



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

ESTUDO DA ELETRODINÂMICA DA IONOSFERA BASEADO EM DADOS DE RADARES COERENTES E SONDAADORES DIGITAIS

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
PIBIC/INPE - CNPq/MCT**

PROCESSO: 101088/2007-8

César Augusto Daroit – Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT
Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais
CRS/CIE/INPE – MCT
E-mail: cezar@lacesm.ufsm.br

Dr. Mangalathayil Ali Abdu – Orientador
Divisão de Aeronomia
DAE/CEA/INPE – MCT
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INPE – MCT
E-mail: maabdu@dae.inpe.br

Santa Maria, Junho de 2008

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO
PROGRAMA: PIBIC/INPE – CNPq/MCT

PROJETO

ESTUDO DA ELETRODINÂMICA DA IONOSFERA BASEADO EM
DADOS DE RADARES COERENTES E SONDADORES DIGITAIS

PROCESSO 101088/2007-8

Relatório elaborado por Cézar Augusto Daroit relatando as atividades
executadas por:

Cézar Augusto Daroit – Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT
E-mail: cezar@lacesm.ufsm.br

Dr. Mangalathayil Ali Abdu – Orientador
Divisão de Aeronomia – DAE/CEA/INPE – MCT
E-mail: maabdu@dae.inpe.br

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

Dr. Clezio Marcos Denardin – Co-Orientador
Divisão de Aeronomia – DAE/CEA/INPE – MCT
E-mail: denardin@dae.inpe.br

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

Título: ESTUDO DA ELETRODINÂMICA DA IONOSFERA BASEADO EM DADOS DE RADARES COERENTES E SONDADORES DIGITAIS

Processo CNPq Nº: 101088/2007-8

Bolsista:

César Augusto Daroit
Curso de Engenharia Elétrica
Centro de Tecnologia – CT/UFSM
Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

Orientador:

Dr. Mangalathayil Ali Abdu
Divisão de Aeronomia – DAE/CEA/INPE – MCT
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT

Co-Orientadores:

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

Dr. Clezio Marcos Denardin
Divisão de Aeronomia – DAE/CEA/INPE – MCT

Colaboradores:

Henrique Carlotto Aveiro
Mestrando do Curso de Geofísica Espacial – INPE/MCT

Lílian Piecha Moor
Acadêmica do Curso de Física – UFSM.

Thiago Jaskulski
Acadêmico de Engenharia Elétrica – UFSM

Juliano Moro
Acadêmico do Curso de Física – UFSM

Josemar de Siqueira
Acadêmico do Curso de Física – UFSM

Antonio Marcos Martins Silveira
Acadêmico do Curso de Física – UFSM

Local de Trabalho/Execução do projeto:

Laboratório Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre –
LSIANT/CRS/CIE/INPE – MCT

Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE – MCT

Trabalho desenvolvido no âmbito do Convênio INPE – UFSM, através do
Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT - UFSM.



Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil

Grupo de Pesquisa
Clima Espacial, Magnetosferas: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br



Identificação	Recursos Humanos	Linhas de Pesquisa	Indicadores do Grupo
-------------------------------	----------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------

Identificação

Dados básicos

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

Status do grupo: **certificado pela instituição**

Ano de formação: 1996

Data da última atualização: 18/06/2008 16:08

Líder(es) do grupo: Nelson Jorge Schuch - nelson.schuch@pq.cnpq.br
Ademar Michels - michels@ct.ufsm.br

Área predominante: Ciências Exatas e da Terra; Geociências

Instituição: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Órgão: Coordenação de Gestão Científica - CIE

Unidade: Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS

Endereço

Logradouro: Caixa Postal 5021

Bairro: Camobi

CEP: 97110970

Cidade: Santa Maria

UF: RS

Telefone: 33012026

Fax: 33012030

E-mail: njschuch@lasesm.ufsm.br

Home page: <http://>

Repercussões dos trabalhos do grupo

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

Recursos humanos		
Pesquisadores		Total: 32
Ademar Michels	Jean Carlo Santos	
Alan Prestes	Jean Pierre Raulin	
Alicia Luisa Clúa de Gonzalez	Joao Paulo Minussi	
Alisson Dal Lago	Jose Humberto Andrade Sobral	
Antonio Claret Palerosi	Mangalathayil Ali Abdu	
Barclay Robert Clemesha	Marcelo Barcellos da Rosa	
Clezio Marcos De Nardin	Nalin Babulal Trivedi	
Cristiano Max Wrasse	Natanael Rodrigues Gomes	
Delano Gobbi	Nelson Jorge Schuch	
Eurico Rodrigues de Paula	Odim Mendes Junior	
Ezequiel Echer	Osmar Pinto Junior	
Fabiano Luis de Sousa	Otavio Santos Cupertino Durão	
Fábio Augusto Vargas dos Santos	Petrônio Noronha de Souza	
Fernando Luís Guarnieri	Polinaya Muralikrishna	
Hisao Takahashi	Severino Luiz Guimaraes Dutra	
Ijar Milagre da Fonseca	Walter Demetrio Gonzalez Alarcon	
Estudantes		Total: 29
Alan Carlos Klein	Juliano Moro	
Antonio Marcos Martins Silveira	Lilian Piecha Moor	
Bernardo Henz	Lorenzo Marzari Félix	
Carlos Roberto Braga	Lucas Lopes Costa	
Cassio Espindola Antunes	Marcos Vinicius Dias Silveira	
César Augusto Daroit	Mateus Sabadi Schuh	
Cristiano Sarzi Machado	Nikolas Kemmerich	
Eduardo Ceretta Dalla Favera	Rafael Lopes Costa	
Fabrício Deives Kummer	Samuel Martins da Silva	
Fernando de Souza Savian	Silvano Lucas Prochnow	
Guilherme Simon da Rosa	Tardelli Ronan Coelho Stekel	
Igor Freitas Fagundes	Tiago Domingos dos Santos	
Jean Carlos Daroit	Tiago Jaskulski	
Jose Fernando Thuorst	Willian Rigon Silva	
Josemar de Siqueira		
Técnicos		Total: 5
Anderson Pereira Colvero - Ensino Profissional de nível técnico - Técnico em Eletrônica		
Eduardo Ceretta Dalla Favera - Ensino Profissional de nível técnico - Técnico em Computação		
Koiti Ozaki - Especialização - Analista de Sistemas		
Roben Castagna Lunardi - Graduação - Técnico em Computação		
Vinicius Ceregati Costa - Graduação - \Outra Função		

Linhas de pesquisa	Total: 4
AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL NANOSATC-BR	

Indicadores de recursos humanos do grupo	
Integrantes do grupo	Total
Pesquisador(es)	32
Estudante(s)	29
Técnico(s)	5



Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



Linha de Pesquisa

AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA

Linha de pesquisa

AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA

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

Palavras-chave: Aeronomia/Aeroluminescência-Fotômetros/Imageadores; Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS; Eletrojato Equatorial; Interações Sol - Terra; Ionosfera - Digisonda - Radares; Mesosfera - Radares - Rastros Meteoricos;

Pesquisadores:

[Barclay Robert Clemesha](#)
[Clezio Marcos De Nardin](#)
[Cristiano Max Wrasse](#)
[Delano Gobbi](#)
[Eurico Rodrigues de Paula](#)
[Fábio Augusto Vargas dos Santos](#)
[Hisao Takahashi](#)
[Jean Pierre Raulin](#)
[Mangalathayil Ali Abdu](#)
[Marcelo Barcellos da Rosa](#)
[Nelson Jorge Schuch](#)
[Polinaya Muralikrishna](#)

Estudantes:

[Antonio Marcos Martins Silveira](#)
[Cézar Augusto Daroit](#)
[Cristiano Sarzi Machado](#)
[Eduardo Ceretta Dalla Favera](#)
[Juliano Moro](#)
[Lilian Piecha Moor](#)
[Mateus Sabadi Schuh](#)
[Tiago Domingos dos Santos](#)

Árvore do conhecimento:

Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Aeronomia;
Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Interações Sol - Terra;
Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Geofísica Espacial;

Setores de aplicação:

Aeronáutica e espaço

Objetivo:

Aeronomia dos fenômenos físicos, químicos e dinâmica da Atmosfera observando com radares, imageadores, fotômetros e aeroluminescência (perfis de ventos) das ondas atmosféricas: planetárias, de gravidade e marés atmosféricas; Pesquisas com radares e digisonda da dinâmica da Troposfera, Estratosfera, Ionosfera e Alta Atmosfera, investigando o acoplamento vertical e transporte de energia do Sistema Atmosfera-Ionosfera na Região Sul Brasileira. Vice-Líder: Marcelo Barcellos da Rosa.

“Uma vida não questionada não merece ser vivida”
(Platão)

*A meus pais,
JOSÉ CARLOS DAROIT e
MATILDA MARTINS PINTO DAROIT.*

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão da Bolsa de Iniciação Científica. Ao Coordenador do Programa PIBIC/INPE - CNPq/MCT pela oportunidade de estar em contato com o mundo científico.

Ao meu orientador de Projeto de Pesquisa Dr. Mangalathayil Ali Abdu, Pesquisador Titular do DAE/CEA/INPE - MCT, em São José dos Campos, SP, pela atenção que dedicou durante este trabalho.

Em especial aos Pesquisadores Dr. Clezio Marcos De Nardin, Pesquisador Adjunto do DAE/CEA/INPE - MCT, em São José dos Campos, SP, pelo apoio, idéias compartilhadas, pelas correções às vezes fora do seu horário de trabalho, e ao Dr. Nelson Jorge Schuch, Pesquisador do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, em Santa Maria, pela leitura e pelas conversas sobre a vida.

Ao aluno Tiago Jaskulski, estudante do curso de Engenharia Elétrica, Lílian Piecha Moor e Juliano Moro, estudantes do Curso de Física da Universidade Federal de Santa Maria no âmbito da Parceria INPE-UFSM e ao Aluno Henrique Carlotto Aveiro, mestrando do Curso de Geofísica Espacial, INPE, pela amizade, discussões e sugestões para este Relatório.

Por fim, aos meus pais, José Carlos Daroit e Matilda Martins Pinto Daroit, e meu irmão, Jean Carlos Daroit, pelo apoio, ensinamentos, consolo e principalmente o amor que sempre ofereceram.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	14
CAPÍTULO 1.....	17
INTRODUÇÃO	17
CAPÍTULO 2.....	18
O SOL E SUAS INFLUÊNCIAS INTERPLANETÁRIAS	18
2.1 – O SOL	18
2.1.1 – ESTRUTURA SOLAR.....	19
2.1.1.1 – Núcleo solar.....	19
2.1.1.2 – Zona radioativa.....	19
2.1.1.3 – Zona de convecção	19
2.1.2 – ATMOSFERA SOLAR.....	20
2.1.2.1 – Fotosfera	20
2.1.2.2 – Cromosfera	20
2.1.2.3 – Coroa solar.....	20
2.2 – FENOMENOLOGIA SOLAR	21
2.2.1 – MANCHAS SOLARES.....	21
2.2.2 – VENTO SOLAR.....	22
2.2.3 – EJEÇÕES CORONAIS DE MASSA (CME).....	23
2.2.4 – EXPLOSÕES SOLARES - <i>FLARES</i>	24
2.2.5 – REGIÕES DE INTERAÇÃO CORONAL - CIR.....	25
2.3 – ATIVIDADE SOLAR.....	25
2.4 – TEMPESTADE MAGNÉTICA.....	27
2.5 – ÍNDICES DE ATIVIDADE MAGNÉTICA	28
CAPÍTULO 3.....	32
A IONOSFERA TERRESTRE	32
3.1 – IONOSFERA TERRESTRE	32
3.2 – FORMAÇÃO DA IONOSFERA.....	33
3.2.1 – PRODUÇÃO IÔNICA	33
3.2.2 – PERDA DE IONIZAÇÃO	34
3.3 – REGIÕES IONOSFÉRICAS	35
3.3.1 – REGIÃO D	35
3.3.2 – REGIÃO E.....	36
3.3.3 – REGIÃO E ESPORÁDICA	36
3.3.4 – REGIÃO F	37
3.3.4.1 – Camada F_1	37
3.3.4.2 – Camada F_2	37
3.4 – FENÔMENOS IONOSFÉRICOS	38
3.4.1 – TEORIA DO DÍNAMO ATMOSFÉRICO.....	38
3.4.2 – ELETROJATO EQUATORIAL	39
CAPÍTULO 4.....	40
O RADAR DE ESPALHAMENTO COERENTE (RESCO)	40
4.1.1 – FREQUÊNCIA	40
4.1.2 – SISTEMA PULSADO.....	40
4.1.3 – LARGURA DE PULSO E POTÊNCIA DE TRANSMISSÃO	41

4.1.4 – FREQUÊNCIA DE REPETIÇÃO DE PULSOS (PRF).....	41
4.1.5 – PROCESSAMENTO E AQUISIÇÃO DE DADOS.....	41
4.1.6 – ESPECIFICAÇÕES	42
4.2 – O SISTEMA DO RADAR RESCO	42
4.2.1 – SISTEMA DE ANTENAS	42
4.2.2 – SISTEMA DE TRANSMISSÃO.....	43
4.2.3 – SISTEMA DE RECEPÇÃO.....	44
4.2.4 – SISTEMA DE CONTROLE	45
CAPÍTULO 5.....	46
DIGISSONDA E MAGNETÔMETROS.....	46
5.1 – DIGISSONDA.....	46
5.2 – MAGNETÔMETROS	47
5.2.1 – MAGNETÔMETRO DO TIPO <i>FLUXGATE</i>	49
CAPÍTULO 6.....	50
ATIVIDADES DESENVOLVIDAS EM SANTA MARIA, RS,	50
PARCERIA INPE - UFSM NO PROGRAMA PIBIC / INPE – CNPQ / MCT	50
6.1 – REVISÃO TEÓRICA	50
6.2 – MONITORAMENTO DOS ÍNDICES MAGNÉTICOS	51
6.2.1 – ARQUIVAMENTO DE DADOS.....	51
6.3 – IDENTIFICAÇÃO DE ASSINATURAS DE TEMPESTADES MAGNÉTICAS E ESTATÍSTICA RELACIONADA	51
6.3.1 – METODOLOGIA	51
6.3.2 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	55
6.4 – ESTUDO COMPARATIVO PARA PERÍODOS MAGNETICAMENTE CALMOS UTILIZANDO DADOS DE MAGNETÔMETROS.....	63
6.4.1 – METODOLOGIA	63
6.4.2 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	64
6.5 – COMPARAÇÃO DE MAPAS IONOSFÉRICOS TIPO RTI OBTIDOS POR ANÁLISE ESPECTRAL E POR AUTO-CORRELAÇÃO PARA PERÍODOS CALMOS.....	67
6.5.1 – METODOLOGIA	67
6.5.2 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	70
CAPÍTULO 7	75
CONCLUSÕES.....	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
APÊNDICE A	79
CERTIFICADOS QUE A BOLSISTA FOI O AUTOR E/OU APRESENTADOR	79

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Fig. 2.1 – Estrutura e atmosfera solar.....	21
Fig. 2.2 – Seção transversal norte-sul da cavidade geográfica e do fluxo de plasma através do vento solar e a formação da magnetopausa.....	23
Fig. 2.3 – Ejeção de Massa Coronal.....	24
Fig. 2.4 – Explosões solares.	25
Fig. 2.5 – Variação do número de manchas solares (<i>sunspots</i>) de janeiro de 94 a janeiro de 2008.	26
Fig. 2.6 – Fases de uma tempestade magnética.....	28
Fig. 2.7 – Variação do índice Dst para o mês de março de 2007.	29
Fig. 2.8 – Variação do índice Kp para os dias 4, 5, 6 e 7 de abril de 2008.	30
Fig. 2.9 – Variação do índice AE (AU e AL) para o período de 6 a 10 de julho de 2000.	31
Fig. 3.1 – Classificação da Atmosfera neutra e da Atmosfera ionizada terrestre.....	32
Fig. 3.2 – A localização das três camadas ionosféricas.....	35
Fig. 3.3 – Formação do Sistema Sq de correntes, baseado na Teoria do Dínamo Atmosférico. São mostrados os ventos neutros $\mathbf{U}$ no sentido dos pólos no lado iluminado pelo Sol, as correntes de altas latitudes $\mathbf{J} = \sigma \cdot (\mathbf{U} \times \mathbf{B}) - \nabla\Phi$ que polarizam os terminadores e o eletrojato equatorial $\mathbf{J} = \sigma \cdot \mathbf{E}$	38
Fig. 4.1 – Fotografia do Observatório Espacial de São Luís do Maranhão do INPE/MCT, onde se localiza o conjunto de antenas do Radar de Espalhamento Coerente - RESCO.....	43
Fig. 4.2 – Sinal de onda senoidal sendo modulado por uma onda quadrada pulsada.	44
Fig. 4.3 – Esquematização do Sistema de Recepção do radar RESCO.....	45
Fig. 5.1 – Antena transmissora da Digissonda.	46
Fig. 5.2 – Antena receptora da Digissonda.....	46

Fig. 5.3 – Perfil da Ionosfera para o dia 14 de agosto de 2003 em Cachoeira Paulista às 12:45 UT.....	47
Fig.6.1 – Número de manchas solares nos dois últimos ciclos solares.	52
Fig. 6.2 – Evolução do índice Dst no qual se observa uma tempestade magnética muito intensa ocorrida dia 3 de novembro de 2001.....	53
Fig. 6.3 – Evolução do índice Dst no qual se observa uma tempestade magnética intensa ocorrida em maio de 2000.	54
Fig. 6.4 – Evolução do índice Dst no qual se observa uma tempestade magnética moderada ocorrida em junho de 2001.	54
Fig. 6.5 – Evolução do índice Dst no qual se identifica uma tempestade magnética, indicando a média utilizada no estudo estatístico.....	58
Fig. 6.6 – Tempestade magnética muito intensa identificada nos três índices magnéticos	60
Fig. 6.7 – Tempestade magnética moderada identificada nos três índices magnéticos ..	62
Fig. 6.8 – Variação da componente H do campo geomagnético nos observatórios de São Luís e Eusébio.	65
Fig. 6.9 – Variação da componente H do campo geomagnético nos observatórios de São Luís e São Martinho da Serra.	66
Fig. 6.10 – Parte da rotina de processamento de dados do radar RESCO, onde está inserido a rotina <i>MySimpson</i>	68
Fig. 6.11 – Sub-rotina <i>MySimpson</i>	69
Fig. 6.12 – Parte da rotina de processamento de dados do radar RESCO, onde está inserido o novo pedaço que substitui a rotina <i>MySimpson</i>	70
Fig. 6.13 - Mapa RTI para o dia 17 de fevereiro de 2004 obtido utilizando a técnica de Fourier.	71
Fig. 6.14 - Mapa RTI para o dia 18 de fevereiro de 2004 obtido utilizando a técnica de Fourier.	72
Fig. 6.15 - Mapa RTI para o dia 17 de fevereiro de 2004 obtido utilizando a técnica de auto-correlação.	72

Fig. 6.16 - Mapa RTI para o dia 18 de fevereiro de 2004 obtido utilizando a técnica de auto-correlação.73

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Neste Relatório apresentamos as atividades relativas ao Projeto *Estudo da Eletrodinâmica da Ionosfera baseado em Dados de Radares Coerentes e Sondadores Digitais*, desenvolvidas no período de agosto de 2007 a julho de 2008, pelo aluno Cézar Augusto Daroit, bolsista de Iniciação Científica do Programa PIBIC/INPE do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq/MCT.

Neste período, o aluno do curso de Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria no Centro Regional de Sul de Pesquisas Espaciais, CRS/CIE/INPE – MCT, desenvolveu atividades de estudo teórico das relações Sol-Terra, Ionosfera, Sondadores Digitais e sobre o Radar de Espalhamento Coerente (RESCO). Assim como, arquivou dados dos Índices Magnéticos Dst, Kp e AE, para o os dois últimos máximos e mínimos solares, utilizando-os para o estudo estatístico das tempestades geomagnéticas. O bolsista realizou trabalhos com dados de magnetômetros e com dados do radar RESCO, onde desenvolveu uma sub-rotina em programa de linguagem IDL e trabalhou com dois métodos de obtenção dos mapas RTI.

Apresentaremos no Capítulo 2 uma descrição teórica sobre a interação Sol-Terra, bem como característica do Sol. O Capítulo 3 especifica e descreve as características da Ionosfera Terrestre. O Capítulo 4 descreve o Radar de Espalhamento Coerente em 50 MHz de São Luís do Maranhão (RESCO). O Capítulo 5 faz uma breve descrição da Digissonda e de Magnetômetros. O Capítulo 6 é dedicado à apresentação das atividades de pesquisa desenvolvidas pelo bolsista. Por fim, no Capítulo 7, apresentamos as conclusões relativas às atividades relacionadas no período de vigência da bolsa.

CAPÍTULO 2

O SOL E SUAS INFLUÊNCIAS INTERPLANETÁRIAS

Na região interplanetária que é compreendida entre o Sol e o Meio Interestelar ocorrem inúmeros fenômenos físicos, os quais têm como principal causador o Sol e sua atividade cíclica de 11 anos. Os processos que ocorrem no interior do Sol, envolvem instabilidades de plasma e campos magnéticos, resultando em manchas solares e muitas outras precipitações. Estes acontecimentos estão intimamente relacionados a fenômenos geomagnéticos.

2.1 – O Sol

O Sol é a estrela mais próxima da Terra. Basicamente, é uma enorme esfera de gás incandescente, em cujo núcleo acontece a geração de energia através de reações termo-nucleares. A Tabela 2.1 mostra algumas características do Sol.

Tabela 2.1 – Principais características do Sol.

Grandeza Física	Valor aproximado
Massa	$M = 1,989 \times 10^{30} \text{ kg}$
Raio	$R = 6,96 \times 10^5 \text{ km}$
Densidade média	$\rho = 1409 \text{ kg/m}^3$
Densidade central	$\rho_c = 1,6 \times 10^5 \text{ kg/m}^3$
Distância	$1,02 - 0,98 \text{ UA}$ ($1 \text{ UA} = 1,496 \times 10^8 \text{ km}$)
Luminosidade	$L = 3,9 \times 10^{26} \text{ watts}$ $= 3,9 \times 10^{33} \text{ ergs/s}$
Temperatura efetiva (corpo negro)	$T_{\text{ef}} = 5785 \text{ K}$
Temperatura central	$T_c = 1 \times 10^7 \text{ K}$
Composição química principal (%)	
Hidrogênio	92%
Hélio	7,8%
Elementos pesados	0,2%

Fonte: NASA, 2008.

A maior parte da energia radiante do Sol está concentrada nas partes do espectro conhecidas como visível e próximo do visível. A radiação no comprimento do visível corresponde a 43% do total de energia emitido, 49% estão na faixa do infravermelho e 7% na banda do ultravioleta. Menos de 1% da radiação solar é emitida como Raios-X e Raios gama.

2.1.1 – Estrutura Solar

2.1.1.1 – Núcleo solar

O núcleo solar que abrange cerca de 0,25 raios solares é onde a energia é gerada através da reação de fusão nuclear. A temperatura nesta parte do sol pode chegar a $15 \times 10^6 \text{K}$.

2.1.1.2 – Zona radioativa

A zona radioativa se estende no intervalo de 0,25 a 0,75 raios solares. Nesta região, a energia gerada pelo núcleo é dissipada através do processo de difusão radiativa. Sua temperatura é da ordem de $8 \times 10^6 \text{K}$.

2.1.1.3 – Zona de convecção

A zona de convecção se estende no intervalo de 0,75 a 1 raio solar, com temperatura no intervalo de 5×10^5 a $6,6 \times 10^3 \text{ K}$. Esta camada possui uma densidade baixa, bem como uma menor temperatura em relação às outras partes do Sol, o que faz com que se forme um plasma de íons de hidrogênio (H^+). os quais absorvem fortemente os fótons, impedindo assim a sua difusão. Ao absorver a radiação, o plasma se aquece, gerando correntes de plasma quente que sobem para a superfície, onde esfriam e voltam ao interior solar, gerando assim um processo de convecção (NASA, 2008).

2.1.2 – Atmosfera solar

2.1.2.1 – Fotosfera

Camada mais interna da atmosfera solar, visível a olho nu. Tem a aparência de uma superfície em ebulição, cheia de bolhas, ou grânulos, devido ao processo de convecção que ocorre em sua superfície. Tem espessura em torno de 500 km e temperatura de $6,6 \times 10^3$ K. A maior parte dos fótons que chegam a Terra é proveniente desta região do Sol e é onde podemos notar as manchas solares.

2.1.2.2 – Cromosfera

É a parte intermediária da atmosfera solar, a qual pode ser observada quando ocorrem eclipses totais que encobrem a luz fotosférica. Ela possui espessura de aproximadamente 2500 km e temperatura no intervalo de $4,3 \times 10^3$ a 10^6 K. As protuberâncias solares que se elevam da cromosfera para a coroa são visíveis sem instrumentos durante os eclipses solares totais podendo ser eruptivas, de rápida duração, ou podendo durar várias rotações solares.

2.1.2.3 – Coroa solar

A Coroa é a parte mais externa e extensa da atmosfera solar. Pode apresentar uma extensão de alguns raios solares em épocas de máximo solar. Sua temperatura chega a 2×10^6 K e é a região mais importante com relação aos fenômenos físicos do Meio Interplanetário, pois através da “evaporação” de seu material, constitui o Vento Solar, que arrasta o Campo Magnético Solar através do Meio Interplanetário (Savian, 2005). A coroa pode ser visualizada durante um eclipse.

Uma ilustração onde estão identificadas as estruturas mencionadas anteriormente é apresentada na Figura 2.1. Além disso, são apresentadas as protuberâncias, chamadas e manchas solares.

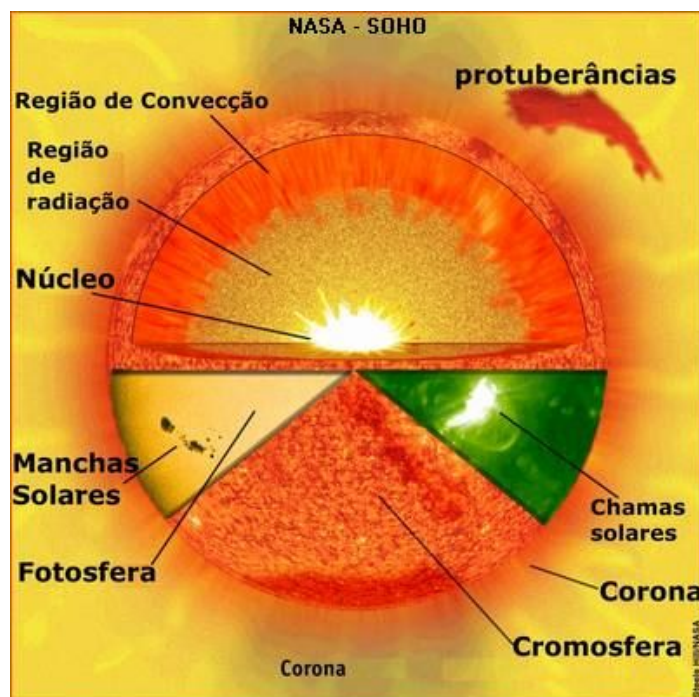


Fig. 2.1 – Estrutura e atmosfera solar.
Fonte: NASA, 2008.

2.2 – Fenomenologia Solar

2.2.1 – Manchas Solares

São regiões mais frias e mais escuras localizadas na fotosfera solar. Elas ocorrem quando um campo magnético forte “aparece” na superfície do Sol e provoca um ligeiro resfriamento na área. Estas possuem um campo magnético muito intenso que bloqueia parcialmente o movimento de convecção realizado pelo sol. Contudo, devido ao campo magnético ser vertical e, normalmente, aberto é pelas manchas solares que ocorre o escape de grande quantidade de material fotosférico.

As manchas giram em consonância com a superfície solar, levando 27 dias para fazer uma rotação completa vista da Terra. Manchas perto do equador do Sol tendem a rodar mais rápidas do que as situadas em latitudes mais altas. As manchas, no início de um

ciclo, começam a aparecer entre $\pm 45^\circ$ de latitude, à medida que o ciclo avança, as manchas se movem para o equador do Sol, alcançando cerca de $\pm 5^\circ$ no final do ciclo.

A estrutura das manchas solares pode ser dividida em: Umbra, a região central e mais escura da mancha, com temperatura de cerca de $4,1 \times 10^3$ K, e Penumbra, a região mais acinzentada que envolve a Umbra, possui filamentos radiais claros e escuros, mas apenas cerca de 50% das manchas solares desenvolvem uma Penumbra. O campo magnético é quase vertical na Umbra, e mais horizontal nas penumbras. A polaridade magnética de uma mancha pode ser norte ou sul. Manchas complexas podem apresentar uma mistura das duas polaridades, o que pode ser entendido como a fusão de manchas menores. O número de manchas solares, também conhecido como número de manchas solares de Zurich, é definido como:

$$R_z = k(10g + f) \quad (2.1)$$

onde R_z é o número de manchas solares, k é uma constante de normalização para um observador particular, g é o número de grupos de manchas solares e f é o número de manchas solares individuais visíveis sobre o disco solar. Esta formulação foi primeiramente utilizada por Johann Rudolph Wolf. O fator de correção k é usado para compensar diferenças em observações, causadas por variações nos tamanhos dos telescópios, condições atmosféricas e erros experimentais. Ou seja, k é um fator de peso para que o valor obtido de cada uma das medidas feitas ao longo do mundo seja ponderado, levando em consideração, entre outras variáveis, o tipo de instrumento utilizado.

2.2.2 – Vento Solar

O vento solar é a emissão contínua de partículas como prótons, elétrons e uma pequena fração de hélio e alguns outros íons pesados proveniente da Coroa Solar. Resultando da enorme diferença entre a pressão da coroa solar e do espaço interestelar (Kivelson e

Russel, 1995). Medidas próximas da Terra revelam que a velocidade das partículas pode chegar a velocidades supersônicas, girando em torno de 400 a 500 km/s. Estas emissões de plasma ocorrem continuamente, distorcendo o campo magnético terrestre em uma cavidade denominada magnetosfera, que responde prontamente as emissões solares, ver Figura 2.2.

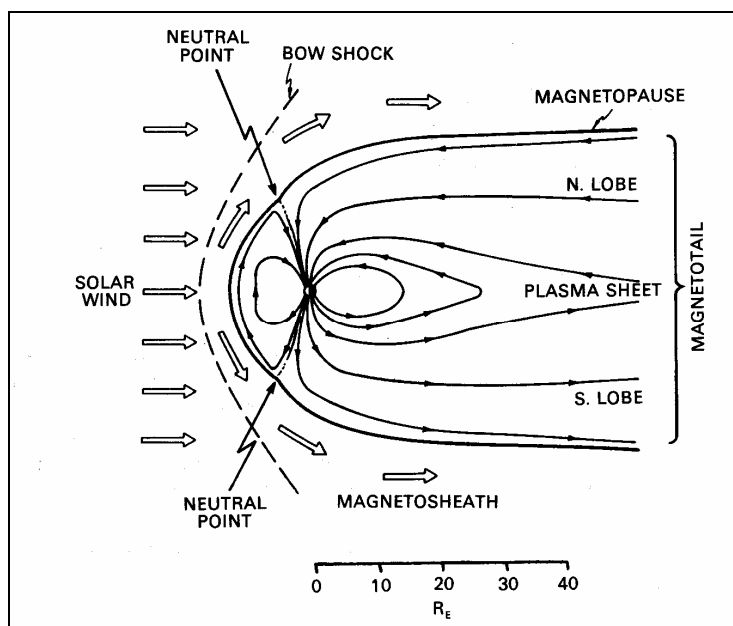


Fig. 2.2 – Seção transversal norte-sul da cavidade geográfica e do fluxo de plasma através do vento solar e a formação da magnetopausa.

Fonte: Hargreaves, 1992.

Durante períodos de atividade solar mais intensa, o vento solar pode chegar à cerca de 700 km/s. Grande parte das partículas eletricamente carregadas conseguem romper a barreira formada pelos Cinturões de Radiação de Van Allen e, ao atingirem a alta atmosfera, são capazes de produzir fenômenos como as auroras polares e as tempestades magnéticas.

2.2.3 – Ejeções Coronais de Massa (CME)

As Ejeções Coronais de Massa (CMEs) são caracterizadas por uma enorme erupção que se expande para o espaço a velocidades de centenas de km/s (ver Figura 2.3). Esta

expulsão transiente de plasma está associada, em mais da metade dos casos, às proeminências eruptivas enquanto a porcentagem restante acompanha os *flares*. Sua frequência está relacionada ao ciclo solar, onde podemos observar cerca de um evento por semana no mínimo solar, enquanto que no máximo solar podem ocorrer de 2 a 3 eventos por dia.

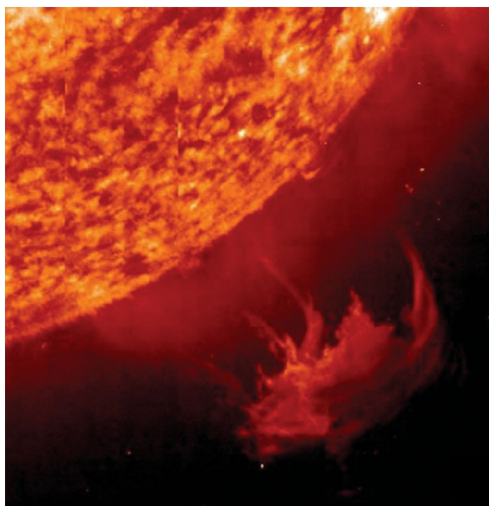


Fig. 2.3 – Ejeção de Massa Coronal.
Fonte: NASA, 2008.

2.2.4 – Explosões Solares – *Flares*

São fenômenos caracterizados pela grande emissão de energia (10^{26} a 10^{32} ergs), desenvolvendo-se em espaços curtos de tempo, variando de alguns segundos a horas. A energia liberada é proveniente da energia magnética armazenada na atmosfera solar, onde provoca o aquecimento e aceleração de prótons, elétrons e íons mais pesados presentes no local e em suas proximidades, ver Figura 2.4.

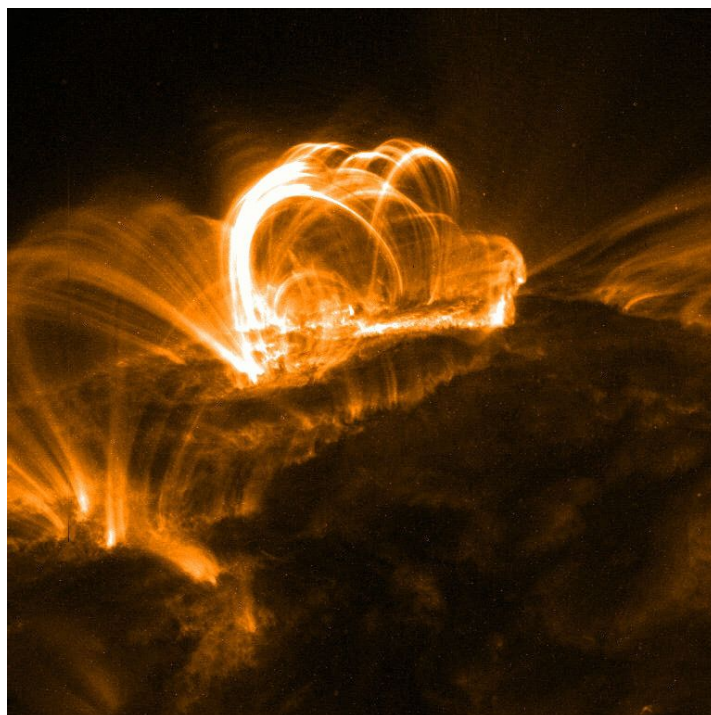


Fig. 2.4 – Explosões solares.
Fonte: NASA, 2008.

2.2.5 – Regiões de Interação Coronal - CIR

Os buracos coronais são regiões escuras com campo magnético aberto. Nela originam-se os feixes rápidos, que se unem com feixes mais lentos formando uma região de interação. Este tipo de interação é a principal fonte de Tempestades Magnéticas na Terra em períodos próximos ao mínimo do ciclo solar.

2.3 – Atividade Solar

A atividade solar é definida em função de dois indicadores, manchas solares e fluxo de radiação medido na faixa do 10,7 cm de comprimento de onda. Esta varia, principalmente, com um período de 11 anos, e como consequência, as estruturas do Meio Interplanetário e o Campo Magnético Interplanetário também tendem a seguir este padrão. O ciclo solar de 11 anos pode ser medido pelo número de manchas solares e é dividido em quatro fases: fase de mínimo solar, fase ascendente, fase de máximo solar,

e fase descendente. A Figura 2.5 mostra um gráfico referente ao ciclo solar obtido pela sua relação com o número de manchas solares. Neste gráfico os pontos pretos, juntamente com as linhas pretas, representam o número de manchas calculado, a linha azul representa a interpolação das linhas que ligam os pontos pretos e o pontilhado vermelho representa as perspectivas para a variação das manchas solares para os próximos anos.

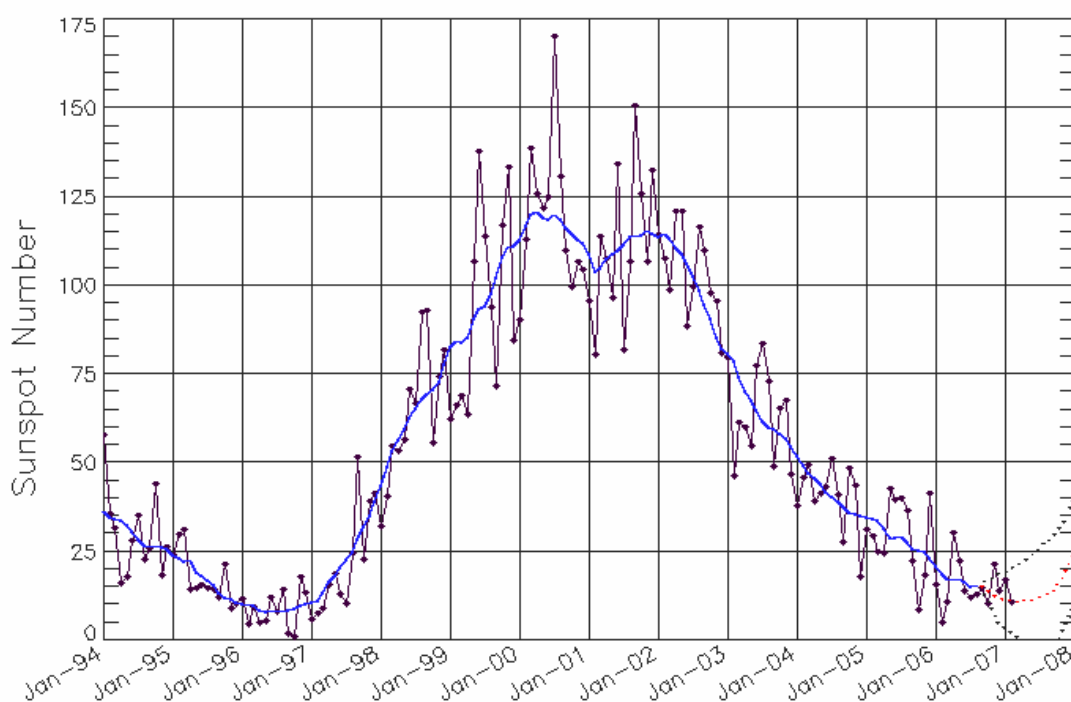


Fig. 2.5 – Variação do número de manchas solares (*sunspots*) de janeiro de 94 a janeiro de 2008.
Fonte: NASA, 2007.

No período de máximo solar podemos observar um maior número de Ejeções Coronais de Massa (CMEs). Em contrapartida, no mínimo solar ocorre outro tipo de fenômeno, os feixes co-rotantes, que quando unidos formam uma região de interação coronal (CIR), que provoca tempestades e sub-tempestades magnéticas. Já nas fases, ascendente

e descendente, que ligam as duas citadas acima, observamos a ocorrência de CMEs associadas aos CIRs, onde ocorrem tempestades de maior intensidade.

2.4 – Tempestade Magnética

As Tempestades Magnéticas são causadas por fenômenos solares que emitem grande quantidade de partículas e/ou radiação no espaço. Na Terra, as tempestades provocam uma compressão do campo magnético, seguida por uma redução na intensidade no campo frontal.

Uma tempestade magnética caracteriza-se por três fases:

- (i) Fase inicial (que pode ter ou não um início súbito) – *initial phase* – está associada a um aumento da pressão dinâmica, incidência de partículas do vento solar, que comprime a magnetosfera indicando um aumento brusco no campo magnético;
- (ii) Fase principal – *main phase* – e caracterizada por uma redução na intensidade do campo magnético na superfície terrestre associada a Corrente de Anel; e
- (iii) Fase de recuperação – *recovery phase* – caracterizada pela diminuição e eliminação gradual da pressão passando a predominar os processos de perda da Corrente Anelar.

A Figura 2.6 mostra as fases da tempestade magnética, observadas a partir do índice Dst.

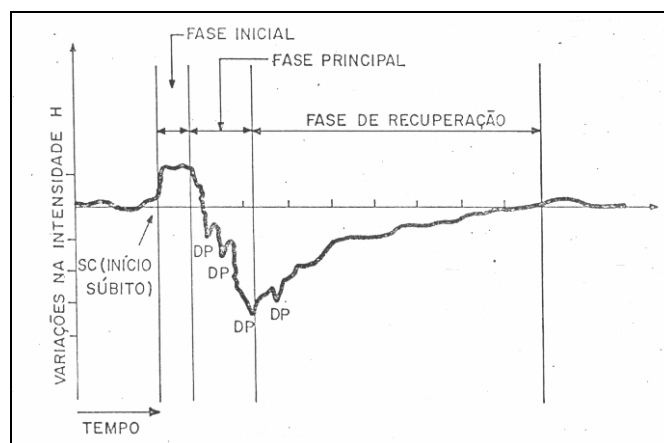


Fig. 2.6 – Fases de uma tempestade magnética.
Fonte: Kirchhoff (1991).

A fase inicial de uma tempestade magnética está associada à onda de choque provocada pelas nuvens magnéticas provenientes de explosões solares. A fase principal é causada pela interação do campo da nuvem magnética emitida pelo Sol com o campo magnético terrestre, devido ao processo de reconexão, onde há uma interconexão entre os campos interplanetários e magnetosféricos.

2.5 – Índices de Atividade Magnética

Os índices magnéticos utilizados com mais frequência para determinar a intensidade e a duração das tempestades magnéticas são os índices “*Disturbance Storm-Time*” (Dst), “*planetarische Kennziffer*” ou índice planetário (Kp) e “*Auroral Electrojet*” (AE).

O índice Dst, desenvolvido como a medida da componente simétrica da corrente de anel, é obtido em unidades de nanoTeslas (nT) e resolução temporal de uma hora. Para sua determinação utiliza-se a medida da componente horizontal (H) do campo magnético terrestre de superfície fornecida por estações localizadas em baixas latitudes e distribuídas longitudinalmente. O valor médio das componentes H das estações contribuintes é calculado e multiplicado pela secante da latitude média das estações contribuintes, é adquirido após a subtração da componente de períodos calmos

(Rostoker et al., 1997). A Figura 2.7 mostra a variação temporal do índice Dst nos dias do mês de março de 2007.

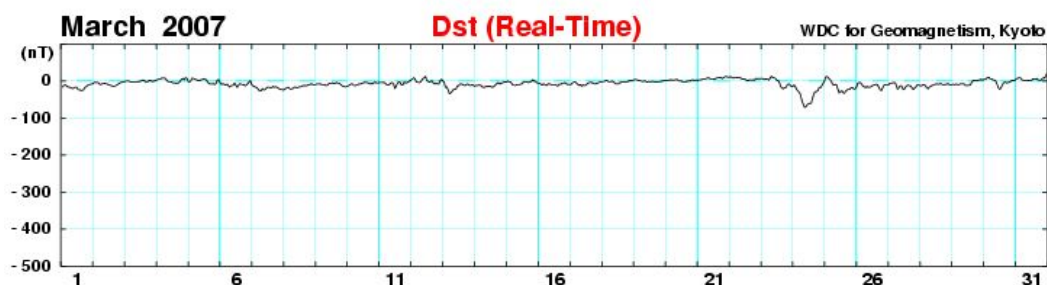


Fig. 2.7 – Variação do índice Dst para o mês de março de 2007.
Fonte: Kyoto, 2007.

A partir do índice Dst podemos dividir as tempestades magnéticas de acordo com sua intensidade. A Tabela 2.2 mostra esta divisão.

Tabela 2.2 – Intensidade das tempestades magnéticas

Intensidade da Tempestade	Dst (nT)
Muito Intensa	< -250
Intensa	-100 a -250
Moderada	-30 a -100

Fonte: NOAA, 2003.

O índice Kp possui a capacidade de descrever o estado geral da atividade geomagnética planetária, pois contém as contribuições devido à corrente de anel e devido aos eletrojetos equatorial e auroral, a Figura 8 mostra a variação do índice Kp para o período de 4 a 7 de abril de 2008. Ele representa a média do índice K, obtido em 13 observatórios distribuídos pelo globo entre as latitudes geomagnéticas de 48°N e 63°N e 43°S e 48°S (GFZ, 2003). Os níveis locais dos distúrbios geomagnéticos K são determinados, para um período de observação de 3 horas, através da diferença entre o maior e o menor valor observado na componente horizontal do campo geomagnético, a mais afetada pelos distúrbios. A escala do índice Kp é definida da seguinte forma: muito calmo (Kp= 0 a 1), calmo (Kp= 1 a 2⁻), normal (Kp= 2⁻ a 3⁺), perturbado (Kp= 3⁺ a 4⁺) e muito perturbado (Kp= 4⁺ a 9).

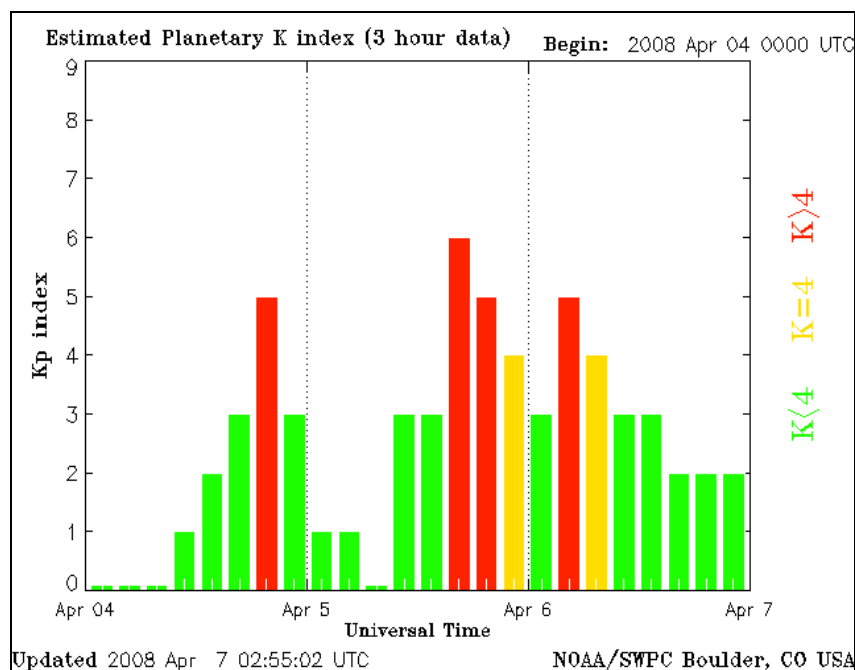


Fig. 2.8 – Variação do índice Kp para os dias 4, 5, 6 e 7 de abril de 2008.
Fonte: Kyoto, 2007.

O índice AE é utilizado para o estudo da atividade geomagnética na região auroral. Este índice é obtido a partir de medidas das várias variações da componente horizontal H do campo geomagnético, coletados de observatórios selecionados e distribuídos uniformemente ao longo da região auroral no hemisfério norte (Kamei et al., 2000). O índice auroral AE é obtido a partir de medidas das diversas variações da componente H nas regiões aurorais, para cada minuto do mês considerado. Seus dados são normalizados, onde o valor de cada minuto é subtraído da média dos dias quietos. Os índices AU e AL são definidos respectivamente pelo maior e pelo menor valor normalizado. O índice AE é definido pelo índice AU subtraído do índice AL, ver Figura 2.9.

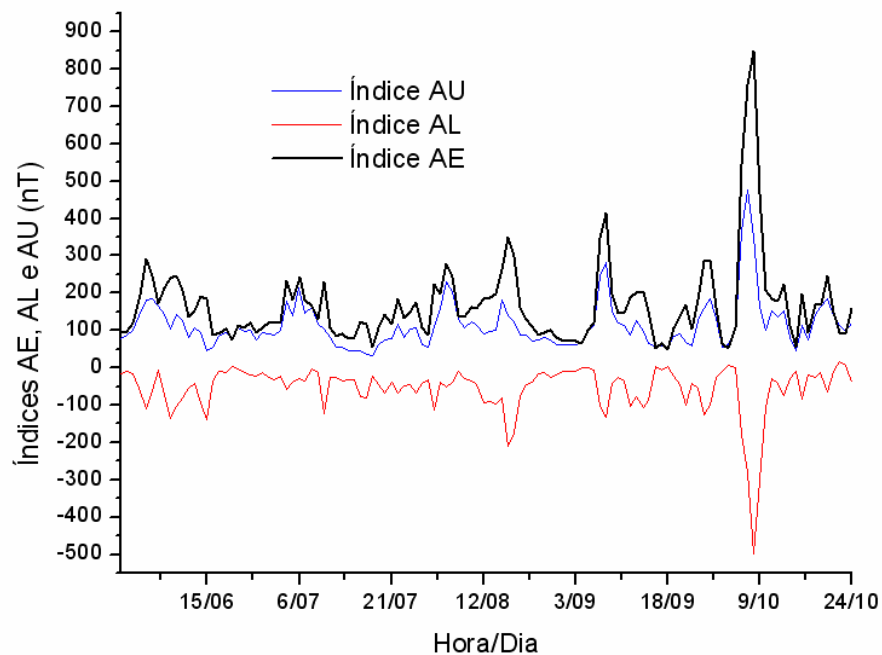


Fig. 2.9 – Variação do índice AE (AU e AL) para o período de 6 a 10 de julho de 2000.

CAPÍTULO 3

A IONOSFERA TERRESTRE

A atmosfera terrestre pode ser dividida em uma mistura de dois componentes: o componente minoritário, a atmosfera ionizada (Ionosfera) e o componente majoritário, a atmosfera neutra. Considerada estática em relação à superfície da Terra, a atmosfera neutra é dividida e estudada de acordo com suas propriedades: pressão, densidade, temperatura e composição. A Figura 3.1 apresenta a nomenclatura das porções da atmosfera de acordo com suas propriedades.

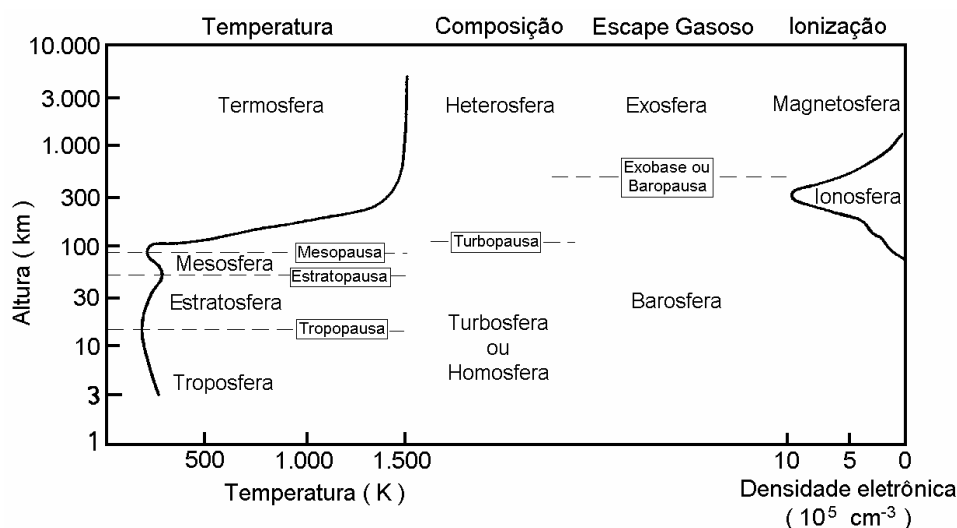


Fig. 3.1 – Classificação da Atmosfera neutra e da Atmosfera ionizada terrestre.
Fonte: Hargreaves (1992, p. 99).

3.1 – Ionosfera Terrestre

A ionosfera é a parte superior da atmosfera, compreendida entre aproximadamente 60 e 2000 km de altura, na qual existem partículas ionizadas positivamente e elétrons livres, gerando uma camada condutora de plasma. A taxa de troca de densidade eletrônica é expressa pela equação da continuidade (Hargreaves, 1992):

$$\frac{\partial N}{\partial t} = q - L - \nabla \cdot (N\mathbf{v}), \quad (3.1)$$

onde q é a taxa de produção, L é a taxa de perda por recombinação, $\nabla \cdot (N\mathbf{v})$ expressa a perda/ganho de elétrons por transporte, sendo $\mathbf{v}$ a velocidade de transporte.

3.2 – Formação da Ionosfera

A ionosfera forma-se pela ação de fontes ionizantes solares e cósmicas. As principais fontes de ionização (ionização primária) são a radiação solar energética na faixa do Extremo Ultravioleta (EUV) e os Raios-x. As fontes cósmicas, principalmente partículas energéticas como prótons, têm um papel secundário na manutenção da ionosfera diurna, mas tornam-se muito importantes na manutenção da ionosfera noturna.

3.2.1 – Produção Iônica

A ionização se dá basicamente através de duas fontes: os fótons e a precipitação de partículas de alta energia. Porém, para ocorrer a ionização, tanto as partículas energéticas quanto os fótons ionizantes devem possuir energias superiores ao potencial de ionização ou à energia das ligações dos átomos ou moléculas da atmosfera neutra (Hargreaves, 1992).

A foto-ionização é um processo onde a Ionosfera Terrestre absorve radiação, em sua grande maioria de origem solar. Apesar de quase a totalidade dos comprimentos de onda da radiação do espectro eletromagnético interagir com a atmosfera neutra terrestre, existem duas faixas onde este processo é mais efetivo: na faixa espectral do Extremo Ultravioleta (EUV) e dos Raios-x. Além destas, a radiação conhecida com Lyman- α também contribui significativamente para a produção iônica da Atmosfera Terrestre.

Outro processo de produção iônica é a Ionização por Impacto, processo no qual há o choque de partículas de alta energia com os constituintes da atmosfera neutra. Essas partículas podem ser oriundas do espaço ou podem ser elétrons ou íons locais acelerados. Este processo é particularmente importante em altas latitudes, já que a radiação solar não incide tão intensamente nessa região quanto no equador, devido ao ângulo de inclinação da terra na eclíptica. E também porque em altas latitudes o campo magnético favorece a entrada de partículas, como no caso da região auroral.

3.2.2 – Perda de Ionização

A perda de ionização ocorre através dos processos que diminuem a densidade eletrônica da Ionosfera. Ela é representada basicamente pela recombinação química de íons e elétrons que engloba todos os processos de neutralização e/ou troca de carga da atmosfera ionizada, onde pode ser dividida entre as diversas reações de perda, dentre as quais citamos como exemplo a recombinação radioativa e recombinação dissociativa.

O processo de recombinação radioativa acontece quando um íon positivo recombina-se com um elétron, liberando energia na forma de fótons, representado pela equação:



O processo de recombinação dissociativa acontece quando uma molécula de carga positiva (XY^+) entra em reação com um elétron, dissociando os dois elementos, representado pela equação:



O movimento de plasma também contribui para a perda de ionização da atmosfera neutra. Este movimento pode acontecer tanto horizontalmente, como verticalmente,

porém este último costuma ser mais eficiente nos processos de perda da região F da Ionosfera.

3.3 – Regiões Ionosféricas

A ionosfera pode ser dividida em regiões ou camadas que diferem entre si basicamente pelos processos físicos e químicos, mencionados acima, que controlam o comportamento de cada camada. Estas regiões são: Região D, E e F, que por sua vez é subdividida em camada F₁ e F₂. A Figura 3.2 ilustra as três camadas com suas alturas e densidades eletrônicas.

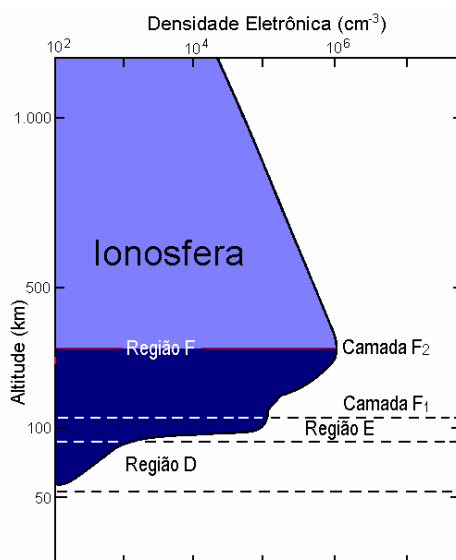


Fig. 3.2 – A localização das três camadas ionosféricas.

Fonte: Denardini (1999, p. 26).

3.3.1 – Região D

A Região D é a parte inferior da Ionosfera terrestre. Inicia em torno dos 60 km e se estende até aproximadamente 85 km. Ela é muito importante do ponto de vista da radiopropagação (Kelley, 1989). Ela pode atenuar, refletir e/ou absorver o sinal de rádio. Mas, durante a noite, essa camada tem sua densidade muito reduzida.

Dentre as camadas ionosféricas, a Região D é considerada a mais complexa do ponto de vista químico. As reações mais importantes incluem os componentes O, O₃, NO, NO₂, CO₂ e H₂O. Em pequenas proporções têm-se também metais alcalinos, tais como Na, K e Li. A grande variedade de fontes de ionização também contribui para a produção iônica. Dentre as fontes de ionização, as principais são:

- a radiação na linha Lyman- α (1216 Å);
- a radiação na faixa do Ultravioleta Extremo (com λ entre 1027 e 1118 Å);
- a radiação na faixa dos Raios-x (com $\lambda < 10\text{Å}$);
- os raios cósmicos galácticos;
- as partículas de origem solar ou auroral.

3.3.2 – Região E

A região E inicia por volta dos 85 km e se estende até aproximadamente 140 km de altura. Durante a noite sua densidade eletrônica diminui significativamente, pois sua principal fonte produtora, o Sol, está ionizando o outro hemisfério. Ela possui dois íons majoritários: NO⁺ e O₂⁺, mas também é caracterizada pela presença de íons metálicos como Mg⁺ e Fe⁺. A presença destes íons metálicos é creditada à desintegração meteórica pelo atrito com a atmosfera terrestre. Essa região é a de maior condutividade elétrica na ionosfera sendo importante devido à presença de correntes elétricas ionosféricas.

3.3.3 – Região E esporádica

A camada "E esporádica" ou "Es" ocorre com certa raridade e dependente principalmente do ciclo solar. Pode ser considerada uma espécie de "nuvem iônica" de gases atmosféricos em torno de aproximadamente 90 a 160 km de altitude. O fenômeno ocasionalmente permite a propagação de VHF a longas distâncias, cuja variabilidade depende de uma série de fatores, incluindo a altura da nuvem e sua densidade. A máxima frequência utilizável também varia com o surgimento da camada E esporádica,

propiciando assim a possibilidade das reflexões de ondas de rádio na ordem de 27 até 110 MHz (Hargreaves, 1992)..

3.3.4 – Região F

Esta região está localizada acima da região E da altura de 140 km até o topo da Ionosfera. O componente predominante é o íon O^+ . Durante o dia, é comum a região F subdividir-se em duas camadas distintas, F_1 e F_2 .

3.3.4.1 – Camada F_1

Esta tem início por volta dos 140 km e estende-se até aproximadamente 180 km de altura. A espécie neutra molecular predominante nessa região é o N_2 . A espécie atômica predominante nessa região é o oxigênio (Kivelson e Russell, 1995). Os íons majoritários são o O^+ e o O_2^+ . À noite a densidade eletrônica dessa região se reduz. Ele pode ser um pico ou só uma inflexão no perfil ionosférico dependendo do processo de perda predominante (Kirchhoff, 1991).

3.3.4.2 – Camada F_2

A Camada F_2 localiza-se na parte mais alta da Ionosfera, sua maior densidade fica em torno dos 300 km de altitude. O íon majoritário é o O^+ . Durante a noite a sua densidade eletrônica normalmente decai. Dentre todas as regiões, ela é a que apresenta a maior concentração de elétrons da Ionosfera Terrestre, mesmo durante a noite. Isso ocorre por diversos fatores, entre eles, ela possui íons atômicos como espécie predominante, os quais possuem menor taxa de recombinação.

3.4 – Fenômenos ionosféricos

3.4.1 – Teoria do Dínamo Atmosférico

Na teoria do dínamo atmosférico as marés atmosféricas são criadas pelo aquecimento solar e pela atração lunar, onde sua principal característica é o surgimento dos ventos neutros ($\mathbf{U}$), que sopram em direção aos pólos durante o dia. Na região do dínamo a girofrequência é menor do que a frequência de colisão para os íons e maior para os elétrons. Consequentemente os íons transitam junto ao vento e os elétrons movem-se perpendiculares ao vento e mais lentamente. O movimento relativo constitui uma corrente elétrica e a separação das cargas produz um campo elétrico $\mathbf{E} = \mathbf{U} \times \mathbf{B}$ em altas latitudes, devido à alta inclinação do campo magnético. Este fenômeno provoca uma polarização positiva no terminador do amanhecer e negativa no terminador do anoitecer. Devido à alta condutividade na região do equador magnético a uma altura de 90 e 120 km, a ação do dínamo é mais efetiva. Por isso, nesta região surge uma corrente que flui do terminador do amanhecer em direção do terminador do anoitecer, tendo sentido leste no lado iluminado da Terra e sentido oeste no lado escuro. Este sistema de correntes gerado é chamado de correntes S_q e pode ser visualizada através da Figura 3.3.

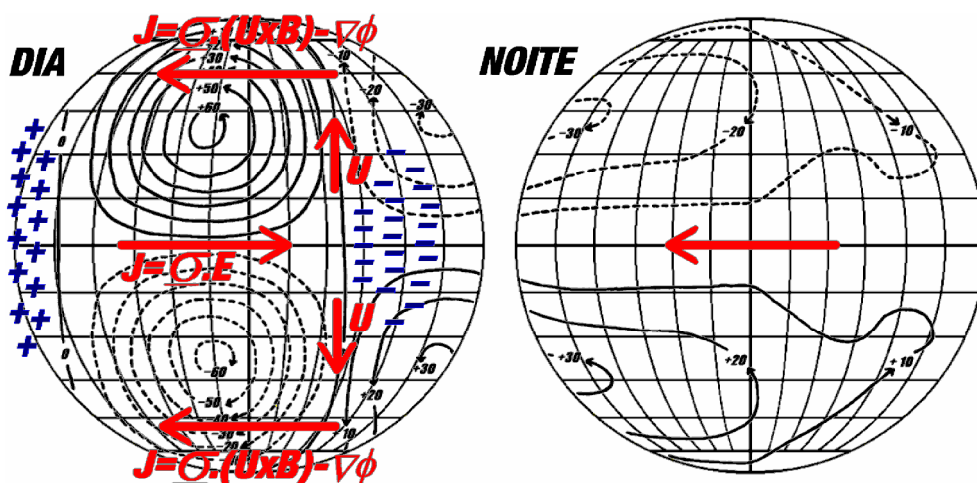


Fig. 3.3 – Formação do Sistema S_q de correntes, baseado na Teoria do Dínamo Atmosférico. São mostrados os ventos neutros $\mathbf{U}$ no sentido dos pólos no lado iluminado pelo Sol, as correntes de altas latitudes $\mathbf{J} = \underline{\sigma} \cdot (\mathbf{U} \times \mathbf{B}) - \nabla \Phi$ que polarizam os terminadores e o eletrojato equatorial $\mathbf{J} = \underline{\sigma} \cdot \mathbf{E}$.
Fonte: Denardini (2003, p. 44).

3.4.2 – Eletrojato Equatorial

O vento neutro dirige o sistema de correntes S_q na região E. No equador magnético a condutividade é excepcionalmente elevada devido à limitação vertical da camada de condução. A corrente é também elevada, evidenciado pelo reforço das variações magnéticas no equador. A este reforço na corrente se dá o nome de Eletrojato Equatorial.

O Eletrojato equatorial é confinado entre 90 e 120 km de altitude e pode ser considerado como uma resposta da região E equatorial à presença do dínamo. Os fluxos da corrente ocorrem para o leste durante o dia e para o oeste durante a noite, mas à noite este fluxo é menos evidente, porque a condutividade ionosférica depende da densidade eletrônica, que é baixa.

CAPÍTULO 4

O RADAR DE ESPALHAMENTO COERENTE (RESCO)

O Radar de Espalhamento Coerente (RESCO) foi construído com o intuito de estudar as irregularidades existentes nas camadas E e F da ionosfera, pela Divisão de Aeronomia da Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas, CEA-INPE/MCT. Instalado no Observatório Espacial de São Luís, OESLZ/INPE - MCT, no Maranhão, com coordenadas geográficas 2,33° S; 44,20° O e 0,5° S de ângulo de inclinação magnética.

4.1 – Características Operacionais do Radar RESCO

4.1.1 – Frequência

Os ecos coerentes das irregularidades são obtidos quando a dimensão escalar das irregularidades são iguais à metade do comprimento de onda do radar. Abaixo destas circunstâncias o sinal recebido é considerado coerente, resultando em um sinal muito grande. Como as dimensões de escala de irregularidades são freqüentemente grandes, o radar cruza regiões de alta e baixa freqüência. Contudo, o ruído atmosférico está em altas e baixas freqüências e a dimensão da antena necessária para adquirir o ganho exato aumenta com o decremento da freqüência. A freqüência de operação escolhida para o radar foi de 50 MHz, pois freqüências abaixo de 30 MHz e acima de 54 MHz são utilizadas para a radiodifusão e TV. Muitos radares existentes operam por volta desta freqüência, como é o caso de Jicamarca (50 MHz), Boulder (49,92 MHz) e Thumba (54,95 MHz).

4.1.2 – Sistema Pulsado

Este sistema é ideal para medir o efeito Doppler, mas deve-se tomar a precaução de fazer com que a freqüência de repetição de pulso (PRF) seja maior que duas vezes o máximo deslocamento Doppler esperado. Uma grande vantagem deste sistema diz

respeito ao equipamento, que é apenas um para a transmissão e recepção (Janardhanan, 1983).

4.1.3 – Largura de Pulso e Potência de Transmissão

Em um radar com sistema pulsado o sinal para o ruído do eco é proporcional à potência média do radar (Skolnik, 1961) e a resolução em altura é inversamente proporcional a largura de pulso. Como as alturas, bem como as velocidades, são diferentes para a região E e F da ionosfera, foi adotado uma largura de pulso que varia de 5 a 100 μ s.

Um alto valor para a potência de transmissão é desejável para podermos fazer um estudo das irregularidades mais fracas com precisão. O pico de potência para os ecos da região E fica na base de alguns kilowatts e para a região F fica nas dezenas de kilowatts. Assim, foi escolhido um pico máximo de 120 kW de potência, dividida entre oito transmissores.

4.1.4 – Frequência de Repetição de Pulsos (PRF)

A PRF é diferente para as duas regiões de estudo do radar. Assumindo a velocidade máxima de 400 m/s para as irregularidades na região E, o máximo Doppler é de 133,3 Hz e a máxima altura é de 138,58 km. Para isso o radar recebe os dados em 923,7 μ s, com PRF de 1080 Hz e PRF mínimo de 266,6 Hz. Na região F, assumindo 200 m/s para as irregularidades, o máximo Doppler é 55,7 Hz, com PRF de 133,4 Hz. Se a máxima altitude é de 800 km, o tempo requerido é de 6,16 ms, correspondendo a uma PRF de 162 Hz. Portanto a PRF escolhida varia entre 100 e 1000 Hz.

4.1.5 – Processamento e Aquisição de Dados

O sinal recebido pelo radar contém um número de amostras do sinal que determinam o número de faixas de alturas para analisar individualmente. A partir do conjunto de 1024 amostras de cada altura podemos obter informações sobre o deslocamento Doppler e da

potência total retro-espalhada. Para determinar as frequências é necessário fazer uma análise espectral do sinal recebido. Também se pode observar através deste estudo a distribuição de velocidade com a altura e separá-las para as diferentes alturas. Após utilizamos a FFT (Transformada Rápida de Fourier), que nos possibilita o estudo do comportamento periódico da potência dos ecos do eletrojato equatorial variantes no tempo.

4.1.6 – Especificações

As especificações abaixo são um breve resumo das informações abordadas acima:

- Frequência: 50 MHz;
- Pico de potência: 120 kW;
- Largura de pulso: 5 a 100 μ s;
- P.R.F.: 100 Hz até 1000 Hz;
- Ganho: 32,5 dB.

4.2 – O Sistema do Radar RESCO

4.2.1 – Sistema de Antenas

O Sistema do Radar RESCO possui um arranjo de antenas que é composto por 768 dipolos de cabo coaxial, dispostos no arranjo de 32 x 24 (ver Figura 4.1). As 32 antenas estão agrupadas, quatro a quatro, para sua alimentação pelos 8 transmissores. Cada antena consiste de 24 dipolos ligados em série, dois a dois, alinhados no sentido norte-sul, resultando num ganho de 32,5 dB.



Fig. 4.1 – Fotografia do Observatório Espacial de São Luís do Maranhão do INPE/MCT, onde se localiza o conjunto de antenas do Radar de Espalhamento Coerente - RESCO.

Fonte: Cortesia de Dr. Clezio Marcos De Nardin.

4.2.2 – Sistema de Transmissão

O Sistema Transmissor do Radar RESCO consiste de um oscilador de 30 MHz e um oscilador de 80 MHz, dois aparelhos que modulam o pulso, um misturador, um amplificador de 80 MHz, um divisor de potência, oito deslocadores de fase, oito transmissores e oito módulos pré-amplificadores duplexadores.

Os dois osciladores são conectados aos moduladores de pulso que recebem os sinais e os modulam. Este tipo de misturador recebe os sinais pulsados em 80 MHz e 30 MHz e disponibiliza na sua saída a diferença e a soma de frequência entre eles. O sinal de soma é descartado e a diferença, um sinal de 50 MHz, é mandado ao modulador de onda quadrada. Com isso, o sinal resultante, o qual é um sinal de onda senoidal modulado por uma onda quadrada pulsada, é passado para o pré-amplificador de baixa potência. No amplificador o sinal é amplificado e sua saída é conectada ao divisor de potência, onde o sinal é dividido igualmente em oito partes. Este sinal chega aos oito transmissores, onde o arranjo de antenas é dividido em 8 partes idênticas e cada transmissor alimenta uma destas partes (veja Figura 4.2). Cada transmissor tem um pico de potência de 15

kW. As saídas destes transmissores são conectadas individualmente a um módulo pré-amplificador duplexador, que habilita o uso da antena tanto para transmissão, quanto para recepção. O duplexador é controlado por um pulso através do tempo pelo controle do radar, onde durante a recepção este conecta a antena ao pré-amplificador receptor e durante a transmissão conecta a antena diretamente ao transmissor e providência uma grande isolamento entre a transmissão e recepção (Janardhanan, 1983).

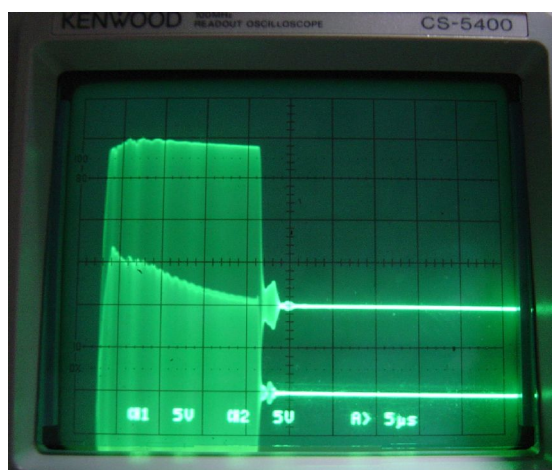


Fig. 4.2 – Sinal de onda senoidal sendo modulado por uma onda quadrada pulsada.
Fonte: Cortesia de Dr. Clezio Marcos De Nardin.

4.2.3 – Sistema de Recepção

O Sistema de Recepção do Radar RESCO é composto de oito pré-amplificadores, oito deslocadores de fase, um circuito combinador e um circuito para sua devida recepção. O sinal, após sua chegada as antenas, é encaminhado através do pré-amplificador duplexador aos deslocadores de fase, que funcionam identicamente aos utilizados no sistema transmissor. Após, o circuito combinador soma os oito sinais e os envia ao circuito receptor. Este circuito amplifica o sinal, converte-o para 30 MHz e o divide em duas partes idênticas. Uma destas partes passa por um detector de fase junto à saída do oscilador de 30 MHz. A outra parte do sinal passa por um segundo detector junto com a saída do oscilador de 30 MHz defasado eletricamente de 90°. Suas saídas chegam a um filtro onde é removida a frequência de 30 MHz, restando somente o efeito da interferência que o sinal sofreu ao interagir com o seu alvo na ionosfera. Estas saídas do

receptor são chamadas de sinal em fase e sinal em quadratura. A Figura 4.3, apresenta uma ilustração simplificada da matemática envolvida no processo.

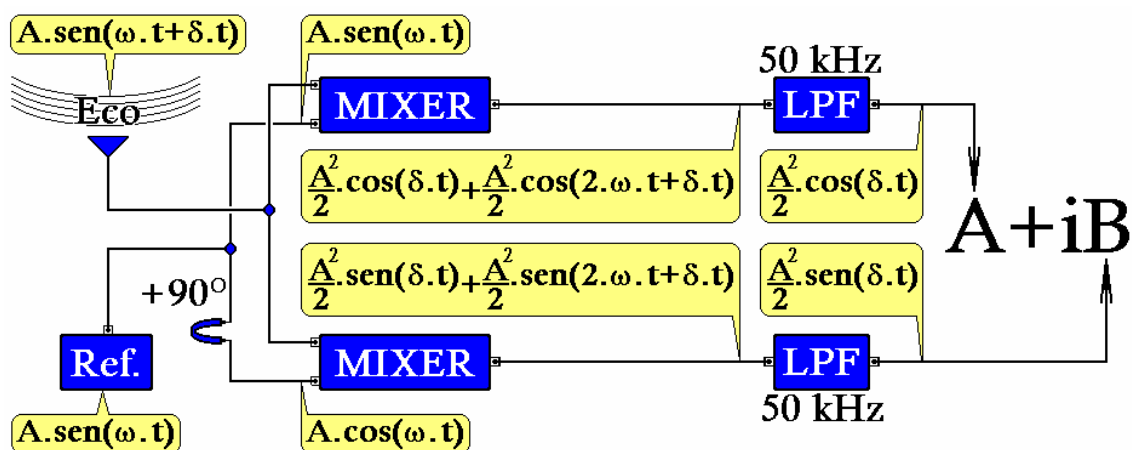


Fig. 4.3 – Esquemática do Sistema de Recepção do radar RESCO.
Fonte: Cortesia de Dr. Clezio Marcos De Nardin.

4.2.4 – Sistema de Controle

O Sistema de Controle do Radar RESCO é responsável por toda parte de geração de pulsos de controle, para os sinais transmitidos, sinais recebidos, sistema de armazenamento dos dados e alteração da posição do feixe da antena, bem como, toda a parte de configuração do Radar e ainda é responsável pela atenuação dos dados recebidos. A unidade de armazenamento do radar possui um circuito de interface e um computador para o devido armazenamento dos dados. Os sinais analógicos do sinal em fase e do sinal em quadratura são convertidos em dados digitais de 16 bits e após são salvos. Estas informações podem servir tanto para uma análise *offline*, quanto para uma análise online, que possibilita o ajuste nos parâmetros do radar caso este esteja com alguma função incoerente com seus parâmetros previstos. A análise dos dados envolve o cálculo espectral de potência usando os dados complexos através da Transformada Rápida de Fourier (*Fast Fourier Transform* - FFT).

CAPÍTULO 5

DIGISSONDA E MAGNETÔMETROS

5.1 – Digissonda

Os Radares de Sondagem Ionosférica Digital, Digissondas, são essencialmente radares pulsados, que trabalham em frequências variáveis entre 0,5 e 30 MHz. Seu objetivo é obter o perfil vertical de densidade eletrônica. São compostos de uma antena transmissora (Figura 5.1), um transceptor e um sistema receptor. O transmissor emite pulsos de radiofrequência com potência de pico de 10 W e potência média por volta de 500 W. Já o sistema receptor é composto por quatro antenas posicionadas na forma em que três delas formem um triângulo equilátero de 60 m de lado e a outra posicionada no centro geométrico deste triângulo, como mostrado na Figura 5.2.



Fig. 5.1 – Antena transmissora da Digissonda.
Fonte: INPE (2006)



Fig. 5.2 – Antena receptora da Digissonda.

Fonte: Cortesia de Dr. Clezio Marcos De Nardin.

A altura da camada de estudo é determinada pelo tempo de atraso do eco recebido com relação ao pulso enviado. Os ecos dos sinais refletidos são registrados em ionogramas, gráficos de frequência versus altura virtual, mostrados na Figura 5.3, a partir dos quais é possível se obter os parâmetros ionosféricos.

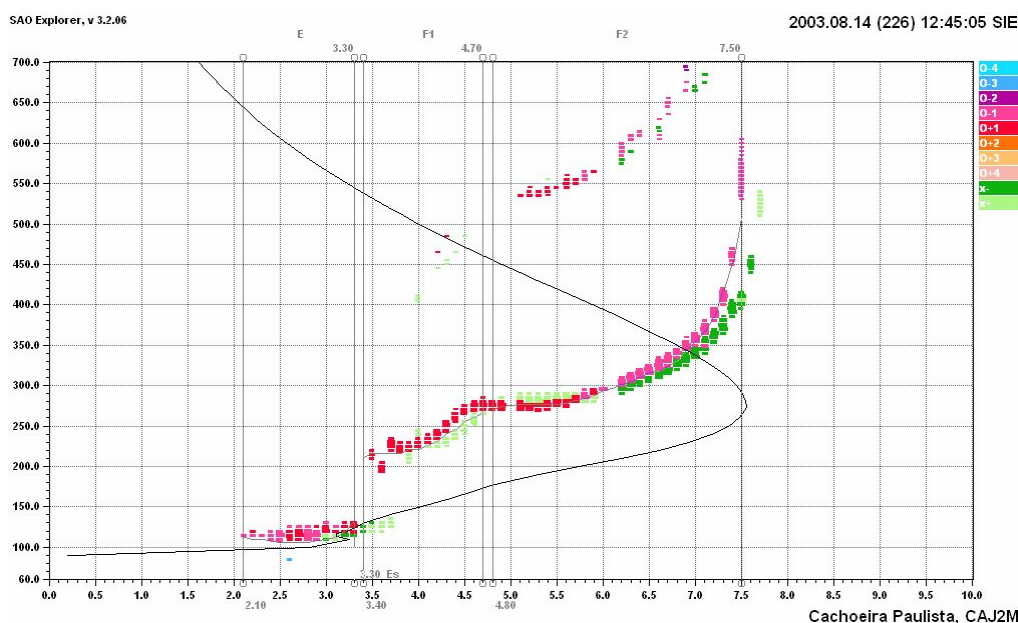


Fig. 5.3 – Perfil da Ionosfera para o dia 14 de agosto de 2003 em Cachoeira Paulista às 12:45 UT.

5.2 – Magnetômetros

O magnetômetro é um dispositivo eletrônico que permite a medição de parâmetros relacionados ao campo magnético terrestre. Este equipamento pode se encontrar a alguns metros de profundidade e também instalado em satélites científicos. Ele pode ser baseado em diferentes princípios de funcionamento, sendo que no Observatório Espacial de São Luís está instalado um magnetômetro do tipo *Fluxgate*.

As componentes do campo magnético terrestre podem ser medidas a partir de dois sistemas de descrição que são conhecidos como XYZ e HDZ. Abaixo, na Figura 5.4,

podemos visualizar uma ilustração que representa todos os elementos do vetor campo magnético.

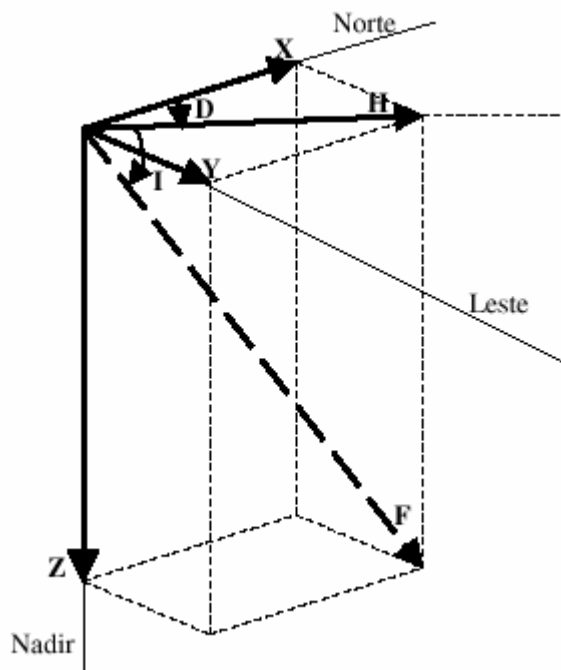


Fig. 5.4 – Elementos do vetor campo magnético
Fonte: Maria José Faria Barbosa, 2003

Os elementos vetoriais da Figura 5.4 são divididos em *lineares* e *angulares*:

Elementos lineares:

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

Y – componente magnética leste (positiva para leste);

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

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

F – intensidade total do campo magnético num determinado ponto.

Elementos angulares:

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

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

5.2.1 – Magnetômetro do Tipo *Fluxgate*

O magnetômetro do tipo *fluxgate* mede a magnitude e direção do campo magnético. Estes equipamentos têm seu funcionamento baseado no surgimento de uma força eletromotriz nos terminais de uma bobina. Esta força tem origem devido à variação de fluxo magnético referente a um campo externo, que se deseja medir.

A variação do fluxo magnético pode ser espontânea se o campo externo for variável no tempo, ou provocada por variação da permeabilidade do meio, da área da bobina ou rotação da mesma no campo. Para medidas do Campo Geomagnético geralmente não são usadas técnicas de variação de área da bobina e muito menos a rotação do sensor, sendo a variação de permeabilidade do meio o método mais aplicado para estes tipos de medidas.

CAPÍTULO 6

ATIVIDADES DESENVOLVIDAS EM SANTA MARIA, RS, PARCERIA INPE - UFSM NO PROGRAMA PIBIC / INPE – CNPQ / MCT

O estudo realizado no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/CIE/INPE - MCT envolveu basicamente duas partes: a parte de revisão teórica básica para o desenvolvimento desse estudo e a revisão sobre o radar RESCO do Observatório Espacial de São Luís, OESLZ/DAE/CEA/INPE–MCT, localizado no Maranhão, desenvolvidas em Santa Maria, RS; e a parte prática, na qual o acadêmico desenvolveu atividades periódicas de monitoramentos dos índices de atividade magnética Kp, Dst e AE (AL e AU), bem como, realizou algumas modificações em rotinas de processamento de dados do radar RESCO através da linguagem de programação IDL (*Interactive Data Language*). Além disso, o aluno utilizou o índice Dst para um estudo estatístico referente às tempestades geomagnéticas para um determinado período do ciclo solar e da mesma forma, fez uso deste índice para realizar um estudo utilizando dados de magnetômetros. Ele participou de congressos e escolas, onde foram apresentados seus estudos na área de geofísica espacial, nas quais apresentou parte dos resultados destes estudos. A seguir, relatamos de forma resumida as atividades desenvolvidas no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/CIE/INPE – MCT, relativas ao projeto de Bolsa de Iniciação Científica do programa PIBIC do INPE.

6.1 – Revisão Teórica

Durante o período de vigência do projeto, o bolsista desenvolveu atividades referentes às revisões bibliográficas inerentes a sua área de pesquisa, bem como, este foi complementando seus conhecimentos com o passar do desenvolvimento do projeto de pesquisa, onde podemos citar os trabalhos sobre: Eletrojato Equatorial, Fenômenos Ionosféricos, Digisonda e Magnetômetros. Um resumo dos estudos destes temas é apresentado nos Capítulos 2, 3, 4 e 5 e, portanto, não será reproduzido neste capítulo.

6.2 – Monitoramento dos Índices Magnéticos

Além da visão teórica, a qual forneceu subsídios para os trabalhos subseqüentes, o bolsista buscou formas de acessar os índices de atividade magnética, os quais foram de grande valia para a diferenciação do comportamento solar para um estudo mais aprofundado dos mapas RTI e dos dados de magnetômetros, levando em conta o ciclo solar. Esta fase do projeto foi desenvolvida no CRS/CIE/INPE – MCT, em Santa Maria, RS.

6.2.1 – Arquivamento de Dados

O arquivamento dos Índices Magnéticos foi efetuado conforme programado, dentro do período relativo ao estudo deste. Nesta etapa, o bolsista concluiu o arquivamento dos índices Kp, Dst e AE (AL e AU) correspondentes a períodos de tempestade magnética muito intensa, intensa e moderada, utilizando para isso os dois últimos máximos e mínimos solares.

6.3 – Identificação de Assinaturas de Tempestades Magnéticas e Estatística Relacionada

Dentro do espaço de tempo disponível para execução do projeto o bolsista realizou um estudo de identificação de assinaturas de tempestades magnéticas, utilizando dados dos dois últimos máximos e mínimos solares, colhidos em sites especializados no assunto. O aluno também realizou um estudo estatístico destas tempestades. Nas seções que seguem apresentaremos algumas das discussões levantadas pelo bolsista neste trabalho.

6.3.1 – Metodologia

A partir do monitoramento dos índices Kp, Dst, AE, AL e AU, que podem ser encontrados no sítio de internet do *World Data Center for Geomagnetism* Universidade de Kyoto, Japão, do sítio *National Geophysical data Center do National Oceanic and*

Atmospheric Administration (NGDC/NOAA), foi feito um estudo sobre tempestades magnéticas a partir do conhecimento do ciclo solar, representado na Figura 6.1, onde a linha em vermelho representa o número de manchas solares no período de 1985 até o final de 2007.

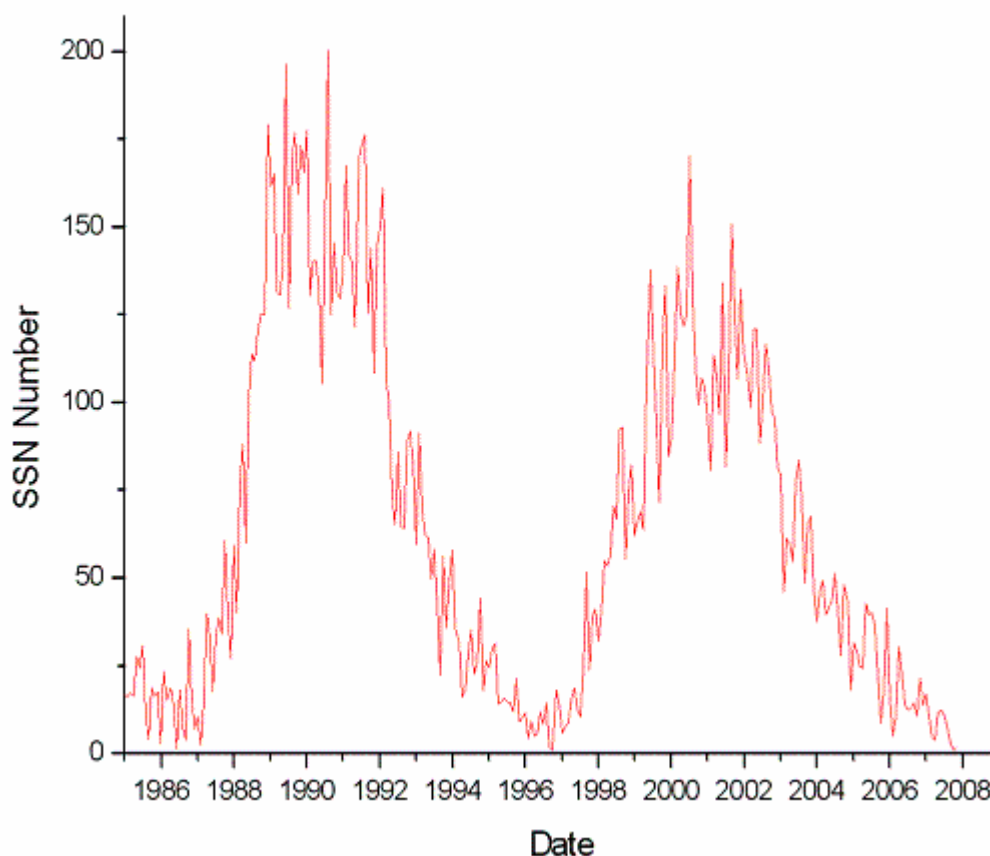


Fig.6.1 – Número de manchas solares nos dois últimos ciclos solares.

O índice Dst foi usado como base para este estudo. Baseando-se neste índice, dividimos as tempestades magnéticas quanto a sua intensidade em três grupos como mostrado na Tabela 2.2.

Os dados obtidos foram ainda separados em dois grandes grupos, referentes ao máximo e mínimo solar, respectivamente. A partir destes dois grupos criamos seis subgrupos, unindo os dados quanto à intensidade das tempestades e quanto ao período do ciclo solar.

Após esta divisão, escolhemos as tempestades magnéticas e geramos os gráficos dos índices Dst correspondentes. Para a elaboração dos gráficos levamos em conta o período de três dias antes do início súbito e três dias após o final do período de recuperação, o qual estipulamos ser quando o Dst atinge 0 nT. Na Fig. 6.2 representamos uma tempestade muito intensa ocorrida em novembro de 2001, com duração de aproximadamente 15 dias, onde podemos notar perfeitamente as três fases da tempestade magnética. Entre os dias 5 e 6 de novembro de 2001 ocorre o início súbito da tempestade, dos dias 6 a 8 visualizamos a fase principal, onde o índice Dst se reduz a aproximadamente -300 nT, e, por fim, de 8 a 15 ocorre a fase de recuperação da tempestade magnética, quando o índice Dst retorna a seu valor quiescente.

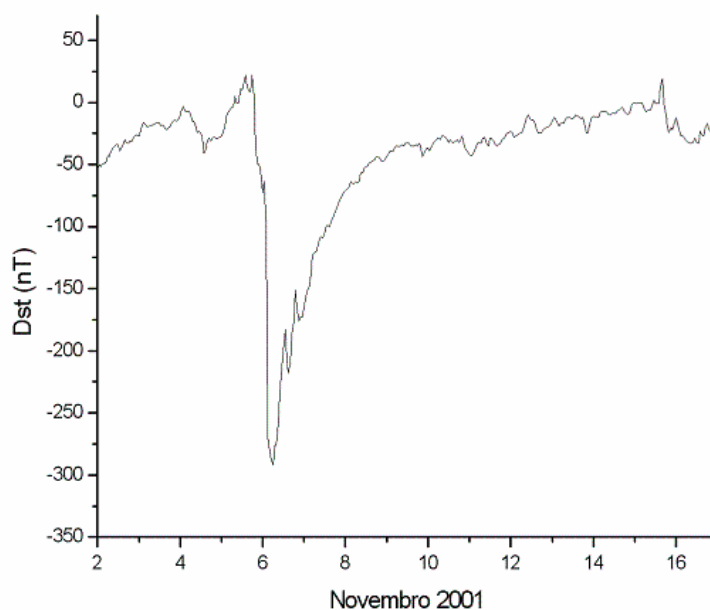


Fig. 6.2 – Evolução do índice Dst no qual se observa uma tempestade magnética muito intensa ocorrida dia 3 de novembro de 2001.

Na Fig. 6.3 apresentamos uma tempestade intensa ocorrida em maio de 2000, com duração de 12 dias, onde o índice atinge o valor mínimo de aproximadamente -150 nT. Na Fig. 6.4, mostramos uma tempestade moderada ocorrida em junho de 2001, com duração de 11 dias, onde observamos um Dst de -60 nT.

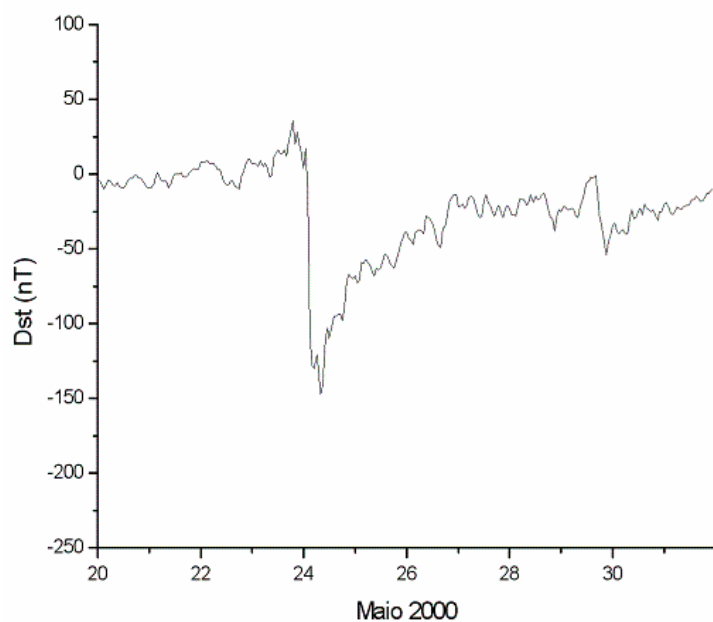


Fig. 6.3 – Evolução do índice Dst no qual se observa uma tempestade magnética intensa ocorrida em maio de 2000.

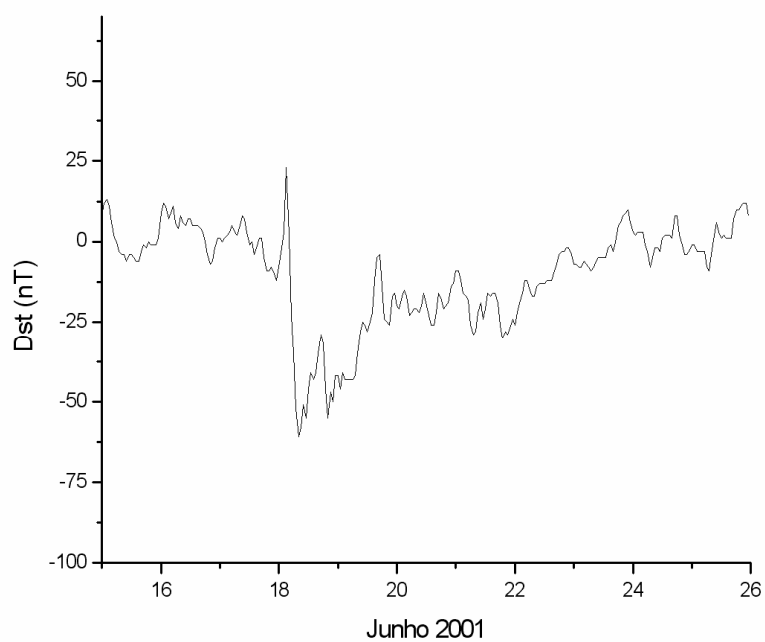


Fig. 6.4 – Evolução do índice Dst no qual se observa uma tempestade magnética moderada ocorrida em junho de 2001.

A partir dos gráficos do índice Dst e de seus dados referentes, calculamos o período de duração da fase principal e de recuperação das tempestades magnéticas. Da mesma

forma observamos a existência ou não do início súbito, bem como de sua amplitude. A partir destes dados para cada tempestade, calculamos a média e o desvio padrão para os 2 grupos e os 6 subgrupos mencionados acima.

As equações que representam o cálculo da média (μ) e do desvio padrão (σ) dos dados são, respectivamente:

$$\mu = \frac{\sum x_i}{n} \quad (6.1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \mu)^2}{n-1}} \quad (6.2)$$

onde x_i é o valor de cada elemento do conjunto e n é o número de elementos considerados.

Da mesma forma, no tratamento dos índices Kp e AE, calculamos o período de duração da fase principal e de recuperação das tempestades magnéticas, bem como os demais parâmetros mencionados anteriormente. Finalmente, foram construídos os gráficos, os quais foram comparados com o índice Dst nas diferentes fases da tempestade.

Para o estudo do máximo solar utilizamos sete tempestades muito intensas, vinte tempestades intensas e quinze tempestades moderadas. Para o mínimo solar usamos cinco tempestades intensas e dezessete tempestades moderadas.

6.3.2 – Resultados e Discussões

Os resultados do nosso estudo estão sumarizados nas tabelas de médias e desvios padrões. Na Tabela 6.1 apresentamos os valores médios e desvio padrões para as três classificações de tempestades magnéticas no período de máximo solar, onde o desvio

padrão representa a qualidade dos dados referentes ao estudo. A fase de compressão está em nanoTesla, as fases principal e de recuperação estão em horas.

Tabela 6.1 – Média e variação das três classes de tempestade para o máximo solar

$\mu \pm \sigma$	M. Intensa	Intensa	Moderada
Compressão	35,33±24,16	33,93±15,81	19,69±9,95
Principal	15,28±12,97	28,10±24,78	16,53±11,01
Recuperação	263,86±205,6	127,90±68,24	85,53±44,76

A Tabela 6.2 apresenta a média e o desvio padrão para o mínimo solar.

Tabela 6.2 – Média e variação das três classes de tempestade para o mínimo solar

$\mu \pm \sigma$	M. Intensa	Intensa	Moderada
Compressão	-	19.50±9.18	13.62±4.75
Principal	-	15.40±3.51	21.88±18.09
Recuperação	-	122.80±50.17	68.35±42.03

A partir das tabelas acima podemos notar que para o máximo solar o valor da média e desvio padrão da fase de compressão é maior nas tempestades muito intensas e menor nas tempestades moderadas. Isso indica que há uma maior variabilidade na intensidade do início súbito das tempestades muito intensas. Isso pode ser devido à intensidade da tempestade ou ser uma variação característica que desconhecemos. O tempo médio de duração da fase de recuperação também tem uma dependência como a intensidade do início súbito. Contudo, na fase principal, observamos valores de desvio padrão e média menores para as tempestades muito intensas. Isto nos leva a crer que o processo de reconexão é bastante eficiente para todos os casos de tempestades muito intensas.

Além das análises mencionadas, realizamos também uma análise do comportamento dos parâmetros acima mencionados quanto sua posição no ciclo solar, às dividindo em apenas dois grupos: máximo solar (Tabela 6.3) e mínimo solar (Tabela 6.4).

Tabela 6.3 – Média e desvio padrão para o máximo solar

Máximo	Compressão	Principal	Recuperação
$\mu \pm \sigma$	28.73 $\pm$ 16.82	21.83 $\pm$ 19.68	135.43 $\pm$ 113.06

Tabela 6.4 – Média e desvio padrão para o mínimo solar

Máximo	Compressão	Principal	Recuperação
$\mu \pm \sigma$	15.00 $\pm$ 6.27	20.41 $\pm$ 16.11	80.73 $\pm$ 48.69

Com relação à estatística sobre as tempestades verificadas durante o máximo solar, apresentada na Tabela 6.3, as médias são superiores ao observado no mínimo solar. Isto mostra que, em sua totalidade, as tempestades ocorridas no máximo solar possuem maior duração e maior intensidade na fase de compressão.

Como, em alguns períodos específicos, houve dificuldade de se observar as fases com clareza, utilizamos outra abordagem para este estudo. Calculamos as médias para os períodos e consideramos esta média como ponto de referência para o início e o fim das tempestades magnéticas. A Figura 6.4 ilustra esta diferença e mostra a média através da linha horizontal, onde o que está em vermelho é considerado negativo, o que está em verde é considerado positivo, com relação à média e o que está em azul está acima de 0 nT.

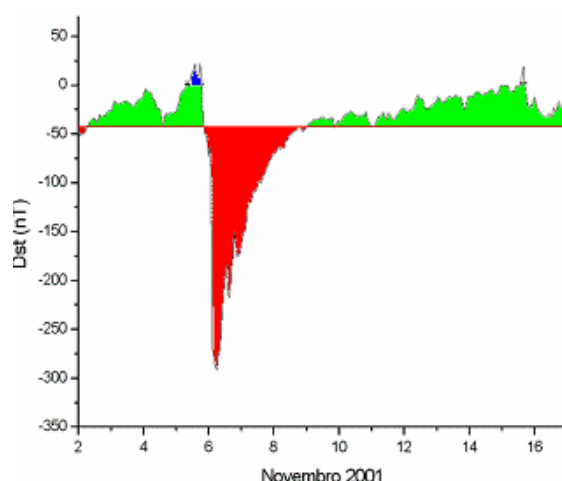


Fig. 6.5 – Evolução do índice Dst no qual se identifica uma tempestade magnética, indicando a média utilizada no estudo estatístico.

Através deste artifício, calculamos as médias das tempestades magnéticas para o máximo solar e para o mínimo solar de forma similar ao estudo anterior. Na Tabela 6.5 e Tabela 6.6, apresentamos os valores de μ e σ para serem comparados com os mesmos valores do método convencional.

Tabela 6.5 – Média e desvio padrão para o máximo solar utilizando a média como referência

Máximo	Principal	Recuperação
$\mu \pm \sigma$	13.43 $\pm$ 8.57	56.74 $\pm$ 34.43

Tabela 6.6 – Média e desvio padrão para o mínimo solar utilizando a média como referência

Máximo	Principal	Recuperação
$\mu \pm \sigma$	19.64 $\pm$ 16.40	68.09 $\pm$ 39.88

O primeiro resultado é que os valores médios das grandezas analisadas para as tempestades no período de máximo solar são menores que os valores de mínimo solar para esta mesma abordagem. Em comparação com o método apresentado anteriormente

(Tabela 6.3 e Tabela 6.4), observamos que os valores de máximo solar baixaram consideravelmente, enquanto que no mínimo solar o decréscimo foi menos significativo. Ainda não temos condições de avaliar quais as implicações desta nova abordagem. Mas agora, considerando o valor ambiente (Dst médio do período), as tempestades ocorridas nos períodos de mínimo solar ganham maior importância.

Com relação aos índices Kp e AE, observamos o comportamento dos mesmos com relação ao desenvolvimento das tempestades. Seleccionamos e comparamos uma tempestade muito intensa, representada na Figura 6.6, onde podemos notar quatro variações bruscas entre o dia 8 e 17 de abril de 2001.

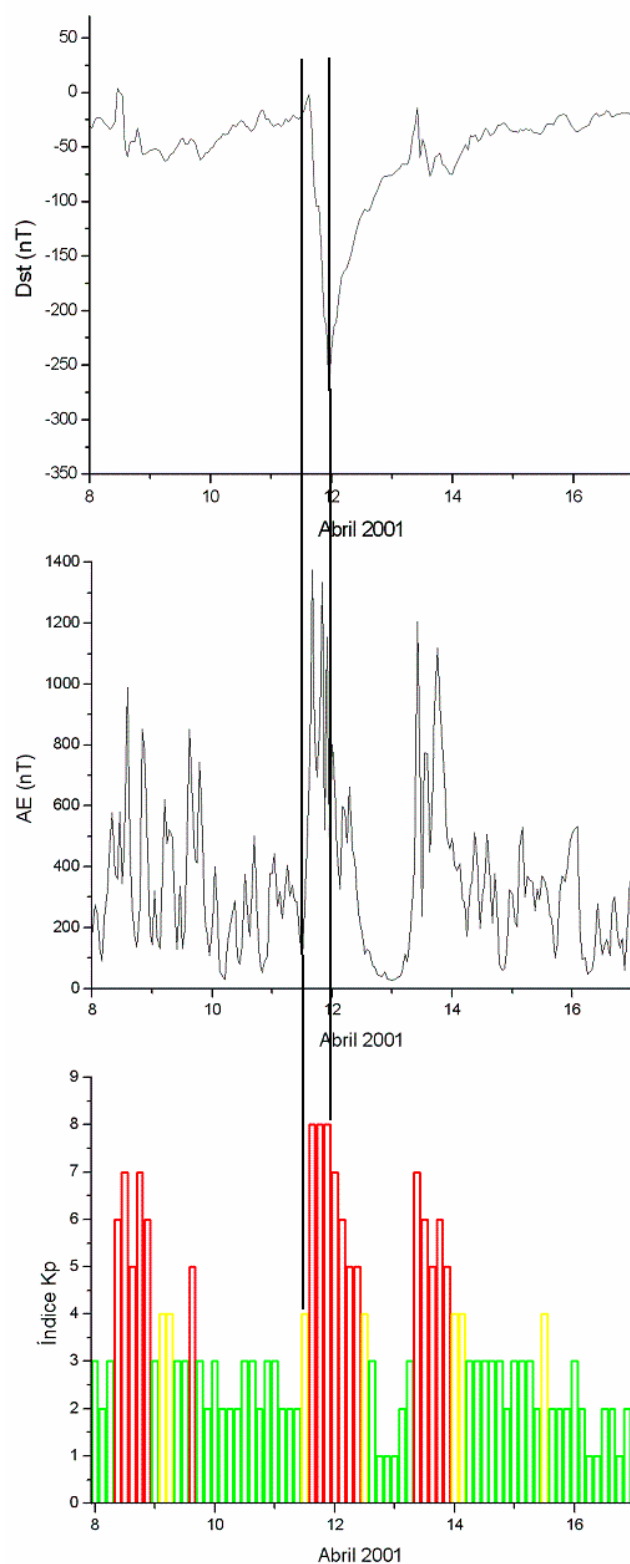


Fig. 6.6 – Tempestade magnética muito intensa identificada nos três índices magnéticos

Podemos notar na Fig. 6.6 que quando o índice Dst entra na fase de compressão, o índice AE começa a elevar-se, assim como o índice Kp. Durante a fase principal os índices AE e Kp permanecem praticamente constantes, até que, no início da fase de recuperação, estes índices começam a cair. Qualquer mudança brusca no índice Dst, é acompanhada por mudanças bruscas nos dois outros índices.

O índice Dst, AE e Kp, respectivamente, para um período de tempestade moderada no máximo solar é apresentado na Figura 6.7. Ela mostra a variação nos índices AE e Kp associada com uma variação no índice Dst em torno do dia 23 de dezembro de 2000.

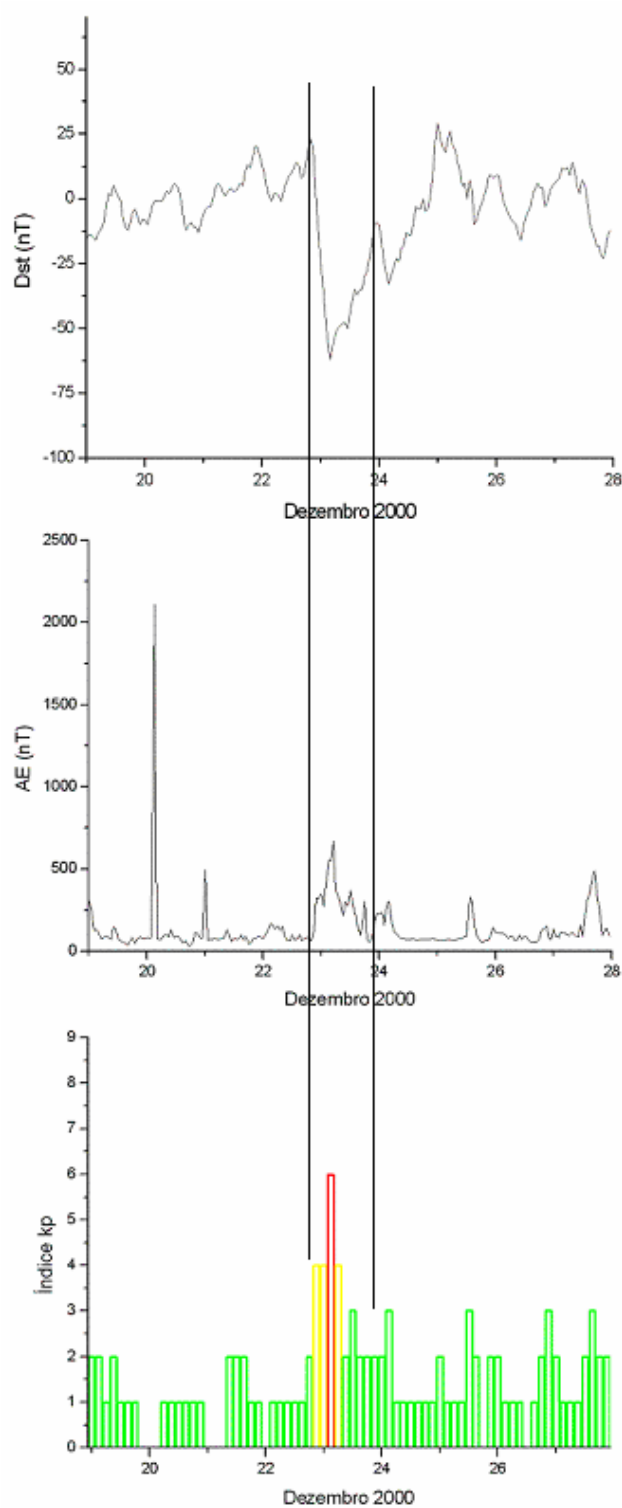


Fig. 6.7 – Tempestade magnética moderada identificada nos três índices magnéticos

Podemos observar uma variação brusca no índice AE, no início do dia 20, mas sem nenhuma modificação no índice Kp e Dst. Uma possível explicação, ainda sem comprovação, seria através de precipitação de partículas na região auroral, a qual pode ter alterado a intensidade do eletrojato auroral.

6.4 – Estudo Comparativo para Períodos Magneticamente Calmos Utilizando Dados de Magnetômetros

Dando continuação a execução do projeto, o bolsista realizou um estudo comparativo em períodos magneticamente calmos utilizando dados de magnetômetros. O objetivo deste estudo é observar o comportamento da componente H do campo magnético, registradas nas estações magnéticas do Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS (29.43° S, 53.80° W), do Observatório Espacial de São Luís – OESLZ/INPE – MCT, no Maranhão (2.33° S, 44.20° O) e do Observatório Espacial de Eusébio, RJ (3.89°S, 38.44°O). O aluno também realizou um estudo estatístico destes dados.

6.4.1 – Metodologia

A partir de dados de magnetômetros obtidos no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS (29.43° S, 53.80° O), no Rádio-Observatório Espacial do Nordeste – ROEN, em Eusébio, CE (3.89° S, 38.44° O) e no Observatório Espacial de São Luís – OESLZ/INPE – MCT, MA (2.33° S, 44.20° O), foram calculadas as médias da componente magnética horizontal (H) para cada minuto dos dias selecionados, onde dispúnhamos de um dado a cada dois segundos. Além disto, apresentaremos a evolução do desvio padrão da componente H relacionando os dados do OESLZ, ROEN e OESLZ. O índice Dst foi utilizado para classificarmos a atividade magnética e somente períodos calmos foram selecionados.

As equações que representam o cálculo da média (μ) e do desvio padrão (σ) dos dados podem ser observadas na seção anterior, nas equações 6.1 e 6.2, respectivamente. Os dados escolhidos dizem respeito ao período de 8 a 10 de abril de 2002.

6.4.2 – Resultados e Discussões

Os resultados do nosso estudo foram colocados na forma de gráficos, onde comparamos a intensidade da componente H do campo magnético terrestre em nanoTeslas entre o Observatório Espacial de São Luís e o Rádio-Observatório Espacial do Nordeste. Em seguida comparamos, para a mesma alusão, o Observatório Espacial de São Luís e o Observatório Espacial do Sul.

Os valores da componente H, comparando primeiramente o observatório de São Luís com o observatório de Eusébio, e após o observatório de São Luís com o observatório de São Martinho da Serra, no período de 8 a 10 de abril de 2002 são ilustrados nas Figuras 6.8 e 6.9. Estes gráficos mostram a média para o observatório de São Luís através da linha preta, onde a linha pontilhada que está em vermelho é a variação destes dados (desvio padrão), a linha em azul representa a média para o observatório de Eusébio e/ou São Martinho da Serra e a linha pontilhada verde é a variação destes dados (desvio padrão). Nota-se que a intensidade da componente H no observatório de São Luís é maior que a intensidade em Eusébio e São Martinho da Serra.

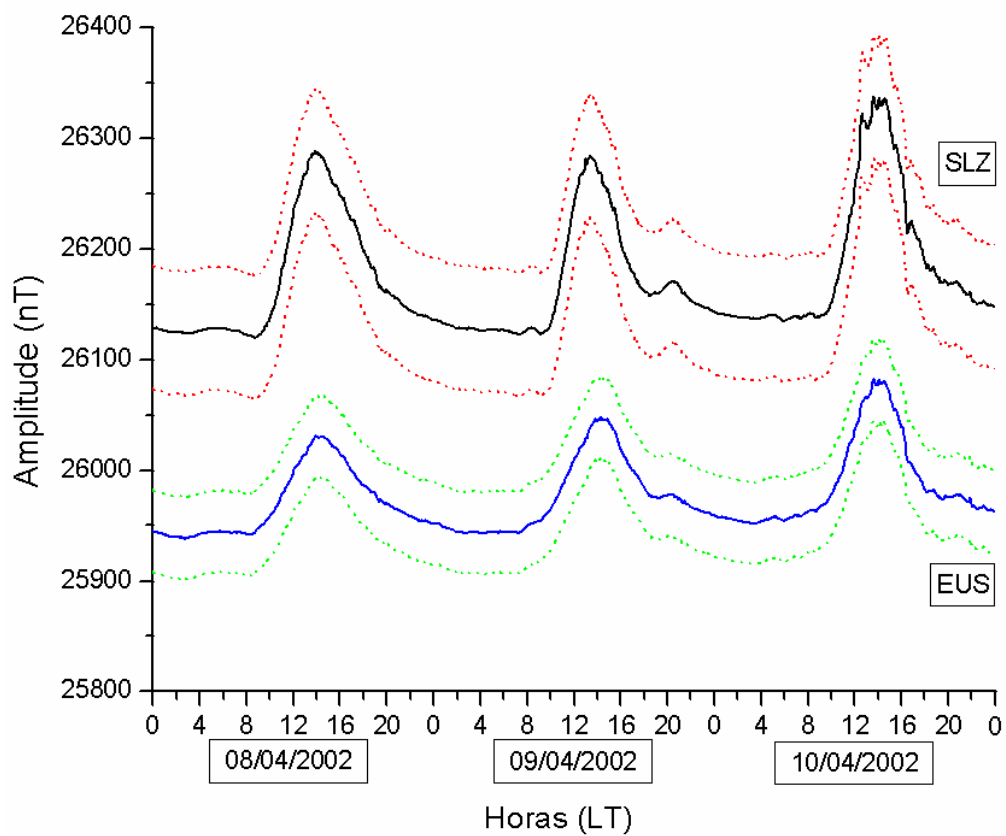


Fig. 6.8 – Variação da componente H do campo geomagnético nos observatórios de São Luís e Eusébio.

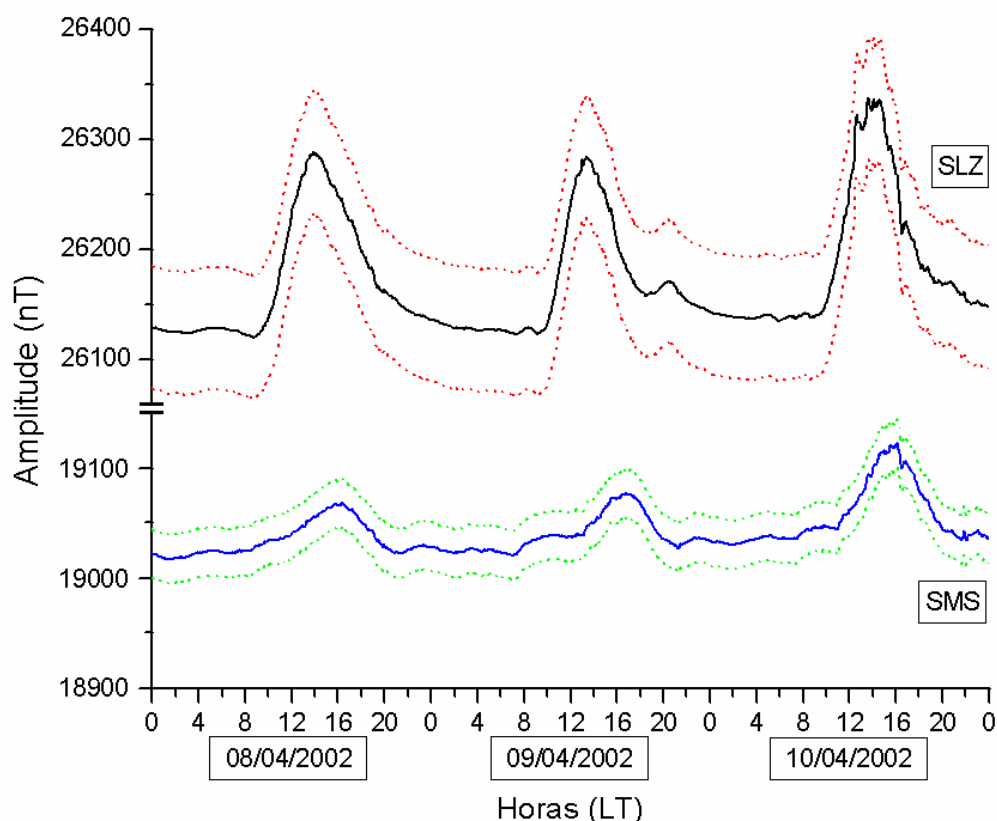


Fig. 6.9 – Variação da componente H do campo geomagnético nos observatórios de São Luís e São Martinho da Serra.

Observamos um valor máximo da componente H para OESLZ e ROEN por volta das 14 LT e aproximadamente as 16 LT para OES. Já o valor mínimo apresentou variações, no OESLZ o mínimo ficou por volta das 8 LT, no ROEN as 4 LT e no OES as 2 LT. Quanto ao comportamento à meia noite, notou-se que a componente H no OESLZ e ROEN está em um movimento decrescente, enquanto que no OES a componente H já atingiu seu mínimo e apenas oscila entre estes valores mais baixos. Podemos notar uma variabilidade dia-a-dia na intensidade, o que é devido às mesmas variações nos sistema Sq de correntes ionosféricas, reflexo da variabilidade da atmosfera terrestre.

É importante ressaltar que a intensidade da componente H é maior para o observatório de São Luís, seguido do observatório de Eusébio e do observatório de São Martinho da Serra. Isso se explica pela proximidade dos observatórios com relação ao equador magnético terrestre.

6.5 – Comparação de Mapas Ionosféricos Tipo RTI Obtidos por Análise Espectral e por Auto-Correlação para Períodos Calmos

O bolsista realizou o estudo da comparação de mapas ionosféricos tipo RTI, obtidos por análise espectral e por auto-correlação, para períodos magneticamente calmos. O objetivo deste estudo é analisar e comparar os mapas RTI para estes dois tipos de abordagem, onde o aluno desenvolveu uma rotina para obtenção dos mapas RTI a partir da técnica de auto-correlação dos valores de tensão. Novamente utilizamos o índice Dst como base para a escolha correta dos dados. Abaixo apresentaremos o desenvolvimento deste estudo.

6.5.1 – Metodologia

Os dados obtidos pelo Radar RESCO são processados *off-line* e é feito em linguagem de programação IDL, em forma de rotinas e sub-rotinas estruturadas para processar o conteúdo de vários dias de aquisição de dados. O processamento é feito por uma rotina específica que executa os seguintes procedimentos:

1. Abre e lê os dados brutos obtidos pelo radar;
2. O conteúdo do arquivo é desembaralhado e colocado nas variáveis do programa de análise;
3. O nível DC é removido dos dados;
4. Os picos espúrios são removidos dos dados;
5. Cada uma das alturas de estudo é processada separadamente;
6. Aplica a Transformada Rápida de Fourier, FFT (Fast Fourier Transform), para a obtenção da distribuição espectral de frequências Doppler;
7. Agrupa estes espectros subsequentemente no tempo para a obtenção dos espectrogramas;
8. Integra os espectrogramas em frequência e obtém a variação temporal da potência total de cada altura, onde são usadas para a confecção dos mapas RTI;

9. Salva os resultados obtidos.

A partir deste algoritmo foi estudada uma nova maneira de obter os mapas RTI. Utilizando a linguagem de programação IDL, criamos uma nova sub-rotina usando os princípios do Teorema de Parseval. Este teorema propõe que a soma (integral) do quadrado de uma função no tempo é igual à soma (integral) do quadrado de sua transformada de Fourier. Logo, a integração em frequência dos espectros de potência pode ser substituída pela operação que calcula os quadrados das tensões (em módulo) para a obtenção do mapa RTI.

A rotina original, Figura 6.10, onde o programa obtém os mapas RTI pela sub-rotina *MySimpson*, que está representada na Figura 6.11.

```
; Apply FFT, gets the periodogram and saves it into a binary file -----
FOR mm = 0, NG-1, 1 DO BEGIN
    IQTime[mm,*] = COMPLEX(VoltsM[0,mm,*], VoltsM[1,mm,*]); generate the complex matrix

    IF (Y_UsesCapon) THEN BEGIN
        Capon, phi=phi, y=IQTime[mm,*], m=64, L=512 ; get the periodogram from Capon
        Period[mm,*] = SHIFT(phi, NP/2) ; shift the periodogram
    ENDIF ELSE BEGIN
        IQFreq[mm,*] = SHIFT(FFT(IQTime[mm,*], -1), NP/2); get the Fast Fourier Transform
        Period[mm,*] = ABS(IQFreq[mm,*]) ; get the periodogram from FFT
    ENDELSE

    IF (mm LT 9) THEN Gate_Num = STRING(mm+1, FORMAT="(I1)")
    IF (mm GT 8) THEN Gate_Num = STRING(mm+1, FORMAT="(I2)")
    OPENU, nfile, PthBin+'rdata'+Gate_Num+'.SPE', /APPEND, /get_lun ; open the gate file
    WRITEU, nfile, Period[mm,*] ; save the periodogram vector
    CLOSE, nfile & FREE_LUN, nfile ; close file

    RTIMap[mm] = MySimpson(Period[mm,*]) * Res_FD ; get the total power
ENDFOR
OPENU, nfile, PthBin + 'rdata.RTI', /APPEND, /get_lun ; open the rti file
WRITEU, nfile, RTIMap ; save the rti vector
CLOSE, nfile & FREE_LUN, nfile ; close file

; Save the voltage matrix in a ASCII file named by FN + extension -----
IF (Y_SaveASCII) THEN BEGIN
    OPENW, nfile, FN + '.I', /get_lun ; create an ASCII file
    PRINTF, nfile, VoltsM[0,*], Format = "(" + NGates + "F)" ; set matrix format
    CLOSE, nfile & FREE_LUN, nfile ; close file

    OPENW, nfile, FN + '.Q', /get_lun ; create an ASCII file
    PRINTF, nfile, VoltsM[1,*], Format = "(" + NGates + "F)" ; set matrix format
    CLOSE, nfile & FREE_LUN, nfile ; close file

    MXT_STA = FLTARR(4, NG) ; statistics matrix

    MXT_STA[0,*] = I_MEAN ; mean value vector I
    MXT_STA[1,*] = I_SD ; standard deviation vector I
```

Fig. 6.10 – Parte da rotina de processamento de dados do radar RESCO, onde está inserido a rotina *MySimpson*.

```

FUNCTION MySimpson, VALVec, IDXVec
;----- ABSTRACT
;   This procedure uses the method of Simpson to integrate a data
;   set into a specified interval given by the IDXVec (abscissa).
;----- CAPTION
;   IDXVec          vector of the indices of Y_Vector
;   VALVec          vector of values to be integrated
;-----
; By:      Clezio M. De Nardin - denardin@dae.inpe.br
; Date:    December 16, 2003
; Modification : August 3, 2005 (aveiro@lagesm.ufsm.br - generalized function)
;              November 2, 2005 (denardin@dae.inpe.br - upgrade and update)
;-----

; declares and reform values vector -----
IF (N_ELEMENTS(VALVec) EQ 0) THEN Return, -1          ; vector of values
VALVec = REFORM(VALVec)                             ; reform values
QtdPts = N_ELEMENTS(VALVec)                          ; gets nr of points

; declares and reform index vector -----
IF (N_ELEMENTS(IDXVec) EQ 0) THEN IDXVec = FINDGEN(QtdPts) ; vector of indices
IDXVec = REFORM(IDXVec)                             ; reform indices

; assure the number of sub intervals is even -----
IF (Odd(QtdPts)) THEN BEGIN
    IDXnew = IDXVec                                ; sets the vector of indices
    VALnew = VALVec                                ; sets the vector of values
ENDIF ELSE BEGIN
    QtdPts = QtdPts + 1                            ; increment QtdPts
    IDXnew = Congrid(IDXVec, QtdPts, /CENTER)       ; expand vector of indices
    VALnew = Congrid(VALVec, QtdPts, /CENTER)       ; expand vector of values
ENDELSIF

; uses the method of Simpson tho integrate the curve -----
h = (IDXnew[QtdPts-1] - IDXnew[0])/(QtdPts-1)       ; calc mean width
Odd_IDX = WHERE(Odd(INDGEN(QtdPts)) EQ 1)           ; gets odd indices
EvenIDX = WHERE(Odd(INDGEN(QtdPts)) EQ 0)           ; gets even indices
M = TOTAL(4 * VALnew[Odd_IDX])                      ; calc M values
N = TOTAL(2 * VALnew[EvenIDX[1:((QtdPts-1)/2)-1]]) ; calc N values
S = (h / 3) * (VALnew[0] + M + N + VALnew[QtdPts-1]) ; calc integral

;-----
Return, S                                           ; returns integral
END                                                 ; end of procedure

```

Fig. 6.11 – Sub-rotina *MySimpson*.

Já na Figura 6.12, o novo método de obtenção dos mapas RTI está contido dentro do retângulo preto.

```

FOR mm = 0, NG-1, 1 DO BEGIN
    IQTime[mm,*] = COMPLEX(VoltsM[0,mm,*], VoltsM[1,mm,*]); generate the complex matrix

    IF (Y_UsesCapon) THEN BEGIN
        Capon, phi=phi, y=IQTime[mm,*], m=64, L=512      ; get the periodogram from Capon
        Period[mm,*] = SHIFT(phi, NP/2)                  ; shift the periodogram
    ENDIF ELSE BEGIN
        IQFreq[mm,*] = SHIFT(FFT(IQTime[mm,*], -1), NP/2); get the Fast Fourier Transform
        Period[mm,*] = ABS(IQFreq[mm,*])                  ; get the periodogram from FFT
    ENDELSE

    IF (mm LT 9) THEN Gate_Num = STRING(mm+1, FORMAT="(I1)")
    IF (mm GT 8) THEN Gate_Num = STRING(mm+1, FORMAT="(I2)")
    OPENU, nfile, PthBin+'rdata'+Gate_Num+'.SPE', /APPEND, /get_lun ; open the gate file
    WRITEU, nfile, Period[mm,*]                                     ; save the periodogram vector
    CLOSE, nfile & FREE_LUN, nfile                                 ; close file

    ; Apply Parseval theory for get RTIMap -----
    IQTime_2[mm,*] = IQTime[mm,*] * IQTime[mm,*]                ; generate matrix to the square
    RTIMap[mm,*] = ABS(IQTime_2[mm,*])

ENDFOR

OPENU, nfile, PthBin + 'rdata.RTI', /APPEND, /get_lun ; open the rti file
WRITEU, nfile, RTIMap                                     ; save the rti vector
CLOSE, nfile & FREE_LUN, nfile                             ; close file

; Save the voltage matrix in a ASCII file named by FN + extension -----
IF (Y_SaveASCII) THEN BEGIN
    OPENW, nfile, FN + '.I', /get_lun                        ; create an ASCII file
    PRINTF, nfile, VoltsM[0,*,*], Format = "(" + NGates + "F)" ; set matrix format
    CLOSE, nfile & FREE_LUN, nfile                          ; close file

    OPENW, nfile, FN + '.Q', /get_lun                        ; create an ASCII file
    PRINTF, nfile, VoltsM[1,*,*], Format = "(" + NGates + "F)" ; set matrix format
    CLOSE, nfile & FREE_LUN, nfile                          ; close file

    MXT_STA = FLTARR(4, NG)                                  ; statistics matrix

    MXT_STA[0,*] = I_MEAN                                     ; mean value vector I
    MXT_STA[1,*] = I_SD                                       ; standard deviation vector I

```

Fig. 6.12 – Parte da rotina de processamento de dados do radar RESCO, onde está inserido o novo pedaço que substitui a rotina *MySimpson*.

Estes dois métodos foram utilizados para a obtenção dos resultados abaixo. Com auxílio do índice Dst foram escolhidos dados para dias magneticamente perturbados e magneticamente calmos.

6.5.2 – Resultados e Discussões

Os mapas RTI para os dias 17 e 18 de fevereiro de 2004 obtidos pelo processamento espectral clássico (FFT) são apresentados na Figura 6.13 e na Figura 6.14. No mapa da Figura 6.13 se observa uma região de espalhamento nas alturas do EEJ centralizada entre 95 e 105 km de altitude, presente das 8 h até por volta das 17 h. Vemos a formação de uma região de espalhamento após as 18 h. Contudo, neste trabalho não vamos apresentar os mecanismos de formação destas regiões. Observa-se que o nível de ruído oscila entre 0,2 W e 0,6 W das 8 às 16 h. No período compreendido entre as 16 e

17 h, percebe-se uma elevação no nível de ruído, onde este atinge 0,9 W. Após as 17 h o ruído se mantém praticamente constante até que começam algumas variações bruscas próximas às 18 horas.

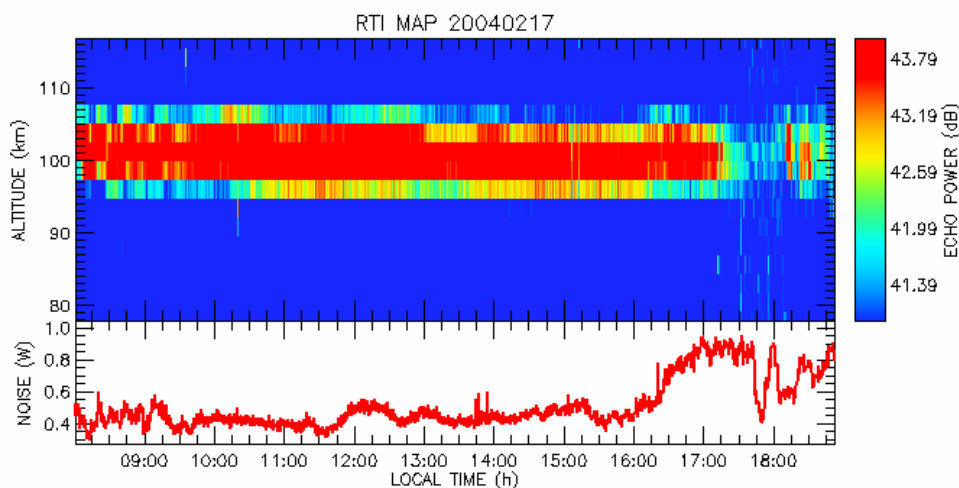


Fig. 6.13 - Mapa RTI para o dia 17 de fevereiro de 2004 obtido utilizando a técnica de Fourier.

No mapa da Figura 6.14 se observa uma região de espalhamento nas alturas do EEJ centralizada entre 95 e 108 km de altitude, presente das 9 h até próximo das 13 h. Notamos a formação de uma região de espalhamento por volta das 17 h, que dura até perto das 18 h, onde notamos que esta ocorre um pouco acima da anterior. Observa-se que o nível de ruído oscila entre 0,4 W e 0,6 W, das 9 h às 13 h 30 min. No período entre as 13 h 30 min e 14 h, percebe-se uma elevação no nível de ruído, onde este atinge valores próximos de 0,9 W. Após as 16 h o ruído decresce e se mantém praticamente constante até que por volta das 18 h começa uma nova variação.

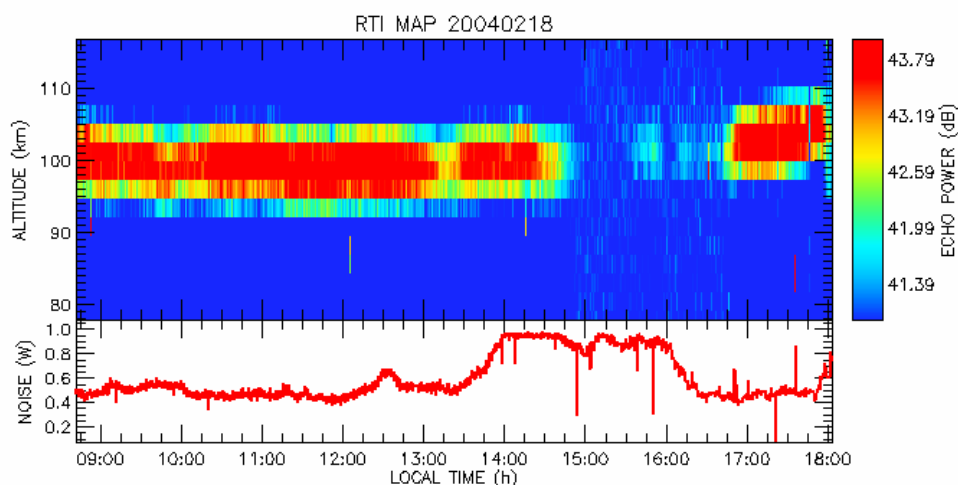


Fig. 6.14 - Mapa RTI para o dia 18 de fevereiro de 2004 obtido utilizando a técnica de Fourier.

Dois novos mapas RTI para as mesmas datas são apresentados na Figura 6.15 e na Figura 6.16. Nestes mapas se observa que a determinação da altura da região de espalhamento parece ter ficado prejudicada. Mas ainda fica evidente que ela está compreendida entre 97 e 107 km na Figura 6.15. Já na Figura 6.16 a região de espalhamento está entre 92 e 108 km de altura.

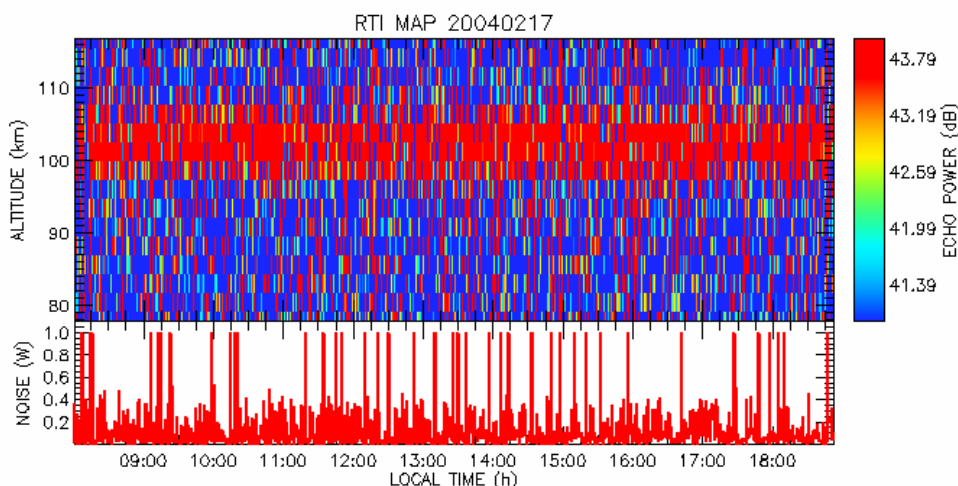


Fig. 6.15 - Mapa RTI para o dia 17 de fevereiro de 2004 obtido utilizando a técnica de auto-correlação.

Observa-se, contudo, que a potência de sinal não foi alterada. A escala em dB à esquerda do mapa mostra que a potência variou de 0 a 1 W, onde o ruído se mostrou inconstante, com variações bruscas.

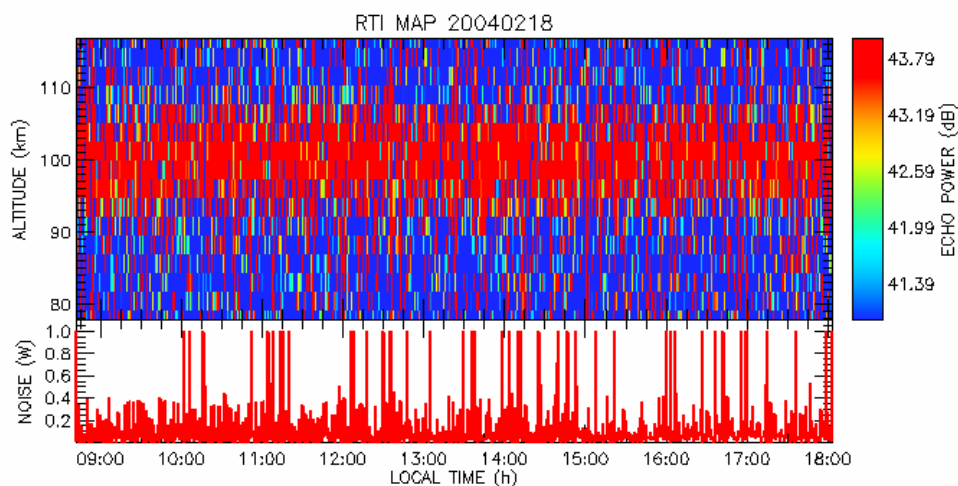


Fig. 6.16 - Mapa RTI para o dia 18 de fevereiro de 2004 obtido utilizando a técnica de auto-correlação.

O ruído (linha vermelha nos dois gráficos abaixo dos mapas) observado na técnica de Fourier (Figura 6.13) apresentou um comportamento relativamente constante até por volta das 16 h, um incremento gradativo até às 17 h, seguido de variações bruscas em sua amplitude. Já para a Figura 6.14, o ruído se apresentou constante até as 13 h 30 min, após houve um aumento até às 14 h e uma nova constância até às 16 h, onde o ruído voltou a seus valores iniciais. O mesmo ruído observado na técnica de auto-correlação (Figura 6.15 e Figura 6.16) apresentou picos durante todo o período compreendido. Mas o incremento gradativo não foi observado neste caso.

A altura observada para a potência máxima do espalhamento foi diferente para os dois mapas do dia 17. No mapa da Figura 6.13 a altura ficou compreendida entre 95 e 105 km e no mapa da Figura 6.15 ficou entre 97 e 107 km. Outra diferença significativa foi que o mapa da Figura 6.15 apresentou uma região constante ao longo de toda a observação, ao passo que o mapa da Figura 6.13 revela um período entre as 17 h 30 min e 18 h 15 min, onde o espalhamento não esteve presente.

No dia 18 percebemos que para a Figura 6.14 a altura ficou entre 95 e 108 km e no mapa da Figura 6.16 ficou entre 92 e 108 km. Novamente o mapa utilizando a nova abordagem apresenta um espalhamento durante todo dia, enquanto que o mapa RTI da Figura 6.14 revela um período onde o espalhamento não esteve presente, entre 15 e 17 h.

Apesar de o novo método parecer ter degradado a nitidez do mapa, é importante ressaltar que ele resultou em mapas RTI com resolução temporal sensivelmente aumentada. Os mapas da técnica de auto-correlação apresentam uma resolução 256 vezes maior que aqueles obtidos pela técnica de Fourier. Com isso, eventos de escala de tempo inferior podem ser detectados e estudados.

Este incremento na resolução temporal pode ter sido o responsável por revelar um espalhamento nos mapas da Figura 6.15 e da Figura 6.16 que não esteve presente nos mapas da Figura 6.13 e da Figura 6.14.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES

O desenvolvimento desse projeto de Iniciação Científica possibilitou ao bolsista, desenvolver estudos teóricos sobre o Sol, Tempestades Magnéticas, Ionosfera, e a relação entre eles. O estudo sobre o Radar RESCO, instalado no Observatório Espacial de São Luís, OESLZ/INPE – MCT, no Maranhão, foi de grande valia para o bolsista. O bolsista se utilizou do programa IDL para a modificação de uma das sub-rotinas do programa de processamento de dados do radar RESCO, no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/CIE/INPE – MCT, em Santa Maria, RS, no âmbito da Parceria INPE/MCT - UFSM.

O bolsista teve a oportunidade de realizar atividades práticas de pesquisa, nas quais desenvolveu habilidades em ferramentas computacionais e tomou contato com alguns dos diversos tipos de dados e indicadores geofísicos que pode encontrar na sua carreira científica. Neste contexto, alguns resultados relacionados ao seu nível de conhecimentos fora obtidos como, por exemplo, no estudo referente às tempestades magnéticas utilizando o índice DST. Este estudo mostrou médias e desvios padrões para as fases da tempestade, bem como a comparação do comportamento deste com os índices Kp e AE utilizando duas diferentes metodologias, onde em geral, obtivemos valores superiores para as grandezas analisadas das tempestades no período de máximo solar. Isto revela que as tempestades que ocorrem no máximo solar possuem maior duração e fase de compressão de maior intensidade. No outro método, o qual leva em consideração o valor ambiente do Dst, os valores durante o mínimo solar ganharam maior importância. Notamos um maior índice de ocorrência de tempestades mais intensas no período de máximo solar. Com relação aos gráficos, percebemos que o índice Dst possibilita uma melhor identificação de uma tempestade magnética, bem como, nos permite a visualização das três fases de uma tempestade magnética. O índice AE se mostrou mais sensível a outros fenômenos que não sejam somente a compressão da Magnetosfera e variação da Corrente Anelar, mas também precipitação de partículas na região auroral.

O índice Kp se mostrou um índice com aspecto global, o que lhe pode dificultar a imediata identificação de perturbações.

No contexto do estudo do comportamento da componente H para períodos magneticamente calmos, observou-se que para os três observatórios em questão apresentam similaridades quanto a sua configuração. A componente H varia de acordo com a ação solar, onde as variações de maior amplitude são próximas ao equador magnético por influência da ação das correntes Sq.

O estudo da comparação das técnicas de obtenção de mapas RTI mostrou ser de grande valia para os conhecimentos do bolsista quanto ao Eletrojato Equatorial e a programação. Os mapas RTI obtidos apresentaram a região de espalhamento em alturas diferentes. O nível de incerteza na determinação da região de espalhamento resultou maior e a sua potência do ruído apresentou variações bruscas. Contudo, a resolução temporal foi aumentada 256 vezes com a utilização do novo método. Com isso, foi possível revelar um espalhamento que não era observado com a técnica antiga.

Portanto, e pelo exposto neste relatório, podemos afirmar que o bolsista de Iniciação Científica do Programa PIBIC/INPE - CNPq/MCT, cujo projeto de pesquisa foi desenvolvido no âmbito da parceria INPE-UFSM, no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/CIE/INPE - MCT, em Santa Maria, RS, atendeu aos requisitos do programa e seguiu dentro dos limites razoáveis as atividades estabelecidas no cronograma no projeto de pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barbosa, M. J. F. ***Sistema de Medidas de Pulsações Geomagnéticas***. São José dos Campos, SP – 2003.
- Coutinho, E. F. ***Introdução às Partículas Presas e à Anomalia Geomagnética Brasileira***, (1974) [online]
<<http://anomalia.magnetica.atlantico.sul.googlepages.com/Introduospartculaspresas eAnomaliaMag.pdf>> Abril 2008.
- Denardini, C. M. ***Desenvolvimento de um sistema de correção de fase para o radar ionosférico de São Luís do Maranhão***. São José dos Campos: INPE, 1999. (INPE-7174-TDI/676).
- Denardini, C. M. ***O Radar de Retro-Espalhamento Coerente de 50 MHz do INPE / OESLZ. Clezio's Home Page***. [online] <<http://www.dae.inpe.br/~clezio.denardin/>> Maio 2007.
- Graduate School of Science, Kyoto University (KYOTO). ***Geomagnetic Data Service***. [online]<<http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir/dst1/prov.html>> Abr. 2007.
- Hargreaves, J. K. ***The solar-terrestrial environment***. Cambridge: Cambridge University Press, 1992.
- Janardhanan, K. V. ***A coherent VHF backscatter radar for INPE***. São José dos Campos: INPE, 1983. (INPE-2808-NTI/180).
- Kamei, T.; Sugiura, M.; Araki, T. ***On AE index (description in the data book No25)***. [online] <<http://swdcdbd.kugi.kyoto-u.ac.jp/ae2/onAEindex.html>> Abr. 2007.

Kelley, M. C. ***The Earth's Ionosphere***. San Diego: Academic Press, 1989.

Kirchhoff, V. W. J. H. ***Introdução à geofísica espacial***. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1991.

Kivelson, M. G; Russel, C. T. ***Introduction to space physics***. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.

National Aeronautics and Space Administration (NASA). ***Heliophysics***. [online]
<<http://sec.gsfc.nasa.gov/popscise.jpg>> Abr. 2007.

National Oceanic and Atmospheric Administration. National Geophysical Data Center (NOAA.NGDC). ***Solar-Terrestrial Physics Data via FTP***. [online]
<http://sec.noaa.gov/ftplib/plots/2003_plots/kp/> Oct. 2003.

Rostoker, G. ***Geomagnetic Indices. Reviews of Geophysics and Space Physics***, v. 10, n. 4, p. 935-950, Nov. 1972.

Savian, J. F. ***Identificação das origens interplanetárias das tempestades geomagnéticas intensas ocorridas no período de 2002 a 2003***. Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica. Processo CNPq: 107615/2003-7. Santa Maria: 2005.

Tsurutani, B. T.; Gonzalez, W. D. Magnetic Storms. In: Suess, S. T.; Tsurutani, B. T ed. ***From the sun: auroras, magnetic storms, solar flares, cosmic rays***. Washington: American Geophysical Union, 1998. p. 57-66.

APÊNDICE A

**CERTIFICADOS QUE A BOLSISTA FOI O AUTOR E/OU APRESENTADOR
DE TRABALHOS CIENTÍFICOS PUBLICADOS E OU ACEITOS**

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
VICE-REITORIA DE EXTENSÃO E ASSUNTOS COMUNITÁRIOS
FACULDADE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA

CERTIFICADO

Certificamos que o trabalho "COMPARAÇÃO ENTRE MAPAS IONOSFÉRICOS TIPO RTI OBTIDOS POR ANÁLISE ESPECTRAL E POR AUTO-CORRELAÇÃO" de autoria de Cézar A. Daroit; Mangalathayil A. Abdu; Nelson J. Schuch; Clezio M. Denardini; Henrique C. Aveiro; Lilian P. Moor; Tiago Jaskulski; Juliano Moro, registro n   346, foi apresentado no XXII CONGRESSO REGIONAL DE INICIA  O CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA E VII FEIRA DE PROTÓTIPOS, promovido pela Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, no dia 31 de outubro de 2007.

A programac  o foi aprovada pela Câmara de Extensão em 05 de junho de 2007, ata n   204.

Passo Fundo, 30 de outubro de 2007.



Prof. Derneval Rosa dos Santos
Diretor da Faculdade de Engenharia e Arquitetura



Prof. Ap  nio Thomé
Coordenador do Congresso



Prof. Eduardo Appel
Coordenador da Divisão de Extensão







UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
VICE-REITORIA DE EXTENSÃO E ASSUNTOS COMUNITÁRIOS
FACULDADE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA

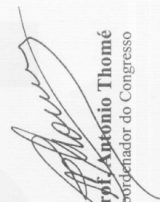
CERTIFICADO

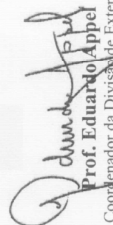
Certificamos que o trabalho "PRESENCAS DE CAMADAS IONOSFÉRICAS ESPORÁDICAS EM PERÍODOS PERTURBADOS EM SÃO LUÍS (MA)" de autoria de *Laysa. C. A. Resende, Clezio. M. Denardini, Pedro. D. S. C. Almeida, Henrique. C. Aveiro, Ênia. P. A. Olívio, Cézar A. Daroit*, registro nº 376, foi apresentado no **XXII CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA E VII FEIRA DE PROTÓTIPOS**, promovido pela Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, no dia 31 de outubro de 2007.

A programação foi aprovada pela Câmara de Extensão em 05 de junho de 2007, ata nº 204.

Passo Fundo, 30 de outubro de 2007.


Prof. Dermeval Rosa dos Santos
Diretor da Faculdade de Engenharia e Arquitetura


Prof. Antônio Thomé
Coordenador do Congresso


Prof. Eduardo Appel
Coordenador da Divisão de Extensão