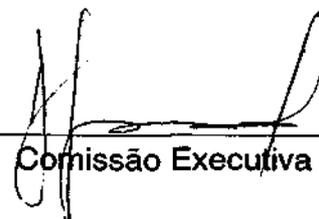
CERTIFICADO

Certificamos que **JEAN CARLO SANTOS** participou da
IV JORNADA DE PESQUISA, EXTENSÃO E ENSINO, nos dias 8 e 9 de outubro de 1997,
com o trabalho:

***OBSERVAÇÕES DA INTENSIDADE TOTAL DO CAMPO GEOMAGNÉTICO NA
REGIÃO DA ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL - AMAS***

Santa Maria, 9 de outubro de 1997.


Chefe do CAPET/DT - UFSM


Comissão Executiva

Ministério da Educação e do Desporto
Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria

CERTIFICADO

Certificamos que o Sr. Jean Carlo Santos participou do Seminário intitulado
UMA INTRODUÇÃO AO ESTUDO DA IONOSFERA TERRESTRE, com
duração de 4 horas, ministrado pelo Eng. Clezio Marcos Denardini, realizado no
LACESM, no dia 19 de setembro de 1997.

Santa Maria, 23 de janeiro de 1998.



Dr. Nelson Jorge Schuch
Coordenador



Prof. Francisco Amaral Wendt
Diretor do LACESM

Ministério da Educação e do Desporto
Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria

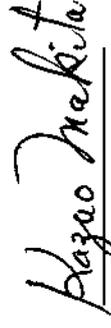
CERTIFICADO

Certificamos que o Sr. Jean Carlo Santos participou da Palestra sobre Geomagnetismo intitulada **Geomagnetic Hole**, ministrada pelo Dr. **Kazuo Makita**, Professor Pesquisador da Takushoku University e do National Institute of Polar Research - Tóquio, instituições participantes da Cooperação Brasil/Japão em Ciências Espaciais Básicas, realizado no LACESM, no dia 14 de agosto de 1997.

Santa Maria, 14 de agosto de 1997.


Nelson Jorge Schuch
Coordenador Geral


Francisco Amaral Wendt
Diretor do LACESM


Kazuo Makita
Ministrante

Ministério da Educação e do Desporto
Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria

CERTIFICADO

Certificamos que o Sr. Jean Carlo Santos participou do Seminário intitulado **MECÂNICA NEWTONIANA E RELATIVIDADE GERAL**, ministrado pelo Dr. Nilton Oscar Santos, Pesquisador Titular do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq / Observatório Nacional - ON, realizado no LACESM, no dia 14 de janeiro de 1998.

Santa Maria, 15 de janeiro de 1998.



Dr. Nelson Jorge Schuch
Coordenador



Prof. Francisco Amaral Wendt
Diretor do LACESM

Ministério da Educação e do Desporto
Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria

CERTIFICADO

Certificamos que o Acadêmico Jean Carlo Santos participou do *Curso de Eletrônica Básica e Eletrônica Digital*, com duração de 40 horas, ministrado pelo Eng. Clezio Marcos Denardini e pelo Acadêmico Adriano Sanick Padilha realizado no LACESM, em Janeiro de 1998.

Santa Maria, 04 de agosto de 1998.



Dr. Nelson Jorge Schuch
Coordenador



Prof.ª Damaris Kirsch Pinheiro
Diretora Substituta do LACESM

Ministério da Educação e do Desporto
Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria

CERTIFICADO

Certificamos que o Acadêmico Jean Carlo Santos participou do Seminário *Relatividade Geral : Introdução , Equivalência e Limites*, ministrado pelo Professor da Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Dr. Filipe de Moraes Paiva, realizado no Auditório Pêrsio Reis do Centro de Tecnologia, no dia 20 de agosto de 1998.

Santa Maria, 21 de agosto de 1998.



Dr. Nelson Jorge Schuch
Coordenador



Prof.ª Damaris Kirsch Pinheiro
Diretora Substituta do LACESM

Ministério da Educação e do Desporto
Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria

CERTIFICADO

Certificamos que o Sr. Jean Carlo Santos participou do Curso intitulado *Noções de Computação Científica e Programação em Linguagem C*, ministrado pelo Acadêmico em Engenharia Elétrica Ricardo Luis Kulzer, pelo Eng. Químico Ezequiel Echer e pelo Bacharel em Informática Cezar Tadeu Pozzer, realizado no LACESM, no período de 06 de janeiro/98 a 06 de fevereiro de 1998, totalizando 50 horas de curso.

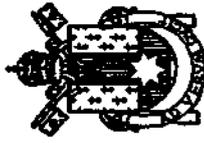
Santa Maria, 26 de novembro de 1998.



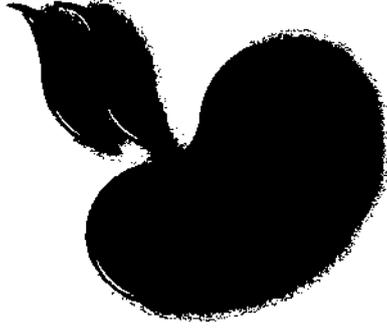
Dr. Nelson Jorge Schuch
Coordenador



Prof. Norberto U. V. Oliveira
Diretor do LACESM



PUCRS
ESCOLA POLITÉCNICA



CRICTE'97



ABENGE
Associação Brasileira
de Ensino de Engenharia
Núcleo - RS

Certificamos que

Jean Carlo Santos apresentou o trabalho *“Monitoramento do Campo Magnético Terrestre na Região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul Utilizando um Magnetômetro de Indução .”* e

participou do XIII CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA,
realizado no período de 08 a 10 de outubro de 1997, na Escola Politécnica
da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 10 de outubro de 1997


Eduardo Gigliozzi
DIRETOR DA ESCOLA POLITÉCNICA


Mára Lúcia Fernandes Carneiro
COORDENADORA GERAL DO CRICTE'97



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA - PIBIC/CNPq

Conferimos o presente Certificado a JEAN CARLO SANTOS por sua participação com o trabalho intitulado ESTUDO DAS VARIAÇÕES DO TIPO SQ NO CAMPO GEOMAGNÉTICO NA REGIÃO DE SANTA MARIA sob a orientação de Dr. Nalin Babutal Trivedi e Dr. Nelson Jorge Schuch no V Seminário de Iniciação Científica do INPE (V SICINPE), realizado em São José dos Campos, S.P., no período de 01 e 02 de julho de 1999.

São José dos Campos, 02 de julho de 1999.


Dr. Mário César Ricci
Presidente do CIBIC/INPE

**LABORATÓRIO DE CIÊNCIAS ESPACIAIS DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
UFSM**

COMUNICAÇÃO INTERNA

O Coordenador do Projeto Radioastronomia designa o acadêmico do Curso de Física do Centro de Ciências Naturais e Exatas da UFSM,

JEAN CARLO SANTOS

para atuar em nível discente como

RESPONSÁVEL

pelo:

**PROGRAMA DE GEOMAGNETISMO
LABORATÓRIO DE GEOFÍSICA ESPACIAL - PROJETO RADIOASTRONOMIA,
COOPERAÇÃO BRASIL - JAPÃO, CONVÊNIO: INPE - UFSM.**

Santa Maria, 27 de Abril de 1998.



Nelson Jorge Schuch

Coordenador do Projeto RA/IPS

Convênios: FINEP-UFSM, MCT/INPE-UFSM

Ciente:



Prof. Francisco Amaral Wendt
Diretor do LACESM

**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
ESTAÇÃO TERRENA DE RASTREIO E CONTROLE DE
SATÉLITES - ETRCS/CRSPE/INPE
OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL - OES/CRSPE/INPE**

Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica - PIBIC - CNPq

RELATÓRIO PARCIAL DE ATIVIDADES

**Processo:
106206/98-2**

Título do Projeto:

**Estudo do Campo Geomagnético na Região da Anomalia
Magnética do Atlântico Sul**

**Bolsista:
Jean Carlo Santos**

**Orientador:
Nalin Babulal Trivedi**

**Co-Orientador:
Nelson Jorge Schuch**

Santa Maria, Fevereiro de 2000.

Ao

Dr. Ijar M. Fonseca, coordenador do PIBIC.

Caro Dr. Ijar,

Encaminhamos o relatório do bolsista Jean Carlo Santos, sob o título "Estudo do Campo Geomagnético na Região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul", referente ao período de setembro de 1999 a fevereiro de 2000.

O relatório está muito bem escrito e demonstra ótimo desempenho do bolsista. O bolsista também demonstra domínio do assunto e um plano de pesquisa bem fundamentado.

Atenciosamente,

Nalin Babulal Trivedi

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

Jean Carlo Santos

Orientador:

Nalin Babulal Trivedi

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Co-Orientador:

Nelson Jorge Schuch

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - INPE

Local de Trabalho/Execução do Projeto:

Observatório Espacial do Sul - CRSPE/OES/INPE

Laboratório de Geofísica Espacial - LGE/LACESM





AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus orientadores, Dr. Nalin B. Trivedi e Dr. Nelson J. Schuch, 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.	8
1.3. A RADIOASTRONOMIA – PROJETO RA.	9
1.4. CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS – O PROGRAMA DE MONITORAMENTO DO OZÔNIO ATMOSFÉRICO.	10
1.5. GEOMAGNETISMO E MAGNETOSFERA TERRESTRE	10
1.6. COOPERAÇÃO CIENTÍFICA INTERNACIONAL BRASIL/JAPÃO EM CIÊNCIAS ESPACIAIS BÁSICAS	11
1.7. OBJETIVOS GERAIS DO PROJETO	11
1.7.1. Plano de Trabalho.....	12
2 . FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
3. MÉTODOS E MATERIAIS	23
4. ATIVIDADES DO BOLSISTA.....	27
5. RESULTADOS E CONCLUSÕES	29
6. BIBLIOGRAFIA.....	41
ANEXOS	43





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. Ele 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.





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





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.



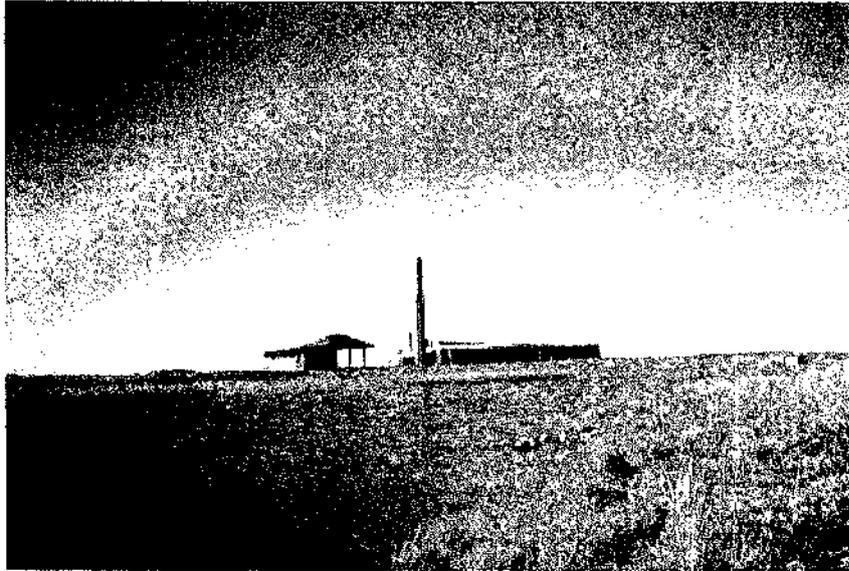


Figura 2 - Prédios 2 e 3, de um total de seis prédios, do Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE, em São Martinho da Serra - RS.

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. A RADIOASTRONOMIA – PROJETO RA.

O Projeto Radioastronomia – Projeto RA visa à construção de um Radiointerferômetro de Síntese de Abertura com a Rotação da Terra, de longa linha de base, 5 a 8 Km – direção Leste/Oeste, operando em baixas frequências, centrada em 150 MHz, através da construção de laboratórios e áreas de apoio adequadas à execução de atividades científicas para implantação no País de técnicas Radiointerferométricas. O projeto propicia o desenvolvimento de pesquisas e a formação de recursos humanos em Ciências Espaciais Básicas, priorizando a Astrofísica, Aeronomia, Geofísica Espacial, Geomagnetismo, Interações Terra-Sol, dentre outras áreas do saber, além das tecnologias vinculadas as áreas de engenharias associadas.





1.4. 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.

1.5. 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.





1.6. 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.

1.7. 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.



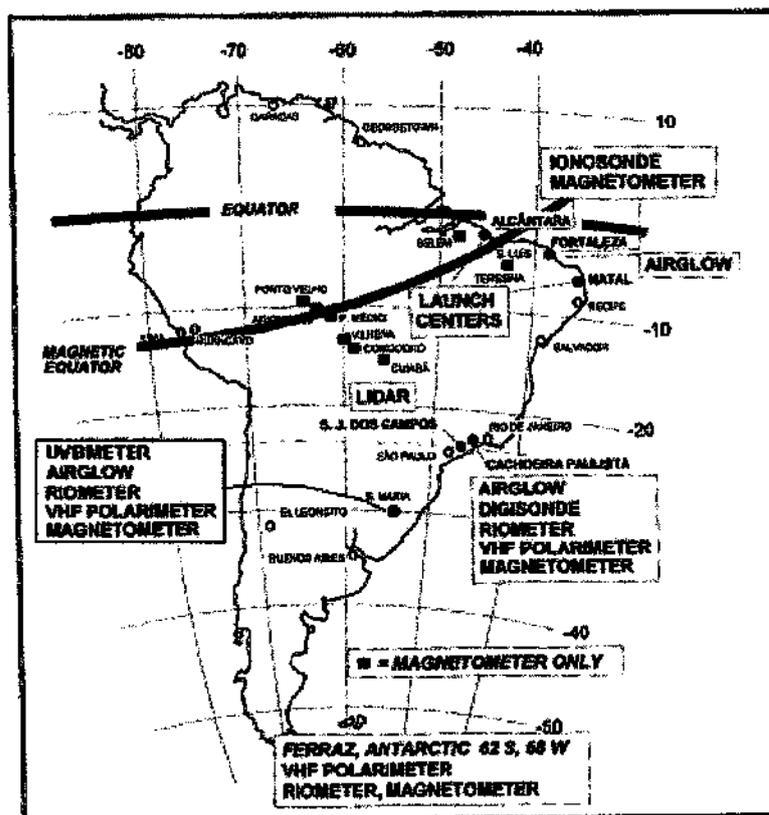


Figura 3 - Mapa da América do Sul mostrando a posição dos equadores geográfico e magnético e também das estações geomagnéticas.

1.7.1. Plano de Trabalho

Primeira Fase: (Jan 2000 – Mar 2000)

- Revisão Bibliográfica;
- Construção dos perfis da variação diurna para as componentes H, D e Z em Presidente Médice (11.2°S, 61.8°W), Alcântara (2.33°S, 44.42°W) e Ancon (11° 46.4' S, 77° 08.9' W) nos meses de setembro e outubro de 1994;
- Calcular S_R ($S_R(H) = SMA(H) - PST(H)$), para os três componentes do campo, usando os dados geomagnéticos de Santa Maria (29.44°S, 53.44°W), a partir dos dados obtidos no Campus da UFSM, e Port Stanley.





Segunda Fase: (Mar 2000 – Ago 2000)

- Fazer um estudo comparativo da variação nas componentes H, D e Z entre Presidente Médice, Alcântara e Ancon.
- Fazer um estudo comparativo de S_R com os dados obtidos em Presidente Médice, Alcântara e Ancon, para ver a contribuição, se existir, de S_R no EEJ.
- Procurar evidências das correntes alinhadas ao campo, entre os Hemisférios, pelo método sugerido por Fukushima (1993).
- Estudar a variação latitudinal e horária da variação diurna entre Porto Velho (8.8°S, 63.9°W) e Cuiabá (15.35°S, 56.05°W), a região de $\pm 5^\circ$ de latitude ao redor do equador magnético.





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.

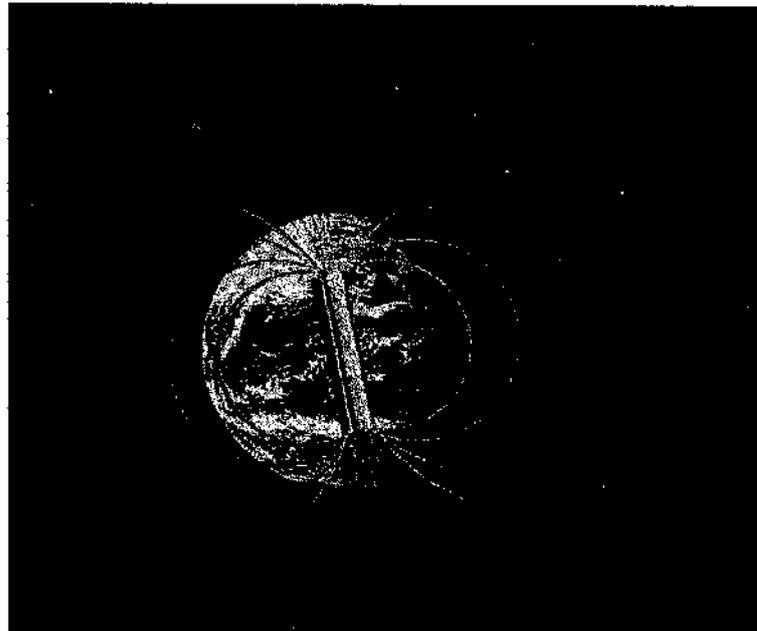


Figura 4 - Dipolo magnético colocado no centro da Terra e levemente inclinado em relação ao eixo de rotação. (Pinto e Gonzales, 1989)

O Campo Geomagnético não é estável, apresentando variações temporais e espaciais com amplitudes 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). Sendo que as variações seculares são as únicas com origem interna a Terra.



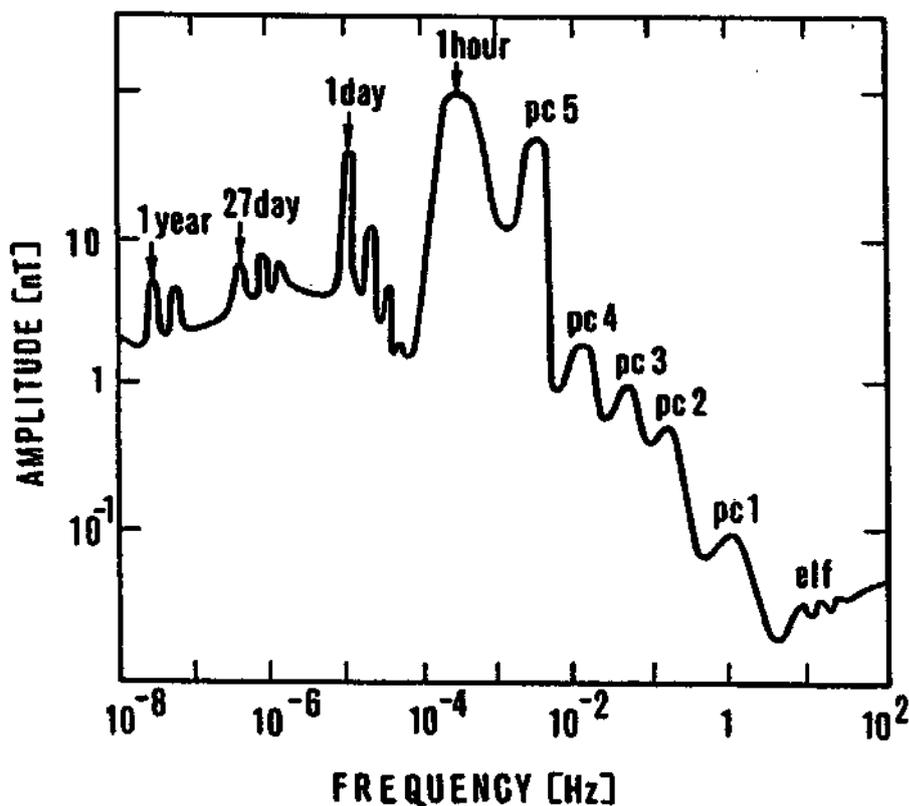


Figura 5 – Amplitude das variações naturais da componente horizontal H. (Serston, 1973)

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 (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 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 ions é alta o suficiente para afetar transmissões de ondas eletromagnéticas em rádio frequência.



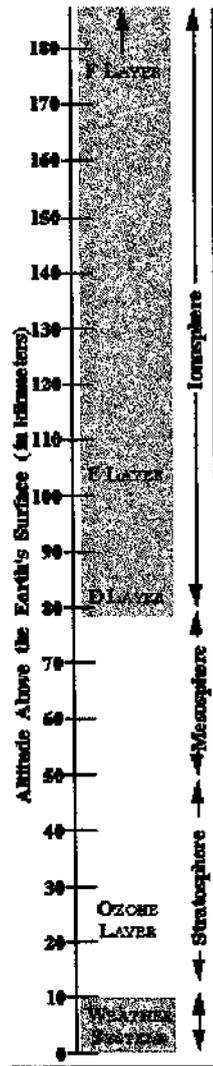


Figura 6 - Divisão da Ionosfera em suas respectivas camadas. (<http://www.seLnoaa.gov>)

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).

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 $S_R (\Delta H)$, ou simplesmente S_R .

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.

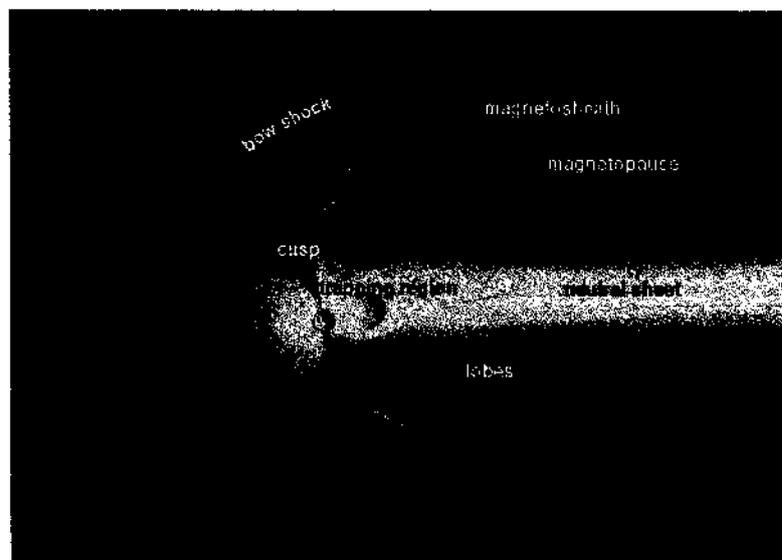


Figura 7 - Ilustração da Magnetosfera terrestre com suas principais regiões.
(<http://www.sel.noaa.gov>)

As pulsações geomagnéticas e os eventos transientes relacionam-se com interações complexas entre o vento solar e as camadas de plasma que

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





constituem a Magnetosfera e a Ionosfera terrestres. São geradas por flutuações na velocidade e densidade do vento solar que, em contato com a Magnetosfera, originam ondas hidromagnéticas. Essas ondas chegam até a Ionosfera guiadas pelas linhas de Campo Geomagnético, causam precipitação de partículas, intensificam as correntes ionosféricas e são modificadas nessa interação, transformando-se em ondas eletromagnéticas.

Samson (1991) dividiu as pulsações em dois tipos de pacotes de ondas:

- 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;
 - Pc6, período acima de 600 s.
- Pulsações Irregulares (Pi)
 - Pi1, período 1 a 40 segundos;
 - Pi2, período 40 a 150 s;
 - Pi3, período acima de 150 s.

No domínio da freqüência, dividiu também os tipos de pulsações em três categorias: baixa freqüência (1 – 10 mHz), média freqüência (10 mHz – 0,1 Hz) e alta freqüência (0,1 – 10 Hz).

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}

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





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.

Ao estudar a linha de demarcação entre os sistemas de corrente nos Hemisférios Norte e Sul, por meio dos dados mundiais obtidos em 1958, Price e Stone (1964) chegaram a seguinte conclusão: "Há evidência inconfundível que, durante os meses J (maio, Junho, Julho, Agosto, isto é, os meses de verão no Hemisfério Norte), os sistemas do Hemisfério Norte penetram profundamente no Hemisfério Sul no período da manhã, cruzando e recruzando os equadores geográfico e magnético. Há também evidência que os sistemas do Hemisfério Sul penetram no Hemisfério Norte, ainda que menos profundamente, no período da tarde. Ainda, há evidência de penetrações correspondentes, mas menores, durante os meses E (para equinócio, isto é, Março, Abril, Setembro e Outubro) e meses D (Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro, isto é, os meses de verão do Hemisfério Sul). Isto refuta a suposição algumas vezes feita que o Equador Magnético dip é sempre a fronteira entre os sistemas do Hemisfério Norte e do Hemisfério Sul."

Durante um longo tempo, as variações S_q foram atribuídas a correntes circulando na baixa Ionosfera no nível da camada E, na chamada "região dínamo", com uma altura de aproximadamente 100-120 Km acima da superfície da Terra. Ao estudar a dependência sazonal da variação S_q , viu-se que o equador magnético não é uma fronteira entre os sistemas de correntes





que circulavam nos Hemisférios Norte e Sul. Deveria haver uma corrente inter-hemisférica, responsável por essa dependência sazonal.

Um novo ponto de vista foi introduzido por Fukushima, ao atribuir a assimetria verão-inverno da variação S_q às correntes transequatoriais alinhadas ao campo, existentes entre os hemisférios. É muito mais fácil uma corrente fluir na Magnetosfera (meio aproximadamente sem colisão) do que na Ionosfera (meio em que as colisões dominam).

A dependência sazonal na declinação D em médias e baixas latitudes será atribuída a três correntes transequatoriais alinhadas ao campo (figura 8), uma de inverno para verão conectando os focos de corrente geomagnética S_q em médias latitudes, e um par de correntes alinhadas ao campo em baixas latitudes no período da manhã e da tarde com a direção do fluxo de verão para inverno e de inverno para verão, respectivamente.

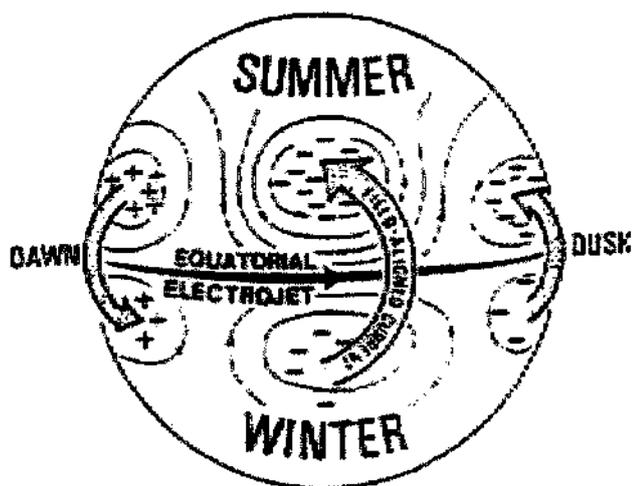


Figura 8 – Um modelo das três principais corrente inter-hemisféricas alinhadas ao campo na Magnetosfera em médias e baixas latitudes (Fukushima, 1991)

- **Correntes alinhadas ao campo em altas latitudes**

As correntes alinhadas com o campo em altas latitudes foram detectadas primeiro pelo satélite 1963-38C (Zmuda et al, 1966) segundo o gradiente espacial da componente leste-oeste do Campo Geomagnético detectado acima das zonas aurorais Norte e Sul. Algumas características





importantes das correntes alinhadas com o campo em altas latitudes foram reveladas a partir de estudos com outros satélites científicos, incluindo sua persistência e a sistemática dependência de sua direção sobre o tempo local, latitude, bem como a condição do vento solar.

- **Correntes alinhadas ao campo em médias latitudes**

Os vórtices de corrente S_q , presentes nos Hemisférios Norte e Sul, tem um potencial elétrico mínimo em seu foco, sendo o potencial elétrico mais negativo no Hemisfério em que é verão. Se os valores de potencial elétrico são diferentes entre um par conjugado de estações nos Hemisférios Norte e Sul, correntes alinhadas ao campo irão fluir imediatamente na Magnetosfera para cancelar ou ao menos reduzir a diferença de potencial entre os pontos conjugados (figura 9).

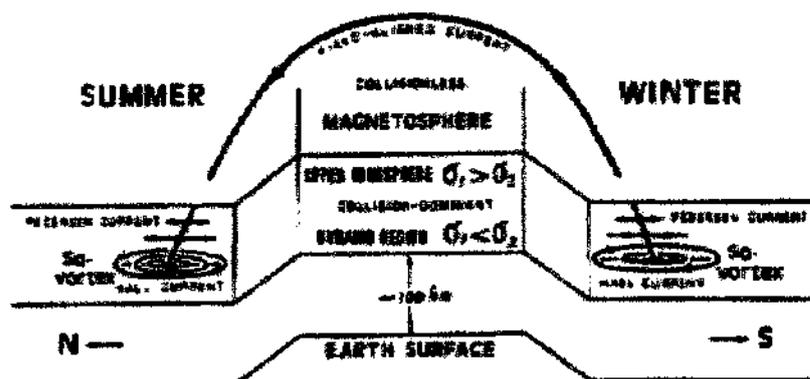


Figura 9 - Ilustração esquemática da corrente alinhada ao campo de inverno para verão entre os focos de corrente S_q nos Hemisférios Norte e Sul; sua corrente de retorno é a corrente de Pedersen na Ionosfera (Fukushima).

Portanto, as correntes inter-hemisféricas alinhadas ao campo em médias latitudes fluem do inverno para o verão a fim de cancelar ou pelo menos reduzir a diferença de potencial existente entre os dois Hemisférios.





- **Correntes alinhadas ao campo em baixas latitudes**

A existência de correntes alinhadas ao campo em baixas latitudes pode ser deduzida da análise de dados magnéticos, em particular da dependência sazonal da variação diurna na declinação magnética. A inversão sazonal da declinação é atribuída a um par de correntes inter-hemisféricas alinhadas ao campo na Magnetosfera em baixas latitudes, próximas ao meridiano do amanhecer e do anoitecer.





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 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.

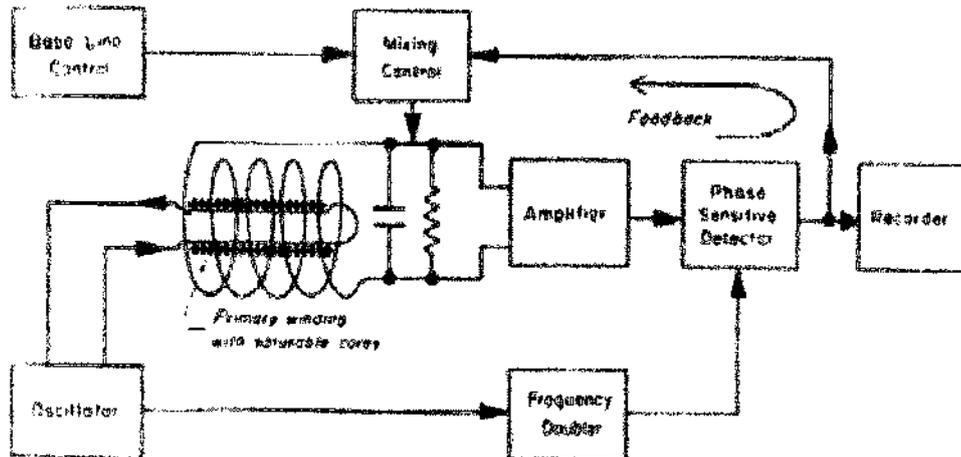


Figura 10 – Magnetômetro Fluxgate para medida direcional do Campo Geomagnético. (Campbell, 1997)





Com uma oscilação de excitação de aproximadamente 700 c/s, uma variação de $1-\gamma$, do campo ambiente, produz uma saída de aproximadamente 25 μV . Para medidas de sinais fracos, são utilizados dois núcleos em direções opostas no circuito de excitação, e uma bobina secundária cercanda 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 gamas e mostrar a leitura, calculando o Campo Geomagnético através da seguinte relação:

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



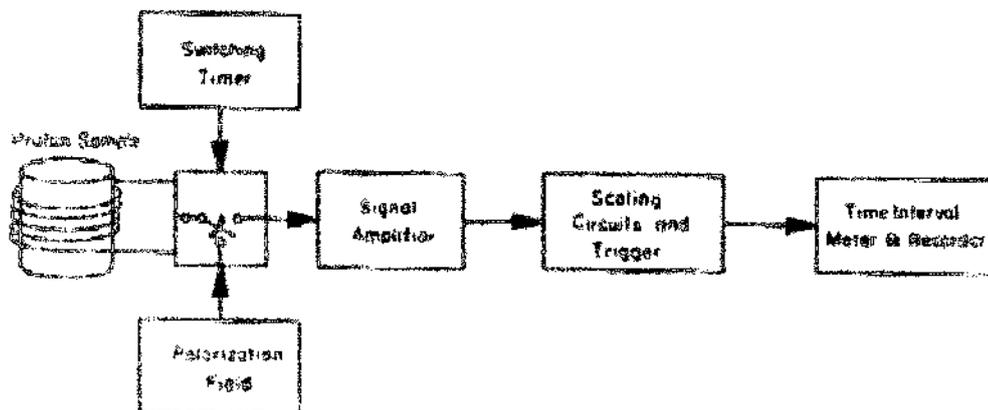


Figura 11 – Magnetômetro de próton para medida do Campo Geomagnético total. A bobina ao redor da amostra é utilizada para alinhar os prótons e detectar o período de precessão dos mesmos. (Campbell, 1997)



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 **Observações da Intensidade Total do Campo Geomagnético na Região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS**, na IV Jornada Integrada de Pesquisa Extensão e Ensino.
- Redigiu e apresentou o trabalho **Monitoramento do Campo Magnético Terrestre na Região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul Utilizando um Magnetômetro de Indução**, no XIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia.
- Redigiu e apresentou o trabalho **Variação do Campo em Períodos Calmos**, na XIII Jornada Acadêmica Integrada.
- Redigiu e apresentou o trabalho **Estudo das Variações do Tipo Sq no Campo Geomagnético na Região de Santa Maria**, no V Seminário de Iniciação Científica do INPE.
- Participou da palestra sobre Geomagnetismo intitulada **Geomagnetic Hole**, ministrada pelo Dr. **Kazuo Makita**, Professor Pesquisador da Takushoku University e do National Institute of Polar Research – Tóquio.
- Participou do seminário intitulado **Mecânica Newtoniana e Relatividade Geral**, ministrado pelo Dr. **Nilton Oscar Santos**, na época Pesquisador Titular do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq / Observatório Nacional – ON sendo que atualmente desenvolve pesquisas no CRSPE/INPE.
- Participou do seminário intitulado **Uma Introdução ao Estudo da Ionosfera Terrestre**, ministrado pelo Eng. **Clezio Marcos Denardini**.
- Participou do **Curso de Eletrônica Básica e Eletrônica Digital**, ministrado pelo Eng. **Clezio Marcos Denardini** e pelo Acadêmico **Adriano Sanick Padilha**.





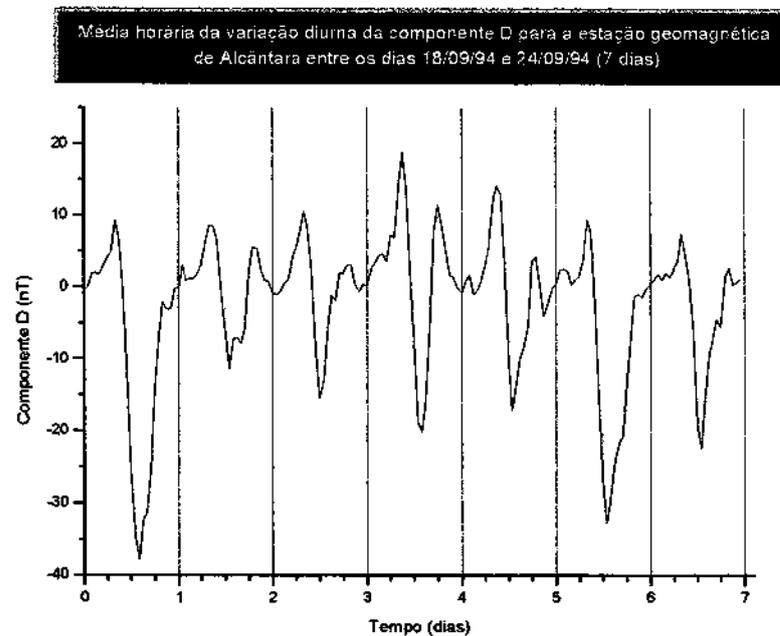
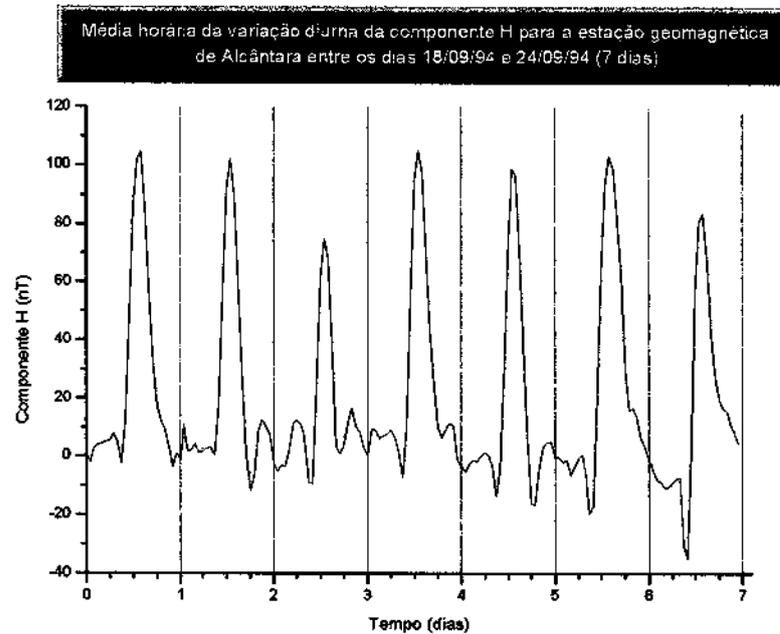
- Participou do seminário ***Relatividade Geral: Introdução, Equivalência e Limites***, ministrado pelo Professor da Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Dr. **Filipe de Moraes Paiva**.
- Participou do curso intitulado ***Noções de Computação Científica e Programação em Linguagem C***, ministrado pelo Acadêmico em Informática **Ricardo Luís Kulzer** e pelo Eng. Químico **Ezequiel Echer** e pelo Bacharel em Informática **Cezar Tadeu Pozzer**.
- Foi designado pelo Coordenador do Projeto Radioastronomia, para atuar em nível discente como responsável pelo PROGRAMA DE GEOMAGNETISMO, LABORATÓRIO DE GEOFÍSICA ESPACIAL – PROJETO RADIOASTRONOMIA, COOPERAÇÃO BRASIL – JAPÃO, CONVÊNIO: INPE – UFSM.
- Acompanhou diversas Missões Japonesas ao Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE, para a instalação e manutenção de equipamentos.
- Realizou visitas semanais ao Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE, para manutenção dos equipamentos.
- Realizou visitas técnicas ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, em São José dos Campos – SP.





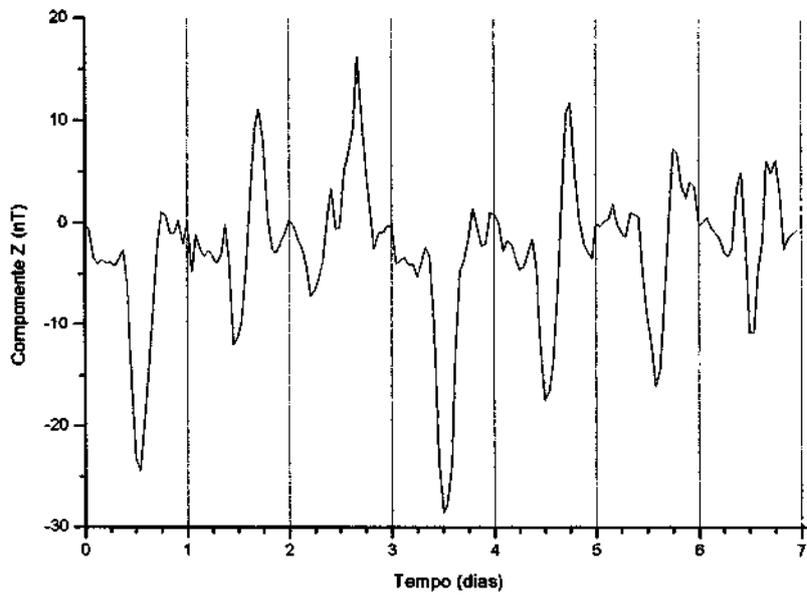
5. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Com base nos dados obtidos nas estações geomagnéticas já mencionadas, foram construídos os seguintes gráficos para a variação diurna das componentes do Campo Geomagnético:

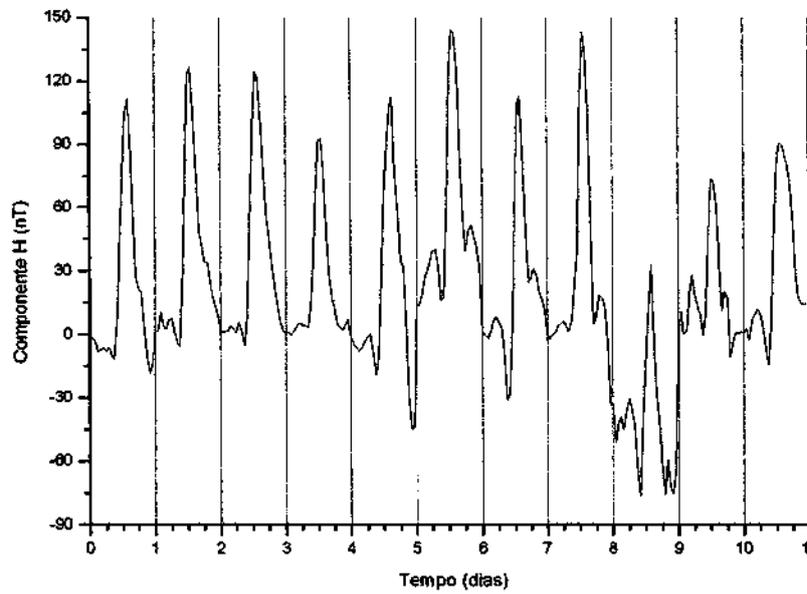




Média horária da variação diurna da componente Z para a estação geomagnética de Alcântara entre os dias 18/09/94 e 24/09/94 (7 dias)

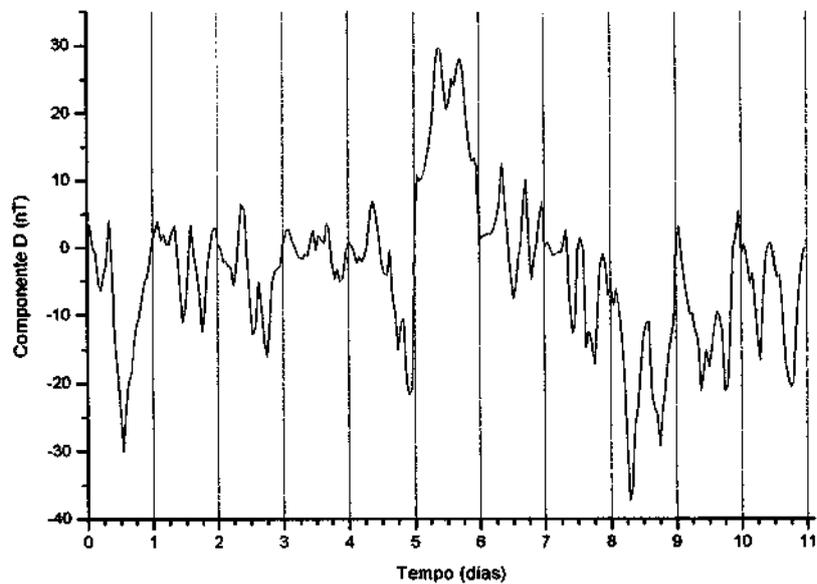


Média horária da variação diurna da componente H para a estação geomagnética de Alcântara entre os dias 15/10/94 e 25/10/94 (11 dias)

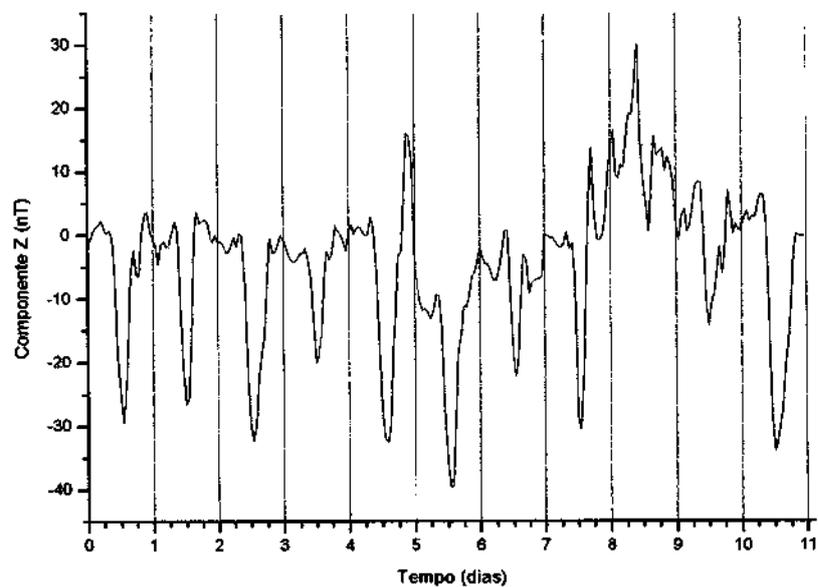




Média horária da variação diurna da componente D para a estação geomagnética de Alcântara entre os dias 15/10/94 e 25/10/94 (11 dias)

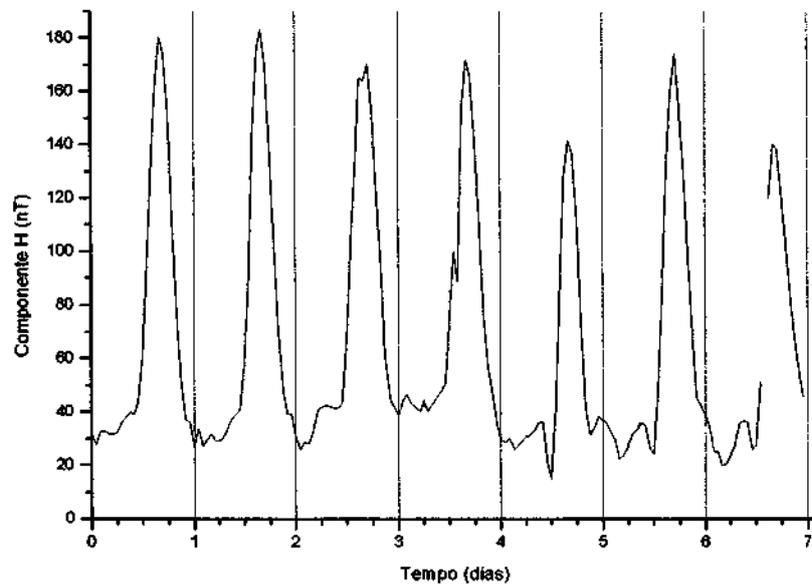


Média horária da variação diurna da componente Z para a estação geomagnética de Alcântara entre os dias 15/10/94 e 25/10/94 (11 dias)

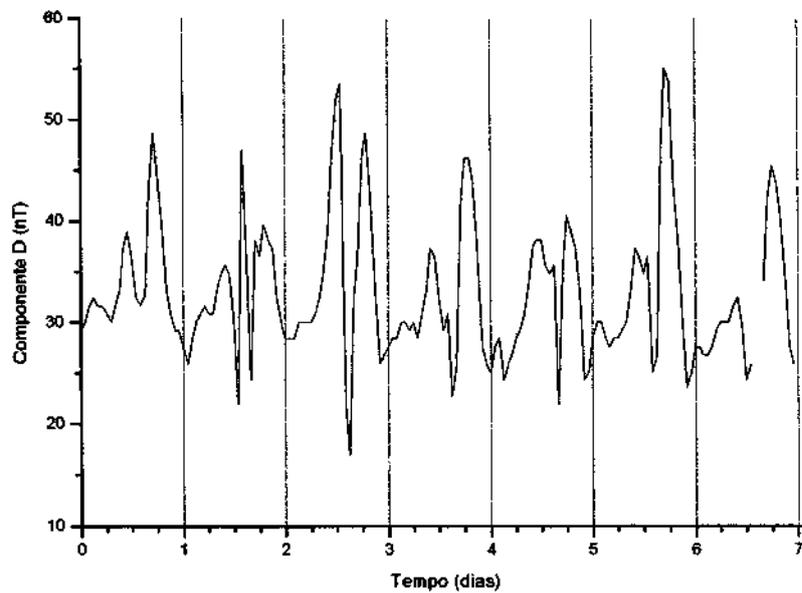




Média horária da variação diurna da componente H para a estação geomagnética de Ancon entre os dias 18/09/94 e 24/09/94 (7 dias)

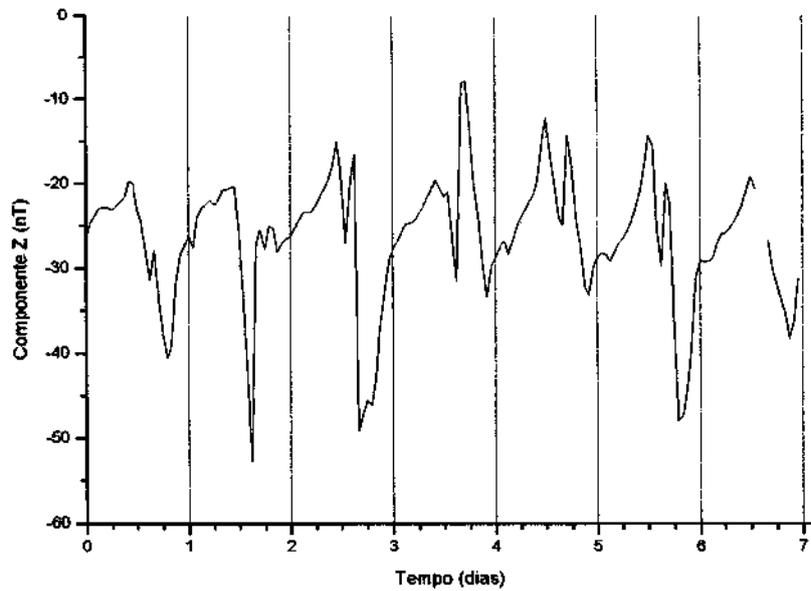


Média horária da variação diurna da componente D para a estação geomagnética de Ancon entre os dias 18/09/94 e 24/09/94 (7 dias)

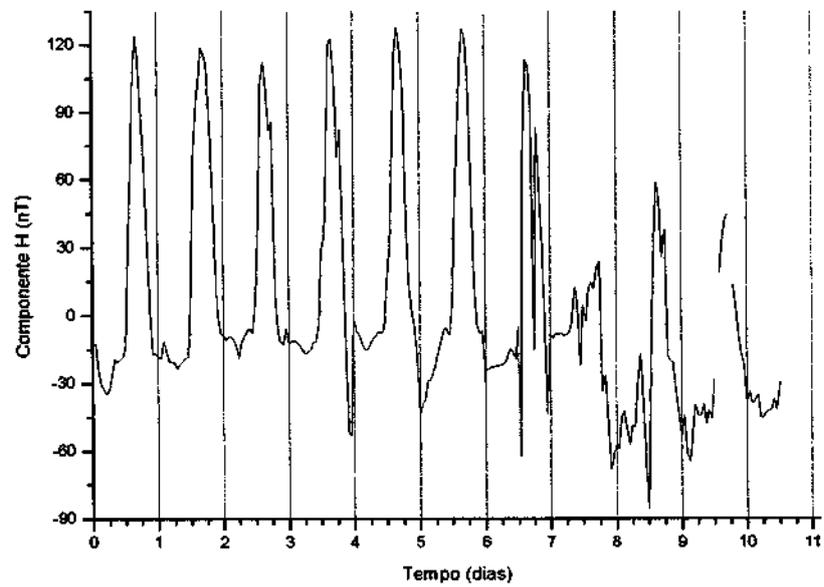




Média horária da variação diurna da componente Z para a estação geomagnética de Ancon entre os dias 18/09/94 e 24/09/94 (7 dias)

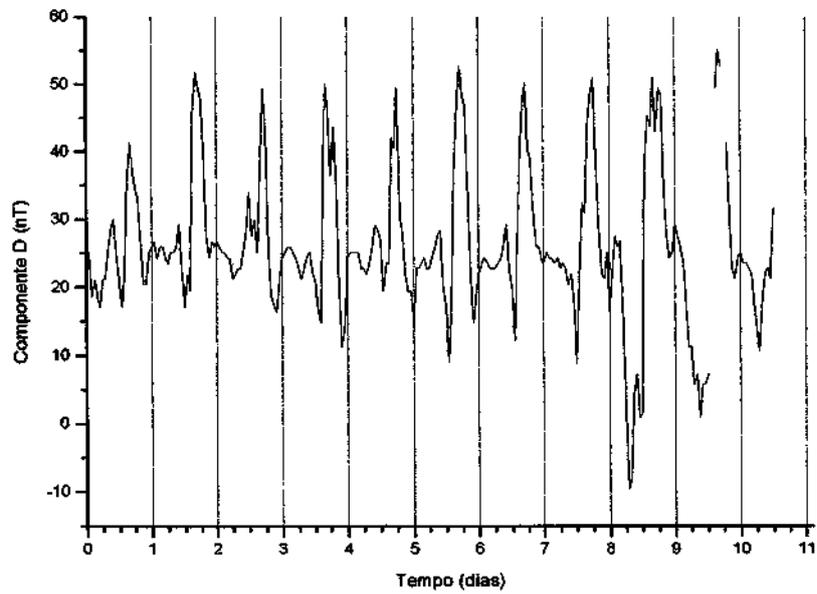


Média horária da variação diurna da componente H para a estação geomagnética de Ancon entre os dias 15/10/94 e 25/10/94 (11 dias)

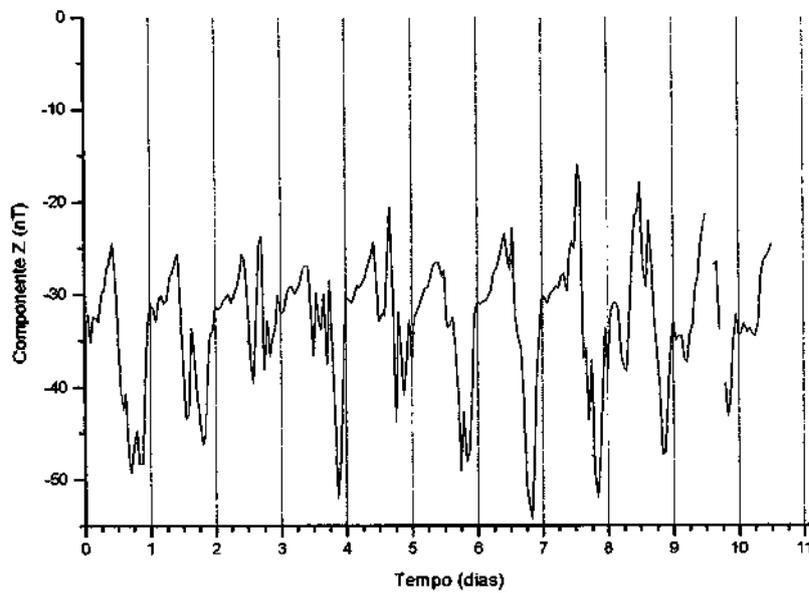




Média horária da variação diurna da componente D para a estação geomagnética de Ancon entre os dias 15/10/94 e 25/10/94 (11 dias)

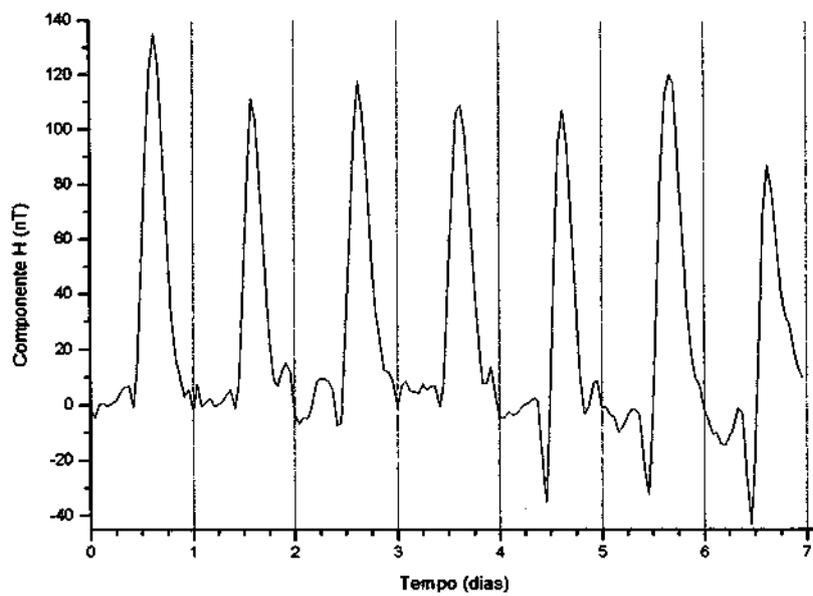


Média horária da variação diurna da componente Z para a estação geomagnética de Ancon entre os dias 15/10/94 e 25/10/94 (11 dias)

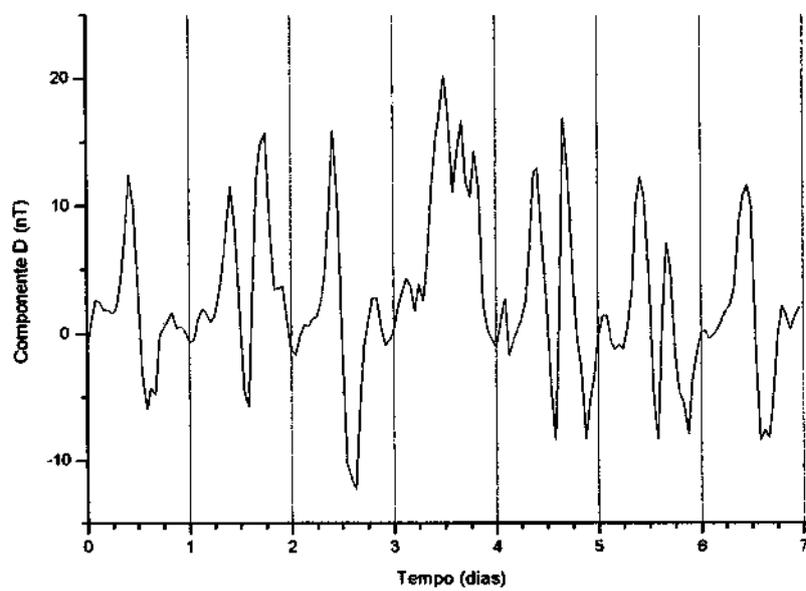




Média horária da variação diurna da componente H para a estação geomagnética de Presidente Médice entre os dias 18/09/94 e 24/09/94 (7 dias)

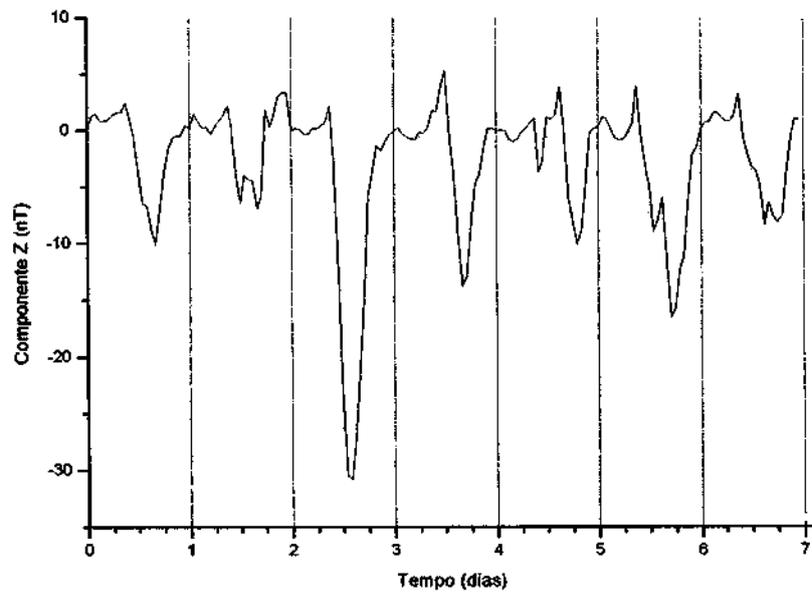


Média horária da variação diurna da componente D para a estação geomagnética de Presidente Médice entre os dias 18/09/94 e 24/09/94 (7 dias)

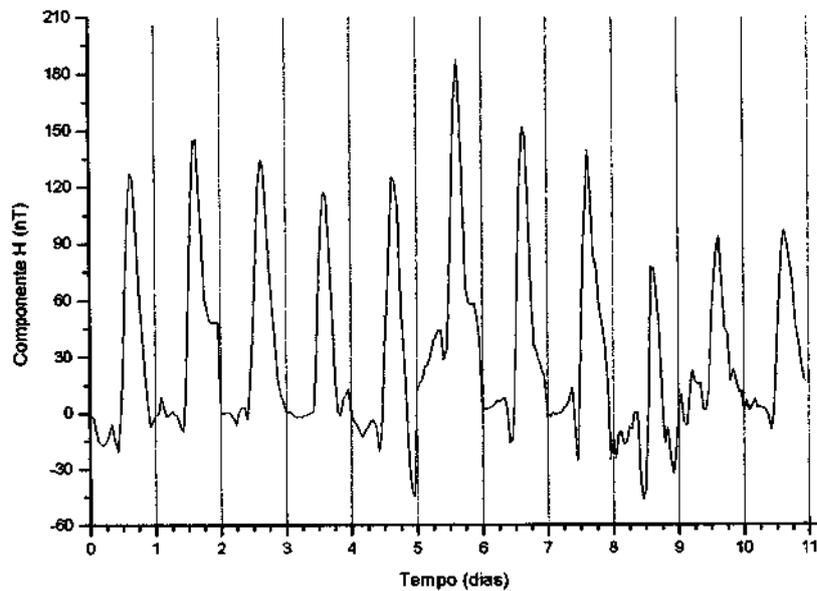




Média horária da variação diurna da componente Z para a estação geomagnética de Presidente Médice entre os dias 18/09/94 e 24/09/94 (7 dias)

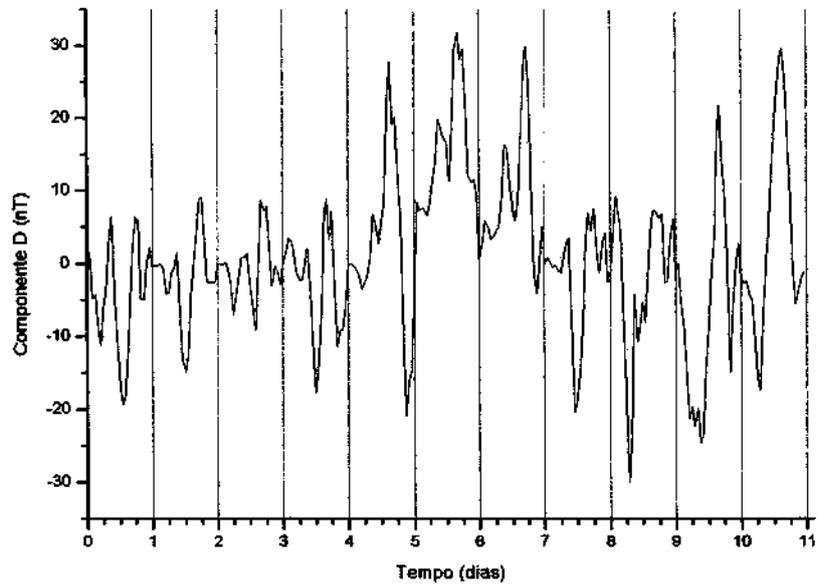


Média horária da variação diurna da componente H para a estação geomagnética de Presidente Médice entre os dias 15/10/94 e 25/10/94 (11 dias)

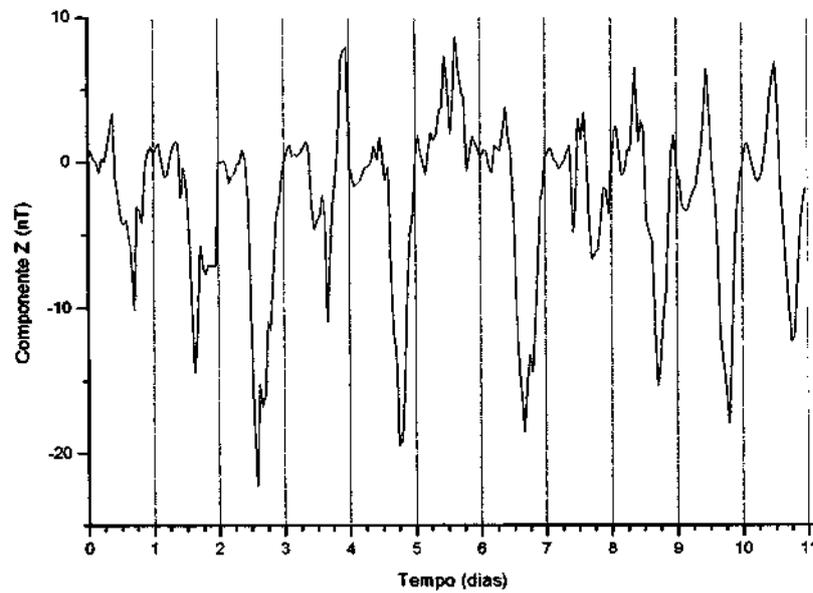




Média horária da variação diurna da componente D para a estação geomagnética de Presidente Médice entre os dias 15/10/94 e 25/10/94 (11 dias)

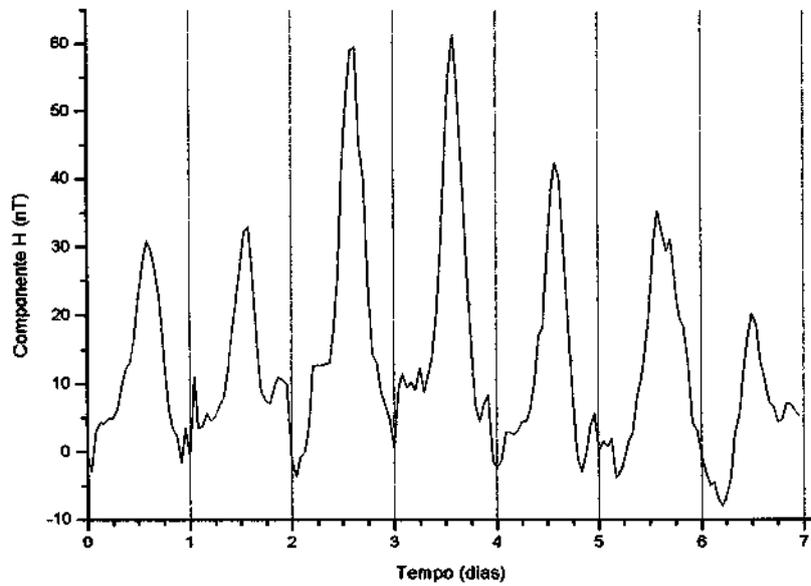


Média horária da variação diurna da componente Z para a estação geomagnética de Presidente Médice entre os dias 15/10/94 e 25/10/94 (11 dias)

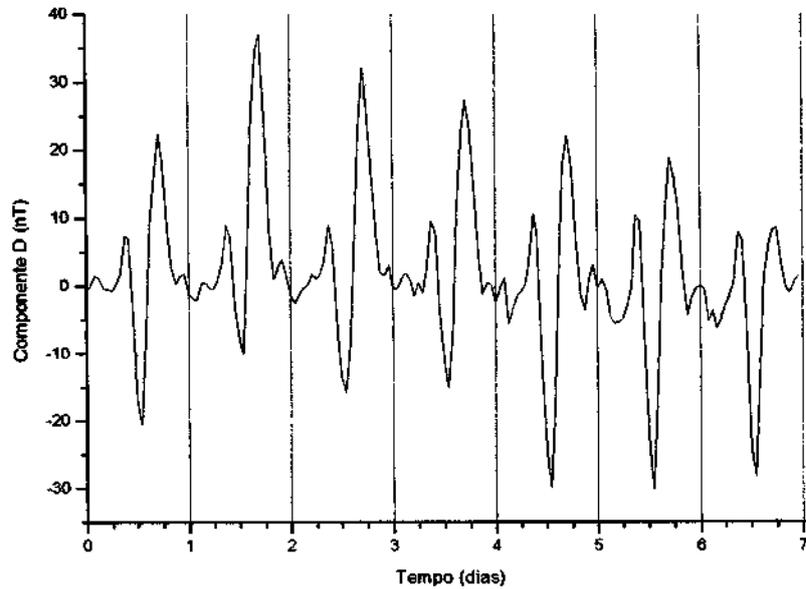




Média horária da variação diurna da componente H para a estação geomagnética de Santa Maria entre os dias 18/09/94 e 24/09/94 (7 dias)

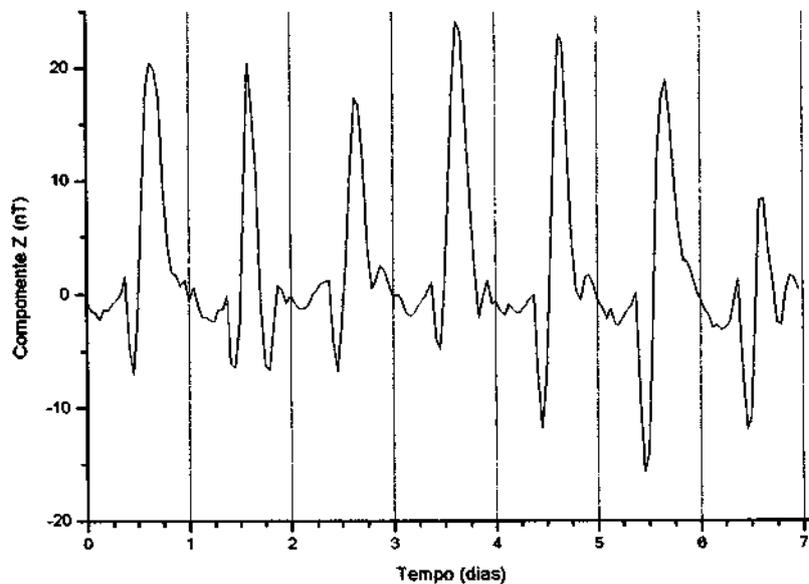


Média horária da variação diurna da componente D para a estação geomagnética de Santa Maria entre os dias 18/09/94 e 24/09/94 (7 dias)





Média horária da variação diurna da componente Z para a estação geomagnética de Santa Maria entre os dias 18/09/94 e 24/09/94 (7 dias)



Devido à complexidade dos gráficos obtidos para as componentes D e Z do Campo Geomagnético faremos, por hora, apenas uma análise qualitativa da componente H.

Para o período que vai de 18/09/94 até 24/09/94, podemos destacar:

- Todas as estações apresentam uma variação periódica com máximo próximo ao meio-dia local, demonstrando a influência da posição do Sol no aumento da intensidade das correntes que geram esse tipo de variação;
- A amplitude máxima da variação é maior para as estações próximas ao equador magnético de inclinação zero (Ancon, Presidente Médice e Alcântara) do que para as estações em maiores latitudes (Santa Maria), devido à presença do eletrojato equatorial;
- A amplitude máxima da variação em Ancon é maior do que em Presidente Médice e Alcântara, apontando a existência de uma variação longitudinal no eletrojato equatorial;
- Presidente Médice e Alcântara apresentam variações com polaridade





invertida nas primeiras horas da manhã no 5º, 6º e 7º dias e no 6º e 7º, respectivamente. Essa variação está associada, possivelmente, a presença de um contra eletrojato equatorial;

- Ocorreu uma redução na amplitude máxima, do 1º para o 2º dia, em Presidente Médice, que não é vista em Ancon e Alcântara. Existem outras variações na amplitude máxima, que não ocorrem simultaneamente nas três estações equatoriais, estando possivelmente associadas a efeitos locais.

Para o período que vai de 15/10/94 até 25/10/94, podemos destacar:

- Variações periódicas com máximo ao meio-dia local;
- Dependência latitudinal e longitudinal das variações;
- Indícios do contra eletrojato equatorial, não só nas primeiras horas da manhã como também nas primeiras horas da noite;
- Há uma inversão da polaridade das variações no 8º e 9º dias, nas estações de Ancon, Alcântara e Santa Maria.

Convém ressaltar novamente, que os dados analisados em Santa Maria foram obtidos durante o tempo em que o equipamento permaneceu instalado no Campus da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Atualmente, todos os equipamentos de medida do Campo Geomagnético encontram-se instalados no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE, em São Martinho da Serra – RS.





6. BIBLIOGRAFIA

- Briggs, B. H.**, *The variability of ionospheric dynamo currents*, Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics, vol. 46, N° 5, pp 419-429, 1984.
- Campbell, W. H.** *Introduction to Geomagnetic Fields*, Cambridge University Press, New York, 1997.
- Chapman, S.**, *The equatorial electrojet as detected from the abnormal electric current distribution about Huancayo, Peru and elsewhere*, Arch. Meteorol. Geophys. Bioklimatal, Ser. A, 4, 368, 1951.
- Cowling, T. G.**, *The electrical conductivity of an ionized gas in the presence of a magnetic field*, Mon. Not. R. Astron. Soc., 93, 90-98, 1933.
- Cowling, T. G., and R. Borger**, *Electric conductivity of the ionospheric D-region*, Nature, 162, 143, 1948.
- Egedal, J.**, *The magnetic diurnal variation of the horizontal force near the magnetic equator*, J. Geophys. Res., 52, 449, 1947.
- Egedal, J.**, *Daily variation of the horizontal magnetic force at the magnetic equator*, Nature, 161 443-444, 1948.
- Fukushima, N.**, *Field-aligned currents in the magnetosphere*, Geofísica Internacional, vol. 30, N° 4, pp. 241-248, 1991.
- Hibbert, F. H.**, Journal of Geophysics Research. 78, 2779, 1981.
- 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.
- Martyn, D. F.**, *Electric conductivity of the ionospheric D-region*, Nature, 162, 142-143, 1948.
- Pinto, Jr. O. e Gonzales W. D.** *Anomalia Magnética Brasileira*, Ciência Hoje, vol. 9, n° 52, 1989.
- Price, A. T. and D. J. Stone**, *The quiet-day magnetic variations during the IGY*, Annals of the IGY, 35, 63-269, 1964.





Samson, J. C., *Geomagnetic pulsations and plasma waves in the earth's magnetosphere*, Geomagnetism, Vol. 4, Academic Press, London, pp. 481-592, 1991.

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.

Serson, S. H.; *Instrumentation for induction studies on land*, Phys. Earth Planet Int., 7, 313-322, 1973.

Untiedt, J., *A model of the equatorial electrojet involving meridional currents*, J. Geophys. Res., 72, 5799-5810, 1967.

Zmuda, A. J., J. H. Martin and F. T. Heuring, *Transverse magnetic disturbances at 1100 kilometers in the auroral region*, J. Geophys. Res., 71, 5033-5045, 1966.

Foram utilizados os seguintes materiais não publicados:

Fukushima, N., *Interhemispheric field-aligned currents in the magnetosphere associated with the geomagnetic Sq field at middle and low latitudes*.





ANEXOS





**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA**

CERTIFICADO

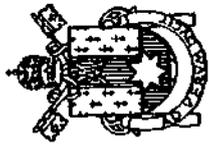
Certificamos que **JEAN CARLO SANTOS** participou da
IV JORNADA DE PESQUISA, EXTENSÃO E ENSINO, nos dias 8 e 9 de outubro de 1997,
com o trabalho:

***OBSERVACOES DA INTENSIDADE TOTAL DO CAMPO GEOMAGNETICO NA
REGIAO DA ANOMALIA MAGNETICA DO ATLANTICO SUL - AMAS***

Santa Maria, 9 de outubro de 1997.

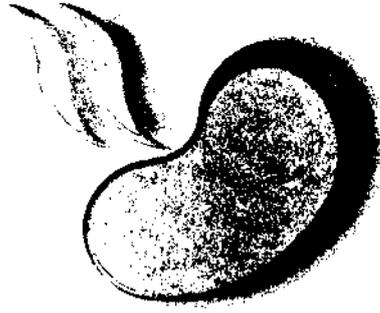
Ch. Ex. da Comissão Executiva

Comissão Executiva



PUCRS

ESCOLA POLITÉCNICA



CRICTE'97



ABENGE

Associação Brasileira
de Ensino de Engenharia
Núcleo - RS

Certificamos que

Jean Carlo Santos apresentou o trabalho “*Monitoramento do Campo Magnético Terrestre na Região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul Utilizando um Magnetômetro de Indução*.” e

participou do XIII CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA,
realizado no período de 08 a 10 de outubro de 1997, na Escola Politécnica
da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 10 de outubro de 1997

Eduardo Guglielmi

DIRETOR DA ESCOLA POLITÉCNICA

Mára Lúcia Fernandes Carneiro
COORDENADORA GERAL DO CRICTE'97

XIII JORNADA XIII ACADÊMICA INTEGRADA

CERTIFICADO

Certificamos que

JEAN CARLO SANTOS
participou da **XIII Jornada Acadêmica Integrada**,
realizada no dia 16 de dezembro de 1998,
como apresentador do trabalho:
Variação do Campo em Períodos Calmos



Comissão Executiva
Santa Maria, 16 de dezembro de 1998.

Ministério da Educação e do Desporto
Universidade Federal de Santa Maria



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA - PIBIC/CNPq

Conferimos o presente Certificado a JEAN CARLO SANTOS por sua participação com o trabalho intitulado ESTUDO DAS VARIAÇÕES DO TIPO SQ NO CAMPO GEOMAGNÉTICO NA REGIÃO DE SANTA MARIA sob a orientação de Dr. Nalin Babulal Trivedi e Dr. Nelson Jorge Schuch no V Seminário de Iniciação Científica do INPE (V SICINPE), realizado em São José dos Campos, S.P., no período de 01 e 02 de julho de 1999.

São José dos Campos, 02 de julho de 1999.

Dr. Mário César Ricci
Presidente do CIBIC/INPE

Ministério da Educação e do Desporto
Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria

CERTIFICADO

Certificamos que o Sr. Jean Carlo Santos participou da Palestra sobre Geomagnetismo intitulada **Geomagnetic Hole**, ministrada pelo Dr. **Kazuo Makita**, Professor Pesquisador da Takushoku University e do National Institute of Polar Research - Tóquio, instituições participantes da Cooperação Brasil/Japão em Ciências Espaciais Básicas, realizado no LACESM, no dia 14 de agosto de 1997.

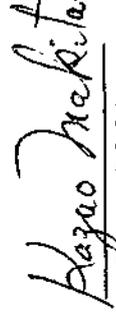
Santa Maria, 14 de agosto de 1997.



Nelson Jorge Schuch
Coordenador Geral



Francisco Amaral Wendt
Diretor do LACESM



Kazuo Makita
Ministrante

Ministério da Educação e do Desporto
Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria

CERTIFICADO

Certificamos que o Sr. Jean Carlo Santos participou do Seminário intitulado
MECÂNICA NEWTONIANA E RELATIVIDADE GERAL, ministrado pelo Dr.
Nilton Oscar Santos, Pesquisador Titular do Conselho Nacional de Desenvolvimento
Científico e Tecnológico - CNPq / Observatório Nacional - ON, realizado no LACESM,
no dia 14 de janeiro de 1998.

Santa Maria, 15 de janeiro de 1998.



Dr. Nelson Jorge Schuch
Coordenador



Prof. Francisco Amaral Wendt
Diretor do LACESM

Ministério da Educação e do Desporto
Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria

VEREJUBO

Certificamos que o Sr. Jean Carlo Santos participou do Seminário intitulado
UMA INTRODUÇÃO AO ESTUDO DA IONOSFERA TERRESTRE, com
duração de 4 horas, ministrado pelo Eng. Clezio Marcos Denardini, realizado no
LACESM, no dia 19 de setembro de 1997.

Santa Maria, 23 de janeiro de 1998.



Dr. Nelson Jorge Schuch
Coordenador



Prof. Francisco Amaral Wendt
Diretor do LACESM

Ministério da Educação e do Desporto
Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria

CERTIFICADO

Certificamos que o Acadêmico Jean Carlo Santos participou do *Curso de Eletrônica Básica e Eletrônica Digital*, com duração de 40 horas, ministrado pelo Eng. Clezio Marcos Denardini e pelo Acadêmico Adriano Sanick Padilha realizado no LACESM, em Janeiro de 1998.

Santa Maria, 04 de agosto de 1998.



Dr. Nelson Jorge Schuch
Coordenador



Prof.ª Damaris Kirsch Pinheiro
Diretora Substituta do LACESM

Ministério da Educação e do Desporto
Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria

CERTIFICADO

Certificamos que o Acadêmico Jean Carlo Santos participou do Seminário *Relatividade Geral : Introdução , Equivalência e Limites*, ministrado pelo Professor da Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Dr. Filipe de Moraes Paiva, realizado no Auditório Pêrsio Reis do Centro de Tecnologia, no dia 20 de agosto de 1998.

Santa Maria, 21 de agosto de 1998.



Dr. Nelson Jorge Schuch
Coordenador



Prof.ª Damaris Kirsch Pinheiro
Diretora Substituta do LACESM

Ministério da Educação e do Desporto
Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria

CERTIFICADO

Certificamos que o Sr. Jean Carlo Santos participou do Curso intitulado *Noções de Computação Científica e Programação em Linguagem C*, ministrado pelo Acadêmico em Engenharia Elétrica Ricardo Luis Kulzer, pelo Eng. Químico Ezequiel Echer e pelo Bacharel em Informática Cezar Tadeu Pozzer, realizado no LACESM, no período de 06 de janeiro/98 a 06 de fevereiro de 1998, totalizando 50 horas de curso.

Santa Maria, 26 de novembro de 1998.



Dr. Nelson Jorge Schuch
Coordenador



Prof. Norberto U. V. Oliveira
Diretor do LACESM

**LABORATÓRIO DE CIÊNCIAS ESPACIAIS DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
UFSM**

COMUNICAÇÃO INTERNA

O Coordenador do Projeto Radioastronomia designa o acadêmico do Curso de Física do Centro de Ciências Naturais e Exatas da UFSM,

JEAN CARLO SANTOS

para atuar em nível discente como

RESPONSÁVEL

pelo:

**PROGRAMA DE GEOMAGNETISMO
LABORATÓRIO DE GEOFÍSICA ESPACIAL - PROJETO RADIOASTRONOMIA,
COOPERAÇÃO BRASIL - JAPÃO, CONVÊNIO: INPE - UFSM.**

Santa Maria, 27 de Abril de 1998.

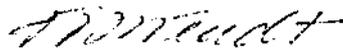


Nelson Jorge Schuch

Coordenador do Projeto RA/IPS

Convênios: FINEP-UFSM, MCT/INPE-UFSM

Ciente:



Prof. Francisco Amaral Wendt
Diretor do LACESM